

اثر حرارت‌دهی، سرعت دورانی و قطر نازل بر راندمان استخراج روغن کنجد توسط پرس ماریچ

آرمین کهن^{۱*}، محمد منصوری فر^۲ و حیدر محمد قاسم‌نژاد ملکی^۳

چکیده

یکی از روش‌های تولید روغن استفاده از پرس‌های ماریچ است که سرمایه اولیه اندکی نیاز دارد. با توجه به اینکه در کشور ایران بخش عمده روغن خوراکی از طریق واردات تأمین می‌شود، اهمیت ترویج و به کارگیری روش‌های تولید روغن آشکار است. در این تحقیق پرس ماریچ مدل KK20F ساخت شرکت Kern Kraft کشور آلمان با ظرفیت ۲۰ kg/h و توان ۲ kW برای استخراج روغن از دانه‌های کنجد مورد بررسی قرار گرفته است. یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی برای ارزیابی اثر حرارت‌دهی به دانه، سرعت دورانی ماریچ و اندازه نازل بر راندمان استخراج روغن انجام شده است. در این آزمایش حرارت‌دهی در چهار سطح ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰°C، سرعت دورانی ماریچ در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ rpm و اندازه قطر نازل در سه سطح ۱۰، ۱۲ و ۱۵mm مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد، که اثر تمام فاکتورها روی راندمان استخراج روغن معنی‌دار است. مقایسه میانگین فاکتورهای اصلی به روش دانکن در سطح ۵٪ نشان می‌دهد، که بیشترین راندمان در دمای حرارت‌دهی ۱۰۰°C، سرعت دورانی ۴۰ rpm و قطر نازل ۱۰mm به دست می‌آید. در نهایت یک مدل درجه ۲ برای پیش‌بینی راندمان استخراج روغن ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: پرس ماریچ، پرس مکانیکی، روغن‌کشی، روغن کنجد.

ارجاع: کهن آ.، منصوری فر م. و محمد قاسم‌نژاد ملکی ح. ۱۴۰۰. اثر حرارت‌دهی، سرعت دورانی و قطر نازل بر راندمان استخراج روغن کنجد توسط پرس ماریچ. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۸: ۹-۱۷.

۱- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
۲- استادیار گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
۳- استادیار گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

*نویسنده مسئول: kohan.armin@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱

مقدمه

فشار مکانیکی یکی از روش‌های معمول استخراج روغن است که انواع مختلفی نظیر پرس هیدرولیکی، پرس ماریچ و پرس غلتکی دارد (Bangboye & Adejumo, 2007). گرچه در روش استحصال روغن توسط حلال، ۹۸٪ روغن استخراج می‌شود (Yoyock *et al.*, 1988)، اما سرمایه اولیه بالایی نیاز است. فرآیندهای خاصی برای بازیافت حلال لازم است، مواد قابل اشتعالی که در فرایند به کار می‌روند خطرات زیادی دارند (Bargale *et al.*, 1999). این در حالی است که پرس ماریچ با محیط زیست سازگار است و ایمنی بیشتری دارد (Wiensborn *et al.*, 2001).

نحوه فرآوری و شرایط فشردن دانه توسط پرس ماریچ بر میزان روغن تولیدشده از دانه‌های روغنی، مؤثر است. برای بررسی اثر میزان فشار، مدت زمان اعمال فشار و حرارت‌دهی دانه‌ها بر میزان روغن استحصال‌شده از سویا، این محصول در یک سیلندر تحت فشار قرار داده شده است (Mwithiga & Moriasi, 2007). با افزایش میزان فشار از ۴۰ به 80 kgf/m^2 و افزایش مدت زمان اعمال فشار، از ۶ به ۱۲ دقیقه، میزان روغن تولیدشده به‌صورت خطی افزایش یافته‌است. همچنین با افزایش دمای حرارت‌دهی دانه تا 75°C میزان روغن تولیدشده افزایش یافته‌است. افزایش بیشتر دما موجب کاهش استخراج روغن شده است. کاهش محتوای رطوبت تا ۹/۳d.b. در افزایش میزان تولید روغن مفید است، اما کاهش بیشتر رطوبت به ۵d.b. روغن استخراج شده را کاهش داده است. مطالعاتی که در زمینه استخراج روغن کنجد توسط پرس ماریچ صورت گرفته است، نشان می‌دهد که سرعت دورانی‌محور، محتوای رطوبت دانه و وارپته کنجد بر میزان روغن استحصال‌شده تأثیر معنی‌داری دارد. کاهش محتوای رطوبت از ۱۰/۳۲w.b. به ۵/۳۱w.b. موجب افزایش میزان استخراج روغن شده است، اما کاهش بیشتر محتوای رطوبت دانه به ۴/۱w.b. کاهش تولید را به همراه دارد. افزایش سرعت دورانی محور ماریچ از ۳۰ به ۴۵rpm موجب افزایش میزان استخراج روغن شده است، اما افزایش بیشتر آن تا ۷۵rpm باعث کاهش مقدار استخراج روغن می‌شود (Olayanju *et al.*, 2006a). بررسی‌های انجام شده بر روی پرس ماریچ کامت^۱ مدل

S87G ساخت شرکت IBG Monforts کشور آلمان، نشان داده است که قطر و سرعت دورانی محور بر میزان روغن استخراج‌شده از هسته انگور تأثیرگذار است. افزایش سرعت دورانی از ۴۰ به ۷۰rpm و افزایش اندازه نازل از ۱۰ به ۱۵mm منجر به کاهش میزان استخراج روغن شده و افزایش دمای حرارت‌دهی دانه از ۹۰ به 120°C باعث افزایش آن شده است (Rombaut *et al.*, 2015).

مطالعاتی که به‌منظور بررسی عملکرد پرس کامت مدل CA 59 G ساخت شرکت IBG Monforts کشور آلمان انجام شده است، نشان می‌دهد که محتوای رطوبت و دمای فشردن دانه بر میزان روغن استخراج شده از بادام تأثیرگذار است. افزایش محتوای رطوبت دانه از ۴ به w.b. ۸٪ استخراج روغن را افزایش می‌دهد، اما افزایش بیشتر محتوای رطوبت به ۱۲٪ باعث کاهش تولیدشده است. نتایج حاصل از فشردگی دانه در دمای ۲۰، ۴۰ و 60°C نشان داده‌است که بیشترین میزان روغن در دمای 40°C به دست می‌آید (Martinez *et al.*, 2013). تحقیقاتی که روی یک پرس ماریچ ساخته‌شده در تایلند انجام شده است، نشان می‌دهد که میزان روغن استخراج شده از سبوس برنج تحت تأثیر سرعت دورانی محور و فاصله میان محور و استوانه است. افزایش سرعت دورانی محور از ۸/۵ به ۱۹/۸ rpm میزان روغن استخراج شده را کاهش می‌دهد. هنگامی که لقی میان محور و استوانه ۱۰mm باشد، به دلیل افزایش فشار، مسیر عبور روغن توسط سبوس مسدود می‌شود. اما در سایر موارد با افزایش این فاصله از ۱۳ به ۱۹mm میزان روغن استخراج شده کاهش می‌یابد. همچنین نیم‌پز کردن سبوس برنج موجب افزایش میزان تولید روغن شده است (Sayasoonthorn *et al.*, 2012). نتایج ارزیابی پرس ماریچ مدل 240552 Sardar Engineering ساخت کشور هندوستان برای استخراج روغن دانه گیاه جاتروف^۲ نشان داده است که محتوای رطوبت، دمای پخت و مدت زمان پخت^۳ دانه بر میزان استحصال روغن تأثیر معنی‌داری دارد. میزان تولید روغن در دمای پخت در سطوح ۷۰، ۹۰، ۱۱۰ و 130°C ، مدت زمان پخت در سطوح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه و محتوای رطوبت در سطوح ۷/۲۲، ۹/۶۹ و ۱۲/۱۶db. مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور کلی میزان بیشتری روغن از

2- Jatropha Curcas

3- Cooking

1- Comet

در نمونه روغن حاصل از هر دو نوع پرس تفاوت معنی‌داری را نشان نداده‌اند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان فسفر و فسفاتید و سولفور، بیانگر کاهش میزان این مواد در روغن حاصل از پرس سرد نسبت به پرس گرم است (Beig Mohammadi *et al.*, 2008).

بررسی اثر نسبت‌های مختلف آب بر راندمان استخراج روغن ارده نشان داده است که با افزایش آب به میزان نصف حجم ارده، راندمان با شیب تندتری افزایش می‌یابد اما پس از آن تا نسبت ۱ روند نزولی دارد. همچنین مطالعه ترکیبات کنجاله ارده، کنجاله پرس و کنجاله پرس و حلال نشان داده است که کنجاله پرس و کنجاله پرس و حلال به ترتیب با ۲۳/۴۵٪ و ۱/۳۲٪، بیشترین و کمترین مقدار چربی را دارند. کنجاله ارده بیشترین مقدار پروتئین ۵۰/۴۴٪ و نشاسته ۱۹/۳۷٪ و کمترین مقدار فیبر خام ۳/۷۰٪ را داشته و همچنین رنگ روشنتری داشته‌است. کنجاله پرس و حلال بیشترین میزان خاکستر ۱۱/۹۲٪ و فیبر خام ۱۱/۱۱٪ را دارا بوده‌است (Jahandideh *et al.*, 2013). میزان پراکسید حاصل از استخراج روغن دانه کنجد و کنجاله آن توسط حلال از پرس سرد بیشتر است. میزان پراکسید، اسیدیته، عدداسیدی و لرد روغن به ترتیب ۳/۸۹، ۰/۶۴، ۱/۳۲ و ۰/۶۵ است. همچنین میزان پروتئین کنجاله ۲۸/۱۳٪ گزارش شده است (Rostami *et al.*, 2014).

بررسی ترکیب اسیدهای چرب و استرول^۵ روغن پسته، گردو، فندق و بادام استخراج شده توسط پرس سرد مدل TR-500 ساخت آلمان نشان داده است که این ارقام دارای مقادیر مطلوبی اسید اولئیک و لینولئیک بوده و فاقد اسیدهای چرب ترانس هستند. روغن فندق از نظر میزان اسید اولئیک غنی‌تر است پایداری بیشتر اکسیداتیو را نشان می‌دهد. میزان اسیدهای چرب غیراشباع^۶ به صورت قابل ملاحظه‌ای در گردو بیشتر است. هر چهار روغن (روغن پسته، گردو، فندق و بادام) غنی از بتاسیتوسترول^۷ هستند که بیشترین میزان آن در روغن گردو وجود دارد (Pirawi Vanak *et al.*, 2015).

محصول حرارت دیده استخراج شده است. بیشترین میزان روغن به ترتیب در محتوای رطوبت، دما و زمان حرارت‌دهی ۹/۶۹db٪، ۱۱۰°C و ۱۰ دقیقه به دست آمده است (Pradhan *et al.*, 2011).

برای ارزیابی پرسکامت مدل 85 G- D 85- 1G ساخت شرکت IBGMonforts Oekotec کشور آلمان، اندازه نازل در سه سطح ۶، ۱۰ و ۱۲mm، قطر محور ماریچ در دو سطح ۸ و ۱۱mm و سرعت دورانی ماریچ در چهار سطح ۲۱، ۵۴، ۶۵ و ۹۸rpm مورد آزمون قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که با قطر محور ۸mm راندمان استخراج روغن با افزایش اندازه قطر نازل و افزایش سرعت دورانی کاهش می‌یابد. در قطر محور ۱۱mm، بیشینه میزان روغن در سرعت دورانی ۶۵rpm و قطر نازل ۶ و ۱۰mm به دست‌آمده است. بیشترین عملکرد روغن مربوط به اندازه محور ۸mm، سرعت دورانی ۲۱rpm و قطر نازل ۶mm است (Deli *et al.*, 2011).

نتایج حاصل از ارزیابی پرس ماریچ ICAERD با ظرفیت ۱۰۰kg/h نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی از ۴۵ به ۵۵rpm راندمان تولید روغن کاهش و ظرفیت پرس افزایش می‌یابد. تغییر لقی اثر معنی‌داری بر ظرفیت پرس ندارد اما افزایش لقی موجب کاهش میزان استخراج روغن شده است (Harmanto *et al.*, 2009).

با افزایش سرعت دورانی از ۰/۳ تا ۱ دور بر ثانیه میزان روغن استخراج شده، اسیدیته و پراکسید موجود در روغن کنجد افزایش می‌یابد (Akbarnia, 2011). بررسی اثر سرعت دورانی محور و دمای محفظه فشار در استخراج روغن کنجد به وسیله یک پرس ماریچ در دو سرعت دورانی ۰/۴ و ۰/۸ دور بر ثانیه و دمای ۳۰°C و ۶۰°C، نشان داده است که در سرعت دورانی ۰/۴ هرتز و دمای ۳۰°C کمترین مقدار اسیدیته و پراکسید حاصل می‌شود و در سرعت ۰/۸ هرتز و دمای ۶۰°C درجه بیشترین میزان روغن تولید می‌شود (Akbarnia & Farhani, 2012). بررسی کیفیت روغن خام کلزای استخراج شده از پرس سرد و گرم نشان‌دهنده است که ترکیبات این روغن‌ها تفاوت معنی‌داری ندارند. نتایج حاصل از این پژوهش‌ها بیانگر افزایش معنی‌دار میزان رنگ و کلروفیل در نمونه‌های روغن استخراج شده توسط پرس گرم است. میزان اندیس یدی^۱، اندیس صابونی^۲، دانسیته نسبی^۳ و ضریب شکست^۴

2- Saponification Index
3- Relative Density
4- Refractive Index
5- Sterol
6- Poly Unsaturated Fatty Acid
7- Beta Sitosterol

1- Iodine Index

در هر آزمایش ۳kg از نمونه کنجد به مدت ۳۰ دقیقه توسط آون آزمایشگاهی در دمای موردنظر حرارت داده شده است. روغن استخراج شده در ظرف تیره‌رنگ ریخته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در فضای تاریک قرار گرفته تا مواد خارجی آن ته‌نشین شود (Deli et al., 2011). سپس روغن برای حذف ذرات ریز از فیلتر عبور داده شده است. کاغذ صافی با اندازه منافذ $40\mu\text{m}$ به عنوان فیلتر استفاده شده است. سپس روغن توزین شده است و از معادله (۱) راندمان استخراج روغن محاسبه شده است (Deli et al., 2011).

$$Y = (m_o / m_s) \times 100 \quad (1)$$

که در آن Y راندمان استخراج روغن برحسب درصد، m_o وزن روغن استخراج شده برحسب گرم، m_s وزن نمونه برحسب گرم است.

جدول ۱- علائم، سطوح و مقادیر فاکتورهای آزمایش

فاکتور	علامت	سطوح	مقدار
دمای حرارت‌دهی	T	T1	۴۰°C
		T2	۶۰°C
		T3	۸۰°C
		T4	۱۰۰°C
اندازه قطر نازل	D	D1	۱۰mm
		D2	۱۲mm
		D3	۱۵mm
سرعت دورانی محور ماریچ	N	N1	۳۰rpm
		N2	۴۰rpm
		N3	۵۰rpm

نتایج

جدول ۲ نتایج آزمایش فاکتوریل را در قالب طرح کاملاً تصادفی سه فاکتور حرارت‌دهی، اندازه نازل و سرعت دورانی نشان می‌دهد.

همان‌گونه که نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد اندازه نازل، سرعت دورانی، حرارت‌دهی، اثرمتقابل اندازه نازل-حرارت‌دهی، اندازه نازل-سرعت دورانی و حرارت‌دهی-سرعت دورانی با احتمال ۹۹٪ اثر معنی‌داری بر راندمان استخراج روغن داشته‌اند. در حالی که اثر متقابل سه عامل فوق اختلاف معنی‌داری را نمایش نداده است. برای بررسی بیشتر تأثیر عامل‌های مذکور بر راندمان استخراج روغن از آزمون مقایسه میانگین دانکن استفاده شده است.

روغن دانه کنجد علی‌رغم داشتن حدود ۸۵٪ اسیدهای چرب غیراشباع، مقاوم‌ترین روغن گیاهی به اکسایش است. این روغن دارای خواص تغذیه‌ای و پایداری منحصربه‌فردی است و می‌تواند برای بهبود خواص سلامت‌بخش و پایداری روغن‌های با پایداری پایین نظیر کانولا، سویا و آفتابگردان با آنها مخلوط شود. روغن کنجد در صنایع داروسازی، طب سنتی و مدرن کاربردهای متعددی دارد و برای پیشگیری از سرطان مفید است (Mohammadi et al., 2014).

در این تحقیق تأثیر حرارت‌دهی، سرعت دورانی ماریچ و اندازه نازل بر راندمان استخراج روغن کنجد مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، یک پرس ماریچ مدل KK-20F ساخت شرکت Kern Kraft کشور آلمان که در شکل ۱ نشان داده شده است برای استخراج روغن از دانه‌های کنجد استفاده شده است. این دستگاه دارای ظرفیت 20kg/h ، سرعت دورانی ۱۵ تا 70rpm بوده و مجهز به گیربکس برای تغییر سرعت دورانی ماریچ و توان 2kW است. کنجد مورد استفاده از بازار محلی شهرستان شوشتر تهیه شده که محصول مزارع این شهرستان است. برای ارزیابی راندمان پرس ماریچ، طیفیک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثر دمای حرارت‌دهی، سرعت دورانی محور ماریچ و اندازه قطر نازل بر راندمان استخراج روغن بررسی شده است.



شکل ۱- پرس ماریچ مدل KK-20F ساخت شرکت Kern Kraft کشور آلمان

علائم، سطوح و مقادیر آزمایش فاکتوریل در جدول ۱ نشان داده شده است.

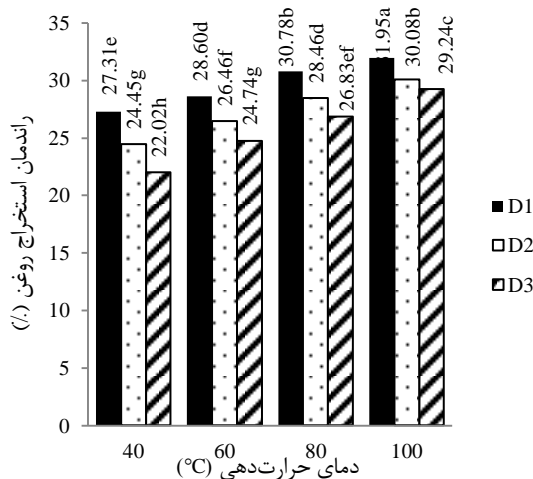
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تیمارها و اثر متقابل آنها

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۳۴۵/۶۶ ^{**}	۱۴۲/۷۷	۲۸۵/۵۴	۲	D
۴۱۷/۱۸ ^{**}	۱۷۲/۳۱	۵۱۶/۹۳	۳	T
۱۷۱/۷۳ ^{**}	۷۰/۹۳	۱۴۱/۸۶	۲	N
۶/۱۹ ^{**}	۲/۵۵	۱۵/۳۵	۶	D×T
۱۳/۶۷ ^{**}	۵/۶۴	۲۲/۵۸	۴	D×N
۶/۳۸ ^{**}	۲/۶۳	۱۵/۸۲	۶	T×N
۱/۲۱ ^{ns}	۰/۵	۵/۹۹	۱۲	D×T×N
	۰/۴۱۳	۲۹/۷۳۹	۷۲	خطا
		۱۰۳۳/۸۴۷	۱۰۷	مجموع

^{**} در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

^{ns} در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

مقایسه این میانگین‌ها به روش دانکن مشاهده می‌شود، که بیشترین راندمان استخراج روغن در سرعت دورانی ۴۰ rpm حاصل شده و اختلاف معنی‌داری با سرعت دورانی ۳۰ و ۵۰ rpm داشته است. با افزایش سرعت دورانی از ۳۰ به ۴۰ rpm راندمان استخراج روغن افزایش یافته و با افزایش بیشتر سرعت دورانی به ۵۰ rpm راندمان کاهش می‌یابد. در تحقیقات پیشین در مورد کتجد نتایج مشابهی مشاهده شده است (Olayanju et al., 2006a,b).



شکل ۲- اثرات متقابل قطر نازل و حرارت‌دهی بر میانگین راندمان استخراج روغن (میانگین‌هایی که در آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند با حروف کوچک یکسان نشان داده شده‌اند).

میزان روغن استخراج شده با افزایش فشار و مدت زمان فشرده‌گی افزایش می‌یابد (Mwithiga & Moriasi, 2007). سرعت دورانی با مدت زمان فشرده‌گی و میزان فشار در ارتباط است. علی‌رغم افزایش فشار به‌دلیل افزایش سرعت

شکل ۲ اثر متقابل اندازه نازل و دمای حرارت‌دهی را بر میانگین راندمان استخراج روغن نمایش می‌دهد. مقایسه این میانگین‌ها به روش دانکن در سطح ۵٪ نشان می‌دهد که در یک روند کلی با افزایش دمای حرارت‌دهی، راندمان استخراج روغن افزایش و در اثر افزایش قطر نازل این مقدار کاهش یافته است.

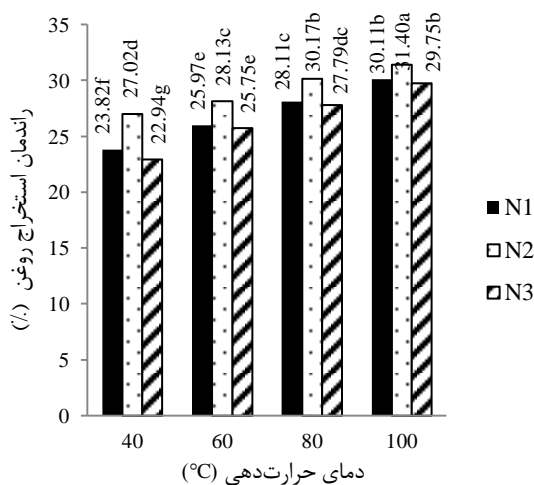
کاهش قطر نازل، باعث افزایش فشار در استوانه می‌شود و این امر منجر به افزایش روغن استخراج شده می‌شود (Deli et al., 2011). دانه‌های روغنی در پرس ماریچ توسط نازل و محور ماریچ تحت فشار بالا قرار می‌گیرند که باعث شکستن دیواره سلول شده و روغن خارج می‌شود (Singh & Bargale, 2000). همچنین افزایش فشار موجب افزایش دما و کاهش ویسکوزیته روغن می‌شود که جریان‌یافتن و استخراج روغن را تسهیل می‌کند (Deli et al., 2011). تحقیقاتی که در مورد دانه جاتروفا کارکس (Harmanto et al., 2009) و سیاهدانه (Deli et al., 2011) صورت گرفته است این نتایج را تأیید می‌کند.

همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد با افزایش دمای حرارت‌دهی از ۴۰ به ۱۰۰°C میزان روغن استخراج شده به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. افزایش میزان روغن استخراج شده در دماهای بالاتر نه تنها تحت تأثیر کاهش ویسکوزیته است، بلکه حرارت‌دادن دانه‌ها باعث از هم گسیختگی سلول‌های روغنی و پیوستن ذرات ریز لیپید می‌شود و قطرات بزرگ‌تر روغن تشکیل می‌شود (Gunstone, 2004).

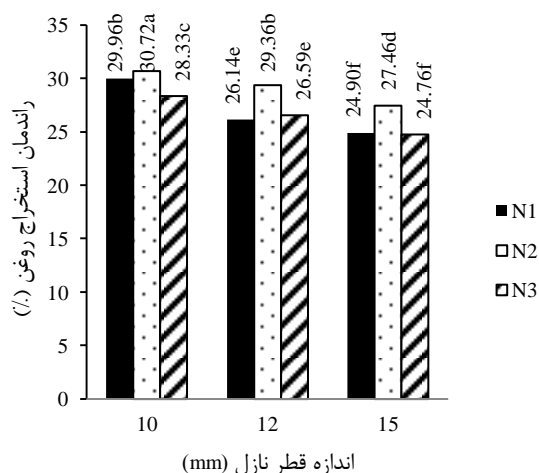
نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل سرعت دورانی ماریچ و دما در شکل ۳ نشان داده شده است. با

طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین در کلیه سطوح اندازه نازل، بیشترین راندمان استخراج روغن در سرعت دورانی ۴۰rpm حاصل شده است.

شکل ۴ تأثیر اندازه قطر نازل و سرعت دورانی را بر راندمان استخراج روغن کنجد نشان می‌دهد. بیشینه راندمان استخراج روغن در سرعت دورانی ۴۰rpm محور ماریچ برای قطر نازل ۱۰mm و ۱۰mm و کمینه آن در سرعت دورانی ۳۰ و ۵۰rpm برای قطر نازل ۱۵mm حاصل شده است.



شکل ۳- اثرات متقابل سرعت دورانی و حرارت‌دهی بر میانگین راندمان استخراج روغن (میانگین‌هایی که در آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند با حروف کوچک یکسان نشان داده شده‌اند).



شکل ۴- اثرات متقابل قطر نازل و سرعت دورانی بر میانگین راندمان استخراج روغن (میانگین‌هایی که در آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند با حروف کوچک یکسان نشان داده شده‌اند).

دورانی، کاهش سرعت دورانی موجب طولانی‌تر شدن فرایند فشردگی و افزایش دما می‌شود (Evangelista, 2009). لذا زمان بیشتری برای خروج روغن از بافت دانه وجود دارد و گرانیروی روغن کاهش می‌یابد که خروج روغن از بافت دانه را تسهیل می‌کند. به‌علاوه کاهش سرعت دورانی ممکن است باعث شود فشار در محفظه استوانه به مقدار بهینه نرسد (Olayanju *et al.*, 2006a,b). به همین دلیل میزان روغن استخراج شده در سرعت دورانی ۳۰rpm از میزان روغن استحصال‌شده در سرعت دورانی ۴۰rpm کمتر است. با این حال با افزایش بیشتر سرعت دورانی مدت زمانی که دانه تحت فشار است کاهش می‌یابد، لذا میزان روغن استخراج شده در سرعت دورانی ۵۰rpm نسبت به سرعت دورانی ۴۰rpm کمتر است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در دمای حرارت‌دهی ۴۰°C، اختلاف معنی‌داری میان سطوح مختلف سرعت دورانی وجود دارد. بیشترین راندمان مربوط به سرعت دورانی ۴۰rpm است. در سرعت دورانی ۵۰rpm کمترین میزان روغن استخراج شده است. به‌دلیل اینکه دانه‌ها مدت زمان کمتری تحت فشار بوده‌اند. در سرعت دورانی ۳۰rpm نسبت به سرعت دورانی ۵۰rpm راندمان روغن استخراج شده بیشتر است، چراکه مدت زمان فشردن دانه‌ها بیشتر است. اما به‌دلیل اینکه سرعت دورانی اندک است، فشار تا حد مطلوب افزایش نیافته و از راندمان استخراج روغن در سرعت دورانی ۴۰rpm کمتر است.

برای سایر سطوح حرارت‌دهی دانه، اختلاف معنی‌داری میان سطوح سرعت دورانی ۳۰ و ۵۰rpm مشاهده نمی‌شود. بیشترین راندمان استخراج روغن مربوط به سرعت دورانی ۴۰rpm است، که ناشی از تأثیر سرعت دورانی بر میزان روغن استخراج شده است. در بعضی موارد اثر افزایش دما، اثر نامطلوب سرعت دورانی ۳۰ و ۵۰rpm را جبران کرده است. برای مثال مقادیر راندمان استخراج روغن هنگامی که دمای حرارت‌دهی ۶۰°C و سرعت دورانی ۴۰rpm است، با شرایطی که دمای حرارت‌دهی ۸۰°C و سرعت دورانی ۳۰ یا ۵۰rpm است اختلاف معنی‌داری ندارد.

اثرات متقابل اندازه نازل و سرعت دورانی بر میانگین راندمان روغن استخراج شده در شکل ۴ دیده می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در کلیه سطوح سرعت دورانی، با کاهش اندازه نازل راندمان استخراج روغن به

بررسی مدل مناسب برای پیش‌بینی راندمان استخراج روغن کنجد

جدول ۳ خلاصه نتایج آزمون عدم برازش و مقادیر ضریب تعیین، ضرایب تعیین تعدیل‌شده و پیشگویی مدل‌ها را به منظور انتخاب مدل مناسب در مطالعه تأثیر متغیرهای کنترلی (دمای حرارت‌دهی، اندازه قطر نازل، سرعت دورانی محور مارپیچ) روی میزان استحصال روغن نشان می‌دهد.

از نظر آماری، مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار نباشد و دارای بالاترین مقدار ضریب تعیین، ضرایب تعیین تعدیل‌شده و پیشگویی باشد. به این منظور نرم‌افزار Design Expert برای بررسی مدل مطلوب استفاده شده است.

جدول ۳ نشان می‌دهد که آزمون عدم برازش مدل چندجمله‌ای درجه دوم معنی‌دار نیست و به دلیل داشتن ضریب تعیین بالای ۰/۹۷، ضرایب تعیین تعدیل‌شده بیش

از ۰/۹۷ و پیشگویی بالاتر از ۰/۹۶ توان بیشتری در برازش داده‌ها دارد. بنابراین برای پیشگویی رفتار پاسخ مدل درجه دوم مناسب است.

جدول ۴ خلاصه نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ درجه دوم را برای راندمان استحصال روغن نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۴ دیده می‌شود، مدل برازش‌شده برای راندمان استخراج روغن بسیار معنی‌دار ($p < 0.01$) است، در حالی که آزمون عدم برازش غیر معنی‌دار ($p > 0.05$) شده و ضریب تعیین، ضرایب تعیین تعدیل‌شده و پیشگویی مقادیر مناسبی را نشان می‌دهند. طبق معادله (۲) راندمان استخراج روغن قابل پیش‌بینی است.

$$Y = 33.60113 - 5.36762 D + 0.006675 T + 1.55364 N + 0.011058 DT + 0.012202 DN + 0.000484 TN + 0.138923 D^2 - 0.000535 T^2 - 0.021806 N^2 \quad (2)$$

جدول ۳- نتایج آنالیز آماری مدل‌های پیشنهاد شده برای تخمین راندمان استخراج روغن

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P (عدم برازش)	ضریب تعیین	ضریب تعیین تنظیم‌شده	ضریب تعیین پیشگویی
خطی	۳۲	۲/۷۰	۷/۹۲	۰/۰۰۰۳	۰/۸۳۴۷	۰/۸۲۳۴	۰/۸۰۴۲
۲FI	۲۹	۲/۳۲	۶/۸۳	۰/۰۰۰۶	۰/۸۶۹۱	۰/۸۵۰۰	۰/۸۳۱۱
درجه ۲	۲۶	۰/۳۴۲۲	۱/۰۱	۰/۵۲۰۱	۰/۹۷۶۲	۰/۹۷۰۶	۰/۹۶۱۱

جدول ۴- نتیجه آزمون ANOVA برای مدل درجه ۲

منبع	درجه آزادی	جمع مربعات	میانگین مربعات	F-value	P-value
مدل	۹	۵۳۳/۳۱	۵۹/۲۶	۱۷۳/۴۵	> ۰/۰۰۰۱
D- قطر نازل	۱	۱۳۴/۸۸	۱۳۴/۸۸	۳۹۴/۷۹	> ۰/۰۰۰۱
T- دما	۱	۲۷۰/۲۰	۲۷۰/۲۰	۷۹۰/۸۹	> ۰/۰۰۰۱
N- سرعت دورانی	۱	۰/۶۴۶۴	۰/۶۴۶۴	۱/۸۹	۰/۱۷۷۰
DT	۱	۱۱/۳۳	۱۱/۳۳	۳۳/۱۵	> ۰/۰۰۰۱
DN	۱	۱/۹۳	۱/۹۳	۵/۶۴	۰/۰۲۲۷
TN	۱	۰/۳۸۱۳	۰/۳۸۱۳	۱/۱۲	۰/۲۹۷۴
D ²	۱	۶/۹۰	۶/۹۰	۲۰/۱۹	> ۰/۰۰۰۱
T ²	۱	۲/۰۶	۲/۰۶	۶/۰۲	۰/۰۱۸۹
N ²	۱	۴۵/۸۶	۴۵/۸۶	۱۳۴/۲۴	> ۰/۰۰۰۱
باقیمانده	۳۸	۱۲/۹۸	۰/۶۴۲۰		
عدم برازش	۲۶	۸/۹۰	۱/۳۳	۱/۰۱	۰/۵۲۰۱
خطای خالص	۱۲	۴/۰۸	۰/۴۱۳۰		
کل	۴۷	۵۴۶/۲۹			

7. Evangelista, R. L. (2009). Oil Extraction from Lesquerella Seeds by Dry Extrusion and Expelling. *Industrial Crops and Products*, 29: 189-196.
8. Gunstone, F. D. (2004). Rape seed and canola oil production, processing, properties and uses. Blackwell Publishing Ltd. 222 p.
9. Harmanto, A., Hendriadi, E. Rahmarestia, M., & Wiyono, J. (2009). Performance Test of a Screw-Press Machine for Extracting Jatropha Curcas Seed into Crude Oil as an Alternative Energy Source. *Indonesian Journal of Agriculture*, 2(1): 35-40.
10. Jahandideh, H. Hadad Khodaparast, M. H., & Taghizadeh M. (2013). Evaluation of Sesame Oil Extraction Efficiency and Comparison of Sesame Meal with Different Methods of Oil Extraction. *The 21st National Congress of Food Science and Thechnology*. Shiraz University, Shiraz, Iran. (In persian).
11. Martinez, M. L., Penci, M. C., Marin, M. A., Ribotta, P. D., & Maestri, D. M. (2013). Screw Press Extraction of Almond (*Prunus Dulcis* (Miller) D.A. Webb): Oil Recovery and Oxidative Stability. *Journal of Food Engineering*, 119:40-45.
12. Mohammadi, T. Hatami, M. Mirzaee Sisaabad, Y. Hooshiari, A., & Nejatian, M. (2014). Formulation of Blend Oil Containing Canola and Sesame Oils without Synthetic Antioxidants. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 9(3): 83-92.
13. Mwithiga, G., & Moriasi, L. (2007). A Study of Yield Characteristics During Mechanical Oil Extraction of Preheated and Ground Soybeans. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(10): 1146-1151.
14. Olayanju, T. M. A., Akinoso, R., & Oresanya, M. O. (2006a). Effect of Wormshaft Speed, Moisture Content and Variety on Oil Recovery from Expelled Beniseed. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 8: 1-7.
15. Olayanju, T., Akinoso, R., & Oresanya, M. (2006b). Effect of Wormshaft Speed and Moisture Content on Oil Recovery from Beniseed. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 3: 1-7.
16. Pirawi Vanak, Z., & Shabnam Pourfalatun, S. (2015). The Composition of Fatty Acid and Sterol Content of Iranian Nuts Oil, Including Pistachio, Walnut, Hazelnut and Almond, Prepared by Cold Press Method. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 12 (3): 77-84. (In persian).
17. Pradhan, R. C. Mishra, S. Naik, S. N. Bhatnagar, N., & Vijay, I. K. (2011). Oil Expression from Jatropha Seeds Using a Screw Press Expeller. *Biosystems*

نتیجه‌گیری

تأثیر حرارت‌دهی، سرعت دورانی و قطر نازل بر روی راندمان روغن استخراج شده از کنجد توسط یک پرس ماریچ به کمک آزمایش فاکتوریل بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که کلیه فاکتورها بر روی راندمان روغن استخراج شده مؤثر هستند. راندمان روغن استخراج شده با افزایش دمای حرارت‌دهی از ۴۰ تا ۱۰۰°C افزایش یافته است. افزایش سرعت دورانی محور از ۳۰rpm به ۴۰rpm، افزایش راندمان استخراج روغن را به همراه داشته است، اما افزایش بیشتر به ۵۰rpm راندمان را کاهش می‌دهد. در اثر افزایش اندازه قطر نازل از ۱۰ به ۱۵mm راندمان استخراج روغن کاهش یافته است. مدل درجه ۲ برای پیش‌بینی راندمان استخراج روغن با توجه به متغیرهای کنترلی ارائه شده است.

منابع

1. Akbarnia, A. (2011). Effects of Screw Shaft Speed on Quality and Quantity of Extracted Sesame Oil. *The 1st National Congress of Advanced Agricultural Science and Thechnology*. Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran. (InPersian).
2. Akbarnia, A., & Farhani, F. (2012). Effects of Screw Shaft Speed and Press Head Temperature on Quality and Quantity of Extracted Sesame Oil in a Rotating Screw Press Unit. *The 2nd National Congress of Food Safety*. Savadkouh Branch, Islamic Azad University, Savadkouh, Iran.
3. Bamgboye, A. I., & Adejumo, A. O. D. (2007). Development of a Sunflower Oil Expeller. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 9: 1-6.
4. Bargale, P. C., Ford, R. J., Sosulki, F. W., Wulfsohn, D., & Irudayaraj, J. (1999). Mechanical Oil Expression from Extruded Soybean Samples. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 76(2): 223-229.
5. Beig Mohammadi, Z. Maghsoudloo, Y. Sadeghi Mahoonak, A., & Safafar, H. (2008). Effect of Oil Extraction Methods (Cold Press and Hot Press) on Fatty Acids Profile, Oil Contents and Physicochemical Properties of Canola Oil. *The 18th National Congress on Food Thechnology*. Research Intitute of Food technology, Mashad, Iran.
6. Deli, S. Farah Masturah, M., Tajul Aris, Y., & Wan Nadiyah, W. A. (2011). The Effects of Physical Parameters of the Screw Press Oil Expeller on Oil Yield from *Nigella sativa* L seeds. *International Food Research Journal*, 18(4): 1367-1373.

- Engineering*, 109(2):158-166.
18. Rombaut, N., Savoie, R., Thomasset, B., Castello, J., Van Hecke, E., & Lanoiselle, J. L. (2015). Optimization of Oil Yield and Oil Total Phenolic Content During Grape Seed Cold Screw Pressing. *Industrial Crops and Products*, 63:26-33.
 19. Rostami, M., Astaki, M., Bouzhmehrani, A., & Bakhshabadi, H. (2014). Investigating some Properties of Sesame Oil and Meal Obtained from Solvent Extraction Method. *The 3rd National Congress of Food Safety*, Savadkouh Branch, Islamic Azad University, Savadkouh, Iran. (In persian).
 20. Sayasoonthorn, S., Kaewrueng, S., & Atharasathapornkul, P. (2012). Rice Bran Oil Extraction by Screw Press Method: Optimum Operating Settings, Oil Extraction Level and Press Cake Appearance. *Rice science*, 19(1): 75-78.
 21. Singh, J., & Bargale, P. C. (2000). Development of a Small Capacity Double Stage Compression Screw Press for Oil Expression. *Journal of Food Engineering*, 43: 75-82.
 22. Wiensenborn, D., Doddapaneni, R., Tostenson, K., & Kangas, N. (2001). Cooking Indices to Predict Screw Press Performance for Crambe Seed. *Journal American Oil Chemists' Society*, 78(5): 467-471.
 23. Yoyock, J. Y., Lombardia, G., & Owonubi, J. J. 1988. Crop Science and Production in Warm Climates. *Macmillan Intermediate Agricultural Series*, 307 p.

