مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۲ شماره ۴/ سال ۱۴۰۱/ صفحات ۱۰۳ تا ۱۲۰
DOI: 10.22034/FR.2021.46664.1796

اثر پیش تیمار ماکروویو بر راندمان استخراج روغن از دانه گلرنگ و خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله و روغن استحصالی

علی اکبر شاهی چهرق[۱]، زینب رفتنی امیری[۲*] و رضا اسماعیل زاده کناری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۸

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۲] استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

* مسئول مکاتبه: Email: z.raftani@sanru.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: روغن دانه گلرنگ بالاترین مقدار لینولئیک اسید را در میان دانه‌های روغنی داشته و از نظر میزان غیراشباعیت بین روغن سویا و بزرک قرار می‌گیرد. **روش کار**: در این تحقیق به‌عنوان پیش‌تیمار از امواج مایکروویو با توان‌های ۱۸۰، ۳۶۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات، در زمان‌های ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه استفاده شد و توسط سوکسله و حلال ان-هگزان روغن دانه‌های گلرنگ استخراج و خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن و کنجاله حاصل بررسی گردید. **نتایج**: پیش‌تیمار مایکروویو در توان و زمان‌های مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار راندمان استخراج روغن نسبت به نمونه کنترل (بدون تیمار) شد ($P<0.05$). حداکثر میزان روغن استحصالی در پیش تیمار مایکروویو با توان ۶۰۰ وات و زمان‌های ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه مشاهده گردید. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن تولیدی نشان داد که امواج مایکروویو تاثیر زیادی بر ترکیب اسیدهای‌چرب نداشت. در صورت استفاده از زمان ۱۸۰ ثانیه، اثر افزایش توان مایکروویو بر میزان اسیدهای چرب آزاد، فسفاتید و پراکسید روغن معنی‌دار بود. بررسی کنجاله حاصل از روغن‌کشی نشان داد که میزان پروتئین کنجاله، خاکستر کل، خاکستر نامحلول در اسید و فیبر خام، تحت تاثیر این امواج قرار نگرفت. استفاده امواج مایکروویو در اکثر سطوح متغیرها سبب کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز شد، که فاکتوری نامطلوب و ضد تغذیه ای محسوب می‌شود. امواج مایکروویو اثر مطلوبی بر حلالیت و اندیس پراکندگی پروتین (PDI) داشت و سبب افزایش معنی‌دار این فاکتورها شد ($P<0.05$). **نتیجه گیری کلی**: استفاده از مایکروویو به‌عنوان پیش‌تیمار جهت روغن‌کشی از دانه‌های روغنی، می‌تواند در جهت افزایش راندمان استخراج روغن در مقایسه با روش سوکسله استفاده شود، بطوریکه استفاده از این امواج در شرایط بهینه، کمترین اثرات نامطلوب را بر روغن استحصالی داشته و سبب بهبود کیفیت کنجاله خواهد شد.

واژگان کلیدی: روغن گلرنگ، پراکسید، کنجاله، مایکروویو، اندیس پراکندگی پروتئین

مقدمه

گلرنگ از قدیمی‌ترین محصولات زراعی است و اغلب به این دلیل کشت می شود که از گلهای آن برای رنگ آمیزی، تولید طعم دهنده های مواد غذایی، رنگ‌ها، خواص دارویی و خوراک دام، استفاده شود (پیرتی و همکاران ۲۰۱۷). گلرنگ پتانسیل بالایی در تولید روغن داشته و توانایی رشد در دمای بالا، خشکسالی و خاک‌های شور را دارد (حوسین و همکاران ۲۰۱٦). کنجاله و روغن گلرنگ دو محصول اصلی حاصل از دانه گلرنگ می باشند. روغن گلرنگ علاوه بر استفاده در صنایع غذایی، مصارف صنعتی نیز دارد (لیو و همکاران ۲۰۱٦). با افزایش تقاضا برای مواد غذایی با کیفیت و تازه، فنآوری های غیر حرارتی مانند دماهای پایین فرآیند با مدت زمان کوتاه تیمار، به صنایع غذایی وارد شدند که هیچ تغییری در طعم و مواد مغذی ایجاد نشود یا تغییرات به حداقل برسد (راسون و همکاران ۲۰۱۱، بیرمپا و همکاران ۲۰۱۳، پینا پرز و همکاران ۲۰۱٤). در سال‌های اخیر، این فناوری‌ها به شکل گسترده‌ای در فرآوری مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته و توانایی بالقوه‌ای دارد که بطور جزئی یا کامل جایگزین فرآیندهای سنتی شوند (فریور و همکاران ۲۰۱۱). برخی از این فناوری‌ها با ایجاد تغییر در غشای سلولی در استخراج، خشک کردن و دیگر فرایندهای انتقال جرم کاربرد دارند. برای دستیابی به پتانسیل کامل این فناوری‌ها جهت صنعتی کردن و بکارگیری آن در فرآوری مواد غذایی نیاز به تغییر نگرش مصرف‌کنندگان مواد غذایی نسبت به تکنولوژی‌های نوین و نیز ترغیب صاحبان صنایع به‌منظور حرکت در مسیر استفاده از این تکنولوژی‌هاست. این روش‌های نوین که روش‌های استخراج سبز نیز نامیده می شوند از نظر حفظ سلامتی ماده غذایی و مصرف کننده آن بسیار حائز اهمیت هستند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). یکی از تیمارهایی که می‌توان از آن جهت افزایش راندمان استخراج عصاره و روغن گیاهان استفاده کرد امواج ماکروویو است. از مزایای اصلی استفاده از پیش‌تیمار ماکروویو در صنعت روغن، به‌ویژه در مرحله استخراج روغن مطرح است، جایی‌که استفاده از آن سبب کاهش زمان مرحله استخراج و نیز سبب کاهش استفاده از حلال در مقایسه با روش های معمول روغن‌کشی می‌شود (محسنی و همکاران ۲۰۱۹). مطالعه‌ی انجام شده در خصوص استفاده از مایکروویو جهت استخراج روغن سبوس برنج و دانه‌ی روغنی سویا نشان از افزایش راندمان داشت، ضمناً بررسی شاخص های کیفیت روغن (عدد یدی، عدد اسیدی، فسفاتید ها، موم و میزان اسیدهای چرب آزاد) نشان از کیفیت مطلوب روغن تولیدی با روش مایکروویو داشت (تریگر و همکاران ۲۰۱۱). مطالعات بعدی نشان داد که استفاده از فن آوری های جایگزین روش‌های سنتی، به‌صورت جداگانه یا ترکیبی، ممکن است سبب افزایش آنتی اکسیدان چربی دوست، و کاهش آنتی اکسیدان آب دوست شود (آنتونیو و همکاران ۲۰۱۹). هم‌چنین تفاوت معنی داری در ترکیب اسیدهای چرب، مشخصات آسیل گلیسرول و خواص حرارتی روغن اولیفرا، حاصل از روش‌های استخراج سنتی و مایکروویو دیده نشد. علاوه بر این، استخراج به‌کمک مایکروویو، اثر نامطلوبی بر پایداری اکسیداتیو روغن ها نداشت. بنابراین، مایکروویو می‌تواند زمان استخراج را بدون تأثیر زیادی بر کیفیت روغن کاهش دهد (ژونگ و همکاران ۲۰۱۸). از طرفی استخراج اسانس‌های گیاهی در صورت استفاده از تیمارهای ترکیبی فراصوت و مایکروویو کارایی بسیار بالاتری داشت و اثرات منفی زیست محیطی از قبیل انتشار گاز دی اکسید کربن نیز کاهش یافت. ضمناً نتایج حاکی از کاهش مصرف انرژی و افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس‌های تولیدی بود که نشان از مفید بودن امواج مایکروویو و فراصوت جهت استخراج اسانس‌های گیاهی دارد (کریمی و همکاران ۲۰۲۰). در مطالعه ای که بر روی پسته و اثر مایکروویو بر آن انجام شد مشاهده گردید که تفت دادن پسته با این امواج نیروی مورد نیاز برای بریدن پسته را کاهش می دهد. میزان اسیدهای چرب اشباع نشده نسبت به آجیل های تولید شده با هوای

گرم بیشتر بود و مقدار محتوای فنل کل با افزایش سطح متغیر زمان و توان MW افزایش یافت (حجتی و همکاران ۲۰۱۵). از طرفی برشته شدن بادام وحشی با مایکروویو نیز نتایج خوبی را به همراه داشت و کیفیت نمونه های برشته شده به کمک امواج مایکروویو مشابه نمونه های مربوط به روش های سنتی بود. ضمناً استفاده از مایکروویو با توان ٤٨٠ وات به‌مدت ٤ دقیقه سبب افزایش روغن بادام، بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و ویژگی های حسی، افزایش ترکیبات فرار و اسیدهای چرب غیراشباع نسبت به روش‌های سنتی شد (حجتی و همکاران ۲۰۱٦). در این مطالعه به بررسی امکان استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو و تعیین بهترین شرایط پیش‌تیمار پرداخته شد. در انتها پروفایل اسیدهای چرب روغن جهت بررسی تاثیر مایکروویو بر آن تعیین شد. اثر تیمار دانه‌های روغنی مختلف با امواج مایکروویو بسته به نوع دانه می‌تواند متفاوت باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی اثر مایکروویو بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن و کنجاله‌ی حاصل از دانه گلرنگ و مقایسه آن با روش سوکسله بود.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی و تجهیزات

دانه‌های روغنی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، از نوع ژنوتیپ اصلاحی مربوط به واریته A1 از شهرستان قم تهیه و به دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری انتقال یافت. محلول‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده در این پروژه، تولیدی شرکت تجاری شالوی اسپانیا بودند.

آماده سازی نمونه

دانه‌های گلرنگ پس از تهیه و بوجاری، در دمای یخچال (٤°C) نگهداری شدند.

پیش تیمار مایکروویو (MW)

از امواج مایکروویو (LG-LF 5902SCR، کره) با قدرت ۱۸۰، ۳٦۰، ٦۰۰ و ۹۰۰ وات، جهت پیش‌تیمار دانه‌های گلرنگ استفاده شد و برای این منظور دانه‌ها در پتری دیش‌های شیشه‌ای بطور یکنواخت پخش شده و جهت اعمال تیمارهای ذکر شده در بالا از بازه‌های زمانی ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه استفاده شد (بخش‌آبادی و همکاران ۲۰۱۷).

استخراج روغن با سوکسله (SE)

جهت استخراج روغن با روش سوکسله، ۱۵ گرم از نمونه خرد شده بطور دقیق توزین شد و با استفاده از دستگاه سوکسله با استفاده از ۲۵۰ میلی لیتر حلال ان- هگزان در فلاسک‌های با وزن مشخص، به‌مدت ۸ ساعت روغن-گیری شد. سپس توسط تبخیر کننده چرخشی تحت خلا (IKA, HB 10، آلمان)، در دمای ٤٥ درجه، حلال از روغن جدا شده و به مدت یک ساعت در آون (Memert UFLLO، آلمان) با درجه حرارت ۸٥C° قرار گرفت تا روغن عاری از حلال شود (ژانگ و همکاران ۲۰۰۹).

آزمون های فیزیکوشیمیایی روغن

راندمان استخراج روغن

راندمان استخراج روغن از رابطه [۱]، با تقسیم مقدار روغن تولیدی بر وزن دانه اولیه تعیین شد (عبدالله وهمکاران ۲۰۱۲).

$$R = \frac{Q}{X} \times 100 \qquad [۱]$$

R: راندمان روغن‌کشی (درصد)، Q: مقدار روغن استخراج شده (گرم)، X: وزن دانه های اولیه (گرم).

میزان اسیدهای چرب آزاد (FFA)

جهت تعیین مقدار اسیدهای چرب آزاد، از استاندارد AOCS به شماره Cd 3d-63 استفاده شد. ابتدا روغن توزین و الکل خنثی شده برای حل شدن روغن اضافه شد. سپس کمی گرم شد و با افزودن معرف فنل فتالئین، محتوای اسیدهای چرب آزاد با تیتراسیون نمونه در برابر محلول هیدروکسیدسدیم، از رابطه [۲] محاسبه شد.

$$FFA\ \% = \frac{V \times N \times 282}{W} \times 100 \qquad [۲]$$

FFA%: اسید چرب آزاد برحسب اسید اولئیک (g/100g) ، V: حجم سود مصرفی، N: نرمالیته سود، ۲۸۲: جرم مولکولی اسید اولئیک (g/mol) و W: جرم نمونه

عدد پراکسید (PV)

پراکسید روغن مطابق استاندارد AOCS با شماره Cd 8b-90 از طریق تیتراسیون با تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال در حضور یدید پتاسیم و معرف نشاسته، از رابطه [۳] محاسبه شد.

$$\text{Peroxide value (PV)} = \frac{(V-B)\times N}{W} \times 100 \qquad [۳]$$

V: حجم تیوسولفات مصرفی نمونه، B: حجم تیوسولفات مصرفی شاهد، N: نرمالیته تیوسولفات و W: جرم نمونه

تعیین عدد تیوباربیتوریک اسید (TBA)

جهت تعیین TBA به‌روش رنگ‌سنجی و مطابق استاندارد AOCS، شماره Cd 19-90 عمل شد. مقدار جذب نمونه (A) و شاهد (B) با دستگاه اسپکتروفتومتر (Alpha-1502، آمریکا) در محدوده ۵۳۲ نانومتر در مقابل آب مقطر خوانده شده و مقدار TBA (میلی گرم مالون دی آلدهید در کیلوگرم روغن) از رابطه [٤] محاسبه شد:

$$\text{TBA} = \frac{50\times(A-B)}{W} \qquad [٤]$$

A: میزان جذب نمونه، B: میزان جذب شاهد وW: جرم نمونه بر حسب گرم

آزمون فسفاتید روغن

فسفاتید روغن از استاندارد AOCS، شماره Ca 12-25 به‌دست آمد. پس از صفرکردن اسپکتروفتومتر در طول موج ٦٥٠ نانومتر، با استفاده آب مقطر، مقدار جذب نمونه و شاهد را به‌دست آورده و نهایتاً میزان فسفر تعیین شد، عدد حاصل را در ۳۰ ضرب کرده و فسفاتید روغن به‌دست آمد (ژن شان و همکاران ۲۰۲۰).

تعیین عدد یدی (IV)

مقدار عدد یدی از روش AOAC 920-158 تعیین شد. ۰/۵ تا ۱ گرم نمونه در ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری توزین شد. و با استفاده از روش هانوس و تیتراسیون با محلول استاندارد تیوسولفات سدیم طبق رابطه [۵] محاسبه شد.

$$\text{Iodine value} = \frac{(B-S)\times N\times 126.9}{W} \times 100 \qquad [۵]$$

B: حجم محلول مصرفی شاهد، S: حجم مصرفی نمونه، N: نرمالیته، W: جرم نمونه، ۱۲٦/۹: وزن مولکولی ید

تعیین ضریب شکست روغن(RI)

ضریب شکست روغن با دستگاه رفراکتومتر (OPTECH، آلمان)، در دمای محیط، طبق استاندارد AOCS، روش Cc 7-25 A انجام شد (بخش‌آبادی و همکاران ۲۰۱۷).

تعیین عدد صابونی(SV)

مقدار عدد صابونی روغن با روش AOCS cd 3-25، پس از انجام دقیق مراحل آزمون، از طریق رابطه [٦] تعیین شد (کورات و همکاران ۲۰۲۱).

$$\text{Saponification value} = \frac{(B-S)\times N\times 56.1}{W} \qquad [٦]$$

B: حجم اسید مصرفی شاهد (ml)، S: حجم اسید مصرفی نمونه (ml)، N: نرمالیته اسید کلریدریک، ٥٦/١: وزن مولکولی هیدروکسید پتاسیم، W: جرم نمونه (g)

تعیین رنگ لاویباند (LC)

تعیین رنگ با هدف سنجش رنگ روغن و بررسی تغییر رنگ احتمالی در نتیجه پی تیمار مایکروویو، با استفاده از دستگاه لاویباند (Lovibond-F، انگلیس) و سل یک اینچی، مطابق استاندارد AOCS ، شماره CeBe-92 انجام شد.

تعیین پروفایل اسیدهای چرب

تعیین پروفایل اسیدهای چرب روغن مطابق استاندارد AOCS، شماره Ce 1b-89 انجام شد. به‌منظور اطمینان از اندازه‌گیری های کمی، مشتق سازی ترکیبات در کروماتوگرافی گازی الزامی است. بنابراین ابتدا مشتق‌سازی اسیدهای چرب به متیل استر آن‌ها با حلال ان‌هگزان و محلول پتاس متانولی (با کمی تغییرات)، جهت حذف مواد صابونی و مواد غیر قابل صابونی انجام گرفت، زیرا در صورت عدم حذف این مواد، در آنالیز اسیدهای چرب مشکل ایجاد می‌شود. سپس ۱۰۰ میکرولیتر متوکسید سدیم ۰/۵ نرمال به ترکیب حاصل اضافه شد و نمونه یک دقیقه به شکل ثابت قرار گرفت تا دو فاز شود .اسیدهای چرب متیله شده در فاز هگزان قرار داشته و فاز رویی به لوله دیگری که حاوی سولفات سدیم بود منتقل و ۱ میکرولیتر از آن به دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-Varian cp3800، آمریکا) با آشکارساز FID تزریق شد. در این مطالعه شرایط

دستگاه کروماتوگرافی گازی شامل دمای ستون C ۱۷۵° به‌صورت ایزوترمال، زمان برنامه ۳۰ دقیقه، دمای آشکارساز C ۲۷۰°، دمای انژکتور (محل تزریق)C ۲۵۰° و حجم تزریق یک میکرولیتر بود.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی کنجاله

میزان پروتئین کنجاله

پروتئین کنجاله با دستگاه کجلدال (Behre-Germany) و مطابق استاندارد AOCS، روش Ba 4d-90 تعیین شد. پس از توزین نمونه، کاتالیزور و اسید سولفوریک غلیظ اضافه شده و مرحله هضم انجام شد. عصاره شفاف حاصل وارد مرحله تقطیر شد و در پایان با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تیتر شد. طبق رابطه [۷] ازت کل محاسبه و با استفاده از ضریب پروتئین (٦/۲۵) پروتئین کنجاله به‌دست آمد.

ضمناً میزان پروتئین دانه کامل گلرنگ نیز قبل از روغن‌گیری اندازه‌گیری شد و ۱۷/۳ درصد به‌دست آمد.

$$\text{Total N} = \frac{14\times V\times \text{N}}{\text{W}} \times 1000 \qquad [۷]$$

V: حجم اسید مصرفی، N: نرمالیته اسید، ۱٤: وزن مولکولی نیتروژن و W: جرم نمونه

خاکستر کل (Total Ash)

میزان خاکستر کل مطابق استاندارد AOCS، روش Ba 5-49، پس ازسوزاندن نمونه‌ها وقراردادن در کوره با دمای ۵۵۰ درجه، محاسبه شد.

خاکستر نامحلول در اسید (AIA)

نمونه به‌دست آمده از روش آزمون خاکستر جهت تعیین میزان خاکستر نامحلول در اسید استفاده شد. برای این منظور استاندارد AOCS، شماره Ba 5b-68 به‌کار برده شد.

تعیین میزان فیبر خام (CF)

میزان فیبر خام نمونه‌های مورد آنالیز با استفاده از استاندارد AOCS، روش Ba 6a-05 به‌دست آمد.

تعیین ازت فرار کل (TVN)

جهت تعیین TVN از تقطیر نمونه، بدون سود، در حضور اکسید منیزیم و جمع‌آوری ازت به‌شکل گازهای آمونیوم در اسید بوریک عمل شده و در پایان با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تیتر شد. نتایج طبق رابطه [۹] به‌دست آمد.

$$\text{TVN} = \frac{V\times N\times 14}{\text{W}} \times 100 \qquad [۹]$$

V: حجم اسید مصرفی، N: نرمالیته اسید مصرفی، ۱٤: وزن مولکولی نیتروژن و W: جرم نمونه

اندازه گیری میزان فعالیت اوره‌آز (Urease)

برای تعیین اوره‌آز، طبق استاندارد AOCS، روش Ba 9-58 و به‌صورت اندازه‌گیری اختلاف pH عمل شد.

بازدارنده تریپسین

سنجش میزان بازدارنده تریپسین طبق استاندارد AOCS ، شماره 40-22 انجام شد (محمدا و همکاران ۲۰۲۱).

پروتئین قابل حل در هیدروکسید پتاسیم (SP)

از تقسیم درصد پروتئین خام نمونه حل شده در هیدروکسید پتاسیم ۰/۲ درصد بر پروتئین خام نمونه اولیه، حلالیت پروتئین در هیدروکسید پتاسیم به‌دست آمد و به‌صورت درصد بیان شد (ارداو و همکاران ۲۰۱٦).

اندیس پراکندگی پروتئین (PDI)

جهت بررسی تاثیر تیمارها بر پروتئین کنجاله از تست اندیس پراکندگی پروتئین استاندارد AOCS، روش Ba 10-65 استفاده شد. مقداری از نمونه کنجاله را با آب مقطر مخلوط کرده و پس از سانتریفوژ کردن، از مایه رویی جهت سنجش پروتئین با روش کجلدال استفاده شد و طی تقسیم آن بر پروتئین کل، **PDI**[1] به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

بررسی‌های آماری توسط نرم افزار Spss نسخه ۲۳ و توسط طرح کاملا تصادفی و آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) انجام شد. مقایسه میانگین‌های حاصل از سه تکرار، توسط آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام پذیرفت.

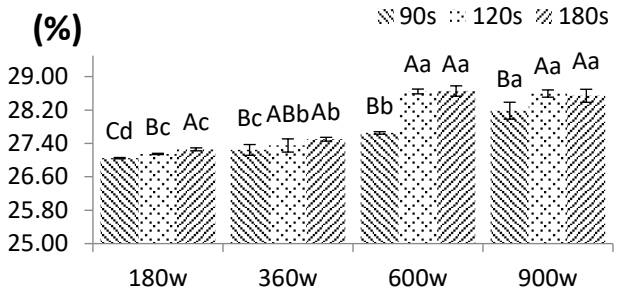
[1] Protein dispersibility index

نتایج و بحث

در این بخش ابتدا به بررسی اثرات امواج مایکروویو در سطوح مختلف متغیرهای زمان و توان مایکروویو بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن و کنجاله حاصل از دانه گلرنگ پرداخته شد و در ادامه این نتایج با نتایج مربوط به نمونه‌ی کنترل (روش سوکسله) مقایسه گردید.

اثر پیش تیمار مایکروویو بر روغن استحصالی راندمان استخراج روغن (Oil Efficiency)

اثر متغیرهای مایکروویو، شامل توان و زمان این تیمار بر راندمان استخراج روغن در نمودار شماره یک آمده است. تغییرات راندمان استخراج در همه‌ی توان‌ها و زمان‌های مورد مطالعه معنی‌دار و افزایشی بود. حداکثر میزان روغن استحصالی، بطور میانگین (٪ ۲۸/٦٥) و مربوط به توان ٦۰۰ وات و زمان‌های ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه به‌دست آمد و پس از آن تغییر قابل توجهی مشاهده نشد. درصورت استفاده از توان ۹۰۰ وات، با افزایش زمان تیمار از ۱۲۰ ثانیه به بالا، راندمان استخراج کاهش یافت که نشان از تاثیر منفی توان بالا در مدت زمان طولانی تر (۱۸۰ ثانیه) بر راندمان استخراج روغن گلرنگ دارد. استفاده از امواج مایکروویو سبب تبخیر آب لایه‌های زیرین و افزایش فشار داخلی شده، سلولهای گیاهی آسیب دیده و ضریب انتقال جرم افزایش می‌یابد. این امر موجب افزایش راندمان استخراج می‌شود. از طرفی تحقیقات نشان داد که استفاده از مایکروویو در شرایط بهینه موجب افزایش کارایی استخراج شد اما استفاده از امواج با شدت بالا، موجب کاهش استخراج ترکیبات هدف می‌شود (دوردویک و همکاران ۲۰۱۷).



شکل ۱- مقایسه راندمان استخراج روغن با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو

Fig 1- Oil efficiency from safflower oilseed under different MW pretreatment

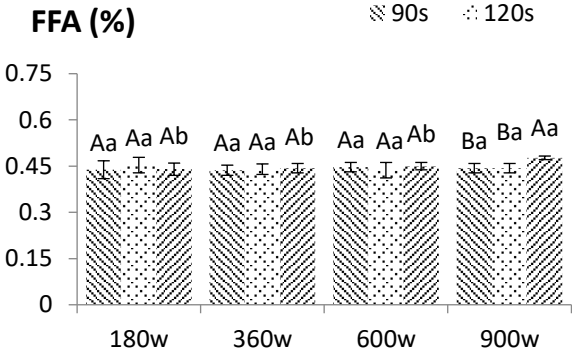
Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at ($P<0.05$).

مقیمی و همکاران، ۱۳۹٦، با مطالعه بر روی استخراج روغن از دانه‌های کتان با استفاده از پیش تیمار ماکروویو در مدت زمانهای ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ ثانیه و توانهای ۱۸۰، ٥٤۰ و ۹۰۰ وات، پی بردند که پیش‌تیمار مایکروویو بر راندمان روغن کتان اثر مثبت گذاشت که با مطالعه فوق مطابقت داشت. تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۱ درخصوص استخراج روغن از دانه‌های سویا و برنج تحت تاثیر مایکروویو انجام شد و نتایجی مشابه این تحقیق را گزارش کردند (تریگر و همکاران ۲۰۱۱).

اسیدهای چرب آزاد (FFA)

نتایج حاصل از مقایسه میزان اسیدهای چرب آزاد در نمودار شماره ۲ آورده شد. کمترین مقدار FFA مربوط به زمان ۹۰ ثانیه و توان ۱۸۰ وات بود. افزایش توان از ۱۸۰ به ۹۰۰ وات باعث افزایش FFA شد. علت این افزایش را به تجزیه شیمیایی تری‌گلیسریدها در اثر افزایش درجه حرارت، در هنگام استفاده از مایکروویو نسبت دادند. تحلیل داده‌های آماری نشان داد که FFA روغن در صورت استفاده از زمان‌های ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه، در هیچ یک از توان‌های مورد مطالعه تحت تاثیر قرار نگرفت. درصورت استفاده از زمان ۱۸۰ ثانیه، افزایش توان تیمار اثر معنی‌داری بر این فاکتور گذاشت. هم‌چنین وقتی از توان ۹۰۰ وات استفاده شد، افزایش زمان، تاثیر معنی‌داری بر FFA روغن گذاشت. آنزیم‌های لیپولیتیک در شرایط عادی قادر نیستند به چربی‌ها حمله کنند اما اگر

شرایط معمول نگهداری تغییر کند، مانند اعمال پیش‌تیمار مایکروویو، تغییرات فیزیکی در سلول ایجاد شده و آنزیم‌ها را فعال خواهد کرد (قوامی و همکاران ۲۰۰۳). افزایش میزان اسیدهای چرب آزاد، بدون شک ناشی از شکستن اتصالات استری مولکول‌های تری گلیسریدی، طی اعمال تیمار است (فرزانه و همکاران ۲۰۱۵). نتایج این بخش با نتایج به دست آمده در تحقیقات قبلی که بر روی هسته انبه و برخی دیگر از دانه‌های روغنی مانند هسته انگور و دانه روغنی آفتابگردان انجام شده بود، تطابق داشت (ولدسینک و همکاران ۱۹۹۹).



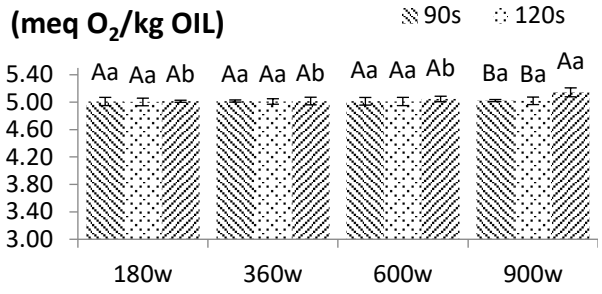
شکل ۲- مقایسه میزان اسیدهای چرب آزاد روغن حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

Fig 2- FFA of safflower oil under different MW pretreatment

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at (P<0.05).

عدد پراکسید (PV)

نتایج پراکسید روغن در نمودار شماره ۳ آورده شد. درصورت استفاده از زمان‌های ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه، در هیچ‌یک از توان‌های مورد مطالعه، عدد پراکسد تحت تاثیر قرار نگرفت. استفاده از زمان ۱۸۰ ثانیه سبب افزایش معنی‌دار این فاکتور شد. در توان ۹۰۰ وات، افزایش زمان تیمار، تاثیر معنی‌داری بر روی میزان پراکسید روغن داشت.



شکل ۳- مقایسه میزان عدد پراکسید روغن حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

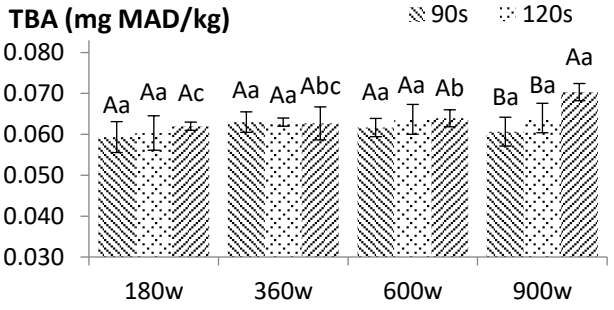
Fig 3- PV of Oil under different MW pretreatment

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at (P<0.05).

دن هانگ و همکاران، ۲۰۲۰، گزارش کردند که پیش‌تیمار مایکروویو موجب از دست رفتن بخشی از آنتی اکسیدان‌های موجود در روغن شده و باعث افزایش مقدار پراکسید روغن و کاهش کیفیت آن می‌شود.

عدد تیوباربیتوریک اسید (TBA)

عدد پراکسید به‌تنهایی مشخص کننده اکسیداسیون روغن نیست، زیرا شاخصی از وجود محصولات اولیه اکسیداسیون بوده و تولید محصولات ثانویه را مشخص نمی‌کند. لذا وجود آزمونی نظیر تعیین TBA ضروری است (دهقان و همکاران، ۱۳۹۶، مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج آزمون TBA در نمودار شماره ۵ آورده شد. تغییرات این فاکتور در اکثر شرایط پیش تیمار معنی‌دار نبوده و با نتایج مربوط به پراکسید روغن هم‌خوانی دارد، در توان ۹۰۰ وات، با افزایش زمان، تغییرات TBA معنی‌دار شد. درصورت استفاده از زمان ۱۸۰ ثانیه، با افزایش توان مایکروویو تغییرات TBA معنی‌دار شده و روند افزایشی مشاهده شد.



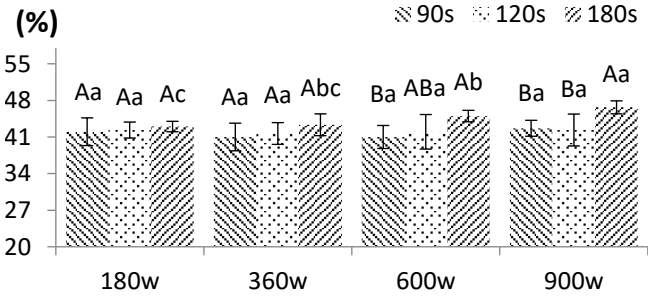
شکل ۴- مقایسه میزان TBA روغن حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

Fig 4- TBA of Oil under different MW pretreatment.

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at (P<0.05).

فسفاتید روغن

نمودار شماره ٤ تاثیر مایکروویو را بر فسفاتید روغن نشان می‌دهد. افزایش توان مایکروویو سبب بالارفتن فسفاتید روغن شده و این افزایش در توان‌های ٦٠٠ و ٩٠٠ وات معنی‌دار بود. استفاده از زمان ١٨٠ ثانیه تغییرات معنی‌داری را در فسفاتید روغن موجب شد. بیشترین میزان فسفاتید برای زمان ١٨٠ ثانیه و به ترتیب در توان‌های ٩٠٠ و ٦٠٠ وات گزارش شد.



شکل ۵- مقایسه میزان فسفاتید روغن حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

Fig 5- Phosphatide of oil under MW pretreatment

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at (P<0.05).

عدد یدی و ضریب شکست

عدد یدی میزان اشباعیت روغن را نشان می‌دهد و اغلب، از آن جهت نشان دادن پایداری روغن در هنگام گرم شدن استفاده می‌شود، زیرا روغن‌هایی که درجه غیراشباعیت بالاتری دارند در برابر اکسیداسیون گرمایی ناپایدارتر هستند (آچاچویی و همکاران ٢٠١٩). مقادیر عدد یدی به‌دنبال افزایش زمان و توان مایکروویو روند افزایشی داشت. اما این تغییرات معنی‌دار نبود. در هر یک از توان‌های مورد مطالعه، افزایش زمان تیمار سبب افزایش ضریب شکست شد اما تغییرات معنی‌دار نبود. مقدار ضریب شکست روغن حاصل از روش مایکروویو در محدوده ١/٤٧٣ تا ١/٤٧٤ به‌دست آمد. عدم تغییر در مقدار ضریب شکست روغن را می‌توان با تشابه در ترکیب اسیدهای چرب بین نمونه‌های تیمار شده و کنترل مرتبط دانست که در ادامه به آن اشاره خواهد شد. نتایج این بخش با نتایج یوکیچ و همکاران ٢٠٠٨، بخش آبادی و همکاران ٢٠١٧ و تقوایی و همکاران ٢٠١٤ مطابقت داشت. هیوگو و همکاران ٢٠٢١، نشان دادند که تیمار دانه‌های باکابا توسط امواج مایکروویو در زمان‌های کم (تا ٥ دقیقه) تغییری در ضریب شکست روغن آن ایجاد نکرد، اما با افزایش زمان تیمار، روند ضریب شکست نزولی شد.

عدد صابونی

از آنجا که تعیین مقدار عدد صابونی (SV) روغن ها برای تخمین کیفیت آنها بسیار مهم است. قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو برای مدت زمان طولانی تر یا با قدرت بالاتر می‌تواند بر کیفیت روغن تأثیر بگذارد (هیوگو و همکاران ٢٠٢١). افزایش توان مایکروویو در دمای معین سبب افزایش عدد صابونی شد. هم‌چنین در توان‌های معین نیز با افزایش زمان تیمار، مقادیر مربوط به این فاکتور افزایش یافت. بیشترین میزان تغییرات مربوط به زمان ١٨٠ ثانیه بود. اثر متغیرهای مختلف بر این فاکتور، در هیچ‌یک از توان‌ها و زمان‌های مورد مطالعه معنی‌دار نبود. مطالعات قبلی که برروی دانه انگور کار کرده بودند و از امواج مایکروویو جهت استخراج روغن آن بهره بردند، نشان داد که در اثر اعمال مایکروویو، عدد صابونی افزایش یافت و برخلاف نتایج این بخش، تغییرات عدد صابونی معنی‌دار بود (دیو اوماه و همکاران ١٩٩٨). در تحقیق دیگری با بررسی تاثیر

مایکروویو بر استخراج روغن از دانه چیتا نشان داده شد که درصورت استفاده از مایکروویو با توان ۷۵۰ و ۹۰۰ وات، تغییرات عدد صابونی معنی‌دار شد (اوزکانا و همکاران ۲۰۱۹). انجوم و همکاران ۲۰۰٦، با مطالعه اثر مایکروویو بر روغن آفتابگردان، نشان دادند که وقتی دانه‌ها بیشتر از ۱۵ دقیقه تحت تیمار قرار گرفتند افزایش عدد صابونی معنی‌دار شد.

رنگ لاویباند (LC)

رنگ روغن یکی از خواص فیزیکی و مهم روغن بوده و نقش مهمی در پذیرش نوری روغن‌ها دارد. نتایج بررسی رنگ روغن نشان داد که رنگ قرمز (R) با افزایش زمان و توان مایکروویو افزایش یافت، اما در هیچ‌یک از بازه‌های زمانی و دمایی معنی‌دار نبوده و در محدوده ٤ الی ٤/٢ بود. رنگ زرد (Y) نیز تغییرات معنی‌داری نداشت.

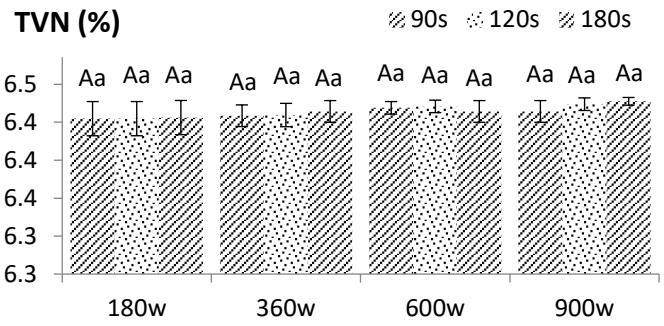
اثر مایکروویو بر خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله

پروتئین، خاکستر و فیبر کنجاله

محتوای پروتئین کنجاله حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو بطور میانگین ۲۲/۵ درصد بود و در هیچ‌یک از زمان‌ها و توان‌های مورد مطالعه تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. آزمون خاکستر، معیاری از میزان املاح نمونه بوده و شامل خاکستر کل و خاکستر نامحلول دراسید است. نتایج خاکستر کل تغییرات معنی‌داری را نشان نداد. محدوده‌ی گزارش شده بین ۵/۹ الی ٦ درصد بود. خاکستر نامحلول در اسید نیز تغییرات چندانی نداشته و ۰/۹٤ تا ۰/۹۷ گزارش شد. نتایج فیبر کنجاله هم بین ۳۳/۸ الی ۳۳/۹۵ به‌دست آمد که تغییرات معنی‌داری را نشان نداد.

TVN

TVN از فاکتورهای نامطلوب در فراورده‌های پروتئینی بوده و نشان دهنده تجزیه پروتئین و تشکیل آمونیاک یا سایر ترکیبات پایه‌ای پروتئین، حین فرایند است که کیفیت کنجاله را تحت تاثیر قرار داده و سبب کاهش دسترسی به آمینواسیدها می‌شود (فلاح و همکاران ۲۰۱٦).



شکل ۶- مقایسه TVN کنجاله‌ی حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

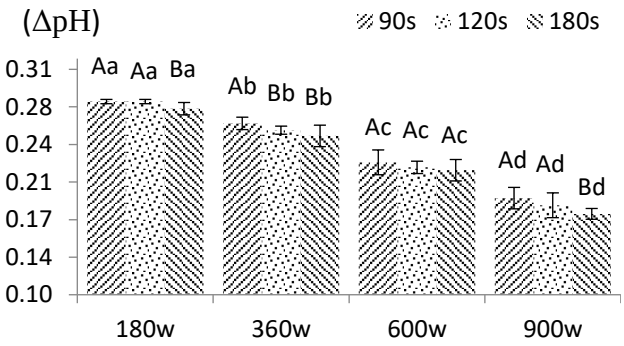
Fig 6 TVN of meal under different MW pretreatment

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at ($P<0.05$).

نمودار شماره ۷ نتایج مربوط به آزمون TVN را نشان می‌دهد. مقادیر مربوط به این فاکتور تحت تاثیر توان و زمان‌های مختلف پیش‌تیمار، افزایش نشان داد. بیشترین تغییرات مربوط به وقتی بود که نمونه‌ی مورد نظر زمان طولانی‌تری در معرض امواج مایکروویو قرار گرفت. تغییرات TVN در هیچ یک از سطوح متغیرها معنی‌دار نبوده و همواره در محدوده‌ی ٦/٤ الی ٦/٥ قرار داشت.

اوره آز

سنجش میزان اوره‌آز، به‌عنوان شاخصی غیرمستقیم جهت تعیین وجود عوامل ضد تغذیه‌ای استفاده می‌شود که نشان دهنده پایین بودن شرایط دمایی و فراوری دمایی ناقص است. درواقع میزان اوره‌آز کنجاله شرایط و شدت فرآوری محصول را مشخص می‌کند (آرابا و همکاران ۱۹۹۰). نتایج مربوط به اوره‌آز در نمودار شماره ۷ دیده می‌شود. طی افزایش توان و زمان تیمار، میزان اوره‌آز کاهش یافت و این تغییرات در همه‌ی زمان‌های مورد مطالعه، با افزایش توان امواج معنی‌دار بود و در اکثر توان‌های مایکروویو نیز با افزایش زمان، تغییرات معنی‌داری مشاهده شد.



شکل ۷- مقایسه فعالیت اوره‌آز کنجاله‌ی حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

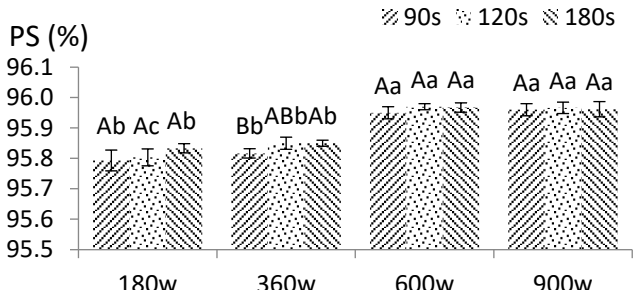
Fig 7- Urease of Meal under MW pretreatment

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at (P<0.05).

ماتئوس و همکاران، ۲۰۰۳، گفتند که فرایند حرارتی برای بهبود قابلیت هضم پروتئین ضروری است اما حرارت اضافی نیز سبب بروز واکنش میلارد و کاهش قابلیت دسترسی اسیدهای آمینه ضروری، پروتئین و انرژی قابل متابولیسم می‌شود. این محققین اثر فرایندهای گوناگون حرارتی را بر روی عوامل ضد تغذیه‌ای دانه‌های گیاهی بررسی کردند. یکی از تکنولوژی‌های مورد مطالعه امواج مایکروویو بود. استفاده از این امواج سبب کاهش اوره‌آز شد و با نتایج این بخش از تحقیق مطابقت داشت.

حلالیت پروتئین در هیدروکسید پتاسیم (PS)

میزان حلالیت پروتئین در محلول ۰/۲ درصد هیدروکسید پتاسم شاخص خوبی از کیفیت پروتئین بوده و معیاری است که شرایط فرایند را مشخص می‌کند. براساس نمودار شماره ۸، افزایش توان مایکروویو اثر مثبتی بر حلالیت پروتئین داشت و بالاترین میزان حلالیت در توان ۶۰۰ وات و زمان‌های ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه به‌دست آمد. افزایش بیشتر توان تاثیر چندانی بر PS نداشته و کاهش جزئی در این فاکتور را به‌دنبال داشت. بررسی متغیر زمان نیز نتایج مشابهی را نشان داد، در زمان‌های مورد مطالعه، افزایش توان موجب بالارفتن حلالیت شد که این تغییرات برای زمان‌های ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه تا توان ۳۶۰ وات معنی‌دار نبود اما با رسیدن توان مایکروویو به ۶۰۰ وات تغییرات معنی‌داری مشاهده شد و در توان ۹۰۰ وات کمی پایین آمد که معنی‌دار نبود. در زمان ۱۲۰ ثانیه، استفاده از توان ۱۸۰ تا ۶۰۰ وات باعث افزایش معنی‌دار PS شد ولی تغییر توان مایکروویو از ۶۰۰ به ۹۰۰ وات سبب کاهش جزئی PS شد.



شکل ۸- مقایسه حلالیت پروتئین مربوط به کنجاله‌ی حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

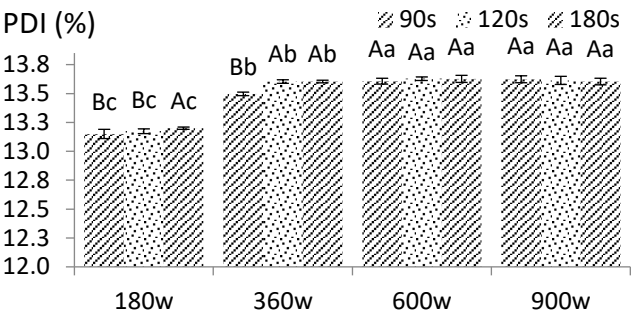
Fig 8- PS of Meal under different MW pretreatment

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at (P<0.05).

بر اساس ادعای تارونا و همکاران، ۲۰۱۹، استفاده از مایکروویو در مقایسه با روش‌های معمول، مانند تزریق بخار، یک روش گرم کردن سریع است. بنابراین گرمایش مایکروویو باعث می‌شود ساختارهای پروتئینی زمان بسیار کمی در معرض دماهای بالا قرار گرفته و سبب کاهش دناتوراسیون و افزایش حلالیت پروتئین می‌شود. از طرفی استفاده از توان‌های بالاتر و یا زمان طولانی‌تر پیش‌تیمار مایکروویو موجب افزایش دناتوراسیون پروتئین، طی افزایش دما شده و تشکیل اسیدهای آمینه آبگریز بیشتری را در پی دارد. در نتیجه حلالیت پروتئین کاهش می‌یابد. کاهش حلالیت پروتئین طی زمان‌های بالاتر تیمار توسط نویسندگان مختلف مشاهده و گزارش شده است. کاهش PS طی افزایش توان مایکروویو، به افزایش سرعت گرمایش نسبت داده شد. علت این موضوع، افزایش جریان انرژی امواج است که از میان مولکول‌های آب اتفاق افتاده و باعث گرمایش شدیدی می‌شود، لذا دناتوراسیون پروتئین افزایش و حلالیت پروتئین کاهش می‌یابد (توسباکی و همکاران ۲۰۱۸).

PDI

براساس نمودار شماره ۹ افزایش توان و زمان پیش‌تیمار مایکرویو اثر مثبتی بر میزان PDI کنجاله داشت.



شکل ۹- مقایسه‌ی PDI کنجاله‌ی حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو

Fig 9- PDI of Meal under different MW pretreatment

Different capital letters in each Power and small letters in each Time indicate significant statistical differences at (P<0.05).

بیشترین تغییرات و افزایش PDI در توان های ۶۰۰ و ۹۰۰ وات به‌دست آمد. در این توان‌ها، بین سطوح مختلف متغیر زمان تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش زمان تیمار در توان‌های پایین سبب بالارفتن مقدار PDI شد و بالاترین مقادیر مربوط به زمان ۱۸۰ ثانیه بود. درصورت استفاده از توان ۹۰۰ وات، افزایش زمان تیمار سبب کاهش جزئی در میزان این فاکتور شد.

مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی روغن حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو و روش سوکسله

جهت مقایسه روش سوکسله و مایکروویو، از بین متغیرها، بهترین تیمار از نظر راندمان استخراج انتخاب شد. تیمار بهینه شامل توان ۶۰۰ وات و زمان‌های ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه بود، جدول شماره یک مقایسه ترکیب اسیدهای چرب را نشان می‌دهد. میزان اسید لینولئیک در روغن حاصل از MW نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت ولی این تغییر معنی‌دار نبود. سایر اسیدهای چرب نیز تغییر معنی‌داری را نشان ندادند. لی و همکاران ۲۰۰۴، اسیدهای چرب روغن گلرنگ حاصل از روش مایکروویو و نمونه کنترل را بررسی کردند. اسید لینولئیک، اسیدچرب شاخص بود و پیش‌تیمار مایکروویو باوجود افزایش مقدار آن، تغییرات معنی‌داری را ایجاد نکرد. از طرفی عدم تغییر در ضریب شکست روغن نیز این موضوع را تایید کرد. دوردویک و همکاران ۲۰۱۲، با بررسی اثر MW بر ترکیب اسیدهای چرب روغن هسته‌ی انار نسبت به روش سوکسله دریافتند که MW اثر ناچیزی بر افزایش اسیدچرب شاخص آن (اسید پانیسیک) داشت. این تغییرات معنی‌دار نبوده و با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت.

جدول ۱- مقایسه ترکیب اسیدهای چرب روغن گلرنگ با روش‌های مختلف استخراج

Table 1 Fatty acid composition (% of total fatty acids) of safflower oil extracted by different methods

Fatty acid (%)	Soxhelet extraction	MW (600 w, 120 s)	MW (600 w, 180 s)
C16:0	5.367 ± 0.115[a]	5.466 ± 0.17[a]	5.400 ± 0.100[a]
C16:1	0.107 ± 0.001[a]	0.10 ± 0.007[a]	0.100 ± 0.008[a]
C18:0	2.087 ± 0.023[a]	2.103 ± 0.030[a]	2.103 ± .023[a]
C18:1	14.137 ± 0.012[a]	14.200 ± 0. 36[a]	14.260 ± 0.77[a]
C18:2	77.943 ± 0.038[a]	77.980 ± 0.070[a]	78.010 ± 0.076[a]
C18:3	0.060 ± 0.001[a]	0.053 ± 0.008[a]	0.053± 0.007[a]
C20:0	0.057 ± 0.002[a]	0.050 ± .007[a]	0.053 ± 0.005[a]

Mean ± SD (n = 3). Means within a row with the same letter are not significantly different as indicated (P<0.05).

جدول شماره ۲ مقایسه سایر خواص فیزیکوشیمیایی روغن‌ها را نشان می‌دهد. میزان روغن تولیدی در روش MW بالاتر از نمونه کنترل بوده و اختلاف معنی‌دار بود. بیشترین راندمان، بطور میانگین ٪ ۲۸/۶۵ و مربوط به MW با توان ۶۰۰ وات و زمان‌های ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه بود. بین زمان‌های مختلف MW اختلاف معنی‌داری دیده نشد. مقادیر FFA نیز در روش MW ، بیشتر از نمونه کنترل بود و با افزایش زمان تیمار، بالاتر رفت ولی اختلاف معنی‌داری نسبت به نمونه کنترل نداشت. مقایسه پراکسید روغن نشان داد که مقادیر این فاکتور در روغن حاصل

از روش MW بالاتر از نمونه کنترل بود ولی معنی‌دار نبود. نتایج TBA در روش MW بالاتر از روش سوکسله بود ولی اختلاف معنی‌داری دیده نشد. مقایسه فسفاتید روغن نشان داد که MW سبب افزایش معنی‌دار فسفاتید نسبت به روش سوکسله شد ولی مقایسه سطوح مختلف تیمار تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و میزان آن برای پیش‌تیمار مایکروویو در زمان ۱۸۰ ثانیه بیشتر بود. عدد یدی در روش مایکروویو نسبت به سوکسله کمی افزایش نشان داد، مقادیر مربوط به زمان ۱۸۰ ثانیه بیشتر گزارش شد اما هیچ‌کدام از زمان‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری با نمونه کنترل نشان ندادند.

ضریب شکست که فاکتوری بدون واحد و بدون بعد است همواره در محدوده‌ی ۱/٤٧٣ الی ۱/٤٧٤ بوده و تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ($P>0.05$). عددصابونی روغن نیز در اثر MW افزایش یافت و زمان بالاتر تیمار، افزایش بیشتری را نشان داد ولی اختلاف معنی‌دار نبود. رنگ روغن در روش سوکسله و MW تفاوت معنی‌داری نداشت و عدد مربوط به رنگ قرمز (R) حدوداً ٤ و برای رنگ زرد (Y) بین ۳۳ تا ۳۵ به‌دست آمد.

جدول ۲- مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی روغن گلرنگ با روش‌های مختلف استخراج

Table 2 Physicochemical properties of safflower oil extracted by different methods

charactristics	Soxhelet extraction	MW (600 w, 120 s)	MW (600 w, 180 s)
Yield (%)	27.033 ± 0.061 [b]	28.643 ± 0.059 [a]	28.653 ± 0.074 [a]
Free Fatty Acid (%)	0.429 ± 0.001 [b]	0.436 ± 0.014 [ab]	0.450± 0.020 [a]
Proxide Value (meq o2/ kg oil)	5.00 ± 0.02 [b]	5.01 ± 0.03 [ab]	5.04 ± 0.04 [a]
Thiobarbituric acid index (mg MAD/kg oil)	0.056 ± 0.003 [b]	0.063± 0.004 [a]	0.067± 0.004 [a]
Phosphatide (%)	0.22 ± 0.02 [b]	0.42 ± 0.03 [a]	0.45 ± 0.02 [a]
Iodine Value (g I/oil)	147.352 ± 0.039 [a]	147.355 ± 0.046 [a]	147.382 ±0.026 [a]
Refractive Index	1.474 ± 0.001 [a]	1.4735 ± 0.001 [a]	1.4738 ± 0.001 [a]
Saponification Value (mg Koh/g oil)	191.947 ± 0.036 [a]	191.963 ± 0.015 [a]	191.960 ± 0.010 [a]
Lovibond color	R: 4 ± 0.05 [a] Y: 33.3 ± 0.5 [a]	R: 4.06 ± 0.06 [a] Y: 34 ± 2.11 [a]	R: 4.03 ± 0.05 [a] Y: 35 ± 2.07 [a]

Mean ± SD (n = 3). Means within a row with the sa me letter are not significantly different as indicated ($P<0.05$).

امواج مایکروویو موجب افزایش فشار داخلی شده و ترک‌هایی را در ساختار سلولی ایجاد کرده و شکستگی بیشتر سلولهای حاوی روغن را در پی دارد. این اتفاق منجر به تسهیل خروج روغن می‌شود افزایش راندمان می تواند به تخریب ترکیبات پروتئینی نیز مرتبط باشد. از طرفی استفاده از توان‌های بالاتر می‌تواند منجر به خردشدن و کاهش اندازه ذرات شود. استفاده از مدت-زمان های طولانی مایکروویو نیز می‌تواند موجب کاهش راندمان استخراج و تیره شدن ترکیبات حاصل شود (رونیاک و همکاران ۲۰۱٦، یوکیچ و همکاران ۲۰۰۸). دوردویک و همکاران ۲۰۱۷، تاثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر استخراج روغن از دانه‌ی انار در مقایسه با نمونه بدون تیمار را بررسی کرده و افزایش معنی‌داری را در راندمان استخراج گزارش کردند که با نتایج این بخش مطابقت داشت.

مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو و روش سوکسله

مقایسه ویژگی‌های دانه و کنجاله‌ی گلرنگ در جدول شماره ٤ آمده است. کمترین مقدار پروتئین مربوط به دانه گلرنگ بود وروغن‌کشی با هریک از روش‌های مورد مطالعه، سبب افزایش معنی‌دار پروتئین در کنجاله حاصل شد. بین روش‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار نبود. فیبر خام، خاکستر کل و خاکستر نامحلول در اسید نیز مقایسه شد. نتایج در تمام نمونه‌ها نزدیک به‌هم بود و

میزان فیبر خام بین ۳۳/۸ تا ۳٤ درصد، خاکستر کل در حدود ۵/۹ الی ٦ درصد و خاکستر نامحلول در اسید بین ۰/۹٦ تا ۰/۹۸ درصد بود و تغییرات معنی‌دار نبود.
بررسی میزان TVN نشان از افزایش جزئی آن در روش سوکسله نسبت به دانه گلرنگ داشت. بین TVN کنجاله‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

آنالیز میزان بازدارندگی تریپسین در دانه‌ی گلرنگ مورد مطالعه نشان داد که این فاکتور در رقم مورد مطالعه منفی بود. و دانه‌ی مورد نظر فاقد بازدارندگی تریپسین بود.

جدول ۳- مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله‌ی حاصل از روش‌های مختلف استخراج

Table 3- Physicochemical properties of safflower seed and meal by different methods

charactristics	Safflower seed	Soxhelet extraction	MW (600 w, 120 s)	MW (600 w, 180 s)
Protein (%)	17.13 ± 0.05 [b]	22.44 ± 0.07 [a]	22.44 ± 0.05 [a]	22.47 ± 0.03 [a]
Protein dispersibility index (%)	11.51 ± 0.06 [c]	12.33 ± 0.17 [b]	13.62 ± 0.01 [a]	13.62 ± 0.03 [a]
Protein solubility (%)	91 ± 0.8 [c]	93.64 ± 0.14 [b]	95.92 ± 0.01 [a]	94.91 ± 0.01 [a]
Crude fiber (%)	33.86 ± 0.51 [a]	34.02 ± 0.27 [a]	33.8 ± 0.10 [a]	33.85 ± 0.13 [a]
Ash (%)	6.03 ± 0.01 [a]	5.94 ± 0.13 [a]	5.91 ± 0.11 [a]	5.94 ± 0.12 [a]
Acid insoluble ash (%)	0.96 ± 0.06 [a]	0.98 ± 0.04 [a]	0.97 ± 0.03 [a]	0.96 ± 0.03 [a]
Total volatile nitrogen (%)	6.51 ± 0.28 [a]	6.73 ± 0.35 [a]	6.45 ± 0.01 [a]	6.45 ± 0.01 [a]
Urease activity (ΔpH)	0.41 ± 0.003 [a]	0.31 ± 0.01 [b]	0.22 ± 0.005 [c]	0.22 ± 0.01 [c]
Trypsin inhibitor (mg/g)	ND	ND	-	-

Mean ± SD (n = 3). Means within a row with the same letter are not significantly different as indicated (P<0.05)
ND= Not Detected

بیشترین مقدار اوره‌آز مربوط به دانه گلرنگ و پس از آن به ترتیب روش سوکسله و روش مایکروویو بود. بین نمونه‌های حاصل از مایکروویو تفاوتی مشاهده نشد. بررسی حلالیت پروتئین در هیدروکسیدپتاسیم و اندیس پراکندگی پروتئین (PDI) نشان داد که کمترین مقادیر، مربوط به دانه گلرنگ بود. کنجاله حاصل از سوکسله در جایگاه بعدی قرار داشت. مطالعات نشان داده که تجزیه دیواره سلول، درصورت استفاده از مایکروویو افزایش یافته، منجر به افزایش تجزیه پروتئین و بالارفتن حلالیت می‌شود (فونگتای و همکاران ۲۰۱٦). مقایسه روش سوکسله، روش استخراج آنزیمی و مایکروویو نشان داد که مقادیر PDI در فرآیند استخراج آنزیمی بالاتر از سوکسله و در روش مایکروویو بالاتر از روش آنزیمی بود. دلیل این امر ایجاد حرارت (گرچه اندک)، هنگام استفاده از مایکروویو است که سبب تخریب هرچند جزئی پروتئین شده و در نهایت بر ترکیب ماده غذایی اثر می‌گذارد (ناندی و همکاران ۲۰۱۵).

نتیجه گیری

استفاده از امواج مایکروویو به‌عنوان پیش تیمار جهت استخراج روغن از دانه‌ی گلرنگ موجب افزایش میزان روغن استحصالی شد. بیشینه تولید زمانی بود که از توان ٦۰۰ وات و زمان‌های ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه استفاده شد، استفاده از توان بالاتر مایکروویو تغییر معنی‌داری در راندمان استخراج روغن ایجاد نکرد. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن نشان داد که عدد یدی و عدد صابونی در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با امواج مایکروویو نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت اما اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. مقایسه ترکیب اسیدهای چرب، نشان از افزایش مختصر اسید لینولییک داشت اما تغییرات معنی‌دار نبود، سایر اسیدهای چرب نسبت به نمونه کنترل تغییر خاصی نداشتند. نتایج مربوط به اسیدهای چرب آزاد، عدد پراکسید، فسفاتید و TBA هم طی استفاده از پیش تیمار مایکروویو بالا رفتند و این اختلاف زمانی معنی دار شد که از توان ۹۰۰ وات و زمان ۱۸۰ ثانیه استفاده شد. امواج مایکروویو بر خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله نیز اثر گذاشته و ضمن کاهش

معنی‌دار اوره‌آز که فاکتوری نامطلوب و ضد تغذیه‌ای است، حلالیت و اندیس پراکندگی پروتئین را افزایش داد. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از امواج مایکروویو به‌عنوان پیش‌تیمار جهت افزایش راندمان استحصال روغن از دانه‌های روغنی، استفاده کرد، به‌طوریکه استفاده از این امواج در شرایط بهینه، کمترین اثرات نامطلوب را بر روغن استحصالی داشته و سبب بهبود کیفیت کنجاله حاصل از فرایند روغن‌کشی خواهد شد.

منابع مورد استفاده

حبیبی نوده ف، آزادمرد دمیرچی، حصاری ج، نعمتی م، فتحی آچاچلویی ب و احمدی ع، ۱۳۸۹. تأثیر تیمار دانه کلزا با مایکروویو بر کیفیت روغن استخراجی. مجله پژوهشهای صنایع غذایی.

مرتضوی سید علی، دولت آبادی زهرا، مقیمی معصومه، بخش آبادی حمید و استیری سید حسین، ۱۳۹۷. بهینه سازی فرایند استخراج روغن از دانه های گلرنگ با پیش تیمار مایکروویو و تخمین پارامترهای فرایند با کمک شبکه عصبی مصنوعی. نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، شماره ٤ ،۱۱۸ -۱۰۷.

مقیمی م، ۱۳۹٦. بررسی تاثیر پیش تیمارهای مختلف توان و زمان دستگاه مایکروویو بر میزان ترکیبات فنولی، پایداری اکسایشی و برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن اکوفیتوشیمی (*Cannabis sativa L.*) فصلنامه . گیاهان دارویی، شماره ٤ ،۷۳-٦٥.

Anjum F, Anwar F, Jamil A, Iqbal M, 2006. Microwave roasting effects on the physicochemical composition and oxidative stability of sunflower seed oil. J. Am. Oil Chem. Soc 83, 777–784.

AOCS, F. D, 1998. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS 5, 2–93.

Araba, M., and N. M. Dale, 1990. Evaluation of KOH solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. Poultry Science 69:76–83.

B. Dave Oomah, Jun Liang, David Godfrey, and Giuseppe Mazza, 1998. Microwave Heating of Grapeseed: Effect on Oil Quality., J. Agric. Food Chemistry.

Bahareh Dehghan, Reza Esmaeilzadeh Kenari, Zeynab Raftani Amiri, 2020. Nano-encapsulation of orange peel essential oil in native gums (Lepidium sativum and Lepidium perfoliatum): Improving oxidative stability of soybean oil., Journal of food processing and preservation.

Bakhshabadi, H., Mirzaei, H.O., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaiifar, A.M. and Farzaneh. V, 2017. The effect of microwave pretreatment on some physico-chemicalproperties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. Industrial Crops and Products 97: 1–9.

Birmpa A, Sfika V & Vantarakis A 2013. Ultraviolet light and ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. International Journal of Food Microbiology 167, 96–102.

Dan Huang, Kaiyang Men, Xiaohong Tang, Wei Li, SA Sherif, 2020. Microwave intermittent drying characteristics of camelliaoleifera seeds., Journal of food process engineering, WILEY.

Durdevic, S., Milovanovic, S., Savikin, K., Ristic, M., Menkovic, N., Pljevljakusic, D., Petrovic, S. and Bogdanovic, A, 2017. Improvement of supercritical CO2 and n-hexane extraction of wild growing pomegranate seed oil by microwave pretreatment. Industrial Crops and Products 104: 21-27.

Erdaw M.M, Maldonado R. A, Bhuiyan, M. M. ; Iji, P. A, 2016. Physicochemical properties and enzymatic in vitro nutrient digestibility of full-fat soybean meal, Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.14 No.1.

Farhad Fallah, Yahya Ebrahimnezhad, Naser Maheri-Sis, and Mohammad Ghasemi-Sadabadi, 2016. The effect of different levels of diet total volatile nitrogen on performance, carcass characteristics and meat total volatile nitrogen in broiler chickens, Archives Animal Breeding 59, 191–199.

Farshid Jalili & Seid Mahdi Jafari & Zahra Emam-Djomeh & Narjes Malekjani & Vahid Farzaneh, 2018. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Oil from Canola Seeds with the Use of Response Surface Methodology., Springer link.

Farzaneh, V. and Carvalho, I.S, 2015. A review of the health benefit potentials of herbalplant infusions and their mechanism of actions. Industrial Crops and Products 65: 247–258.

Fathi-Achachlouei B, Azadmard-Damirchi S, Zahedi Y, Shaddel R, 2019. Microwave pretreatment as a promising strategy for increment of nutraceutical content and extraction yield of oil from milk thistle seed. Ind. Crops Prod 527–533.

Frewer L, Bergmann K, Brennan M. et al 2011. Consumer response to novel agri-food technologies: implications for predicting consumer acceptance of emerging food technologies. Trends in Food Science & Technology 22, 442–456.

Gautam Misra Sumit Nandi, 2015. Enzymatic extraction of rice bran oil from microwave stabilized and sieved bran, Indian Journal of Science,

Ghavami, M. Gharachorloo, M., and Ezatpanah, H, 2003. Effect of frying on the oil quality properties used in the industry potato chips. Journal of Agricultural and Science 9(1): 1-15.

Hend Y. G. Mohameda , Eman H. Ismaila , Mahmoud M. Elaasser b , Mostafa M.H. Khalil, 2021. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Portulaca oleracea (Regla Seeds) Extract and Its Biomedical Applications, Egyptian Journal of Chemistry.

Hojjati M, Noguera-Artiaga L, Wojdyło A, & Carbonell-Barrachina Á A 2015. Effects of microwave roasting on physicochemical properties of pistachios (Pistaciavera L.). Food Science and Biotechnology 24(6), 1995-2001.

Hojjati M, Lipan L, & Carbonell-Barrachina Á A, 2016. Effect of roasting on physicochemical properties of wild almonds (Amygdalus scoparia). Journal of the American Oil Chemists' Society 93(9), 1211-1220.

Hugo Maia Fonseca, Camila Oliveira Santos, Luis Paulo Adami Cruz, Valter Arthur, Bárbara Catarina Bastos Freitas, Adriana Régia Marques Souza, Glêndara Aparecida de Souza Martins, 2021. THE EFFECTS OF MICROWAVE APPLICATION ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF BACABA (OENOCARPUS BACABA MART.) OIL ., Acta Sci. Pol. Technol. Aliment 189–196.

Hussain M.I., Dionyssia-Angeliki L., Farooq M., Nikoloudakis N. and Khalid N, 2016. Salt and drought stresses in safflower:a review. Agron. Sustain Dev. 36:1-31.

Karimi S, Sharifzadeh S, & Abbasi H, 2020. Sequential ultrasound-microwave assisted extraction as a green method to extract essential oil from Zataria multiflora. Journal of Food and Bioprocess Engineering 3(2), 101-109.

Lee YC, Oh SW, Chang J and Kim IH, 2004. Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures. Food Chemistry 84: 1–6.

Liu L., Guan LL., Wu W., and Wang L, 2016. A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (Carthamus tinctorius L.) seed oil. Organic Chem. Curr. Res 5:160.

Mateos GG, latorre MA and Lazaro R, 2003. Processing Soybean. American Soybean Association. Madrid, Spain.

Mehmet Musa Özcana, Fahad Y. Al-Juhaimib , Isam A. Mohamed Ahmedb, Magdi A. Osmanb , Mustafa A. Gassemb, 2019. Effect of different microwave power setting on quality of chia seed oil obtained in a cold press., Food Chemistry. ELSEVIER.

Mudhafar Abdullah and A. Bulent koc, 2012. kinetics of ultrasound-assisted oil extraction from Blackseed (Nigella sativa), Journal of Food Processing and Preservation.

Nazanin maryam mohseni, Habib ollah mirzaei, masoumeh moghimi, 2019. Optimization of producing oil and meal from canola seeds using microwave – pulsed electric field pretreatment.Oilseeds & fats Crops and Lipids OCL 27, 2.

Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC) ,17th ed. (2000). chapter 2, p.16, test method 2.4.07.

Peiretti P.G, 2017. Nutritional aspects and potential uses of safflower (Carthamus tinctorius L.) in livestock. Ch. 1. In: Agricultural Research Updates. Vol. 19. P. Gorawala and S. Mandhatri S. (Ed.), pp. 3-22. Nova Science Publishers, Inc., NY.

Pina-Perez M, Rodrigo D. & Martınez A 2014. Non-thermal inactivation of Cronobacter Sakazakii in infant formula milk: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56, 1620–1629.

Qing-An ZhangZhi-Qi ZhangXuan-Feng YueXue-Hui FanTao LiShou-Fen Chen, 2009. Response surface optimization of ultrasound-assisted oil extractionfrom autoclaved almond powder., Food Chemistry. ELSEVIER.

Qurat ul Eain Hyder Rizvi, Vasudha Sharma, Rafeeya Shams, Aamir Hussain Dar, Bisma Jan, Arshied Manzoor, 2021. Extraction of oil from flaxseed using three phase partitioning techniques., Journal of Postharvest Technology.

Rawson A, Patras A, Tiwari B, Noci F, Koutchma T & Brunton N 2011. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review

Suphat Phongthai, Seung-Taik Lim, Saroat Rawdkuen, 2016. Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties, Journal of Cereal Science 70 146e154.

Taghvaei, M, Jafari, S.M, Assadpoor, E, Nowrouzieh, S and Alishah, O, 2014. Optimization of microwave-assisted extraction of cottonseed oil and evaluation of its oxidative stability and physicochemical properties. Food Chemistry 160: 90–97.

Tamborrino Antonia, Roberto Romaniello, Francesco Caponio, Giacomo Squeo, and Alessandro Leone 2019. "Combined industrial olive oil extraction plant using ultrasounds, microwave, and heat exchange: Impact on olive oil quality and yield." Journal of Food Engineering 245: 124-130.

Taruna Varghese, Akash Pare, 2019. Effect of microwave assisted extraction on yield and protein characteristics of soymilk, Journal of Food Engineering. ELSEVIER.

Terigar B G, Balasubramanian S, Sabliov C M, Lima M, and Boldor D 2011. Soybean and rice bran oil extraction in a continuous microwave system: From laboratoryto pilot-scale. Journal of Food Engineering 104(2): 208–217.

Tsubaki, S., Onda, A., Hiraoka, M., Fujii, S., Azuma, J.-I., Wada, Y, 2018. Microwaveassisted water extraction of carbohydrates from unutilized biomass. Water Extraction of Bioactive Compounds. Elsevier pp. 199–219.

Uquiche, E., Jeréz, M. and Ort, Z.J, 2008. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extractionnyield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (Gevuina avellana Mol). Innovative Food Science and Emerging Technologies 9: 495–500.

Veldsink, J.W., Muuse, B.G., Meijer, M.M.T., Cuperus, F.P., van de Sande, R.L.K.M. and van Putte, K.P.A.M, 1999. Heat pretreatment of oilseeds: effect on oil quality. Fett/Lipid 101 (7): 244–248.

Wroniak, M., Rekas, A., Siger, A. and Janowicz, M, 2016. Microwave pretreatment effects on the changes in seeds microstructure, chemical composition and oxidative stability of rapeseed oil, Food Science and Technology 68: 634-641.

Zhi-Hong Zhang, Lang-Hong Wang, Xin-An Zeng, Zhong Han & Charles S. Brenna, 2018. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. International Journal of Food Science and Technology.

Zhong Jinfeng, Yonghua Wang, Rong Yang, Xiong Liu, Qingqing Yang, and Xiaoli Qin 2018. "The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from Moringa oleifera seeds." Industrial Crops and Products 120: 1-10.

Journal of Food Research, 2022,32(4):103-120
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
DOI: 10.22034/FR.2021.46664.1796

Investigation of the effect of microwave pretreatment on oil extraction efficiency from safflower oilseed and physicochemical properties of produced oil and meal

A Shahi Chehrogh[1], Z Raftani Amiri[2*] and R Esmaeilzadeh kenari[2]

Received: June 24, 2021 Accepted: September 19, 2021
[1]MSc, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[2]Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[*]Corresponding Author: Email: zramiri@gmail.com, z.raftani@sanru.ac.ir

Introduction: Safflower (Carthamus tinctorius L.) is one of the oldest crops and it is often cultivated because its flowers that used for purposes such as coloring, food flavouring, medicinal properties and animal meal (Peiretti et al 2017). Safflower has a high potential for oil production and is able to grow at high temperatures, drought and saline soils (Hussain et al 2016). Safflower meal and oil are the two main products of safflower oilseeds. In addition, safflower oil also has industrial uses Safflower oil has the highest amount of linoleic acid and in terms of unsaturation is between soybean oil and flaxseed (Liu et al. 2016). New methods that have been used to increase the efficiency of oil extraction and are also called green extraction methods. These methods are very important in terms of maintaining the health of food and its consumer (Zhang et al. 2018). One of the technologies that can be used to increase the extraction efficiency of plant extracts and oils is the microwave method. The main advantage of using microwave pretreatment in the oil industry, especially in the oil extraction stage, which its use reduces the extraction stage time and also reduces the use of solvents compared to traditional extraction methods (Mohseni et al 2019).
Material and methods: Safflower seeds were evenly distributed in petri dishes. Microwaves with power of 180, 360, 600 and 900 watts, and intervals of 90, 120 and 180 seconds were used to pretreat safflower seeds (Kittiphoom et al 2015, Bakhshabadi et al 2017). Safflower seed oil was extracted by Soxhlet and n-hexane solvent and several analyzes were tested on the obtained oil and meal residue.
Results and discussion: The results showed that microwave pretreatment at the studied powers and times increased the oil extraction efficiency compared to the control sample (without treatment). The highest oil efficiency was reported in microwave pretreatment conditions with a power of 600 watts and times of 120 and 180 seconds. Examination of the physicochemical properties of the oil showed that microwaves did not have much effect on the composition of fatty acids. FFA values in MW method were higher than the control sample and increased with increasing treatment time, but there was no significant difference compared to the control sample. using the time of 180 seconds, the effect of increasing the microwave power on the amount of free fatty acids. Comparison of oil peroxide showed that the values of this factor in the MW method were higher than the control sample, but there was no significant difference ($P<0.05$). TBA results in MW method were higher than Soxhlet method but no significant difference was seen. Comparison of oil phosphatide showed that MW caused a significant increase in phosphatide compared to Soxhlet method ($P<0.05$), but

comparison of different levels of treatment did not show a significant difference. The iodine value in the microwave method showed a slight increase compared to the Soxhlet, but none of the studied times were significantly different from the control sample. Microwaves increase internal pressure and create cracks in the cellular structure, further breaking down oil-containing cells, facilitating oil extraction. Increase of oil efficiency can also be related to the degradation of protein compounds. On the other hand, using higher powers can lead to crushing and reducing particle size. Using microwaves for long periods of time can also reduce the extraction efficiency (Wroniak et al 2016, Uquiche et al 2008). Durdevic et al 2017 investigated the effect of microwave pretreatment on oil extraction from pomegranate seeds compared to the untreated sample and reported a significant increase in extraction efficiency that was consistent with the results of this section. The lowest amount of protein was related to safflower seed and extraction of oil with each of the studied methods caused a significant increase in protein content of the meal ($P<0.05$). There was no significant difference between protein content of meals residue from studied methods. Crude fiber, total ash and acid-insoluble ash were also compared. The results were close to each other in all samples and the amount of crude fiber was between 33.8 to 34%, total ash was about 5.9 to 6% and acid insoluble ash was between 0.96 and 0.98% and there was no significant difference ($P<0.05$). Examination of total volatile nitrogen (TVN) showed a slight increase in Soxhlet method compared to safflower seeds. No significant difference was observed between TVN of meals. Analysis of trypsin inhibition in the studied safflower seed showed that this factor was negative in the studied species. And safflower seed studied had no trypsin inhibition. The effect of variables on the activity of urease was significant ($P<0.05$) and reduced the activity of this enzyme, which is an undesirable and anti-nutritional factor. The highest amount of urease activity was related to safflower oil seed, followed by Soxhlet method and microwave method, respectively. Microwave pretreatment had a favorable effect on solubility and protein dispersibility index (PDI). The use of higher power or longer microwave pretreatment time, increases protein denaturation due to increased temperature and leads to the formation of more hydrophobic amino acids. As a result, the solubility of the protein is reduced. Decreased protein solubility during higher pretreatment times has been observed and reported by various authors. The decrease in protein solubility during the increase in microwave power was attributed to the increase in heating rate. The reason for the decrease in protein solubility is the increase in the energy flow of waves that occur between water molecules and cause intense heating, so protein denaturation increases and protein solubility decreases (Tsubaki et al. 2018). Studies have shown that cell wall breakdown increases when microwaves are used, leading to increased protein breakdown and increased protein solubility (Phongthai et al 2016).

Conclusion: The results of this study showed the microwave pretreatment under optimal conditions can be used to increase the oil extraction efficiency compared to the Soxhlet method; it has the least adverse effects on the extracted oil and will improve the quality of the meal resulting from the extraction process.

Keywords: Meal, Microwave, PDI, Peroxide Safflower oil