



تأثیر عصاره اتانولی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان در کاهش میزان اکسیداسیون و محتوای آکریل آمید همبرگر گوشت گوساله تحت شرایط سرخ کردن سطحی

سحر یزدان مهر^۱، تکتیم مستقیم^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: toktammostaghim@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۷/۲۷، پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۳

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی کاربرد عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی بر کاهش تشکیل آکریل آمید و اکسیداسیون چربی‌ها در همبرگر گوشت گوساله‌ی سرخ شده به روش سطحی بود. عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین بیان به طور جداگانه در سطوح ۱، ۱/۵ و ۲٪ وزنی/وزنی به فرمولاسیون همبرگر اضافه شدند و نمونه حاوی ترکیب این دو عصاره (با نسبت ۱:۱) نیز آماده‌سازی شد. سپس، نمونه‌های تهیه شده در دمای ۱۷۰ °C به مدت ۸ دقیقه سرخ گردیدند. نتایج به دست آمده بیان کرد که عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان اثر معنی‌داری بر pH همبرگر نداشتند. افزودن عصاره‌های صمغ کندر و شیرین بیان (در سطح ۲٪)، موجب کاهش معنی‌دار تشکیل آکریل آمید نسبت به نمونه شاهد، به ترتیب تا ۳۲/۹۵٪ و ۴۹/۸۷٪ گردید ($p < 0.05$). با افزایش غلظت عصاره‌های صمغ کندر و شیرین بیان، فرآیند اکسیداسیون کاهش یافت، به طوری که اندیس‌های پراکسید، آنیزیدین، اندیس تیوباربتوریک اسید (TBA) و توتوکس نمونه‌های تیمار شده به طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد بود ($p < 0.05$). عصاره ریشه شیرین بیان در سطح ۲٪، بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به سایر نمونه‌ها داشت و نمونه ترکیبی و نمونه حاوی ۱/۵٪ عصاره ریشه شیرین بیان در رتبه بعدی قرار گرفتند. ارزیابی حسی نشان داد که عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین بیان بر بافت و رنگ همبرگر تأثیری نداشتند، درحالی‌که با افزایش غلظت عصاره شیرین بیان در فرمولاسیون، امتیازات عطر و طعم و پذیرش کلی به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$).

واژه‌های کلیدی: همبرگر، آکریل آمید، اکسیداسیون، صمغ کندر، ریشه شیرین بیان

مقدمه

بسیار مورد توجه می‌باشد. سرخ کردن یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده برای تهیه و تولید مواد غذایی می‌باشد. با این وجود سرخ کردن موجب ترکیبات طعمی مطلوب (محصولات اولیه واکنش میلارد^۲ و کاراملیزاسیون) و نامطلوب (مونو و دی گلیسریدها، الکل‌ها و ترکیبات پلیمری) در مواد غذایی می‌شود، این فرآیند می‌تواند پایداری و کیفیت ترکیبات طعمی، رنگ و بافت و کیفیت تغذیه‌ای مواد غذایی سرخ شده را تغییر دهد. هیدرولیز، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون واکنش‌های شیمیایی متداول در طول فرآیند سرخ کردن مواد غذایی است که منجر به تولید ترکیبات فرار و غیر فرار می‌شود (۲ و ۳). برخی از این ترکیبات

همبرگر یکی از فرآورده‌های گوشتی است که به دلایل گوناگون از جمله سهولت مصرف، استفاده از گوشت در ترکیب و طعم مطلوب مصرف بالایی دارد. از آنجایی که همبرگر به دلیل دارا بودن مقدار بالای گوشت در فرمولاسیون خود، حاوی مقادیر بالای پروتئین و همچنین چربی است، در نتیجه، در طی فرآیند آماده‌سازی آن برای مصرف (سرخ کردن)، ممکن است ترکیبات نامطلوبی (آکریل آمید و هیدروکسی متیل فورفورال^۱ و...) تشکیل شود (۱) که مطالعات در مورد این ترکیبات و ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش مقادیر ترکیبات نامطلوب

² Maillard Reaction

¹ Hydroxymethylfurfural

پتانسیل سمی بودن را دارا می‌باشند. ترکیبات فرار در نتیجه داغ شدن روغن سرخ‌کردنی از محیط خارج می‌شوند درحالی‌که ترکیبات غیرفرار اغلب وزن مولکولی بالا و یا قطبیت بالایی دارند و حضور آن‌ها معمولاً به‌عنوان شاخص کیفیت در نظر گرفته می‌شود. از دیدگاه تغذیه‌ای، محصولات تجزیه ترکیبات غیرفرار روغن‌های سرخ‌کردنی مورد استفاده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند، زیرا می‌توانند در روغن باقی بمانند و وارد محصول غذایی شوند و متعاقباً مصرف‌گردند (۲ و ۴). چنین محصولات غیرفرار شامل تری‌گلیسیریدهای پلیمری و تری‌گلیسیریدهای مونومر هستند که حاوی آسپیل‌های چرب حلقوی و محصولات تجزیه مختلف هستند. بیشترین نگرانی در مورد اثرات تغذیه‌ای روغن‌های سرخ‌کردنی مورد استفاده مربوط به سرخ کردن متناوب یا غیرپیوسته است، زیرا نشان داده شده که بالاترین سطوح تخریب در این شرایط حاصل می‌شود. به‌طور گسترده پذیرفته شده است که آکریل‌آمید عمدتاً از طریق واکنش میلارد از آسپارازین آزاد و منبع کربونیل تشکیل می‌شود (۵). در بیشتر غذاها، فندهای احیاکننده اصلی‌ترین ترکیبات کربونیل هستند که با آسپارازین آزاد واکنش می‌دهند، زیرا سطح آن‌ها معمولاً بسیار بالا است. با این وجود، ترکیبات کربونیل موجود در غذاها نیز می‌توانند از اکسیداسیون لیپیدها و به ویژه در حین گرم کردن ایجاد شوند (۶). اکسیداسیون لیپیدها به‌عنوان یک مسیر برای تشکیل آکریل‌آمید مورد توجه قرار گرفته است. در این مسیر، اسید آکرلیک به‌عنوان یک پیش‌ماده عمل کرده و توسط روش آکرولین به وسیله تخریب اکسیداتیو لیپیدها تشکیل گردد. پیشنهادات برای کاهش سطوح آکریل‌آمید شامل کاهش زمان گرمایش و دما، کاهش pH و استفاده از مواد خام با محتوای قند یا آسپارازین کم است (۷). در مورد افزودنی‌ها، بسیاری از مواد گزارش شده است که برای کاهش آکریل‌آمید مؤثر هستند، از جمله برخی اسیدهای آلی (مانند اسید سیتریک)، برخی اسیدهای آمینه (مانند، گلیسین) و برخی کاتیون‌های تک ظرفیتی و

دو ظرفیتی (مثل سدیم یا کلسیم). استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی روش مهم دیگری برای کاهش محتوای آکریل‌آمید در غذاها هستند (۸). آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی ارزان‌قیمت اغلب برای کاهش سرعت اکسیداسیون چربی‌ها استفاده می‌شوند. از جمله این آنتی‌اکسیدان‌ها می‌توان هیدروکسی تولوئن بوتیل (BHT^۱)، هیدروکسی آنیزول بوتیل (BHA^۲) و بوتیل هیدروکینون نوع سوم (TBHQ^۳) اشاره نمود. با این وجود گزارش شده است که BHT و BHA دارای اثرات سمی و سرطان‌زا هستند ولی به‌عنوان افزودنی در صنایع غذایی فقط در حدود قانونی مجاز می‌باشند. این آنتی‌اکسیدان‌ها در هنگام نگهداری و حمل و نقل روغن‌ها و چربی‌ها بسیار مؤثر هستند، اما در دمای سرخ کردن به دلیل فرار بودن آن‌ها تأثیر کمتری دارند (۹). با نگرانی فزاینده در مورد خطرات بالقوه آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی و گرایش جهانی به اجتناب یا به حداقل رساندن استفاده از افزودنی‌های غذایی مصنوعی، علاقه مجدد به استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی وجود دارد. از آنجایی‌که آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی از منابع گیاهی مشتق می‌شوند لذا اعتقاد بر این است که این نوع آنتی‌اکسیدان‌ها بی‌خطر می‌باشند. آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به‌طور کلی به ایمن شناخته می‌شوند (GRAS^۴)، استفاده از غلظت‌های بالای آن‌ها مجاز است، در همه جای دنیا مورد پذیرش قرار گرفته‌اند و در غذاهایی که تحت فرآیند حرارتی قرار می‌گیرند از فراریت کمتری برخوردار می‌باشند (۱۰). کندر از تنه درختان *Boswellia* که در هندوستان، شمال آفریقا و خاورمیانه می‌رویند، به دست می‌آید. از نظر ترکیبات شیمیایی، کندر دارای حدود ۲۵٪ صمغ غیرمحلول در الکل و یک رزین و مقداری اسانس است. قسمت نامحلول آن در الکل دارای مواد آرابین^۵ و باسورین^۶ است و قسمت محلول آن در

¹ Butylated Hydroxytoluene

² Butylated Hydroxyanisole

³ Tertiary Butylhydroquinone

⁴ Generally Recognized as Safe

⁵ Arabian

⁶ Basorin

مواد و روش‌ها

گوشت گوساله، پیاز، نمک، فلفل قرمز، آرد سوخاری، آرد گندم، پودر سیر، زردچوبه، ریشه شیرین بیان و صمغ کندر از بازار محلی، تهران خریداری شدند. اتانول ۷۰٪، اسید استیک گلاسیال، کلروفرم، یدید پتاسیم، تیوسولفات سدیم، پودر TBA، پارا آیزیدین، ۱-بوتانول، ایزواکتان و اسید فرمیک از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند. استاندارد آکریل آمید نیز از شرکت سیگما (آمریکال) تهیه شد.

تهیه عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان

به منظور تهیه عصاره، ابتدا ریشه شیرین بیان شسته شد و در دمای اتاق خشک گردید. سپس با آسیاب برقی به خوبی پودر و از الک شماره ۱۸ گذرانده شد. صمغ کندر نیز به طور مشابه با ریشه شیرین بیان آسیاب گردید. مقدار ۱۰۰ گرم از پودر شیرین بیان/کندر به ارلن ۱۰۰۰ mL انتقال یافت و با اتانول ۷۰٪ کاملاً پوشانده شد. محتویات فوق به مدت ۲۴ ساعت در شیکر قرار داده شد. عصاره‌های اتانولی حاوی نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی صاف شده و سپس در دستگاه روتاری (Hei Dolph MR Hei-standard, Germany) با دمای ۴۰ °C به مدت ۲ ساعت قرار گرفت، تا حلال خارج شود. عصاره‌های الکلی ریشه شیرین بیان (بازده استخراج: ۱۳/۰۵٪) و صمغ کندر (بازده استخراج: ۱۲/۶۵٪) تهیه شده، جهت آماده‌سازی تیمارها در یخچال نگهداری شدند (۱۵).

فرمولاسیون و آماده‌سازی تیمارهای

همبرگر

ابتدا، گوشت تازه گوساله، توسط چرخ گوشت (پارس خزر، بوفالو، ایران) چرخ گردید. فرمولاسیون همبرگر شاهد به صورت: ۶۱/۵٪ گوشت، ۲۴٪ پیاز، ۱/۱٪ نمک، ۰/۱٪ فلفل قرمز، ۸٪ آرد سوخاری، ۵٪ آرد

الکل دارای رزینی به نام اولیبانورزن^۱، یک اسید آزاد به نام اسید بوسولیک^۲، یک ماده تلخ و اسانس می‌باشد. همچنین در اسانس کندر علاوه بر پینن^۳، دیپانتن^۴ و فلاندرن^۵، مقداری از یک نوع الکل به نام اولیبانول^۶ وجود دارد. پتانسیل آنتی‌اکسیدانی عصاره کندر نیز ارزیابی شده است که بیانگر فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی این عصاره می‌باشد (۱۱). گیاه شیرین بیان با نام علمی *Glycyrrhiza glabra* L. از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی با اثر ضدالتهابی قوی است. شیرین بیان دارای عمده‌ترین ساپونین‌های تری‌ترپن ۵ حلقه‌ای به نام گلیسریریک اسید^۷ یا گلیسریرین^۸ به فرمول $C_{42}H_{62}O_{16}$ می‌باشد، که از دو واحد اسید گلوکورونیک^۹ و یک مولکول اسید گلیسرترنیک^{۱۰} (آگلیکون) تشکیل شده است. ترکیبات فنولی موجود در شیرین بیان، به‌عنوان مهارکننده رادیکال‌های آزاد عمل نموده، بنابراین، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان مؤثر عمل می‌کنند (۱۲). مطالعه نشان داده که در ناگت مرغ سرخ شده میزان $853 \pm 44/7$ ng/g آکریل آمید تشکیل می‌شود (۱۳). همچنین Faiz و Basaran (۲۰۲۲)، با ارزیابی محتوای آکریل آمید در محصولات گوشتی سرخ شده مشخص نمودند که محتوای آکریل آمید در این محصولات $299 \mu\text{g/g}$ می‌باشد (۱۴). بنابراین با توجه به اینکه در طی سرخ کردن همبرگر (به دلیل وجود مقادیر بالای پروتئین)، آکریل آمید که یک ترکیب سمی است، تشکیل می‌گردد، در این پژوهش سعی بر آن بود که اثر عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، بر میزان تشکیل آکریل آمید پس از فرآیند سرخ کردن همبرگر گوشت گوساله مورد بررسی قرار گیرد.

¹ Olibanoresin

² Boswellic acid

³ Pinene

⁴ Dipentene

⁵ Phellandrene

⁶ Olibanol

⁷ Glycyrrhizic acid

⁸ Glycyrrhizin

⁹ Glucuronic acid

¹⁰ Glycyrrhetic acid

فعالیت آنتی اکسیدانی

مقدار ۲ mL محلول DPPH² (۱ mM در اتانول) با ۲ mL از هر نمونه عصاره مخلوط شد. مخلوط واکنش کاملاً همزده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگه داشته شد. سپس جذب هر نمونه در ۵۱۷ نانومتر در مقابل جذب نمونه بلانک با استفاده از اسپکتروفوتومتر Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan) اندازه گیری شد. نمودار کالیبراسیون با استفاده از ترلوکس (۱۰۰-۰ ppm) حاصل شد. در نهایت نتایج به صورت معادل ترلوکس برای هر گرم ماده خشک (TE/g dw) بیان شد (۱۶).

تعیین pH

تعیین میزان pH با استفاده از pH متر (Hanna pH به الکتروود شیشه‌ای (Hanna FC 200B؛ مناسب برای نفوذ در گوشت) و کنترل دمای اتوماتیک صورت گرفت (۱۷).

اندازه‌گیری میزان آکریل آمید

۱ گرم از نمونه با استفاده از ۲۰ mL اسید فرمیک ۱۰ mM در سه مرحله (۵، ۱۰، ۵ mL) استخراج شد (باید مجموع ۲۰ mL در سه مرحله استفاده شود که سه بار استخراج صورت گیرد و بیشتر ناخالصی‌هایی نظیر چربی‌ها، ترکیبات مشابه آکریل آمید و غیره حذف شوند). از سانتریفوژ سرد برای جداسازی چربی از نمونه در ۵۰۰۰ rpm (۲۳۷۰×g) به مدت ۱۰ دقیقه استفاده گردید. کلونیدهای استخراج شده، توسط محلول کارز ته‌نشین شده و عصاره حاصله توسط کارتریج Oasis MCX از این ترکیبات جدا شد. هشت قطره اول عصاره دور ریخته شد تا از هر گونه رقیق شدن جلوگیری شود و مابقی به داخل ویال اتومایزر منتقل گردید. محلول کارز یک توسط حل کردن

گندم، ۱۶٪ پودر سیر، ۰/۰۷٪ زردچوبه و ۰/۰۷٪ جوز بویا بود. در این تحقیق، سطوح مختلف عصاره‌های اتانولی ریشه شیرین بیان و صمغ کندر (طبق جدول ۱) جایگزینی بخشی از پیاز مولاسیون شد. پس از مخلوط کردن مواد فرمولاسیون، برگرها توسط قالب به قطر ۱۰ cm و ارتفاع تقریبی ۱ cm شکل‌دهی شدند. نمونه‌های همبرگر تولیدی دارای وزن تقریبی ۸۰ گرم بودند (اکبرمیوه ای و بقایی، ۲۰۱۶). جهت انجام آزمون‌های موردنظر، نمونه‌های همبرگر در یک سرخ‌کن در دمای ۱۷۰ °C به مدت ۸ دقیقه سرخ شدند.

جدول ۱ - تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق

کد تیمارها	تیمارها
T0	نمونه شاهد (فاقد افزودنی)
T1	نمونه حاوی ۱ درصد عصاره الکی صمغ کندر
T2	نمونه حاوی ۱/۵ درصد عصاره الکی صمغ کندر
T3	نمونه حاوی ۲ درصد عصاره الکی صمغ کندر
T4	نمونه حاوی ۱ درصد عصاره الکی ریشه شیرین بیان
T5	نمونه حاوی ۱/۵ درصد عصاره الکی ریشه شیرین بیان
T6	نمونه حاوی ۲ درصد عصاره الکی ریشه شیرین بیان
T7	نمونه حاوی ۱ درصد از عصاره صمغ کندر + ۱ درصد از عصاره ریشه شیرین بیان

محتوای فنول کل

به‌طور کلی ۰/۵ mL از هر کدام از عصاره‌ها با ۲/۵ mL محلول فولین-سیوکالتیو^۱ و ۲ mL کربنات سدیم ۷٪ مخلوط شد. در ادامه بعد از یک ساعت (زمان لازم برای انجام واکنش) جذب هر نمونه در ۷۶۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan) سنجیده شد. برای رسم نمودار استاندارد از اسید گالیک (۱۰۰-۰ ppm) استفاده شد. در نهایت نتایج به صورت معادل اسید گالیک برای هر گرم ماده خشک (mg GA/g dw) بیان شد (۱۶).

² 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical

¹ Folin-Ciocalteu

زرد تیترا گردید. سپس، مقدار ۰/۵ mL معرف نشاسته اضافه شده و تا زمان زایل شدن رنگ آبی، توسط محلول تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ N تیترا شد. در آزمون شاهد، تمامی مراحل ذکر شده بدون حضور نمونه انجام پذیرفت. در نهایت، اندیس پراکسید نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده و بر حسب میلی‌اکی‌والان پراکسید در کیلوگرم روغن (meq/kg) گزارش گردید (۱۹).

$$PV = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{W} \quad (۱)$$

که در این رابطه PV، اندیس پراکسید (بر حسب meq/kg)؛ S، حجم تیوسولفات مصرفی برای تیترا نمونه (بر حسب mL)؛ B، حجم تیوسولفات مصرفی برای تیترا شاهد (بر حسب mL)؛ N، نرمالیتیه تیتراول تیوسولفات سدیم (بر حسب eq/mL) و W: وزن نمونه (بر حسب گرم) است.

اندازه‌گیری میزان اندیس آنیزیدین

در ابتدا ۰/۵ گرم نمونه در یک بالن حجمی ۲۵ mL به دقت توزین شد. سپس، نمونه در ایزواکتان حل شده و به حجم رسانده شد و مخلوط گردید. جذب محلول چربی در مقابل ایزواکتان خالص توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Visible Jenway 6305, UK) در طول موج ۳۵۰ نانومتر در یک سل شیشه‌ای قرائت شد (a). با استفاده از پی‌پت، ۵ mL از محلول به داخل لوله آزمایش A و ۵ mL ایزواکتان به داخل لوله آزمایش B ریخته شد. به هر کدام از دو لوله، یک میلی‌لیتر آنیزیدین اضافه گردید. لوله‌ها به شدت تکان داده شدند و به مدت ۱۰ دقیقه در یک مکان تاریک قرار گرفتند. جذب محتوای لوله A در مقابل لوله B در طول موج ۳۵۰ نانومتر در یک سل شیشه‌ای یک سانتی‌متری اندازه‌گیری شد (b). اندیس آنیزیدین از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید (۲۰):

$$\text{رابطه (۲)} = \frac{25 \times (1.2 A1 - A2)}{m} = \text{اندیس آنیزیدین}$$

۱۵ گرم پتاسیم هگزاآسیانوفرات در ۱۰۰ mL آب و محلول کارز دو توسط حل کردن ۳۰ گرم سولفات روی در ۱۰۰ mL آب آماده گردید. نمونه‌ها با استفاده از سیستم HPLC (Agilent Model 1100; USA) مجهز به آشکارساز TQ^۱ آنالیز شدند. جداسازی کروماتوگرافی در ستون UPLC HSS T3 (۱۰۰، ۲/۱ میلی‌متر i.d. ۸/۱ μ) با استفاده از ۱۰ mM اسید فرمیک به همراه ۰/۵٪ متانول به عنوان فاز متحرک در سرعت جریان یکنواخت ۰/۳ mL/min انجام گرفت. دمای ستون در ۴۰ °C تنظیم شده و دمای اتومایزر طی آنالیز، در ۱۰ °C نگه‌داشته شد. سرعت جریان گاز (نیتروژن) L/h ۹۰۰ بود. آکریل‌آمید از طریق نظارت بر واکنش چندگانه (MRM^۲) تعیین شد. برای همه انتقالات MRM، زمان ماندن ۰/۲ s بود. منحنی کالیبراسیون خارجی در محدوده بین ۱-۱۰۰ ng/mL (۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۱۰۰ ng/mL) رسم شده و میزان آکریل‌آمید از طریق این منحنی محاسبه شد و به صورت ppb بیان گردید (۱۸).

اندازه‌گیری اندیس پراکسید

ابتدا نمونه‌ها با حلال کلروفرم-متانول و آب (نسبت ۲:۱:۱) مخلوط شدند. به منظور افزایش تماس نمونه و حلال، به مدت یک دقیقه از همزن مغناطیسی استفاده شد. در ادامه لایه کلروفرمی به وسیله دکانتور شیشه‌ای جدا گردید. باقیمانده حلال موجود در روغن توسط اواپراتور روتاری تحت خلاء و در دمای ۴۰ °C تبخیر و جداسازی شد. ۵ گرم نمونه روغن در یک ارلن مایر ۲۵۰ mL توزین شد. سپس، ۳۰ mL مخلوط اسید استیک گلاسیال و کلروفرم (به نسبت ۳ به ۲) به آن اضافه شده و کاملاً در آن حل گردید. در مرحله بعد، ۰/۵ mL محلول اشباع یدور پتاسیم به آن اضافه شده و به مدت یک دقیقه در تاریکی قرار گرفت. پس از طی این زمان، ۳۰ mL آب مقطر به آن اضافه شده و با استفاده از محلول تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ N تا زمان زایل شدن رنگ

^۱ Triple quadruple

^۲ Multiple Reaction Monitoring

اندیس توتوکس

اندیس توتوکس طبق رابطه (۴) و با استفاده از دو اندیس پراکسید و آنیزیدین محاسبه گردید (۱۳):

رابطه (۴) اندیس آنیزیدین + (اندیس پراکسید) = ۲ اندیس توتوکس

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی همبرگر (از لحاظ ویژگی‌های بافت، عطر و طعم، رنگ و پذیرش کلی) به روش هدونیک پنج نقطه‌ای و با تکمیل پرسشنامه ارزیابی، توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده انجام شد. به این صورت که نمونه‌ها فرموله شده و سپس جهت هر تیمار، نمونه‌ای در اختیار ارزیاب قرار داده شد. هر ارزیاب برای هر تیمار رتبه ۱ تا ۵ را در نظر گرفت که عدد ۱ برای نمونه‌های خیلی ضعیف، عدد ۲ برای نمونه‌های ضعیف، عدد ۳ برای نمونه‌های متوسط، عدد ۴ برای نمونه‌های خوب و عدد ۵ برای نمونه‌های خیلی خوب بود (۱۳).

تجزیه و تحلیل آماری

میانگین هر پارامتر، توسط آنالیز واریانس (ANOVA) در طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS 22.0 (IBM Corp., USA) آنالیز شدند. تفاوت‌های بین تیمارها، در آزمون دانکن، در سطح اطمینان ۰/۰۵٪ Excel بیان شد و نمودارهای مربوطه با 2013 رسم گردیدند.

تحلیل واریانس داده‌ها مشخص شد که محتوای فنول کل به‌طور معنی‌داری (۰/۰۵ < p) وابسته به نوع عصاره و غلظت عصاره بکار گرفته شده بود؛ بنابراین همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است بالاترین محتوای فنولی کل (۰/۰۲ mg GA/g dw ±) ۷۴/۲۵) مربوط به نمونه ۲ درصد عصاره الکلی ریشه شیرین‌بیان می‌باشد و سپس بیشترین محتوای فنول کل مربوط به نمونه عصاره ترکیبی (mg GA/g dw)

که در آن؛ A₁، جذب محلول آزمایش (b) در ۳۵۰ نانومتر؛ A₂: جذب محلول آزمایش (a) در ۳۵۰ nm و m، جرم ماده مورد آزمون در محلول آزمایش (a)، بر حسب گرم هستند.

اندیس تیوباربتوریک اسید (TBA)

اندازه‌گیری اندیس TBA با استفاده از بوتانول به‌عنوان حلال و در حضور معرف TBA در طول موج ۵۳۰ نانومتر انجام پذیرفت. در ابتدا، ۲۰۰ میلی‌گرم از روغن استخراج شده‌ی نمونه در بالن ۲۵ mL وزن گردید. سپس، با بوتانول به حجم رسانده شد و به‌طور کامل توسط همزن مغناطیسی مخلوط گردید. ۵ mL از محلول نمونه با ۵ mL محلول واکنشگر تیوباربتوریک (حل کردن ۲۰۰ میلی‌گرم از پودر TBA در ۱۰۰ mL حلال ۱-بوتانول و سپس صاف کردن آن) مخلوط شده و به مدت دو ساعت در یک حمام بخار با دمای ۹۵ °C قرار داده شد. پس از اتمام این مدت، لوله آزمایش با استفاده از جریان آب به مدت ۱۰ دقیقه سرد گردید. میزان جذب محلول در طول موج ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (شامل حلال و محلول واکنش‌گر) اندازه‌گیری شد (۲۱). نتایج به‌دست آمده، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$\text{رابطه (۳)} = \frac{50 \times (A - B)}{m} = \text{اندیس اسید تیوباربتوریک}$$

که در آن؛ A؛ میزان جذب محلول آزمایش در ۵۳۰ نانومتر، B؛ میزان جذب شاهد در ۵۳۰ نانومتر و m؛ وزن نمونه بر حسب میلی‌گرم است.

نتایج و بحث

محتوای فنول کل عصاره‌ها

نتایج حاصل از آنالیز محتوای فنول کل عصاره‌های الکلی صمغ کندر و عصاره الکلی ریشه شیرین‌بیان با درصدهای مختلف و عصاره ترکیبی آن‌ها و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج

مشاهده شده که عصاره‌ها و اسانس‌های گیاهانی که محتوای فنولی آن‌ها بالاتر است از فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نیز برخوردار می‌باشند (۲۲)؛ بنابراین همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده عصاره الکلی ۲٪ ریشه شیرین‌بیان از بالاترین محتوای فنول برخوردار می‌باشد و احتمالاً همین امر سبب شده که این عصاره از بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز برخوردار باشد. ترکیبات فنولی به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل بالایی که در ساختار خود هستند به‌عنوان دهنده هیدروژن و عامل احیاکننده رادیکال‌های آزاد عمل می‌نمایند (۲۲). پس بنابراین می‌توان انتظار داشت که عصاره‌های که دارای محتوای فنول بیشتری هستند از فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نیز برخوردار می‌باشند.

pH همبرگرهای سرخ‌شده

نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر pH همبرگر گوشت گوساله سرخ‌شده نداشتند ($p > 0.05$). در شکل ۱، میانگین مقادیر pH نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ‌شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن سطوح مختلف عصاره‌های صمغ کندر و شیرین‌بیان به فرمولاسیون همبرگر، تأثیر معنی‌داری بر pH همبرگرهای تولیدی نداشت ($p > 0.05$) که این موضوع احتمالاً در ارتباط با pH نزدیک عصاره‌ها (6.01 ± 0.01) با pH همبرگرهای تولیدی می‌باشد. pH ممکن است روی میزان افت رطوبت و نیز ماندگاری محصول در طی دوره نگهداری مؤثر باشد. افزایش pH ممکن است شرایط را برای رشد میکروارگانیسم‌ها را فراهم نماید و از این طریق موجب کاهش زمان ماندگاری محصول شود. همچنین تغییرات pH ممکن است روی قابلیت اتصال به آب پروتئین‌های گوشت مؤثر باشد و از این طریق سبب افزایش آب‌اندازی برگر شود (۱۷ و ۲۳). بنابراین عدم تغییر معنی‌دار pH نسبت به نمونه شاهد می‌تواند به حفظ کیفیت محصول در طی دوره نگهداری و در

همچنین در غلظت‌های برابر است. همچنین در غلظت‌های برابر محتوای فنول کل نمونه‌های عصاره ریشه شیرین‌بیان بیشتر از محتوای فنول کل عصاره صمغ کندر بود.

جدول ۲ - محتوای فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های مورد مطالعه

تیمارها	محتوی فنول کل (mg GA/g dw)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی ($\mu\text{g TE/g dw}$)
T1	$39/12 \pm 0.05^g$	$13/27 \pm 0.02^g$
T2	$50/14 \pm 0.07^f$	$18/15 \pm 0.02^f$
T3	$63/25 \pm 0.02^c$	$24/67 \pm 0.02^c$
T4	$61/87 \pm 0.07^e$	$21/37 \pm 0.02^e$
T5	$62/33 \pm 0.05^d$	$23/62 \pm 0.02^d$
T6	$74/25 \pm 0.02^a$	$33/47 \pm 0.02^a$
T7	$67/12 \pm 0.08^b$	$28/14 \pm 0.02^b$

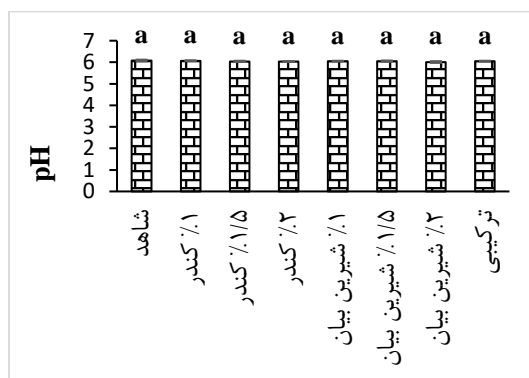
*حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در هر ستون می‌باشند ($p < 0.05$).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها

جدول ۲ نشان‌دهنده فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره ریشه شیرین‌بیان و صمغ دانه کندر با غلظت‌های مختلف و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های ریشه شیرین‌بیان و صمغ دانه کندر به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) وابسته به نوع عصاره و درصد بکارگیری آن‌ها می‌باشد. بر این اساس همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به عصاره الکلی ۲٪ ریشه شیرین‌بیان ($\mu\text{g TE/g}$) $33/47 \pm 0.02$ dw و سپس بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به عصاره ترکیبی ($28/14 \pm 0.02 \mu\text{g TE/g dw}$) بود. همچنین با مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره ریشه شیرین‌بیان با صمغ دانه کندر در غلظت یکسان مشاهده شد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره ریشه شیرین‌بیان بیشتر از عصاره صمغ دانه کندر می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است روند تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشابه روند تغییرات محتوای فنول کل می‌باشد. مطالعات نشان داده که محتوای ترکیبات فنولی همبستگی مثبتی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد.

شیرین بیان در فرمولاسیون، میزان آکریل آمید کاهش معنی داری نشان داد ($p < 0.05$). تأثیر عصاره ریشه شیرین بیان در کاهش محتوای آکریل آمید همبرگرها به طور قابل توجهی بیشتر از عصاره صمغ کندر بود، چرا که محتوای آکریل آمید در نمونه حاوی ۲٪ عصاره الکلی صمغ کندر به $0.16 \pm 42/56$ ppb کاهش یافت، در حالی که در نمونه حاوی ۲٪ عصاره شیرین بیان، محتوای آکریل آمید به $0.34 \pm 31/82$ ppb رسید. محتوای آکریل آمید نمونه حاوی ترکیب عصاره‌ها مشابه با نمونه حاوی ۱/۵٪ عصاره شیرین بیان بود. کاهش بیشتر محتوای آکریل آمید همبرگرهای سرخ شده توسط عصاره شیرین بیان بیشتر از عصاره صمغ کندر بود که احتمالاً در ارتباط با بالاتر بودن محتوای ترکیبات فنولی شیرین بیان نسبت به صمغ کندر می‌باشد. ترکیبات فنولی به دلیل نقش مهارکنندگی که روی رادیکال‌های آزاد دارند منجر به خنثی نمودن آن‌ها و جلوگیری از تشکیل هیدروپراکسیدها و محصولات ثانویه حاصل از تجزیه آن‌ها خواهند شد. مطالعات نشان داده که ترکیبات فنولی آنتی‌اکسیدان‌های مناسبی جهت جلوگیری از اکسیداسیون ترکیبات مختلف و چربی‌ها می‌باشند. این ترکیبات خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود را به دلیل قابلیت هیدروژنی دهی و مهار رادیکال‌های آزاد اعمال می‌نمایند (۱۰)؛ بنابراین کاهش تشکیل آکریل آمید توسط افزودن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی احتمالاً بدین دلیل است که این آنتی‌اکسیدان‌ها می‌توانند در دو واکنش مهم میلارد و اکسیداسیون که منجر به تشکیل آکریل آمید می‌شوند، با پیش‌سازهای تشکیل آکریل آمید وارد فعل و انفعال شوند و مانع از پیشرفت واکنش به سمت مراحل پیشرفته و تشکیل محصولات نهایی می‌شوند (۲۶ و ۲۷). در واکنش میلارد، بخش قند احیاکننده، با سیستم کنژوگه پلی‌فنول‌های دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی واکنش داده و از این طریق، مانع واکنش قند با آسپاراژین می‌گردد (۲۷ و ۲۸). در واکنش اکسیداسیون لیپیدها، طی تخریب این ماکرومولکول‌ها، آکرولئین تشکیل می‌شود که طی واکنش اکسیداسیون، به اسید آکرلیک یا رادیکال آکرلیک تبدیل می‌گردد (۲۹). هر دو این واسط‌ها در نهایت از طریق واکنش با منابع نیتروژنی،

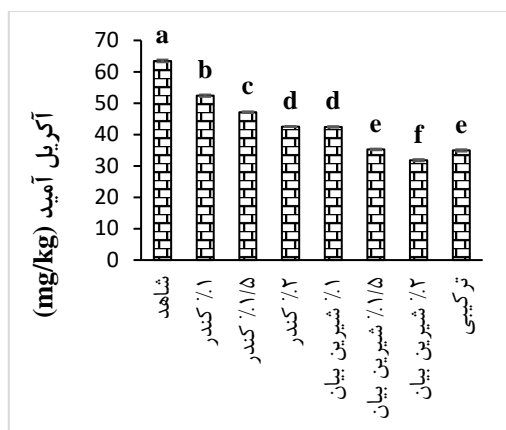
طی سرخ کردن کمک نماید. Selani و همکاران (۲۰۱۱)، به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر مشاهده نمودند که تلفیق عصاره انگور و پوست آن به گوشت مرغ خام و پخته، تأثیر قابل توجهی بر pH نمونه‌ها نداشت (۲۴). Baghaei و Akbarmivehie (۲۰۱۶)، بیان کردند که افزودن عصاره‌های آبی و الکلی شقاقل به فرمولاسیون همبرگر، میزان pH نمونه‌های تولیدی را به طور معنی داری افزایش داد (۲۵). این تفاوت در تغییر pH احتمالاً ناشی نوع عصاره، روش استخراج، فرمولاسیون محصول و ... باشد.



شکل ۱ - مقایسه مقادیر pH تیمارهای مختلف همبرگر پس از سرخ کردن

محتوای آکریل آمید

نتایج به دست آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری اثر معنی داری بر محتوای آکریل آمید همبرگر گوشت گوساله سرخ شده داشتند ($p < 0.05$). در شکل ۲، میانگین مقادیر آکریل آمید نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن سطوح مختلف عصاره‌های صمغ کندر و شیرین بیان به فرمولاسیون همبرگر، منجر به کاهش معنی دار محتوای آکریل آمید نمونه‌های تولیدی گردید ($p < 0.05$)، به طوری که بیشترین میزان آکریل آمید در نمونه فاقد عصاره به دست آمد ($0.43 \pm 63/47$ ppb) و با افزایش غلظت عصاره‌های صمغ کندر و



شکل ۲ - مقایسه مقادیر آکریل آمید ($\mu\text{g/kg}$) تیمارهای مختلف همبرگر پس از سرخ کردن

اندیس پراکسید

اندازه‌گیری اندیس پراکسید در مواد غذایی و بالأخص فرآورده‌های گوشتی، از اهمیت خاصی برخوردار است (۳۵). اندیس پراکسید به منظور اندازه‌گیری هیدروپراکسیدها که محصولات اولیه اکسیداسیون چربی‌ها و اسیدهای چرب چندغیراشباعی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۶). نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر نشان داد که افزودن عصاره‌های صمغ کندر و شیرین‌بیان به فرمولاسیون همبرگر منجر به کاهش معنی‌دار اندیس پراکسید نمونه‌های تولیدی گردید ($p < 0.05$). به طوری که بیشترین میزان این اندیس اکسایشی در نمونه شاهد به دست آمد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار حاوی ۲٪ شیرین‌بیان بود (شکل ۳). عصاره‌های گیاهی منبع ترکیبات زیست‌فعال و آنتی‌اکسیدان هستند که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در بسیاری از مطالعات و فرمولاسیون‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ترکیب فنولی غالب در عصاره صمغ کندر آلفا-پینن می‌باشد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکالی این عصاره احتمالاً در ارتباط با این ترکیب زیست‌فعال می‌باشد (۳۶). از طرف دیگر ترکیب فنولی غالب در عصاره ریشه شیرین‌بیان پارا-کوماریک اسید می‌باشد. مطالعات نشان داده این ترکیبات فنولی زیست‌فعال عامل اصلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مهارکنندگی رادیکالی این عصاره‌ها می‌باشد (۳۷). همان‌طور که بیان شد این عصاره‌ها دارای ترکیبات زیست‌فعالی

آکریل‌آمید را تشکیل می‌دهند. آنتی‌اکسیدان‌ها می‌توانند سبب بلوکه کردن اکسیداسیون آکروئین شده و از این طریق، تشکیل آکریل‌آمید را کاهش دهند (۲۷ و ۳۰). به طور مشابه Soncu و همکاران (۲۰۱۴)، دریافتند که افزودن سطوح مختلف عصاره چای سبز به ناگت مرغ و همبرگر مرغ منجر به کاهش معنی‌دار تشکیل آکریل‌آمید نسبت به نمونه شاهد گردید. افزایش سطح این عصاره از ۰/۵ تا ۱/۵٪ نیز میزان آکریل‌آمید در نمونه‌های تولیدی را کاهش داد، ولی افزایش سطح عصاره از ۱/۵ تا ۳٪، تأثیر قابل‌توجهی بر میزان آکریل‌آمید نشان نداد (۳۱). کاهش آکریل‌آمید توسط افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها، توسط سایر محققین نیز نشان داده شده است. Peng و همکاران (۲۰۱۰)، عصاره هسته انگور را به نان افزوده و دریافتند که کاتچین‌ها^۱ و پروآنتوسیانیدین‌های^۲ موجود در عصاره هسته انگور قادر به مهار واسط‌های دی‌کربونیلی (نظیر متیل‌گلیوکسال^۳ و گلیوکسال) بوده و از این طریق، به طور غیرمستقیم سبب کاهش تشکیل آکریل‌آمید شدند (۳۲). Fu و همکاران (۲۰۱۷)، نیز کاهش سرعت تشکیل آکریل‌آمید در نان توسط افزودن سطح مختلف اپی‌گالوکاتچین گالات‌های^۴ استخراج شده از چای سبز را گزارش نمودند (۳۳). Mahfouz و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر استفاده از پودر و عصاره چغندر روی کاهش میزان تشکیل آکریل‌آمید در برخی از محصولات گوشتی (ناگت و پتی) را مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده توسط این محققین مشخص شد که استفاده از عصاره شلغم به دلیل وجود ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش تشکیل آکریل‌آمید در محصولات نهایی می‌شود (۳۴).

¹ Catechin

² Proanthocyanidin

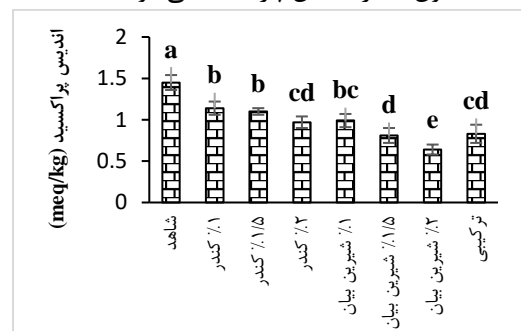
³ Methylglyoxal

⁴ Epigallocatechin gallate

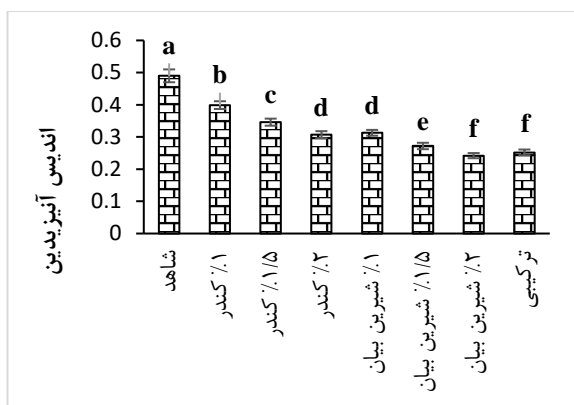
اندیس آنیزیدین

به دلیل تجزیه هیدروپراکسیدها در دمای بالا و تشکیل ترکیبات ثانویه نظیر آلدئیدها و کتون‌ها، وجود آزمون‌ی نظیر تعیین اندیس آنیزیدین که شاخصی از توسعه اکسیداسیون می‌باشد، ضروری به نظر می‌رسد (۴۱). نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر اندیس آنیزیدین همبرگر گوشت گوساله سرخ‌شده داشتند ($p < 0.05$). در شکل (۴)، میانگین مقادیر اندیس آنیزیدین نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ‌شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن غلظت‌های مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان به فرمولاسیون همبرگر، موجب کاهش معنی‌دار اندیس آنیزیدین در نمونه‌های سرخ‌شده گردید ($p < 0.05$), به طوری که بیشترین میزان اندیس آنیزیدین در نمونه شاهد به دست آمد (0.490 ± 0.020) و با افزایش غلظت عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان در نمونه‌ها، میزان اندیس آنیزیدین به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$). عصاره ریشه شیرین‌بیان نسبت به عصاره صمغ کندر، قابلیت بالاتری در کاهش محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون چربی‌ها در همبرگرهای سرخ‌شده از خود نشان داد، به طوری که در نمونه‌های حاوی ۲٪ از عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان، اندیس آنیزیدین به ترتیب به 0.11 ± 0.037 و 0.08 ± 0.042 کاهش پیدا کرد. همان‌طور که نتایج تعیین محتوای فنولی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد این رفتار احتمالاً ناشی از وجود ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی بیشتر در عصاره شیرین‌بیان باشد. بین مقادیر اندیس آنیزیدین نمونه‌های حاوی ۲٪ عصاره صمغ کندر و ۱٪ عصاره شیرین‌بیان و همچنین نمونه‌های حاوی ۲٪ عصاره شیرین‌بیان و نمونه ترکیبی، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$). دلیل این رفتارها احتمالاً ناشی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنولی تقریباً مشابه این تیمارها می‌باشد.

هستند که بسیاری از خصوصیات بیولوژیکی آن‌ها را به دنبال دارند. این ترکیبات به دلیل قابلیت هیدروژن دهنده‌گی که دارند از تشکیل ترکیبات اولیه اکسیداسیون جلوگیری می‌کنند. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققین مطابقت داشت. Kochhar (۲۰۰۰)، نشان داد که آنتی‌اکسیدان‌ها از طریق اهداء اتم‌های هیدروژن، واکنش‌های اکسیداسیون را به تأخیر انداخته و مانع تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌گردند. در واقع، پلی‌فنول‌ها توانایی به دام انداختن رادیکال‌های آزاد را دارند، خصوصاً رادیکال‌های پروکسی که یکی از کلیدی‌ترین واکنش‌دهنده‌های زنجیره‌ی میانی‌اند، در نتیجه باعث خاتمه دادن چرخه واکنش‌های فساد اکسایشی و کاهش سرعت تشکیل هیدروپراکسیدها می‌شوند (۳۸). همچنین Babu و همکاران (۲۰۱۷)، در بررسی تأثیر عصاره *Caralluma Fimbriata* بر تشکیل آکریل‌آمید و واکنش اکسیداسیون در سیب‌زمینی سرخ شده نشان دادند که افزودن این عصاره، علاوه بر کاهش میزان آکریل‌آمید در نمونه‌ها، سرعت تشکیل محصولات اولیه حاصل از اکسیداسیون را به طور قابل توجهی کاهش داده و از این‌رو، موجب کاهش اندیس پراکسید گردید (۳۹). همچنین Manzoor و همکاران (۲۰۲۲)، تأثیر استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی استخراج شده از تفاله پوست سیب روی تشکیل محصولات اکسیداسیون در طی سرخ کردن را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها اظهار نمودند که استفاده از غلظت‌های بالای این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش تشکیل محصولات اولیه اکسیداسیون و در نتیجه کاهش شاخص‌های اکسیداسیون نظیر اندیس پراکسید می‌شوند (۴۰).



شکل ۳ - مقایسه مقادیر اندیس پراکسید (meq/kg) تیمارهای مختلف همبرگر پس از سرخ کردن



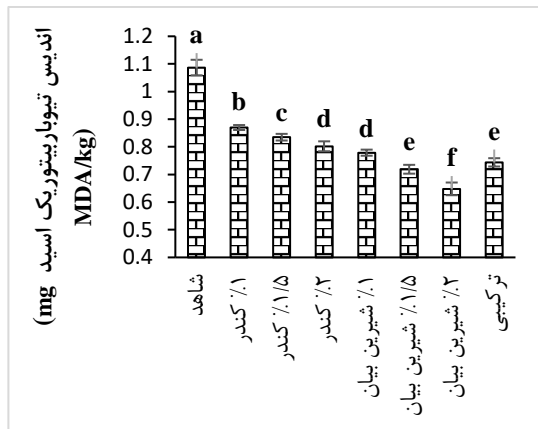
شکل ۴- مقایسه مقادیر اندیس آنیزیدین تیمارهای مختلف همبرگر پس از سرخ کردن

اندیس TBA

به‌طور کلی، ترکیبات فنولی جزو عوامل مهم در مهار رادیکال‌های آزاد هستند، ولی در برخی از گونه‌های گیاهی، اثرات آنتی‌اکسیدانی ترکیبات زیست‌فعال نظیر کاروتنوئیدها، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، پپتیدها و رنگدانه‌ها نیز ممکن است در مهار این رادیکال‌های آزاد دخالت داشته باشند (۴۴). نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر اندیس TBA همبرگر گوشت گوساله سرخ‌شده داشتند ($p < 0.05$). در شکل ۵، میانگین مقادیر اندیس TBA نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ‌شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن عصاره‌های صمغ کندر و شیرین‌بیان به فرمولاسیون همبرگر و افزایش غلظت آن‌ها، منجر به کاهش معنی‌دار اندیس TBA نمونه‌های همبرگر گردید ($p < 0.05$)، به‌طوری‌که بیشترین میزان اندیس اکسایشی مربوط به نمونه شاهد بود (mg MDA/kg 0.28 ± 0.087) و با افزایش غلظت عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان در فرمولاسیون، میزان اندیس TBA به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$). عصاره ریشه شیرین‌بیان نسبت به عصاره صمغ کندر، کاهش بیشتری در میزان اندیس TBA همبرگرهای سرخ‌شده ایجاد نمود، به‌طوری‌که در نمونه‌های حاوی ۲٪ از عصاره‌های صمغ

اندیس پراکسید به‌تنهایی مشخص‌کننده اکسیداسیون چربی‌ها نمی‌باشد، زیرا این عدد شاخصی از وجود محصولات اولیه اکسیداسیون است و تولید محصولات ثانویه را نشان نمی‌دهد. اندیس آنیزیدین برای اندازه‌گیری مقدار ترکیبات ثانویه اکسیداسیون کربونیلی اشباع و غیراشباع با وزن مولکولی بالا شامل آلفا و بتا-آلکنال‌ها (به‌طور کلی ۲-آلکنال‌ها و ۴،۲-آلکادی‌ان‌ها) در چربی‌ها و روغن‌ها به کار می‌رود؛ به‌طوری‌که این ترکیبات کربونیلی در چربی‌ها با معرف پارا-آنیزیدین تحت شرایط اسیدی واکنش می‌دهند (۴۱). فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزودنی‌های گیاهی نظیر عصاره‌ها و اسانس‌ها، به دلیل حضور ترکیبات زیست‌فعال، مخصوصاً فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی در آن‌ها می‌باشد. فلاونوئیدها به دلیل ساختاری که دارند، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کرده و از طریق اهداء هیدروژن، سبب مهار رادیکال‌های پراکسی لیپید می‌گردند و این رادیکال‌ها را پایدارتر می‌نمایند (۴۲). ترکیبات گیاهی که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند، اثر خود را از طریق روش‌های مختلف نظیر تداخل با واکنش‌های مرحله انتشار اکسیداسیون، ممانعت از سیستم‌های آنزیمی شرکت‌کننده در واکنش‌های مرحله آغاز اکسیداسیون اعمال می‌کنند. همچنین آن‌ها می‌توانند به‌عنوان دهنده هیدروژن، مهارکننده رادیکال‌های آزاد و شلاته‌کننده یون‌های فلزی عمل نمایند (۴۳). بر طبق یافته‌های Babu و همکاران (۲۰۱۷)، عصاره *Caralluma Fimbriata* قادر به کاهش میزان آکریل‌آمید و کاهش تشکیل محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون چربی‌ها در نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بود و اندیس آنیزیدین را نسبت به نمونه شاهد و نمونه حاوی آنتی‌اکسیدان سنتزی BHA به‌طور معنی‌داری کاهش داد. آن‌ها دلیل این رفتار را به قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد در نتیجه مراحل اولیه اکسیداسیون نسبت دادند. این محققین اظهار نمودند که ترکیبات فنولی موجود در عصاره اتم هیدروژن خود را به محصولات اولیه اکسیداسیون می‌دهند و مانع از تشکیل ترکیبات حدواسط می‌شوند که به‌عنوان پیش‌ساز مراحل پیشرفته اکسیداسیون عمل می‌کنند (۳۹).

از اکسیداسیون پیشرفته می‌شوند (۴۶).



شکل ۵ - مقایسه مقادیر اندیس TBA

(mg MDA/kg) تیمارهای مختلف همبرگر پس از سرخ کردن

اندیس توتوکس

استفاده از اندیس پراکسید و اندیس آنیزیدین توأم با هم سبب فراهم‌سازی دید جامعی در مورد فرآیند اکسیداسیون در روغن‌ها و چربی‌ها می‌گردد که به‌عنوان اندیس توتوکس محاسبه می‌شود و برای پیش‌بینی ریاضی ثبات اکسیداتیو به کار می‌رود. از اندیس توتوکس به‌عنوان یک شناساگر برای ارزیابی ثبات کلی اکسیداتیو استفاده می‌شود و در ارتباط با توسعه تجزیه روغن‌ها و چربی‌ها می‌باشد (۴۷). نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر اندیس توتوکس همبرگر گوشت گوساله سرخ‌شده داشتند ($P < 0.05$). در شکل ۶، میانگین مقادیر اندیس توتوکس نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ‌شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن غلظت‌های مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان به فرمولاسیون همبرگر، موجب کاهش معنی‌دار اندیس توتوکس در نمونه‌های سرخ‌شده گردید ($P < 0.05$)، به‌طوری‌که بیشترین میزان اندیس توتوکس در نمونه شاهد به دست آمد (0.117 ± 0.038) و با افزایش غلظت عصاره‌های الکلی

کندر و ریشه شیرین‌بیان، اندیس TBA به ترتیب به 0.18 ± 0.08 و 0.23 ± 0.0648 mg MDA/kg کاهش یافت. بین میانگین مقادیر اندیس TBA نمونه‌های حاوی ۲٪ عصاره صمغ کندر و ۱٪ عصاره شیرین‌بیان و همچنین نمونه‌های حاوی ۱/۵٪ عصاره شیرین‌بیان و نمونه ترکیبی، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($p > 0.05$). این رفتار احتمالاً ناشی از محتوای فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تقریباً مشابه این تیمارها باشد که در بخش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنولی کل نشان داده شده است. به منظور ارزیابی درجه اکسیداسیون چربی‌ها در محصولات گوشتی، به طور متداول از شاخص TBA استفاده می‌شود که نشان‌دهنده میزان محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون، به ویژه مالون‌آلدئید، می‌باشد (۴۵). این اندیس اکسیداسیون، ناشی از واکنش ترکیبات حدواسط اکسیداسیون مراحل اولیه با TBA حاصل از مرحله دوم اتواکسیداسیون چربی‌ها است که طی آن پراکسیدها به موادی نظیر آلدئیدها و کتون‌ها اکسید می‌شوند به طور مشابه Soncu و همکاران (۲۰۱۴)، تأثیر عصاره چای‌سبز بر شاخص اکسایش همبرگر مرغ سرخ‌شده به روش عمیق را مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که بیشترین میزان اندیس TBA در نمونه شاهد به دست آمد و افزودن ۱/۵٪ عصاره چای سبز به نمونه‌ها، میزان اندیس TBA را به طور معنی‌داری کاهش داد، باین‌حال، افزودن ۱/۵ و ۳٪ عصاره سبب افزایش میزان این اندیس اکسایشی نسبت به نمونه حاوی ۱/۵٪ عصاره شد، ولی میزان آن‌ها همواره کمتر از نمونه شاهد بود (۳۱). علاوه بر این Abdel-Hamied و همکاران (۲۰۰۹)، به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر بیان کردند که افزودن عصاره‌های رزماری و ساج به نمونه‌های گوشت چرخ کرده سبب کاهش معنی‌دار میزان TBA گردید و سرعت افزایش میزان این اندیس در طی زمان نگهداری را نسبت به نمونه شاهد کاهش داد. آن‌ها بیان کردند که ترکیبات فنولی موجود در عصاره‌های رزماری و ساج به دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها موجب جلوگیری از تشکیل رادیکال‌های آزاد در مراحل اولیه و تأخیر در مرحله مقدمه و انتشار اکسیداسیون باعث تأخیر و جلوگیری

تبدیل نموده و مانع واکنش‌های زنجیری اکسایشی شوند (۵۲). وجود ترکیبات زیست‌فعال نظیر فلاوونوئیدها، ترپنوئیدها، استروئیدها، تانن‌ها، ساپونین‌ها و کومارین‌ها در صمغ کندر گزارش شده است که در ایجاد فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجه این رزین نقش دارند. در کل، ترکیبات فنولی از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر جذب رادیکال‌های آزاد، مهار انواع اکسیژن یگانه، بازدارندگی آنزیم‌های اکسیدکننده و شلاته کردن فلزات، می‌توانند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کنند. محققین اظهار داشتند که ترکیبات فنولی می‌توانند به راحتی یک اتم هیدروژن را به رادیکال‌های پروکسید چربی انتقال دهند و رادیکال‌های پایدار فنوکسیل و هیدروپراکسیدهای سیس و ترانس چربی را که کم‌اثرترند را تولید نمایند. همچنین مشخص شده است که ترکیبات فنولی می‌توانند رادیکال‌های پروکسی چربی را با انتقال الکترون منفرد خنثی کنند (۵۳). همچنین در پژوهش صورت گرفته توسط Viuda-Martos و همکاران (۲۰۰۹)، به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر گزارش شد که با افزودن اسانس مرزنجوش وحشی و اسانس آویشن به سوسیس بلوگنا، میزان اکسیداسیون چربی‌ها در نمونه‌های تیمار شده با اسانس‌ها نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت (۵۴). اکبرمیوه‌ای و بقایی (۲۰۱۶)، نیز کاهش اندیس توتوکس همبرگر در اثر افزودن عصاره آبی شقاق را مشاهده نمودند. آن‌ها دلیل این رفتار را به قابلیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد توسط ترکیبات فنولی نسبت دادند که منجر به کاهش اندیس پراکسید و اندیس آنیزیدین شدند. با کاهش اندیس‌های پراکسید و آنیزیدین به دنبال آن اندیس توتوکس نیز کاهش می‌یابد (۲۵).

صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان در نمونه‌ها، میزان اندیس توتوکس به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$). همان طوری که انتظار می‌رفت، عصاره ریشه شیرین‌بیان نسبت به عصاره صمغ کندر، قابلیت بالاتری در کاهش محصولات اولیه و ثانویه حاصل از اکسیداسیون چربی‌ها در همبرگرهای سرخ‌شده از خود نشان داد، به طوری که در نمونه‌های حاوی ۲٪ از عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین‌بیان، اندیس توتوکس به ترتیب به $0/12 \pm 2/25$ و $0/11 \pm 1/52$ کاهش یافت. بین مقادیر اندیس توتوکس نمونه‌های حاوی ۲٪ عصاره صمغ کندر و ۱٪ عصاره شیرین‌بیان و همچنین نمونه‌های حاوی ۱/۵٪ عصاره شیرین‌بیان و نمونه ترکیبی، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0/05$). محققین اظهار داشتند که ترکیبات فنولی موجود در شیرین‌بیان به‌عنوان حذف‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد و دهنده هیدروژن عمل نموده، لذا به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان مؤثر عمل می‌کنند (۴۸). برخی از مهم‌ترین ترکیبات ثانویه و دارویی ریشه شیرین‌بیان شامل لیکوریتین‌جین^۱، لیکوریتین^۲، ایزولیکوریتین^۳ و ایزولیکوریتین^۴ گزارش شده‌اند که در تحقیقات مختلف به‌عنوان آنتی‌اکسیدان معرفی شده‌اند (۴۹). در تحقیقات مشخص شده است که ریشه شیرین‌بیان به دلیل سنتز بسیاری از متابولیت‌های ثانویه مفید از قبیل ساپونین، فلاوونوئیدها و فنول‌ها، دارای فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی می‌باشند، چرا که تاکنون بیش از ۳۰۰ نوع فلاوونوئید از گونه‌های مختلف شیرین‌بیان جداسازی شده‌اند (۵۰). Sharma و Agrawal (۲۰۱۳)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی شیرین‌بیان را به وجود ترکیبات مهمی نظیر گلیسیریزین، گلیسیریزیک‌اسید، گلابرین A و B، تری‌ترین‌های استرولی، ساپونین و ایزوفلاوون‌ها نسبت دادند (۵۱). مطالعه نشان داده که عصاره صمغ کندر ترکیبات ترپنی و پلی‌فنولی توانایی خوبی در اهداء الکترون و واکنش با رادیکال‌های آزاد دارد، به نحوی که می‌تواند این رادیکال‌ها را به محصولات باثبات‌تر

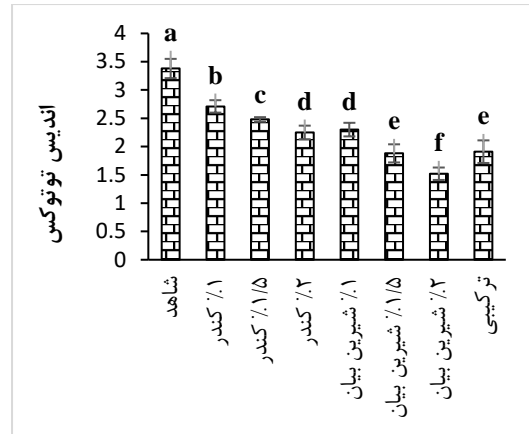
¹ Liquiritigenin

² Liquiritin

³ Isoliquiritigenin

⁴ Isoliquiritin

غلظت عصاره الکلی ریشه شیرین بیان در نمونه‌ها، امتیاز عطروطعم به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$) و کمترین امتیاز را نمونه حاوی ۲٪ عصاره ریشه شیرین بیان کسب نمود ($2/30 \pm 0/48$). نمونه حاوی ترکیب دو عصاره نیز اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نشان نداد ($p > 0/05$). نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری اثر معنی‌داری بر پذیرش کلی همبرگر گوشت گوساله سرخ‌شده داشتند ($p < 0/05$). در جدول ۳، میانگین امتیازات پذیرش کلی نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ‌شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن سطوح مختلف عصاره صمغ کندر به فرمولاسیون همبرگر، تأثیر معنی‌داری بر پذیرش کلی همبرگرهای تولیدی نداشت ($p > 0/05$), درحالی‌که با افزایش غلظت عصاره الکلی ریشه شیرین بیان در نمونه‌ها، امتیاز پذیرش کلی همبرگرها به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$) و کمترین امتیاز را نمونه حاوی ۲٪ عصاره ریشه شیرین بیان کسب نمود ($2/50 \pm 0/21$). نمونه حاوی ترکیب دو عصاره نیز اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نشان نداد ($p > 0/05$). تأثیر عصاره صمغ کندر بر عطروطعم و پذیرش کلی همبرگرها نیز از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، ولی به دلیل وجود ترکیبات دارای طعم شیرین نظیر گلیسیریزین در ریشه شیرین بیان، افزودن سطح بالای عصاره‌ی این گیاه به نمونه‌ها منجر به کاهش معنی‌دار امتیاز عطروطعم و در نتیجه کاهش پذیرش حسی همبرگرهای تولیدی گردید ($p < 0/05$). Babu و همکاران (۲۰۱۷)، مشاهده کردند که افزودن عصاره *Caralluma Fimbriata* میزان آکریل‌آمید در سیب‌زمینی‌های سرخ شده را کاهش داده و پذیرش حسی نمونه‌های تولیدی را افزایش داد (۳۹).



شکل ۶ - مقایسه مقادیر اندیس توتوکس تیمارهای مختلف همبرگر پس از سرخ کردن

ارزیابی حسی

نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری از لحاظ بافت و رنگ همبرگر گوشت گوساله سرخ‌شده نداشتند ($p > 0/05$). در جدول ۳، میانگین امتیازات بافت و رنگ نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ‌شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن سطوح مختلف عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین بیان به فرمولاسیون همبرگر، تأثیر معنی‌داری بر بافت همبرگرهای تولیدی نداشت ($p > 0/05$). نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری از لحاظ عطروطعم همبرگر گوشت گوساله سرخ‌شده نداشتند ($p < 0/05$). در جدول ۳، میانگین امتیازات عطروطعم نمونه شاهد (فاقد عصاره) و همبرگرهای سرخ‌شده‌ی حاوی سطوح مختلف عصاره‌های الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان با یکدیگر مقایسه شده و نشان می‌دهد که افزودن سطوح مختلف عصاره صمغ کندر به فرمولاسیون همبرگر، تأثیر معنی‌داری بر عطروطعم همبرگرهای تولیدی نداشت ($p > 0/05$), درحالی‌که با افزایش

جدول ۳ - نتایج ارزیابی خصوصیات حسی همبرگر گوشت گوساله‌ی سرخ‌شده حاوی عصاره‌های اتانولی

صمغ کندر و ریشه شیرین بیان				
تیمارها	بافت	عطروطمع	رنگ	پذیرش کلی
T0	۴/۸۰ ± ۰/۴۲ ^a	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^{ab}
T1	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^a	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^a
T2	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^{ab}
T3	۴/۸۰ ± ۰/۴۲ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۸۰ ± ۰/۴۲ ^{ab}
T4	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۶۰ ± ۰/۵۲ ^a	۵/۰۰ ± ۰/۰۰ ^a	۴/۶۰ ± ۰/۲۱ ^b
T5	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۳/۳۰ ± ۰/۴۸ ^b	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۳/۳۰ ± ۰/۴۸ ^c
T6	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۲/۳۰ ± ۰/۴۸ ^c	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۲/۵۰ ± ۰/۲۱ ^d
T7	۴/۹۰ ± ۰/۳۲ ^a	۴/۶۰ ± ۰/۵۲ ^a	۴/۸۰ ± ۰/۴۲ ^a	۴/۵۰ ± ۰/۲۱ ^b

*حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در هر ستون می‌باشند ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری

کندر بیشتر کاهش داد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و قدرت کاهندگی آکریل‌آمید در نمونه حاوی ترکیب ۱ درصد عصاره صمغ کندر و ۱٪ عصاره ریشه شیرین بیان مشابه با نمونه حاوی غلظت ۱/۵٪ شیرین بیان به‌تنهایی بود. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌ها بیان کرد که افزودن عصاره‌های صمغ کندر و شیرین بیان به فرمولاسیون همبرگر، تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های حسی بافت و رنگ نداشت. تأثیر عصاره صمغ کندر بر عطروطمع و پذیرش کلی همبرگرهای سرخ‌شده نیز بی‌معنی بود، ولی با افزایش غلظت عصاره شیرین بیان در نمونه‌ها، امتیاز عطروطمع و به دنبال آن امتیاز پذیرش کلی به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$). نتایج این تحقیق در کل نشان داد که هر دو عصاره الکلی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان توانستند به طور قابل‌توجهی سرعت اکسیداسیون و میزان تشکیل آکریل‌آمید در همبرگرهای سرخ‌شده را کاهش دهند، ولی تأثیر عصاره شیرین بیان بالاتر از عصاره صمغ کندر بود. مطلوب‌ترین فعالیت زیست‌فعال در نمونه حاوی ۲٪ عصاره شیرین بیان به دست آمد و نمونه‌های حاوی ۱/۵٪ عصاره شیرین بیان و نمونه ترکیبی در رتبه دوم قرار داشتند. باین حال، به دلیل پذیرش حسی پایین نمونه‌های حاوی ۱/۵ و ۲٪ عصاره شیرین بیان، نمونه ترکیبی به‌عنوان تیمار برتر معرفی گردید.

در این تحقیق، تأثیر عصاره‌های اتانولی صمغ کندر و ریشه شیرین بیان به‌تنهایی و به‌طور ترکیبی بر محتوای آکریل‌آمید، اندیس‌های اکسایشی و ویژگی‌های حسی همبرگر گوشت گوساله‌ی سرخ‌شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن عصاره‌های صمغ کندر و شیرین بیان به فرمولاسیون همبرگر اثر معنی‌داری بر pH نمونه‌های تولیدی نداشت ($p > 0.05$). با افزودن عصاره‌های مذکور به همبرگرها، محتوای آکریل‌آمید در نمونه‌های تولیدی نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت و با افزایش غلظت این عصاره‌ها نیز کاهش معنی‌داری در میزان آکریل‌آمید همبرگرهای سرخ‌شده مشاهده گردید ($p < 0.05$). نتایج حاصل از بررسی اندیس‌های اکسایشی نیز تأییدکننده نتایج محتوای آکریل‌آمید بود، به‌نحوی که با افزایش غلظت عصاره‌های صمغ کندر و ریشه شیرین بیان در نمونه‌ها، به دلیل افزایش غلظت ترکیبات زیست‌فعال، فعالیت آنتی‌اکسیدانی تشدید یافته و از این‌رو، اندیس‌های پراکسید، آنیزیدین، TBA و توتوکس کاهش قابل‌توجهی نشان دادند ($p < 0.05$). از آنجایی که عصاره شیرین بیان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به عصاره صمغ کندر از خود نشان داد، محتوای آکریل‌آمید همبرگرهای سرخ‌شده را نیز نسبت به عصاره صمغ

References

- Berger LM, Witte F, Terjung N, Weiss J, Gibis M. Influence of Processing Steps on Structural, Functional, and Quality Properties of Beef Hamburgers. *Appl Sci*. 2022;12(15):7377.
- Asokapandian S, Swamy GJ, Hajjul H. Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(20):3400–13.
- Gholami F, Rahman A, Mostaghim T. Effects of rosemary and thyme extracts on acrylamide formation in fried beef. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2017;3(4):352-60.
- Abasian Rad AH, Salehifar M, Mostaghim T. The effect of using the bamboo leaf and Oregano (*Mentha logifolia* L.) essential oil on acrylamide content qualitative characteristics in Zwieback. *J Food Technol Nutr*. 2021; 18:61–74.
- Dourado C, Pinto C, Barba FJ, Lorenzo JM, Delgadillo I, Saraiva JA. Innovative non-thermal technologies affecting potato tuber and fried potato quality. *Trends Food Sci Technol*. 2019; 88:274–89.
- Rifai L, Saleh FA. A review on acrylamide in food: occurrence, toxicity, and mitigation strategies. *Int J Toxicol*. 2020;39(2):93–102.
- Kuek SL, Tarmizi AHA, Abd Razak RA, Jinap S, Norliza S, Sanny M. Contribution of lipid towards acrylamide formation during intermittent frying of French fries. *Food Control*. 2020; 118:107430.
- Mesias M, Delgado-Andrade C, Morales FJ. An updated view of acrylamide in cereal products. *Curr Opin Food Sci*. 2022; 46:100847.
- Schouten MA, Tappi S, Angeloni S, Cortese M, Caprioli G, Vittori S, et al. Acrylamide formation and antioxidant activity in coffee during roasting—A systematic study. *Food Chem*. 2021; 343:128514.
- Bachir N, Haddarah A, Sepulcre F, Pujola M. Formation, mitigation, and detection of acrylamide in foods. *Food Anal Methods*. 2022;15(6):1736–47.
- Gomaa AA, Farghaly HA, Abdel-Wadood YA, Gomaa GA. Potential therapeutic effects of boswellic acids/*Boswellia serrata* extract in the prevention and therapy of type 2 diabetes and Alzheimer's disease. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol*. 2021;1–19.
- Noreen S, Mubarik F, Farooq F, Khan M, Khan AU, Pane YS. Medicinal Uses of Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.): A Comprehensive Review. *Open Access Maced J Med Sci*. 2021;9(F):668–75.
- Ahmad SNS, Tarmizi AHA, Razak RAA, Jinap S, Norliza S, Sulaiman R, et al. Selection of vegetable oils and frying cycles influencing acrylamide formation in the intermittently fried beef nuggets. *Foods*. 2021;10(2):257.
- Basaran B, Faiz O. Determining the levels of acrylamide in some traditional foods unique to Turkey and risk assessment. *Iran J Pharm Res IJPR*. 2022;21(1).
- Hasan MK, Ara I, Mondal MSA, Kabir Y. Phytochemistry, pharmacological activity, and potential health benefits of *Glycyrrhiza glabra*. *Heliyon*. 2021;7(6):e07240.
- Kazlauskaite JA, Matulyte I, Marksa M, Lelesius R, Pavilionis A, Bernatoniene J. Application of Antiviral, Antioxidant and Antibacterial *Glycyrrhiza glabra* L., *Trifolium pratense* L. Extracts and *Myristica fragrans* Houtt. Essential Oil in Microcapsules. *Pharmaceutics*. 2023;15(2):464.
- Mancini S, Preziuso G, Dal Bosco A, Roscini V, Szendrő Z, Fratini F, et al. Effect of turmeric powder (*Curcuma longa* L.) and ascorbic acid on physical characteristics and oxidative status of

- fresh and stored rabbit burgers. *Meat Sci.* 2015; 110:93–100.
18. Mekawi EM, Sharoba AM, Ramadan MF. Reduction of acrylamide formation in potato chips during deep-frying in sunflower oil using pomegranate peel nanoparticles extract. *J food Meas Charact.* 2019; 13:3298–306.
19. Heydari Ashkezari M, Salehifar M. Inhibitory effects of pomegranate flower extract and vitamin B3 on the formation of acrylamide during the donut making process. *J Food Meas Charact.* 2019; 13:735–44.
20. Nagpal T, Alam S, Khare SK, Satya S, Chaturvedi S, Sahu JK. Effect of *Psidium guajava* leaves extracts on thermo-lipid oxidation and Maillard pathway born food toxicant acrylamide in Indian staple food. *J Food Sci Technol.* 2021;1–9.
21. Trujillo-Mayol I, Sobral MMC, Viegas O, Cunha SC, Alarcón-Enos J, Pinho O, et al. Incorporation of avocado peel extract to reduce cooking-induced hazards in beef and soy burgers: A clean label ingredient. *Food Res Int.* 2021; 147:110434.
22. Ahmed AF, Attia FAK, Liu Z, Li C, Wei J, Kang W. Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. *Food Sci Hum Wellness.* 2019;8(3):299–305.
23. Vergara H, Cózar A, Rubio N. Lamb meat burgers shelf life: Effect of the addition of different forms of rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L.). *CyTA-Journal Food.* 2021;19(1):606–13.
24. Selani MM, Contreras-Castillo CJ, Shirahigue LD, Gallo CR, Plata-Oviedo M, Montes-Villanueva ND. Wine industry residues extract as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. *Meat Sci.* 2011;88(3):397–403.
25. Akbarmivehie M, Baghaei H. The Effect of Addition Parsnip Herb and its Extract on Momtaze Hamburger Shelf Life. *Eur Online J, Nat Soc Sci* 5 132. 2016;146.
26. Taeymans D, Wood J, Ashby P, Blank I, Studer A, Stadler RH, et al. A review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2004;44(5):323–47.
27. Ciesarová Z, Suhaj M, Horváthová J. Correlation between acrylamide contents and antioxidant capacities of spice extracts in a model potato matrix. *J Food Nutr Res.* 2008;47(1). 1-5.
28. Schieberle P, Köhler P, Granvogel M. New aspects on the formation and analysis of acrylamide. In: *Chemistry and safety of acrylamide in food.* Springer; 2005. p. 205–22.
29. Becalski A, Lau BP-Y, Lewis D, Seaman SW. Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *J Agric Food Chem.* 2003;51(3):802–8.
30. Zhang Y, Xu W, Wu X, Zhang X, Zhang Y. Addition of antioxidant from bamboo leaves as an effective way to reduce the formation of acrylamide in fried chicken wings. *Food Addit Contam.* 2007;24(3):242–51.
31. Soncu ED, Kolsarıcı N, Akoğlu İT, Bektaş G. The effects of vacuum tumbling combined with sodium tripolyphosphate on lipolytic and oxidative changes in beef döner. *GIDA.* 2014; 39 (5): 259-266.
32. Peng X, Ma J, Cheng K-W, Jiang Y, Chen F, Wang M. The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chem.* 2010;119(1):49–53.
33. Fu Z, Yoo MJY, Zhou W, Zhang L, Chen Y, Lu J. Effect of (–)-epigallocatechin gallate (EGCG) extracted from green tea in reducing the formation of acrylamide during the bread baking process. *Food Chem.* 2018; 242:162–8.
34. Mahfouz M, Abd-Elnoor A V, El-Razek A, Ragwa I. The influence of

- adding turnip roots (*Brassica rapa* var. *rapa* L.) powder on the antioxidant activity and acrylamide content in some fried foods. *Alexandria Sci Exch J*. 2019; 40:717–30.
35. Grzesik M, Bartosz G, Stefaniuk I, Pichla M, Namieśnik J, Sadowska-Bartosz I. Dietary antioxidants as a source of hydrogen peroxide. *Food Chem*. 2019; 278:692–9.
36. Petrovic S, Arsic A, Ristic-Medic D, Cvetkovic Z, Vucic V. Lipid peroxidation and antioxidant supplementation in neurodegenerative diseases: a review of human studies. *Antioxidants*. 2020;9(11):1128.
37. Nassan MA, Soliman MM, Aldhahrani A, Althobaiti F, Alkhedaide AQ. Ameliorative impacts of *Glycyrrhiza glabra* root extract against nephrotoxicity induced by gentamicin in mice. *Food Sci Nutr*. 2021;9(7):3405–13.
38. Kochhar SP. Stabilisation of frying oils with natural antioxidative components. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2000;102(8-9):552–9.
39. Babu PAS, Aafrin BV, Archana G, Sabina K, Sudharsan K, Sivarajan M, et al. Effects of polyphenols from *Caralluma fimbriata* on acrylamide formation and lipid oxidation—An integrated approach of nutritional quality and degradation of fried food. *Int J Food Prop*. 2017;20(6):1378–90.
40. Manzoor S, Masoodi FA, Rashid R, Dar MM. Effect of apple pomace-based antioxidants on the stability of mustard oil during deep frying of French fries. *LWT*. 2022; 163:113576.
41. Erickson MD, Yevtushenko DP, Lu Z-X. Oxidation and thermal degradation of oil during frying: a review of natural antioxidant use. *Food Rev Int*. 2022;1–32.
42. Hrebień-Filisińska A. Application of natural antioxidants in the oxidative stabilization of fish oils: A mini-review. *J Food Process Preserv*. 2021;45(4): e15342.
43. Gutiérrez-del-Río I, López-Ibáñez S, Magadán-Corpas P, Fernández-Calleja L, Pérez-Valero Á, Tuñón-Granda M, et al. Terpenoids and polyphenols as natural antioxidant agents in food preservation. *Antioxidants*. 2021;10(8):1264.
44. Manassis G, Kalogianni AI, Lazou T, Moschovas M, Bossis I, Gelasakis AI. Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants*. 2020;9(12):1215.
45. Blasi F, Cossignani L. An overview of natural extracts with antioxidant activity for the improvement of the oxidative stability and shelf life of edible oils. *Processes*. 2020;8(8):956.
46. Abdel-Hamied AA, Nassar AG, El-Badry N. Investigations on antioxidant and antibacterial activities of some natural extracts. *World J Dairy Food Sci*. 2009;4(1):1–7.
47. De Abreu DAP, Losada PP, Maroto J, Cruz JM. Evaluation of the effectiveness of a new active packaging film containing natural antioxidants (from barley husks) that retard lipid damage in frozen Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Food Res Int*. 2010;43(5):1277–82.
48. Viana da Silva M, Santos MRC, Alves Silva IR, Macedo Viana EB, Dos Anjos DA, Santos IA, et al. Synthetic and natural antioxidants used in the oxidative stability of edible oils: An overview. *Food Rev Int*. 2022;38(sup1):349–72.
49. Mishra SK, Belur PD, Iyyaswami R. Comparison of efficacy of various natural and synthetic antioxidants in stabilizing the fish oil. *J Food Process Preserv*. 2022; e16970.
50. Mansour HMM, El-Sohaimy SA, Zeitoun AM, Abdo EM. Effect of natural antioxidants from fruit leaves on the oxidative stability of soybean oil during accelerated storage. *Antioxidants*. 2022;11(9):1691.
51. Sharma V, Agrawal RC. *Glycyrrhiza glabra*-a plant for the

- future. *Mintage J Pharm Med Sci.* 2013;2(3):15–20.
52. Al-Harrasi A, Al-Saidi S. Phytochemical analysis of the essential oil from botanically certified oleogum resin of *Boswellia sacra* (Omani Luban). *Molecules.* 2008;13(9):2181–9.
53. Ribeiro JS, Santos MJMC, Silva LKR, Pereira LCL, Santos IA, da Silva Lannes SC, et al. Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Sci.* 2019; 148:181–8.
54. Viuda-Martos M, Ruiz-Navajas Y, Fernández-López J, Pérez-Álvarez JA. Effect of adding citrus waste water, thyme and oregano essential oil on the chemical, physical and sensory characteristics of a bologna sausage. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2009;10(4):655–60.

The effect of ethanolic extracts of *Boswellia Serrata* gum and *Glycyrrhiza Glabra* root in reducing the oxidation rate and acrylamide content of beef burger under shallow frying conditions

Sahar Yazdanmehr¹, Toktam Mostaghim^{2*}

1- M.Sc. Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: toktammostaghim@yahoo.com

Received: 19/10/2023, Accepted: 24/12/2023

Abstract

The objective of this study was to investigate the utilization of *Boswellia serrata* gum (BSG) and *Glycyrrhiza glabra* root (GGR) alcohol extracts as natural antioxidants for retarding acrylamide formation and lipid oxidation in shallow fried beef hamburger. BSG and GGR extracts separately were added to hamburger formulation at 1.0, 1.5 and 2.0% (w/w) levels and the sample with combination of these extracts (1.0% BSG and 1.0% GGR) also was prepared. Then, the prepared samples were fried at 170°C for 8 min. The obtained results revealed that BSG and GGR alcohol extracts hadn't significant effect on pH of hamburger. BSG and GGR extracts addition (at 2.0% level) respectively reduced the acrylamide formation by 32.95% and 49.87% compared to the control, significantly ($p < 0.05$). By increasing the concentration of BSG and GGR extracts, the oxidation process decreased, so that the peroxide, anisidine, TBA and Totox values of treated samples significantly were lower than control ($p < 0.05$). GGR extract at 2.0% level had the highest antioxidant activity than other samples, and the combined sample and sample with 1.5% GGR extract were at the second place. The sensory evaluation showed that BSG and GGR extracts didn't affect the hamburger's texture and color, while, by increasing the GGR extract concentration in formulation, the flavor and overall acceptability scores significantly were decreased ($p < 0.05$).

Keywords: Hamburger, Acrylamide, Oxidation, *Boswellia serrata* gum, *Glycyrrhiza glabra* root