پژوهشنامه گیاهان دانه روغنی ایران
جلد چهارم، شماره اول، ۱۳۹۴
http://ijop.areo.ir

بررسی تاثیر روش‌های استخراج آنزیمی و حلال بر ویژگی‌های کیفی روغن و پروتئین کلزا

جلال محمدزاده*
استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی،
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی گلستان.

چکیده

در این تحقیق به ارزیابی تاثیر استخراج آنزیمی بر پایداری و ویژگی‌های کیفی روغن و پروتئین کلزا (رقم هایولا ۴۰۱ در منطقه گلستان) در مقایسه با روش معمول استخراج با حلال پرداخته شد. نتایج نشان داد در هر دو روش استخراج، بین شاخص‌های ضریب شکست، دانسیته، عدد یدی و مواد غیر قابل صابونی اختلاف معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) وجود نداشت. در حالی‌که رنگ روغن، غلظت فسفر، میزان اسیدیته، پراکسید و ضریب ویژه خاموشی (جذب ۲۳۲ و ۲۷۲ نانومتر) به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) در روغن آنزیمی به‌ترتیب با مقادیر پایین تر از روغن حاصل از روش حلال بود. میزان فیتات و گلوکوزینولات پروتئین کنجاله در استخراج آنزیمی (با مقادیر ۲/۲۴ درصد و ۶ میکرومول بر گرم) نسبت به روش حلال به‌طور معنی‌داری نیز کاهش یافت. بنابراین، روغن استخراج آنزیمی کلزا از کیفیت و پایداری اکسایشی بالاتر و پروتئین آن نیز به لحاظ کاهش ترکیبات نامطلوب از ارزش تغذیه‌ای بالاتری برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: کلزا، روش استخراج روغن، ویژگی‌های کیفی، پروتئین.

مقدمه

کلزا / کانولا، یکی از دانه‌های روغنی مهم دنیا بوده که بعد از سویا و نخل روغنی مقام سوم را در تامین روغن نباتی و مقام پنجم را در تامین پروتئین جهان به خود اختصاص داده است. تولید جهانی کلزا ۵۸ میلیون تن بوده و در کشور ما نیز طبق آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی سطح کلزا در کشور حدود ۸۶ هزار هکتار برآورده شده که ۵۹/۵۶ درصد آن اراضی آبی و بقیه به‌صورت دیم بوده است (Piroozbakht, 2013). میزان زیاد روغن در دانه کلزا و ترکیب مناسب اسیدهای چرب آن (اسید

*مسئول مکاتبه: jmohamadzadeh@yahoo.com

اولئیک ۵۶ درصد، اسید لینولئیک ۲۱/۵ درصد و اسید لینولنیک ۸ درصد) سبب توجه اکثر کشورهای جهان به این دانه روغنی شده است (Nelda *et al*., 2007).

سطح بالای چربی‌های غیراشباع و اسیدهای چرب امگا ۳ و امگا ۶ در این روغن باعث برتری قابل توجه آن بر سایر چربی‌ها و روغن‌های گیاهی و حیوانی شده است. به‌علاوه روغن کلزا نظیر روغن ذرت، سویا، گلرنگ و آفتابگردان در کاهش کلسترول کل و لیپوپروتئین‌های دارای چگالی کم مؤثر است (Shahidi, 1995). فرآیندهای استخراج روغن از دانه‌های روغنی نظیر کلزا در طی مراحل متفاوتی صورت می‌پذیرد که شامل فرایند مکانیکی اولیه و سپس استخراج با حلال آلی می‌باشد. دراین روش علاوه بر مسائل ایمنی و زیست محیطی به دلیل استفاده از حرارت‌های بالا درحلال زدایی اسیدیته و رنگ روغن افزایش می‌یابد (Yusoff, 2014). در سال‌های اخیرکاربرد آنزیم در صنایع روغن‌کشی به دلیل ویژگی‌های این ترکیبات بیولوژیکی، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. این آنزیم‌ها اختصاصی بوده و در درجه حرارت‌های نسبتاً پایین واکنش‌های مربوطه را کاتالیز می‌نمایند. استخراج آنزیمی در محیط آبی خصوصاً در مورد دانه کلزا به‌عنوان یک جایگزین مناسب استخراج روغن با حلال کاربرد پیدا کرده که در واقع شکست دیواره سلولی توسط آنزیم صورت گرفته و ترکیبات سلولی که شامل روغن، پروتئین و پلی ساکاریدها می‌باشند به فاز آبی منتقل و از آن‌جا توسط سانتریفیوژ به تفکیک جدا می گردند. از دیگر مزایای این روش عدم استفاده از هرگونه حلال آلی و فرآیندهای بعدی جهت جداسازی حلال می‌باشد (Zhang *et al*., 2012; Tabtabaei and Diosady, 2013).

لطیف و همکاران (Latife *et al*., 2008) مراحل فرآیند آنزیمی را در رابطه با استخراج روغن کلزا بررسی کردند. آنان ابتدا دانه‌ها را خرد و با اعمال تیمارهای حرارتی آنزیم میروزیناز را غیرفعال کردند. آنان راندمان استخراج روغن را ۸۹-۸۷ درصد و اندیس پراکسید، یدی و اسیدی روغن را به ترتیب ۰/۸ (میلی‌اکی والان O_2 / کیلوگرم)، ۱۱۶ (گرم ید در ۱۰۰ گرم روغن) و ۰/۵۹ (٪ اسید اولئیک) و فسفر را ۳۲ (میلی‌گرم برکیلوگرم) گزارش کردند.

ژانک و همکاران (Zhang *et al*., 2007) نشان دادند ترکیباتی نظیر تانن‌ها و اسیدفیتیک که به مقدار فراوان در دانه کلزا وجود دارد در صورت استفاده ار روش‌های متداول در کنجاله باقی می‌مانند. اما با روش فرآیند آنزیمی کنجاله‌ای با مقادیر بسیار پایین از این نوع ترکیبات تولید خواهد شد.هانمونگ‌جایه و همکاران (Hanmoungjai *et al*., 2010) بکارگیری فرایند استخراج آنزیمی را در استخراج روغن سبوس برنج مورد بررسی قرار دادند. آنها از آنزیم‌های سلولاز و بتاگلوکاناز استفاده کرده و بیان داشتند روغن حاصل در مقایسه با روغن استخراج شده با حلال مقدار اسیدیته و پراکسید پائین‌تری دارد.

محمدزاده و همکاران (Mohamadzadeh *et al.*, 2010) شرایط بهینه استخراج آنزیمی روغن کلزا در محیط آبی را با شرایط نسبت دانه به آب (۱ : ۵/۲)، غلظت آنزیم کربوهیدرازی ۲/۴۵ درصد و زمان واکنش ۳/۵ ساعت گزارش کردند. در این شرایط، بیشینه راندمان روغن و مقدار پروتئین به ترتیب ۸۹/۱ درصد و ۸۳/۶ درصد بود.

از آن‌جا که در کشور ما نیز با توجه به ویژگی‌های خاص این گیاه و سازگاری آن با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور، خصوصاً استان‌های گلستان، مازندران، فارس کشت آن گسترش یافته، لذا بررسی فرآیندهای نوین استخراج روغن از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. درمطالعه قبلی ما، شرایط بهینه استخراج آنزیمی روغن کلزا به لحاظ نوع غلظت آنزیم، زمان و pH به‌دست آمد و در ادامه به بررسی ویژگی‌های کیفی روغن کلزا در شرایط بهینه استخراج آنزیمی و مقایسه آن با روش معمول حلال پرداخته شد تا با تعیین شاخص‌های کیفی روغن، اطلاعات بیشتری جهت کاربرد این فرایند در استخراج روغن کلزا به دست آید.

مواد و روش‌ها

نمونه کلزای مورد بررسی از ارقام غالب منطقه استان گلستان رقم‌هایولا ۴۰۱ بود که از ایستگاه تحقیقاتی بخش دانه‌های روغنی مرکز تحقیقات کشاورزی گلستان تهیه گردید.

استخراج آنزیمی روغن در محیط آبی: مراحل اولیه فرآیند شامل آسیاب کردن و اعمال تیمار حرارتی جهت غیرفعال کردن آنزیم میروزیناز و سایر آنزیم‌ها بود. بدین‌منظور دانه‌ها ی کلزا در آسیاب کاملا خردشده در محیط نیمه مایع رقیقی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد پخته و سپس تا دمای محیط خنک شد. جهت به‌دست آوردن شرایط بهینه استخراج آنزیمی از مخلوط آنزیمی Multifect Pectinase FE (شامل پکتیناز، سلولاز و همی سلولاز) در دمای بهینه ۴۸ درجه سانتی‌گراد در شرایط نسبت دانه به آب (۱ : ۵/۲) غلظت آنزیم کربوهیدراز ۲/۴۵ درصد و زمان واکنش ۳/۵ ساعت و به دنبال آن افزودن آنزیم پروتئاز با غلظت۱/۹۳ درصد در pH برابر ۱۰ انجام شد (Mohamadzadeh *et al.*, 2010).

استخراج روغن کلزا با روش معمول حلال: دانه‌های پوست‌گیری شده کلزا خرد شده به‌طوری‌که از الک با مش ۸۰ قابل عبور باشند. سپس ۲۵ گرم از دانه‌های خرد شده در یک دستگاه سوکسله در طی مدت ۶ ساعت با ۰/۳ لیتر حلال هگزان روغن گیری شد. نمونه‌های روغن حاصل پس از جداسازی حلال تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگه‌داری شد (Latife *et al.*, 2008).

تعیین خصوصیات کیفی روغن

اندازه‌گیری وزن مخصوص روغن: وزن مخصوص روغن بر اساس وزن حجم معینی از روغن به وزن همان حجم آب به وسیله چگالی سنج (پیکنومتر) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری ضریب شکست روغن: ضریب شکست بر اساس میزان شکست نور و با استفاده از دستگاه رفراکتومتر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (AOCS, 2005).

اندازه‌گیری شاخص صابونی: نمونه روغن در حضور پتاس الکلی با استفاده از مبرد، صابونی گردید. عدد صابونی، بر حسب میلی‌گرم هیدروکسید پتاسیم لازم جهت خنثی کردن اسیدهای چرب حاصل از هیدرولیز یک گرم چربی محاسبه شد (AOCS, 2005).

اندازه‌گیری شاخص مواد غیرصابونی: اندازه‌گیری ترکیبات غیر قابل صابونی شدن از طریق صابونی کردن روغن با پتاس الکلی و سپس استخراج با دی اتیل اتر انجام شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری شاخص یدی: عدد یدی به روش ویج و معرف آن (مخلوط ۸ گرم تری کلروریـد در ۲۰۰ اسید استیک گلاسیال +۹ گرم ید در ۳۰۰ تترا کلرور کربن) و تیتراسیون با هیپوسولفیت سدیم ۰/۱ نرمال بر حسب مقدار ید جذب شده (بر حسب گرم) توسط ۱۰۰ گرم روغن محاسبه گردید (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری میزان فسفر به روش اسپکتروفتومتری: نمونه روغن به همراه ۰/۵ گرم اکسید روی خاکستر شد. میزان فسفری که که در داخل روغن مانده در مجاورت هیدرازید سولفات و سدیم مولیبدات یک کمپلکس آبی رنگ داد که بر اساس سنجیدن غلظت رنگ توسط اسپکتروفتومتر و رسم منحنی استاندارد فسفات، میزان فسفر روغن در جذب ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری رنگ روغن: برای سنجش رنگ روغن از سیستم لاویباند استفاده شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری اسیدیته روغن : بر حسب اسید اولئیک و توسط تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال در مقابل فنل فتالئین اندازه‌گیری شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری پراکسید روغن: براساس تیتراسیون در مقابل نشاسته و توسط تیوسولفات سدیم برحسب میلی‌اکی‌والان گرم برای ۱۰۰۰ گرم ماده چرب محاسبه گردید (AOAC, 2005).

ضریب ویژه خاموشی: ۰/۲۵ گرم روغن را در یک ارلن تا حجم ۲۵ میلی‌لیتر توسط سیکلو هگزان رقیق کرده و سپس جذب محلول هموژن در نواحی ۲۳۲ و ۲۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری میزان پروتئین: بر اساس روش کلدال نمونه‌ها هضم و سپس با تیتراسیون مقدار (6.25 ×N) مقدار کل پروتئین رسوبی در فاز آبی محاسبه گردید (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری اسید فیتیک: مقدار فیتات براساس روش تیتراسیون فبلز و همکاران (Febles *et al*., 2001) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان گلوکوزینولات: مقدار گلوکوزینولات با روش وتر و یانگ (Wetter & Youngs, 1976) اندازه‌گیری شد.

تجزیه آماری: داده‌های حاصل از آزمایش‌های فیزیکو شیمیایی روغن در مقایسه با روش معمول حلال با استفاده از آزمون تی-استیودنت در نرم‌افزار SPSS (با سطح اطمینان $P<۰/۰۵$) با سه تکرار انجام شد (لازم به ذکر است ابتدا در نرم‌افزار SPSS از آزمون نرمالیته استفاده شد، ضمنا واریانس دو گروه نیز با هم برابر بودند).

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن کلزا: ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن بدست آمده از استخراج آنزیمی کلزا در مقابل استخراج با حلال در جدول ۱ نشان داده شده است. در هر دو روش استخراج، اختلاف معنی‌داری ($P>۰/۰۵$) بین ضریب شکست، دانسیته، شاخص‌های یدی و مواد غیر قابل صابونی مشاهده نشد. نتایج این بخش تحقیق در راستای نتایج لطیف و همکاران (Latife *et al*., 2008) بوده و اختلاف بین مقادیر خصوصیات اندازه‌گیری شده می‌تواند ناشی از رقم و شرایط مورد بررسی باشد.

غلظت فسفر موجود در نمونه روغن شاخصی برای تعیین غلظت فسفولیپیدها است. نتایج نشان داد مقدار فسفر در استخراج آنزیمی به طور معنی‌داری کاهش یافته است. وجود فسفولیپیدها در روغن باعث می‌شود که مقدار زیادی از تری گلیسریدها در زمان تصفیه روغن با آب به صورت امولسیون در آمده و خارج شود. همچنین فسفولیپیدها به دلیل دارا بودن گروه‌های آمینی تحت حرارت‌های بالای فرایند با آلدئیدهای حاصل از اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع در واکنشی شبیه به میلارد باعث تیرگی رنگ روغن می‌شود. از آنجاکه فرآیند در محیط آبی انجام می‌شود علاوه بر فسفاتیدها، اسیدهای چرب باوزن مولکولی پایین و بسیاری ترکیبات شسته و از روغن جدا می‌شوند که در نتیجه روغن با کیفیت بهتر حاصل می‌شود. این نتایج به خوبی تاثیر استخراج آنزیمی را بر کاهش مقدار فسفر روغن و کاهش عملیات صمغ گیری نشان داد که تاییدی بر نتایج ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2007) می‌باشد.

رنگ روغن در روش آنزیمی به طور معنی داری در واحدهای قرمز و زرد پایین‌تر از روش حلال بود که نتایج این بخش با نتایج‌هانمونگ‌جایه و همکاران (Hanmoungjai *et al*., 2010) و عبدالکریم و همکاران (Abdulkarim *et al*., 2005) همسو بود. بالا بودن میزان رنگ در روغن حاصل از روش حلال می‌تواند مربوط به حل‌پذیری بیشتر پیگمان‌های رنگی در حلال باشد. شدت رنگ روغن‌های گیاهی به طورعمده بستگی به حضور پیگمان‌های رنگی از قبیل کلروفیل دارد که می‌بایست در طی مراحل

تصفیه و رنگ‌بری از روغن جدا شوند (معمولاً روغن‌های با اندیس رنگی کمتر جهت مصارف خوراکی مناسب‌تر هستند).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی روغن کلزا درروش‌های استخراج آنزیمی و حلال.

خصوصیات	ضریب شکست (۲۵ درجه سانتی‌گراد)	دانسیته (gml^{-1}) (۲۰ درجه سانتی گراد)	شاخص صابونی (میلی‌گرم پتاس بر روغن)	فسفر (قسمت در میلیون)
استخراج آنزیمی	۱/۴۶۴±۰/۰۲[a]	۰/۹۱۸±۰/۰۱[a]	۱۸۸±۲[a]	۳۸۶±۰/۳[a]
استخراج با حلال	۱/۴۶۳±۰/۰۳[a]	۰/۹۱۷±۰/۰۲[a]	۱۹۱±۲[b]	۹۵۳±۰/۲[b]

ادامه جدول ۱-

شاخص یدی (گرم ید در ۱۰۰ گرم روغن)	مواد غیر قابل صابونی (٪وزنی - وزنی)	رنگ (سل ۱- اینچ)	
		واحد قرمز	واحد زرد
۱۱۵±۱[a]	۲/۸۵±۰/۰۳[a]	۱/۶ r ±۰/۰۳[a]	۱۶ y ±۰/۴[a]
۱۱۲±۲[a]	۲/۷±۰/۰۲[a]	۲ r ±۰/۰۲[b]	۲۰ y ±۰/۳[b]

میانگین سه تکرار ± SD.

شاخص صابونی در روغن استخراج شده با حلال بالاتر بود. لازم به ذکر است عدد صابونی، متوسط وزن مولکولی اسیدهای چرب تشکیل دهنده گلیسریدهای یک چربی را نشان داده و در ارتباط معکوس با وزن مولکولی چربی است. از طرف دیگر اکسیداسیون نیز می‌تواند باعث افزایش اندیس صابونی گردد (Latif and Anwar, 2009). لذا بالاتر بودن درصد اسید چرب آزاد روغن حاصل از روش حلال می‌تواند در افزایش شاخص صابونی موثر باشد.

پایداری اکسایشی روغن کلزا: شاخص‌های پایداری اکسایشی روغن استخراج شده با هر دو روش در جدول ۲ خلاصه شده است. در استخراج آنزیمی ضریب خاموشی اشعه ماورا بنفش در نواحی جذب ۲۳۲ و ۲۷۲ نانومتر به‌ترتیب ۳/۱۱ و ۰/۷۶ بود که به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) کمتر از روش حلال (با مقادیر ۳/۵۳ و ۰/۸۷) می‌باشد. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت در روش آنزیمی، میزان اولیه اسیدهای چرب غیر اشباع مزدوج شده ثابت مانده که با پایین بودن مقدار شاخص پراکسید نیز در ارتباط است زیرا زوج شدن پیوندهای دوگانه در اسیدهای چرب قبل از پراکسیداسیون اتفاق می‌افتد (Anwar *et al.*, 2006). شاخص پراکسید روغن آنزیمی نیز به‌طور معنی‌داری کمتر از روغن حلال بود که تاییدی بر نتایج فوق می‌باشد. علاوه بر آن درجه حرارت عملیات، در طی استخراج روغن با حلال بر کیفیت روغن به خصوص کاهش پایداری اکسایشی آن می‌تواند موثر باشد. لطیف و انوار (Latif and Anwar, 2008) بیان داشتند هیدرولیز دیواره سلولی در طی استخراج آنزیمی سبب آزادسازی و قابل دسترسی مقادیر بیشتری از توکوفرول‌ها و ترکیبات فنولی در فاز روغنی شده که می‌تواند در پایداری اکسایشی روغن آنزیمی موثر باشد. رانالی و همکاران (Ranali *et al.*, 2003) نشان دادند حفظ مقادیر زیاد توکوفرول‌ها

در فرآیند آنزیمی سبب پایداری بیشتر روغن شده و معمولاً تیمارهای آنزیمی یا تاثیر اندکی روی میزان پیشرفت اکسیداسیون داشته و یا بی‌تاثیر هستند.

میزان اسیدیته روغن آنزیمی به‌طور معنی داری (P<۰/۰۵) پایین تر از اسیدیته روغن حلال می‌باشد که می‌تواند مربوط به تیمار حرارتی مورد استفاده در استخراج با حلال باشد. از آنجا که بر طبق منابع مختلف درصد اسیدهای چرب آزاد روغن کلزا باید در محدوده ۱/۲-۰/۴ درصد باشد نمونه‌ها از اسیدیته مطلوبی بر خوردار بودند (Latif and Anwar, 2009).

جدول ۲- مقایسه پایداری اکسداتیو روغن کلزا درروش‌های استخراج آنزیمی و حلال.

خصوصیات	استخراج آنزیمی	(استخراج باحلال)
اسیدیته (٪ اسید اولئیک)	۰/۵۵۱±۰/۰۲a	۰/۹۸۳±۰/۰۵b
شاخص پراکسید (میلی اکی والان O_2/کیلوگرم)	۱/۰۰ ±۰/۰۸a	۱/۸۷±۰/۰۳b
ضریب خاموشی در جذب nm ۲۳۲	۳/۱۱±۰/۰۶a	۳/۵۳±۰/۰۷b
ضریب خاموشی در جذب nm ۲۷۰	۰/۷۶±۰/۰۴a	۰/۸۷±۰/۰۹b

میانگین سه تکرار ±SD.

میزان پروتئین و ترکیبات کنجاله کلزا: میزان پروتئین و کاهش میزان ترکیبات نامطلوب پروتئین کلزا با هر دو روش استخراج در جدول ۳ آمده است. از مزایای استخراج آنزیمی روغن، تولید آرد کنجاله پر پروتئین می باشد (کنجاله کلزا در روش استخراج با حلال حداکثر دارای ۳۸/۶ پروتئین می‌باشد) که نتایج حاصله به خوبی این مطلب را نشان داده و تاییدی بر نتایج ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2007) می‌باشد. یکی از عوامل محدود کننده مصرف پروتئین کلزا، اسید فیتیک است که معمولاً به‌صورت نمک‌های کلسیم، منیزیم فیتات متصل شده به پروتئین می‌باشد. در مرحله استخراج آنزیمی فیتات‌ها در محیط آبی-آنزیمی به صورت محلول درآمده و از پروتئین جدا شده و در نتیجه مقدار آن به طور معنی‌داری کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر استخراج پذیری اسید فیتیک از پروتئین به دلیل pH قلیایی مناسب فعالیت آنزیم پروتئاز بوده است. در این شرایط تأثیر متقابل بین پروتئین و اسید فیتیک بسیار کم می‌باشد. طبق تحقیقات ژو و دیوشادی (Xu and Diosady, 2002) از pH =۷/۴ به بالا استحکام اسید فیتیک‌ها می‌توانند با پروتئین‌ها و مواد معدنی کاهش یابد.

جدول۳- مقدار پروتئین و ترکیبات کنجاله کلزا درروش‌های استخراج آنزیمی و حلال.

خصوصیات/ روش استخراج	استخراج آنزیمی	استخراج با حلال
پروتئین کنجاله	۶۴/۹±۰/۳a	۳۸/۶±۰/۶b
پروتئین فاز آبی- امولسیونی	۵/۷±۰/۴	--------
٪ فیتات	۲/۲۴±۰/۶a	۴/۸۷±۰/۳b
گلوکوزینولات umol/ gr	۶±۱a	۱۱±۱b

میانگین سه تکرار ±SD.

یکی دیگر از مشکلات مصرف پروتئین کلزا، گلوکوزینولات است که با ظهور ارقـام اصـلاح شـده دو صفر این مشکل حل گردید. همان‌طور که ملاحظه گردید مقدار گلوکوزینولات کنجاله در هـر دو روش بسیار پایین و کمتر از ۳۰ میکرومول برگرم (حد مجاز) بوده است. در مرحلـه اسـتخراج آنزیمـی روغـن ترکیبات گلوکوزینولات به‌دلیل شرایط قلیایی حاکم (pH برابر ۱۰) کاملاً جدا گردیده لـذا مقـدار بـاقی مانده در کنجاله به‌طور معنی‌داری کمتر از روش حلال می‌باشد. طبق تحقیقات انجام شـده توسـط ژو و دیوشادی (Xu and Diosady, 2000) مقدار گلوکزینولات در شرایط استخراج قلیایی تـا حـدود ۹۸-۹۵ درصد کاهش یافت که با نتایج این تحقیق نیز همسو می‌باشد.

نتیجه‌گیری

روغن حاصل از استخراج آنزیمی نسبت به روش حلال از ویژگـی‌هـای کیفـی و پایـداری اکسایشـی بالایی برخوردار بود. همچنین پروتئین حاصل از روش آنزیمی بـه لحـاظ کـاهش ترکیبـات نـامطلوب و محدودکننده از کیفیت و ارزش تغذیه‌ای بالاتری برخوردار بود. لذا اسـتخراج آنزیمـی مـی‌توانـد ضـمن تولید روغن و پروتئین با کیفیت بالا سبب صرفه جویی در مراحل و هزینه‌های بعـدی تصـفیه روغـن و تولید ایزوله‌های پروتئینی از کنجاله کلزا گردد.

منابع

Abdulkarim, S.M., Long, K., Lai, O.M., Muhammad, S.K.S. and Ghazali, H.M. 2005. Some physico-chemical properties of *Moringa oleifera* seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. Food Chem. 93: 253-263.

American Oil Chemist's Society, (AOCS). 2005. Official methods and Recommended Practices of the American oil chemist's Society, 5th Ed, Ba 6-84. The American Oil Chemist's Society Champaign.

Anwar, F., Latif, S. and Ashraf, M. 2006. Analytical characterization of Hemp (*Cannabis sativa*) seed oil from different agro-ecological zones of Pakistan. J. Am Oil. Chem .Soc. 83:323–329.

Association of Official Analytical Chemists, (AOAC). 2005. Official Methods of Analyses, 14 Ed; Association of official Analytical Chemists: Washington, DC, USA.

Febles, C., and Arias I. 200l . phytic acid level infant flour. Food . Chem. 74: 437-441.

Hanmoungjai, P., Pyle, D.L. and Niranjan, K. 2001. Enzymatic process for extracting oil and protein from rice bran. J. Am Oil. Chem. Soc. 78:817–821.

Latif, S. and Anwar, F. 2008. Quality assessment of *Moringa concanensis* seed oil extracted through solvent and aqueous enzymatic techniques. Grasas Aceites. 59:67–73.

Latif, S., Diosady, L. and Anwar, F. 2009. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from canola (*Brassica napus* L.) seeds. Eur J Lipid Sci Tech. 110:887–892.

Nelda, R., Paz, R., Masson, L., Ortiz, J., Gonzalez, K., Tapia, K. and Dobaganes, C. 2007. Effect of a-tocopherol, a-tocotrienol and Rosa Mosqueta Shell Extract on the

Performance of Antioxidant-Stripped Canola Oil (*Brassica* Sp.) at High Temperature. Food Chem. 104: 383-389.

Ranali, A., Pollastri, L., Contento, S. and Iannucci, E. 2003. The glyceridic and non glyceridic constituents of virgin olive oil after use of a novel method of enzyme extraction. Int J Food Sci Tech. 38:17–27.

Shahidi, F. 1990. Canola and rapeseed production, chemistry, Nutrition and processing Technology. Van Nostrand Reinhold New York. 175-350.

Tabtabaei, S., and Diosady, L.L. 2013. Aqueous and enzymatic processes for the production of food-grade proteins and industrial oil from de-hulled yellow mustard flour. Food Res Int. 52:547-556.

Wetter, C.R. and Youngs, C.G. 1976. A thiourea U.V assay for total glucosinolate content in rapeseed meals. J. Am. Oil. Chem. Soc. 53: 162-165.

XU, L. and Diosady, L.L. 2002. Removal of phenolic compound in the production of high quality canola protein isolates. Food Res Int. 35: 23-30.

XU, L. and Diosady, L.L. 2000. Interactions between canola protein and phenolic compounds in aqueous media . Food. Res Int. 75(2): 212-215.

Yusoff, M. M., Gordon, M. H., and Niranjan, K. 2014. Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods. Trends in Food Sci & Tech. 1-23.

Zhang, S.B., Wang, Z., and Xu, S.Y. 2007. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil and protein hydrolysates. J. Am Oil. Chem. Soc. 84: 97-105.

Zhang, Y.L., Li, S., Yin, C.P., Jiang, D.H., Yan, F.F., and Xu, T. 2012. Response surface optimization of aqueous enzymatic oil extraction from bayberry (*Myrica rubra*) kernels. Food Chem. 135: 304-308.