بررسی شرایط مناسب فرآیند استخراج آنزیمی و تاثیرآن برخصوصیات کمی و کیفی روغن کلزا

فهیمه آگاه[a]*، سودابه عین افشار[b]، ریحانه احمدزاده قویدل[c]

[a] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
[b] استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، خراسان رضوی، ایران
[c] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۷/۱۳

چکیده

مقدمه: یکی از این روش‌های جدید استخراج روغن از کلزا استفاده از آنزیم در محیط آبی می‌باشد، که در واقع شکست دیواره سلولی دانه توسط آنزیم‌ها صورت گرفته و ترکیبات سلولی که شامل روغن، پروتئین و پلی ساکاریدها می باشند به فاز آبی منتقل و از هم جدا می‌گردند. ترکیب پیچیده دیواره سلولی در هر واریته و اثرات منطقه ای سبب شده که شرایط بهینه استخراج آنزیمی متفاوت باشد.

مواد و روش‌ها: دراین تحقیق، جهت بدست آوردن شرایط بهینه استخراج آنزیمی روغن کلزا از مخلوط آنزیمی پکتینکس اولترا اس پی- ال به همراه پروتئاز استفاده گردید . آزمایشات فاکتوریل در قالب کاملا تصادفی با سه تیمار غلظت آنزیم (۱، ۲ و۳٪ حجمی- وزنی)، زمان واکنش (۳ ،۴ و ۵ ساعت) و در درجه حرارت (۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد) بر میزان راندمان استخراج روغن، فسفر، اسیدیته، پراکسید و میزان پروتئین کنجاله استحصالی در رقم اوکاپی منطقه خراسان مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد عوامل غلظت آنزیم، درجه حرارت و زمان واکنش تأثیر معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) روی راندمان، مقادیر فسفر و پروتئین داشتند. غلظت‌های ۲ و۳٪، دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان های ۴ و ۵ ساعت مناسب‌ترین شرایط بودند، ضمن اینکه مقایسه میانگین‌ها ($p< ۰/۰۵$) اختلاف معنی‌داری را بین شرایط مذکور نشان نداد. روند تغییرات اسیدیته و پراکسید نیز تحت شرایط مختلف استخراج آنزیمی معنی‌دار نبود و در تمامی شرایط پایین بود.

نتیجه‌گیری: می توان بکارگیری آنزیم با غلظت ۲ درصد، دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در مدت ۴ ساعت را شرایط مناسب استخراج آنزیمی-آبی در روغن کلزای مورد تحقیق دانست.

واژه‌های کلیدی: *استخراج آنزیمی-آبی، کانولا/کلزا، کمیت و کیفیت روغن*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: fahagah50@yahoo.com

jftn.srbiau.ac.ir

مقدمه

میزان زیاد روغن در دانه کلزا و همچنین ترکیب مناسب اسیدهای چرب آن (حدود۶۰٪ اسید اولئیک، ۲۰٪ اسید لینولئیک و ۹/۶٪ اسید لینولنیک) سبب توجه اکثر کشورهای جهان به این دانه روغنی شده است ، بطوریکه امروزه مقام سوم را در تامین روغن نباتی و مقام پنجم را در تامین پروتئین جهان به خود اختصاص داده است . ارزش غذایی روغن کلزا بدلیل مقدار کم اسیدهای چرب اشباع شده و مقدار نسبتاً زیاد اسیداولئیک می باشد و از نظر پروتئین نیز کنجاله آن حاوی مقادیر نسبتاً زیادی پروتئین است (میرنظامی، ۱۳۷۶; رادفر، ۱۳۸۶).

در کشور ما نیز سطح زیر کشت دانه‌های روغنی خصوصا کلزا در استان مازندران، گلستان، خراسان و فارس گسترش زیادی پیدا کرده است . لذا بررسی صنایع تبدیلی آن بخصوص صنعت روغن کشی از دانه اهمیت بسزایی خواهد داشت . در سال های اخیر کاربرد آنزیم در صنایع روغن‌کشی به دلیل مزایایی که این کاتالیزورهای بیولوژیکی دارند بیشتر مورد توجه قرار گرفته است . این آنزیم‌ها اختصاصی بوده و در درجه حرارت های نسبتاً پایین واکنش‌های مربوطه را کاتالیز می نمایند. این فاکتورها موجب سمت‌گیری تحقیقات و کاربردهای صنعتی آنزیم ها در فرآیندهای مختلف صنایع روغن و چربی و عملیات واحد نظیر استخراج، صمغ گیری و استریفیکاسیون (زمستانه کردن) چربی هاگردید (قدس ولی، ۱۳۸۶; عالم زاده ۱۳۷۷). اگر چه روش مرسوم جهت استخراج روغن کلزا در حال حاضر روش پرس – حلال می‌باشد اما این روش به دلیل نیاز به وسایل و تجهیزات بزرگ ، هزینه بر ، پتانسیل ایجاد حریق و انفجار را نیز دارد. علاوه بر آن روغن حاصله از مرحله استخراج خصوصا با حلال ضمن این که دارای رنگ تیره‌تر بوده از اسیدیته بالاتری نیز برخوردا ر می‌باشد که سبب افزایش افت و هزینه های بعدی تصفیه روغن خواهد شد که در واقع هزینه مصرف آنزیم را قابل توجیه خواهد کرد. علاوه بر آن، درجه حرارت بالا در حلال زدایی تفاله حاصله سبب کاهش ارزش تغذیه ای و خواص عملکردی پروتئین می گردد (Dominguez, 1994; Meakin and Mackey, 2003).

استخراج آنزیمی در محیط آبی خصوصاً در مورد دانه کلزا کاربرد یافته است، دیواره سلولی معمولاً از ترکیباتی نظیر مواد پکتیکی، سلولز، همی سلولز و چربی های آمیخته با پروتئین ها ساخته شده است . در واقع شکست دیواره سلولی توسط آنزیم صورت گرفته و ترکیبات سلولی که شامل روغن پروتئین و پلی ساکاریدها می باشند به فاز آبی منتقل و از آنجا توسط سانتریفوژ به تفکیک جدا می گردند . میزان فسفر و سایر ترکیبات نظیر تانن ها، سیناپین و اسیدفیتیک به مقدار فراوان در دانه وجود دارد که در صورت استفاده از روش‌های متداول در کنجاله باقی می ماند، اما با روش فرآیندآنزیمی این مواد تجزیه و بهمراه آب خارج شده و در نتیجه منجر به تولید کنجاله‌ای با مقادیر بسیار پائین از این نوع ترکیبات و با پروتئین بالا خواهد شد. کلیه مطالعات انجام شده ثابت نموده است که غلظت آنزیم و به کارگیری مخلوط‌های آنزیمی اثرات مطلوب تری دارند و آن هم بواسطه فعالیت های چندگانه آنها می باشد زیرا منجر به تجزیه کامل دیواره های سلولی و نهایتاً آزاد سازی کامل روغن از دانه می گردند (Deng *et al*., 1999; Miller-Ceber *et al*., 2009).

عملیات آنزیمی و فرآیند آبکی استخراج روغن از دانه‌های روغنی، جنبه های اقتصادی و سلامتی محیط زیست را نیز مد نظر دارد، بطوریکه در این عملیات درجه حرارت‌های پائین تر استفاده می گردد و متعاقباً انرژی مصرفی کاهش می‌یابد و روغن استخراجی معیارهای کیفی لازم را پیدا خواهد کرد . در مورد دانه های روغن ی، این فرآیند جایگزینی برای فرآیند پرس کردن یا استخراج با حلال از دانه هایی نظیر بادام زمینی، آفتابگردان، پنبه دانه، کلزا و سویا می‌باشد (Shahidi, 1990 ; Pereira *et al*., 2002). استخراج آنزیمی جهت استخراج روغن از جوانه ذرت با یک مخلوط آنزیمی شامل آنزیم پکتینکس و گاماناز در غلظت ۳ درصد، دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۵ ساعت به کار رفت. کیفیت روغن حاصله با اندیس اسیدی ۱/۵ ٪، رنگ زرد روشن، پر اکسید ۰/۵ میلی اکی والان بر کیلو گرم ،۲/۲۲٪ فسفاتید بدست آمد (Moreau *et al*. 2004). استفاده از مخلوط آنزیم‌های هیدرولیز کننده به عنوان پیش تیمار جهت افزایش راندمان استخراج روغن سویا نسبت به روش‌های معمولی یا سنتی استفاده بکار رفت، که شرایط pH = ۵/۸ با دمای ۴۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۵ ساعت برای دانه خرد شده با تخلخل بیشتر و سنگین تر پیشنهاد گردید (Lamsal and Johnson,

jfn.srbiau.ac.ir

2007). استخراج آنزیمی روغن زیتون با استفاده از آنزیم‌های صنعتی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که غلظت آنزیم تاثیر معنی‌داری بر روی راندمان رنگ و کدورت داشت . در حالیکه، اثر معنی داری بر روی خصوصیات دیگر مانند اسیدیته، پراکسید و عدد یدی نداشت . کدروت به طور معنی داری در روش استخراج آنزیمی کاهش یافت و راندمان نیز به طور معنی داری تا ۲/۴٪ نسبت به روش معمول افزایش یافت (Najafian *et al.*, 2009). روغن کشی از کلزا با مخلوطی از آنزیم‌های سلولاز، پکتیناز و پروتئیناز صورت گرفت . میزان پروتئین کنجاله ۵۴٪، با ارزش بیولوژیکی ۹۲/۷ ٪ بدست آمد و راندمان استخراج روغن از مخلوط چند آنزیمی موثرتر از سلولاز یا پکتینازها به تنهایی است (Ohlson, 1995; Zhang *et al.*, 2007). افزایش راندمان استخراج روغن از هسته انگور با استفاده از مخلوط آنزیمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج درجه حرارت ۴۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد، اندازه ذرات بین ۱/۴ — ۱ میلی متر pH = ۵/۵ را در مخلوط آنزیمی سلولاز، پروتئاز و پکتیناز مناسب نشان داد (Passos *et al.*, 2009).

لذا در این تحقیق به بررسی روش استخراج آنزیمی روغن کلزا از رقم اوکاپی پرداخته شد، تا شرایط مناسب استخراج آنزیمی و خصوصیات کمی و کیفی روغن و کنجاله حاصله نیز ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

نمونه کلزای مورد بررسی از ارقام غالب منطقه خراسان رضوی (رقم اوکاپی) بود که با مدیریت زراعی مناسب کشت شده بود و از بخش تحقیقات دانه های روغنی تهیه گردید. نمونه‌ها با رطوبت ۱۴-۱۲ ٪ برداشت و پس از جداسازی ناخالصی ها، دانه‌ها تا رطوبت ۸ ٪ خشک شدند (با استفاده از خشک کن کابینتی و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه).

- مراحل استخراج آنزیمی در محیط آبی

مراحل اولیه فرآیند شامل آسیاب کردن و اعمال تیمار حرارتی جهت غیرفعال کردن آنزیم میروزیناز و سایر آنزیم‌ها و پخت دانه می‌باشد. بدین منظور دانه های پوست‌گیری شده (با استفاده از پوستگیر دو غلطکی و سپس توسط فن دستگاه و الک های موجود تا حد امکان پوسته از دانه جدا گردید) در آسیاب کاملا خرد شده و در محیط نیمه مایع رقیقی، (با نسبت ۵:۱ وزنی- حجمی دانه به آب) به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد پخت و سپس تا دمای محیط خنک شد. ازآنجائیکه ترکیبات دیواره سلولی دانه تابعی از واریته، منطقه و اقلیم می باشد، آنزیم‌های مصرفی در این پروژه از گروه هیدرولازها بوده و بر اساس ترکیباتی که لازم است تحت هیدرولیز قرار گیرند، ازخانواده عمده پکتینازها، سلولازهاو پروتئازها انتخاب شدند. جهت بدست آوردن شرایط بهینه استخراج آبکی از مخلوط آنزیمی پکتینکس اولترا اس پی- ال و پروتکس ۷ ال، (ساخت شرکت نوونورودیسک دانمارک) به نسبت ۱ به ۱ استفاده شد. این آنزیم‌ها به شکل مایع بوده و مستقیم به صورت حجمی وزنی نسبت به وزن دانه به محیط آبکی استخراج اضافه می گردد. سه تیمار غلظت آنزیم (۱، ۲ و۳٪ حجمی- وزنی)، زمان واکنش (۳ ،۴ و ۵ ساعت) و در درجه حرارت (۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد) مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است، پکتینکس اولترا اس پی- ال آنزیمی با فعالیت پکتولیتیک بالا ۲۶۰۰۰PG/ml بوده که به حالت فیزیکی مایع و قهوه ای رنگ می‌باشد و به وسیله یک سویه انتخابی از *Aspergillus aculeatus* تهیه شده است. این آنزیم د ارای فعالیت های پکتولیتیک، همی سلولولیتیک، سلولولیتیک و دیگر فعالیت های جانبی آنزیمی است که به همراه پروتئاز (پروتکس۷ ال) بخصوص برای تجزیه و خرد کردن دیواره سلول و شکستن امولسیون مناسب می‌باشد. پس از طی مدت اینکوباسیون در شرایط هم‌زدن ۸۰ دور در دقیقه و pH=۴/۵ در اینکوباتور شیکردار (کنترل pH با اسید کلریدریک و سود ۰/۱ نرمال در طول اینکوباسیون توسط دستگاه pH متر صورت گرفت). مخلوط آنزیمی بواسطه فعالیت های چندگانه منجر به آزاد سازی روغن شد . جهت جداسازی فازهای مخلوط حاصله هر نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در (rpm) ۷۰۰۰ در سانتریفوژ سه فازی فاز روغن از فاز جامد رسوبی پروتئینی کنجاله جدا گردید (لازم به ذکر است فاز مایع دارای سه لایه روغن آزاد، مایع حاوی کربوهیدرات ها وپروتئین‌های محلول است و فاز جامد یک لایه از پروتئین‌های رسوبی و پوسته بود که پس از خشک شدن جهت آزمایشات م ورد استفاده قرار گرفت).

jfs.srbiau.ac.ir

- آزمایشات کمی و کیفی

- اندازه‌گیری اسیدیته روغن

اسیدیته بر حسب اسید اولئیک و توسط تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال در مقابل فنل فتالئین (طبق استاندارد AOAC, 2005 به شماره۹۴۰/۲۸) اندازه‌گیری شد.

- اندازه‌گیری پراکسید روغن

ابتدا محلول‌های استاندارد آهن III با غلظت mg/ml ۴-۱ تهیه شده، ۱/۱۰ میلی لیتر از محلول های استاندارد به ۹/۸ ml مخلوط کلرفرم – متانول با نسبت ۷:۳ اضافه و به مدت ۴-۲ ثانیه هم زده می شود . سپس به ترتیب ۵۰ میکرولیتر محلول تیوسیونات و محلول آهن II اضافه و بعد از اضافه کردن ه ر کدام به مدت ۴-۲ ثانیه هم زده می‌شود. بعد از ۵ دقیقه گرمخانه‌گذاری در دمای اتاق، جذب نمونه در طول موج ۵۰۰ نانومتر در برابر شاهد تعیین می‌شود. سپس منحنی خطی غلظت آهن III در برابر میزان جذب در ۵۰۰ نانومتر رسم می شود و شیب آن تعیین می‌گردد. نمونه روغن بسته به میزان پراکسیداسیون در لوله‌های آزمایش وزن شده و با ۹/۸ سی سی حلال کلروفرم – متانول ۳:۷ مخلوط و به مدت ۲ تا ۴ ثانیه هم زده شد. بقیه مراحل مشابه ترسیم منحنی کالیبراسیون است. تمامی مراحل زیر نور ملایم و به مدت ۱۰ دقیقه صورت می‌گیرد عدد پراکسید از فرمول زیر حساب می‌شود: (Shanta & Deker, 1994)

$$P.V = \frac{A_s - A_b \times m}{111/68 \times W}$$

m: شیب به دست آمده از منحنی کالیبراسیون،

A_s: جذب نمونه در طول موج ۵۰۰ نانومتر، A_b : جذب شاهد، W: وزن نمونه روغن است.

- اندازه‌گیری میزان فسفر به روش اسپکتروفتومتری

میزان فسفری که که در داخل روغن مانده در مجاورت هیدرازید سولفات و سدیم مولیبدات یک کمپلکس آبی رنگ تشکیل می دهد که بر اساس سنجیدن غلظت رنگ توسط اسپکتروفتومتر و رسم منحنی استاندارد فسفات میزان فسفر روغن در جذب ۴۲۰ نانومتر(طبق استاندارد AOCS 1993 به شماره Ca 12-55) اندازه گیری شد.

- اندازه‌گیری پروتئین

بر اساس روش کلدال نمونه ها هضم و سپس با تیتراسیون مقدار (N × 6.25) مقدار کل پروتئین رسوبی در فاز آبی (طبق استاندارد AOAC, 2005 به شماره ۹۴۸/۱۳) محاسبه گردید.

- اندازه‌گیری راندمان استخراج روغن

راندمان استخراج بر اساس رابطه ذیل محاسبه گردید:

$$\text{راندمان استخراج روغن} = \frac{\text{مقدارروغن باقی مانده در کنجاله} - \text{مقدار کل روغن کلزا}}{\text{مقدار کل روغن کلزا}} \times ۱۰۰$$

- تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از آزمایش ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل، با سه تیمار غلظت آنزیم، زمان واکنش و درجه حرارت هر کدام در سه سطح در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت . آنالیز واریانس و مقایسه میانگین ها از نرم افزار MSTAT-C استفاده شد. میانگین اثرات اصلی و متقابل فاکتورها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p<۰/۰۵$) مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها

- مشخصات اولیه دانه و کنجاله کلزا

در جدول ۱ نتایج حاصل از آزمون‌های شیمیایی رقم اوکاپی کلزا آورده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد میزان روغن ۴۳/۳٪ و مقدار پروتئین کنجاله ۳۸/۵٪ بدست آمده است. مقادیر مورد اندازه گیری می تواند به دلیل اختلافات ژنتیکی بین ارقام و شرایط منطقه ای و آب و هوایی متفاوت باشد.

جدول ۱- خصوصیات اولیه رقم کلزای مورد آزمایش

رقم	رطوبت (%)	روغن (%)	پروتئین کنجاله (%)	اسیدیته (%)	پراکسید (meqo2\kg)	فسفر (mg\kg)
اوکاپی	۸ ± ۰/۴	۴۳/۳ ± ۰/۵	۳۸/۵ ± ۰/۲۹	۰/۳۵ ± ۰/۰۳	۱/۱۰ ± ۰/۰۵	۱۵۶/۲ ± ۲/۷

a: نتایج عبارت است از میانگین و انحراف معیار ۳ تکرار.

jfn.srbiau.ac.ir

- اثر عامل غلظت آنزیم بر راندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین کنجاله

لازم به توضیح است، نتایج این تحقیق بر اساس تجزیه آماری به روش فاکتوریل در قالب کاملا تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است . براساس جدول تجزیه واریانس مربوطه، این روش به طور جداگانه اثر اصلی هر یک ازعوامل و سپس اثر متقابل دو عامل با یکدیگر و نهایتاً اثرمتقابل هر سه عامل را با یکدیگر مورد بررسی قرار می دهد، که در این تحقیق اثر عوامل غلظت آنزیم درجه حرارت و زمان به عنوان اثرات اصلی و بر هم کنش بین آنها به عنوان اثرات متقابل در قسمت نتایج ذکر شده است. به عبارت دیگر وقتی اثر غلظت آنزیم را مورد بررسی قرار می‌دهد یعنی میانگین تمامی شرایط دیگر را از نظر درجه حرارت و زمان در غلظت آنزیم مورد نظر بررسی می کند تا تاثیر عامل آنزیم در غلظتهای مختلف دیده شود (یزدی صمدی و همکاران، ۱۳۹۰).

جدول ۲ میانگین خصوصیات اندازه گیری شده تحت تاثیر غلظت آنزیم را نشان می دهد. تجزیه آماری داده ها ($p<۰/۰۱$) اثر معنی دار غلظت آنزیم بر خصوصیات اندازه گیری شده را نشان داد، مقدار راندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین تحت تأثیر غلظت آنزیم مورد استفاده به ترتیب در دامنه ای از ۶۱/۱۵ – ۸۵/۹۷٪، ۰/۳۶ – ۰/۳۷، ۱/۱۱ – ۱/۲۲ (meq o2\kg) ، ۵۸/۷۴ – ۴۲/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۴۵/۳۰ – ۵۰/۳۹ ٪ قرار داشتند.

همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می گردد کمترین راندمان استخراج با میزان ۶۶/۱۵ مربوط به غلظت ۱٪ و بالاترین راندمان با مقدار ۸۵/۹۷ ٪ در غلظت ۳ ٪ بود. مقایسه میانگین ها در سطح ($p<۰/۰۵$) نشان داد بین غلظت‌های ۲ و ۳ ٪ اختلاف معنی دار نبوده و افزایش غلظت آنزیم از ۲٪ به بالا تاثیری بر افزایش راندمان استخراج روغن نداشت. تاثیر غلظت آنزیم، بر شاخص های اسیدیته و پراکسید به عنوان معیاری جهت ارزیابی کیفی روغن معنی دار نبود . کمترین میزان میانگین فسفر در غلظت ۲٪ و بیشترین آن در غلظت ۱٪ حاصل شد، که ناشی از خروج بیشتر فسفر یا بعبارت دیگر ترکیبات صمغی از روغن به فاز آبی می باشد. در ارتباط با میزان پروتئین تاثیر آنزیم بین غلظت های ۲ و۳ ٪ معنی دار نبوده و بیشترین میزان پروتئین با مقدار ۵۰/۳۹ ٪ در غلظت ۳٪ و کمترین آن با مقدار ۴۵/۳۰ ٪ در غلظت ۱٪ بود.

- تاثیر عامل درجه حرارت برراندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین کنجاله

جدول ۳ میانگین خصوصیات اندازه گیری شده تحت تاثیر دمای واکنش را نشان می دهد. تجزیه واریانس داده‌ها اثر معنی دار ($p<۰/۰۱$) این عامل را برخصوصیات اندازه‌گیری شده را نشان داده است.

جدول۲- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر عامل غلظت آنزیم

منبع تغییر (غلظت آنزیم ٪)	راندمان استخراج (%)	اسیدیته (%)	پراکسید (meq o2\kg)	فسفر (mg\kg)	پروتئین کنجاله (%)
۱	۶۶/۱۵ b	۰/۳۶ a	۱/۱۱ a	۵۸/۷۴ c	۴۵/۳۰ b
۲	۸۵/۴۹ a	۰/۳۵ a	۱/۲۱ a	۴۴/۶۶ b	۵۰/۳۰ a
۳	۸۵/۹۷ a	۰/۳۷ a	۱/۲۲ a	۴۲/۳۳ a	۵۰/۳۹ a

در هر ستون اختلاف معنی دارآمار ی بین میانگین های با حروف یکسان وجود ندارد

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر درجه حرارت

منبع تغییر درجه حرارت (C°)	راندمان استخراج (%)	اسیدیته (%)	پراکسید (meq o2\kg)	فسفر (mg\kg)	پروتئین کنجاله (%)
۳۵	۶۵/۲۵ b	۰/۳۳ a	۱/۱۶ a	۵۴/۲۸ c	۴۷/۴۱ b
۴۵	۸۶/۳۵ a	۰/۳۴ a	۱/۱۹ a	۴۶/۶۸ b	۴۹/۵۷ a
۵۵	۸۶/۰۱ a	۰/۴۱ a	۱/۲۰ a	۴۴/۷۶ a	۴۹/۰۲ ab

در هر ستون اختلاف معنی‌دار آماری بین میانگین‌های با حروف یکسان وجود ندارد.

ifrt.srbiau.ac.ir

با افزایش درجه حرارت مقدار راندمان استحصال روغن افزایش و همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، مقدار آن از ۶۵/۲۵٪ در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به ۸۶/۳۵ ٪ در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد رسیده است . اما مقایسه میانگین‌ها نشان داد این افزایش دماهای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد معنی دار نبوده است . مقدار اسیدیته در دامنه ۰/۳۳ تا ۰/۴۱٪ قرار داشت و مقایسه میانگین ها بین دماهای ۳۵ و ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی گراد تفاوتی را نشان نداد. عامل درجه حرارت بر مقدار تغییر پراکسید نیز معنی‌دار نبود. میزان فسفر که در واقع معیاری جهت فرآیند صمغ گیری روغن است با شدت بیشتری نسبت به سایر خصوصیات تحت تاثیر دمای استخراج قرار گرفت و همانطور که ملاحظه می گردد، مقدار آن از mg\kg ۵۴/۲۸ در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد به mg\kg ۴۴/۷۶ در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد رسید. روند تغییرات در مقدار پروتئین متناسب با راندمان استخراج، در کنجاله آنزیمی که به کنجاله پر پروتئین نیز معروف می‌باشد، ۴۹/۵۷ ٪ در شرایط دمایی ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود.

- اثر عامل درجه حرارت × غلظت آنزیم بر راندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین کنجاله

تجزیه و تحلیل آماری نتایج نشان داد در تمامی غلظت‌ها، راندمان استخراج با افزایش دما، افزایش یافته است و در غلظت های ۱، ۲ و ۳٪ در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد راندمان به ترتیب به ۷۰/۲۰، ۹۲/۳۶ و۹۲/۵۰٪ رسید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بین دماهای ۴۵ و ۵۵ در تمامی غلظت ها اختلاف معنی دار نبوده ضمن اینکه در تمامی دماها راندمان در غلظت‌های ۲ و ۳٪ نیز بالاتر بود. بنابراین با توجه به صرفه جویی در عوامل تولید، غلظت آنزیم ۲٪ در شرایط دمایی ۴۵ درجه سانتی‌گراد مناسب تر می‌باشد. تاثیر عامل غلظت آنزیم در درجه حرارت بر تغییرات اسیدیته و پراکسید معنی‌دار نبود. میزان فسفر تحت تاثیر عامل غلظت و درجه حرارت قرار داشت و کمترین مقدار فسفر در غلظت‌های ۲ و ۳٪ در دمای ۴۵ و۵۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمد . مقدار پروتئین نمونه ها نیز روندی مشابه داشت بطوریکه بیشترین مقدار پروتئین در غلظت‌های ۲ و ۳٪ و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر غلظت آنزیم × درجه حرارت

منابع تغییر (C°) درجه حرارت × غلظت آنزیم	راندمان استخراج (%)	اسیدیته (%)	پراکسید (meq o2\kg)	فسفر (mg\kg)	پروتئین کنجاله (%)
غلظت ۱٪					
	۵۸/۶۸ c	۰/۳۳ a	۱/۱۰ a	۶۱/۴۴ f	۴۴/۶۳ d
	۷۰/۲۰ b	۰/۳۵ a	۱/۱۱a	۵۸/۰۱ e	۴۵/۱۵ d
	۶۹/۵۶ b	۰/۴۱ a	۱/۱۲a	۵۶/۷۷ e	۴۶/۱۴ d
غلظت ۲٪					
	۶۸/۰۸ b	۰/۳۳ a	۱/۲۰ a	۵۳/۶۵ d	۴۸/۴۱ c
	۹۲/۳۶ a	۰/۳۳ a	۱/۲۲ a	۴۰/۵۲ b	۵۱/۹۹ a
	۹۲/۰۲ a	۰/۴۱ a	۱/۲۳a	۳۹/۸۲ b	۵۰/۵۰ ab
غلظت ۳٪					
	۶۸/۹۷ b	۰/۳۴ a	۱/۲۰ a	۴۷/۷۶ c	۴۹/۲۰ bc
	۹۲/۵۰ a	۰/۳۵ a	۱/۲۳ a	۴۱/۵۲ b	۵۱/۵۷ a
	۹۲/۴۴ a	۰/۴۱ a	۱/۲۴ a	۳۷/۷۰ a	۵۰/۴۲ ab

در هر ستون اختلاف معنی‌دار آماری بین میانگین‌های با حروف یکسان وجود ندارد.

jfn.srbiau.ac.ir

- تاثیر عامل زمان واکنش بر راندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین کنجاله

جدول ۵ نتایج میانگین خصوصیات اندازه گیری شده تحت تاثیر عامل زمان را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می گردد، راندمان استخراج با افزایش زمان، افزایش یافت. بالاترین راندمان در زمان ۵ ساعت بدست آمد، اما مقایسه میانگین ها اختلاف معنی داری را بین زمان‌های ۴ و ۵ ساعت نشان نداد. زمان واکنش آنزیمی بر خصوصیات کیفی اسیدیته و پراکسید معنی دار نبود. تغییرات پراکسید پایین و تغییرات اسیدیته نیز در حد قابل اغماض بود. روند تغییرات فسفر و پروت ئین کنجاله آنزیمی مشابه یکدیگر بود و بهترین نتایج در شریط زمانی ۴ و ۵ ساعت بدست آمد.

- اثر عامل زمان × غلظت آنزیم برراندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین کنجاله

میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر زمان و غلظت آنزیم در جدول ۶ خلاصه شده است . در تمامی غلظت‌ها روند افزایشی راندمان با افزایش زمان، مشاهده می گردد. تاثیر زمان و غلظت آنزیم بر تغییرات اسیدیته و پراکسید در تمامی غلظت ها و زمان ها یکسان و از نظر آماری نیز معنی دار نبود . روند تغییرات فسفر و پروتئین یکسان و بهترین نتایج در ارتباط با میزان کاهش فسفردر شرایط غلظت۲٪ و زمان ۴ ساعت، غلظت ۲٪ و زمان ۵ ساعت غلظت ۳٪ و زمان ۴ ساعت و غلظت ۳٪ و زمان ۵ ساعت و در ارتباط با افزایش پروتئین در آرد کنجاله در شرایط غلظت۲٪ و زمان ۴ ساعت (۵۰/۷۸٪)، غلظت ۲٪ و زمان ۵ ساعت (۵۱/۳۰٪)، غلظت ۳٪ و زمان ۴ ساعت (۵۱/۸۷٪) و غلظت ۳٪ و زمان ۵ ساعت (۵۱/۲۱٪) بدست آمد، که اختلاف اعداد ذکر شده نیز از نظر آماری معنی دار نبود.

- اثر عامل زمان × درجه حرارت برراندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین کنجاله

بررسی هم زمان دو فاکتور زمان و درجه حرارت و نتایج حاصل در جدول ۷ آمده است . همانطور که ملاحظه می‌گردد، افزایش زمان به همراه افزایش درجه حرارت سبب افزایش راندمان استخراج شده است . بهترین راندمان استخراج در شرایط دمایی ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی گراد و زمان‌های ۴ و ۵ ساعت حاصل شد. بنابراین می‌توان دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به همراه ۴ ساعت زمان را بعنوان شرایط مناسب استخراج آنزیمی انتخاب کرد . اسیدیته و پراکسید تحت تاثیر همزمان این دو فاکتور قرار نگرفته بطوریکه تغییرات آنها بسیار جزئی بود. کمترین میزان فسفر در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۴ و ۵ ساعت بدست آمد، اما مقایسه میانگین ها اختلاف این مقادیر را با مقادیر بدست آمده در شرایط دمایی ۴۵ درجه سانتی گراد و زمان‌های ۴ و ۵ ساعت معنی‌دار نشان نداد.

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر زمان واکنش آنزیمی

منبع تغییر	راندمان استخراج	اسیدیته	پراکسید	فسفر	پروتئین کنجاله
زمان (ساعت)	(%)	(%)	(meq o2\kg)	(mg\kg)	(%)
۳	۷۵/۰۴ b	۰/۳۵ a	۱/۱۵ a	۵۰/۷۳b	۴۷/۱۸ b
۴	۸۱/۰۸ a	۰/۳۶ a	۱/۱۹ a	۴۷/۷۸ a	۴۹/۱۸ a
۵	۸۱/۴۹ a	۰/۳۷ a	۱/۲۰ a	۴۷/۲۱ a	۴۹/۶۴ a

در هر ستون اختلاف معنی‌دار آمار ی بین میانگین‌های با حروف یکسان وجود ندارد.

jftn.srbiau.ac.ir

جدول ۶- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر زمان× غلظت آنزیم

منابع تغییر زمان(ساعت) × غلظت آنزیم	راندمان استخراج (%)	اسیدیته (%)	پراکسید (meq o2\kg)	فسفر (mg\kg)	پروتئین کنجاله (%)
غلظت ۱٪					
۳	۶۰/۸۴ d	۰/۳۶ a	۱/۰۸ a	۶۲/۲۶ d	۴۳/۶۳ e
۴	۶۸/۸۰ c	۰/۳۶ a	۱/۱۲a	۵۷/۶۳ c	۴۵/۸۹ d
۵	۶۸/۸۱ c	۰/۳۷ a	۱/۱۲ a	۵۶/۳۳ c	۴۶/۴۰ d
غلظت ۲٪					
۳	۸۱/۷۴ b	۰/۳۴ a	۱/۱۸ a	۴۷/۰۱ b	۴۸/۸۱ c
۴	۸۷/۰۶ a	۰/۳۵ a	۱/۲۲ a	۴۳/۵۹ a	۵۰/۷۸ ab
۵	۸۷/۶۶ a	۰/۳۷ a	۱/۲۴ a	۴۳/۴۰ a	۵۱/۳۰ a
غلظت ۳٪					
۳	۸۲/۵۴ b	۰/۳۶ a	۱/۲۰ a	۴۲/۹۳ a	۴۹/۱۱ bc
۴	۸۷/۳۷ a	۰/۳۷ a	۱/۲۳a	۴۲/۱۳ a	۵۰/۸۷ ab
۵	۸۸/۰۰ a	۰/۳۸ a	۱/۲۵ a	۴۱/۹۲ a	۵۱/۲۱ a

در هر ستون اختلاف معنی‌دار آماری بین میانگین‌های با حروف یکسان وجود ندارد.

جدول ۷- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر درجه حرارت× زمان

منابع تغییر زمان (ساعت) × درجه حرا رت	راندمان استخراج (%)	اسیدیته (%)	پراکسید (meq o2\kg)	فسفر (mg\kg)	پروتئین کنجاله (%)
دمای C° ۳۵					
۳	۶۱/۴۴ d	۰/۳۳ a	۱/۱۴ a	۵۵/۵۲ e	۴۶/۲۱ e
۴	۶۶/۷۵ c	۰/۳۳ a	۱/۱۷ a	۵۴/۳۵ ed	۴۷/۴۷ de
۵	۶۷/۵۵ c	۰/۳۵ a	۱/۱۸ a	۵۲/۹۸ d	۴۸/۵۶ bcd
دمای C° ۴۵					
۳	۸۲/۲۴ b	۰/۳۴ a	۱/۱۶ a	۵۰/۵۳ c	۴۷/۸۷ cde
۴	۸۸/۳۶ a	۰/۳۵ a	۱/۲۰ a	۴۵/۰۰ ba	۵۰/۷۰ a
۵	۸۸/۴۵ a	۰/۳۵ a	۱/۲۱ a	۴۴/۵۲ ba	۵۰/۱۴ ab
دمای C° ۵۵					
۳	۸۱/۴۴ b	۰/۳۹ a	۱/۱۷ a	۴۶/۱۵ b	۴۷/۴۸ de
۴	۸۸/۱۲ a	۰/۴۱ a	۱/۲۰ a	۴۴/۰۰ a	۴۹/۳۷ abc
۵	۸۸/۴۶ a	۰/۴۲ a	۱/۲۲ a	۴۴/۱۴ a	۵۰/۲۱ ab

در هر ستون اختلاف معنی‌دار آماری بین میانگین‌های با حروف یکسان وجود ندارد.

بحث

نتایج نشان داد که غلظت آنزیم ها نیز در بالا بردن بازده استخراج موثرند، چون آنزیم‌ها عامل تخریب دیواره سلولی و رهایش روغن به دام افتاده در لایه‌های پروتئینی و پلی ساکاریدی هستند، بدیهی است افزایش میزان آنها در بهبود میزان بازده استخراج مؤثر خواهد بود. بالاترین راندمان‌های استخراج روغن در شرایط غلظت آنزیمی ۳ و ۴ ٪، دمای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۴ و ۵ ساعت حاصل شده که در دامنه عددی ۵۴/۴۳ تا ۹۲/۴ ٪ قرار داشت. آزمون مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری را بین شرایط مذکور نشان نداد . نتیجه این بخش از تحقیق با نتایج محققین دیگر (Pereira *et al*., 2002; Miller-Cebert *et al*., 2009) همسو بود، که اهمیت غلظت آنزیم و درجه حرارت واکنش آنزیمی با افزایش راندمان تا حد مشخصی از غلظت آنزیم را نشان می‌دهد. درجه حرارت مورد استفاده بایستی به گونه ای انتخاب شود که از یک

jft.srbiau.ac.ir

طرف با فعالیت ماکزیمم آنزیم مطابقت داشته و از طرف دیگر کیفیت محصول نهایی را تحت تاثیر قرار ندهد . یکی دیگر از فاکتورهای مهم در فرآیند استخراج آنزیمی روغن کلزا زمان واکنش آنزیمی می باشد، که در وا قع زمان لازم جهت انجام فعل و انفعالات شیمیایی آنزیم با بافت‌های پلی ساکاریدی دیواره دانه است. اگر این زمان کم باشد، آنزیم فرصت کافی جهت انجام واکنش نداشته و عملا راندمان استخراج پایین می آید و اگر زیاد باشد، زمان تولید طولانی می‌گردد. بنابراین با توجه به اهمیت زمان در تولید، می توان زمان ۴ ساعت را در نظر گرفت. نتایج این بخش تحقیق با نتایج (Zhang *et al*., 2007) که زمان ۵ ساعت را جهت واکنش آنزیمی مورد نظر بکار بردند، متفاوت است که ناشی از اختلافات نوع واریته، شرایط اقلیمی و فرآیند استخراج است. شرایط مختلف استخراج آنزیمی بر میزان اسیدیته نه تنها اثر منفی نداشته بلکه در کلیه شرایط از ۰/۴۳ درصد بالاتر نرفته و کیفیت روغن در حد بالا باقی می ماند که مزیت این روش نسبت به روش استخراج با حلال می باشد (Deng *et al*., 1999) نیز حداکثر اسیدیته در استخراج آنزیمی روغن کلزا را ۰/۵۹٪ گزارش کرد.

در ارتباط با پارامتر کیفی دیگر روغن کلزا یعنی اندیس پراکسید تغییرات بقدری جزئی می باشد که در بسیاری از شرایط قابل اغماض بوده و فقط در شرایط دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمانی ۵ ساعت بیشتر قابل توجه بود. لذا با توجه به اینکه تغییرات مقدار پراکسید در سایر تیمار ها معنی‌دار نبود، بنابراین می توان گفت شرایط مختلف شرایط مختلف استخراج آنزیمی تأثیری بر اندیس پراکسید روغن نداشته است . نتایج محققین دیگر (Najafian *et al*., 2009) نشان داده است، حفظ مقادیر زیاد توکوفرول ها در فرآیند آنزیمی سبب پایداری بیشتر روغن شده است و معمولاً تیمارهای بیوتکنولوژیکی یا تاثیر اندکی روی میزان پیشرفت اکسیداسیون داشته و یا اصولاً بی تاثیر می باشند. نتایج این تحقیق نیز تاییدی بر این مطلب می‌باشد.

نتایج به خوبی تاثیر استخراج آنزیمی را بر کاهش مقدار فسفر روغن و کاه ش و یا بعضاً حذف عملیات صمغ گیری روغن را بعنوان یکی دیگر از مزایای استخراج آنزیمی نشان داد. بهترین شرایط جهت کاهش بیشتر فسفر در غلظت‌های ۲ و ۳ ٪ ، دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۴ و ۵ ساعت حاصل شد . دامنه عددی میزان فسفر در شرایط مذکور بین ۳۷/۳ mg\kg تا ۴۰/۶ بود که آزمون مقایسه میانگین ها تفاوت معنی داری را بین آنها نشان نداد. نتایج (Moreau *et al*., 2004) نیز کاهش معنی‌دار فسفاتیدها را در استخراج آنزیمی روغن جوانه ذرت تا ۲/۲ درصد نشان داده است . یکی دیگر از مزایای استخراج آنزیمی روغن تولید آرد کنجاله پر پروتئین می‌باشد (کنجاله کلزا در روش استخراج با حلال حداکثر دارای ۳۸-۴۰٪ پروتئین می‌باشد) که نتایج حاصله به خوبی این مطلب را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار پروتئین در غلظت آنزیمی۲ و ۳ ٪ و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۴ و ۵ ساعت با مقدار حداکثر ۵۲/۸۶٪ بدست آمده است که تاییدی بر نتایج (Zhang *et al*., 2007; Ohelson, 1990) که توانستند کنجاله‌ای با ۵۴٪ پروتئین با ارزش بیولوژیکی بالا تولید نمایند می‌باشد.

خصوصیات اندازه گیری شده تحت شرایط مختلف استخراج آنزیمی در جدول ۸ مقایسه شده است . در این جدول شرایط متفاوت غلظت، درجه حرارت و زمان واکنش آنزیمی با هم مقایسه شده تا شرایط بهینه استخراج بدست آید. همانطور که ملاحظه می گردد بالاترین راندمان های استخراج روغن در شرایط غلظت آنزیمی ۲ و۳ ٪ ، دمای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد و زمان ۴ و ۵ ساعت حاصل شده که در دامنه عددی ۹۵/۴۶ ۹۶/۴۰ ٪ قرار دارد. آزمون مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری را بین شرایط مذکور نشان نداد.

شرایط مختلف استخراج آنزیمی بر میزان اسیدیته نه تنها اثر منفی نداشته بلکه در کلیه شرایط از ۰/۴۳ درصد بالاتر نرفته و کیفیت روغن در حد بالا باقی می ماند که مزیت این روش نسبت به روش حلال می باشد. دنگ و همکاران، ۱۹۹۹ نیز حداکثر اسیدیته در استخراج آنزیمی را ۰/۵۹٪ گزارش کرد. در ارتباط با پارامتر کیفی دیگر روغن کلزا یعنی اندیس پراکسید تغییرات بقدری جزئی می باشد که در بسیاری از شرایط قابل اغماض بوده و فقط در شرایط دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمانی ۵ ساعت قابل تعیین بود. لذا با توجه به اینکه تغییرات مقدار پراکسید در سایر تیمار ها معنی دار نبود، بنابراین می توان گفت شرایط مختلف شرایط مختلف استخراج آنزیمی تأثیری بر اند یس پراکسید روغن نداشته است . مقدار فسفر روغن با افزایش غلظت آنزیم روند نزولی داشته بطوریکه کمترین میزان

jfn.srbiau.ac.ir

فسفر در غلظت ۳٪، دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۵ ساعت بدست آمد.

جدول ۸ – عامل غلظت x درجه حرارت x زمان بر میزان راندمان استخراج، اسیدیته، پراکسید، فسفر و پروتئین

نمونه	راندمان استخراج (%)	اسیدیته (%)	پراکسید (meq o2\kg)	فسفر (mg\kg)	پروتئین کنجاله (%)
غلظت۱٪					
دمای C° ۳۵					
۳ ساعت	۵۴/۴۳ h	۰/۳۴ a	۱/۰۷ a	۶۵/۳۰ l	۴۳/۲۶ j
۴ ساعت	۶۰/۴۳ g	۰/۳۳a	۱/۱۱ a	۶۰/۹۸ k	۴۴/۴۷ hi
۵ ساعت	۶۱/۲۰ fg	۰/۳۴ a	۱/۱۲ a	۵۸/۶۰ j	۴۶/۱۶ fah
دمای C° ۴۵					
۳ ساعت	۶۵/۴۶ e	۰/۳۵ a	۱/۰۹ a	۶۳/۳۰ l	۴۲/۹۶ j
۴ ساعت	۷۲/۶۶ cd	۰/۳۶ a	۱/۱۲ a	۵۶ i	۴۶/۸۸ fe
۵ ساعت	۷۲/۴۶ cd	۰/۳۴ a	۱/۱۲ a	۵۴/۸۱ hi	۴۵/۶۱ gh
دمای C° ۵۵					
۳ ساعت	۶۲/۶۳ efg	۰/۴۰ a	۱/۱۰ a	۵۸/۵۵ j	۴۴/۶۷ hi
۴ ساعت	۷۳/۳۰ c	۰/۴۱ a	۱/۱۳ a	۵۶/۵۰ ji	۴۶/۳۱ efgh
۵ ساعت	۷۲/۷۶ cd	۰/۴۲ a	۱/۱۴ a	۵۵/۲۰ hi	۴۷/۴۳ efg
غلظت ۲٪					
دمای C° ۳۵					
۳ ساعت	۶۴/۶۶ ef	۰/۳۱ a	۱/۱۷ a	۵۵/۳۳ hi	۴۷/۱۶ efg
۴ ساعت	۶۹/۴۳ d	۰/۳۳a	۱/۲۱ a	۵۳/۵۰ gh	۴۸/۵۰ def
۵ ساعت	۷۰/۱۶ cd	۰/۳۵ a	۱/۲۲ a	۵۲/ ۲۰G	۴۹/۵۶ bcd
دمای C° ۴۵					
۳ ساعت	۹۰/۳۰ b	۰/۳۳ a	۱/۱۹ a	۴۴/۲۱ d	۵۰/۵۰ bc
۴ ساعت	۹۶/۳۰ a	۰/۳۳ a	۱/۲۳ a	۳۸/۷۵ abc	۵۲/۶۵ a
۵ ساعت	۹۶/۵۰ a	۰/۳۵ a	۱/۲۵ a	۳۸/۶۶ ab	۵۲/۸۲ a
دمای C° ۵۵					
۳ ساعت	۹۰/۲۶ b	۰/۳۹ a	۱/۲۰ a	۴۱/۰۵c	۴۸/۷۸ cde
۴ ساعت	۹۵/۴۶ a	۰/۴۱ a	۱/۲۴ a	۳۸/۵۰ ab	۵۱/۲۰ abc
۵ ساعت	۹۶/۳۳ a	۰/۴۳ a	۱/۲۶ a	۳۹/۱۰ abc	۵۱/۵۳ ab
غلظت ۳٪					
دمای C° ۳۵					
۳ ساعت	۶۵/۲۳ e	۰/۳۴ a	۱/۱۹ a	۴۶/۱۰ de	۴۸/۲۰ def
۴ ساعت	۷۰/۴۰ cd	۰/۳۴ a	۱/۲۰ a	۴۹/۱ f	۴۹/۴۳ bcd
۵ ساعت	۷۱/ ۳۰cd	۰/۳۶ a	۱/۲۲ a	۴۸/۱۱ fe	۴۹/۹۶ bcd
دمای C° ۴۵					
۳ ساعت	۹۰/۹۶ b	۰/۳۵ a	۱/۲۰ a	۴۴/۱۶	۵۰/۱۵ bcd
۴ ساعت	۹۶/۱۳ a	۰/۳۶ a	۱/۲۵a	۴۰/۶۵ bc	۵۲/۵۸ a
۵ ساعت	۹۶/۴۰ a	۰/۳۶ a	۱/۲۶a	۴۰/۷۰ bc	۵۱/۹۸ab
دمای C° ۵۵					
۳ ساعت	۹۱/۴۳ b	۰/۴۰ a	۱/۲۲ a	۳۸ab	۴۸/۹۸ cde
۴ ساعت	۹۵/۶۰ a	۰/۴۲ a	۱/۲۴ a	۳۷/۷ ab	۵۰/۵۹ b
۵ ساعت	۹۶/۳۰ a	۰/۴۳ a	۱/۲۷a	۳۷/۳ a	۵۱/۶۸ ab

jfn.srbiau.ac.ir

یکی دیگر از مزایای استخراج آنزیمی روغن تولید آرد کنجاله پر پروتئین می باشد (کنجاله کلزا در روش استخراج با حلال حداکثر دارای ۳۸-۴۰٪ پروتئین می‌باشد) که نتایج حاصله به خوبی این مطلب را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار پروتئین در غلظت آنزیمی ۲ و۳ ٪ و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و زمان های ۴ و ۵ ساعت با مقدار حداکثر ۵۲/۸۲٪ بدست آمده است. البته لازم به ذکر است آزمون مقایسه میانگین ها بین شرایط مذکور با حداکثر مقدار ۵۱/۶۸٪ حاصل از غلظت‌های ۲و ۳ ٪ در زمان‌های ۴ و ۵ ساعت و دمای ۵۵ درجه سانتی گراد اختلاف معنی داری را نشان نداد.

نتیجه‌گیری

با توجه به گسترش کشت کلزا بعنوان یکی از منابع غنی روغن در کشور ما توجه به مسائل پس از برداشت و روش‌های فرآوری این محصول ارزشمند از جایگاه ویژه ای برخوردار است. لذا نتایج حاصل از این تحقیق جهت بهبود کیفیت روغن و پروتئین کلزا و بکار گیری در صنعت روغن می‌تواند راه گشا باشد. بنابراین در نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت در استخراج آنزیمی ، پراکسید و اسیدیته روغن و ترکیبات آن تحت تأثیر تیمار آنزیمی قرار نمی گیرد و پروتئین نیزدر سطح بالایی قرار می‌گیرد. استراتژی مناسب برای استفاده ار فرآیند آنزیمی اساساً به دانه مورد استفاده در فرآیند و نیز فرآیند استخراجی که بازیافت روغن را تحت تاثیر قرار می دهد، بستگی دارد. با توجه به نتایج حاصله از راندمان و خصوصیات روغن، همچنین صرفه اقتصادی و زمانی در عوامل تولید، می توان غلظت آنزیمی ۲٪، دمای ۴۵ درجه سانتی گراد و زمان واکنش ۴ ساعت را بعنوان شرایط مناسب استخراج آنزیمی روغن کلزا پیشنهاد کرد . نتایج این تحقیق زمینه را برای اجرای پروژه های تحقیقاتی مکمل که می تواند در ادامه ی این تحقیق به مرحله اجرا درآید، فراهم می‌آورد.

منابع

رادفر، ر . (۱۳۸۶). بررسی سیاستهای حمایتی اعمال شده از سوی کشورهای منتخب برای توسعه بخش دانه‌های روغنی و روغن خوراکی . دومین سمینار علمی- کاربردی دانه های روغنی و روغن های نباتی ایران، ۲۲ مرداد ۱۳۸۶، تهران، ایران، شماره ۷۵.

عالم‌زاده، ا. (۱۳۷۷). فرآیندهای آنزیمی. تهران: موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

قدس‌ولی، ع. (۱۳۸۶). افزایش راندمان استخراج روغن از طریق کاربرد آنزیم در صنایع روغن کشی. کرج: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ۸۶/۶۹۸ .

میرنظامی، ح. (۱۳۷۶). فن آوری و پالایش روغن، نشر علوم کشاورزی، صفحات ۲۴۱-۲۶۰.

یزدی صمدی، ب.، رضایی، ع. و ولی زاده، م. (۱۳۹۰). طرح‌های آماری در پژوهش های کشاورزی، انتشارات دانشگاه تهران صفحات ۲۷۲-۲۹۶.

American Oil Chemist's Society, (AOCS). (1993). Official methods and Recommended Practices of the American oil chemist's Society, 5th Ed, Ba 6-84. The American Oil Chemist's Society Champaign.

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

Deng, Y., Pyle, D. L. & Zhang, W. (1999) . Studies on aqueous enzymatic extraction of oil from rapeseed. Journal of Agriculture Engineering, 12 (3), 990-195.

Dominguez, H., Nunez, M. J. & Lema, Y. M. (1994). Enzymatic treatment to enhance oil extraction from fruit and oilseeds: A review. Food Chemistry, 49, 271-286.

Marek, E., Schalinatus, E., Weigelt, E., Meith, G., Kerns, G. & Kude. J. (1990). On the application of enzymes in the productionof vegetable oil. Prog.Biotech, 6, 471-476.

Miller-Cebert, R., Sistani, N. & Cebert, E. (2009). Comparative mineral composition among canola cultivars and other cruciferous leafy greens. Journal of Food Composition and Analysis, 22, 112-116.

Moreau, R. A., Johnston, D. B., Powell, M. J. & Hicks, K. (2004). A comparision of commerical enzymes sor the aqueous enzymatic extraction of corn oil from corn germ. Journal of the Amaerican Oil Chemists society, 81, 1071-1075.

Moreau, R. A. (2002). Corn Oil, in Vegetable Oils in Food Technology, Edited by F.D. Gunstone, Sheffield Academic Press, Sheffield, United Kingdom, pp. 278–296.

jfr.srbiau.ac.ir

Najafian, L., Ghodsvali, A., Haddad khodaparast, M. H. & Diosady, L. L. (2009). Aqueous extraction of virgin olive oil using industrial enzymes. Food Research International, 42, 171-175.

Ohlson, R. (1995). Modern processing of rapeseed. Journal of the Amaerican Oil Chemists society, 69(3), 995 –997.

Pereira, S., Hartman, L. & Couri, S. (2002). The combined application of extraction and enzymatic for soybean oil. Felt. Lipid, 99 (9), 333 – 337.

Passos, C. P., Yilmaz, S., Silva, C. M. & Coimbra, A. C. (2009). Enhancement of grape seed oil extraction using a cell wall degrading enzyme cocktail. Food chemistry, 115, 48-53.

Ranalli, A. & De Mattia, G. (1997). Characterization of olive oil produced with a new enzyme processing aid. Journal of the Amaerican Oil Chemists society, 74(9), 1105-1112.

Shahidi, F. (1990). Canola and rapesed produetion, chemistry, Nutrition and processing Techmoligy. Van Nostrand Reinhold New York, pp. 175-350.

Shanta, N. C. & Rekce, D. E. A. (1994). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. Journal of the Amaerican Oil Chemists society, 77, 21–424.

Zhang, B., Zhang, W. & Xu, S. (2007). Optimization of enzymatic extraction of rapeseed protein hydrolysates. Journal of the Amaerican Oil Chemists society, 84, 97-105.

jftn.srbiau.ac.ir

jftn.srbiau.ac.ir