

## بررسی پیشرفت‌های اخیر در صنعت استخراج روغن‌های نباتی

پوهنیا محمد طاهر امین زی<sup>۱</sup>، پوهنیا عبید الرحمن عابد<sup>۲</sup>

<sup>۱،۲</sup> دیپارتمنت کیمیا، عضو، پوهنځی کیمیا، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان

ایمیل: mt.aminzai@gmail.com

### چکیده

روغن‌های نباتی در صنایع غذایی (به‌عنوان روغن سرخ‌کردنی، طعم‌دهنده و پخت و پز) و غیر غذایی (تولید مواد شوینده، رنگ و بیودیزل) بسیار ضروری هستند. انساج نباتی حاوی روغن و چربی‌های نباتی هستند که بیش‌تر در بذر روغنی، میوه‌ها، پوست، خسته و جوانه‌ها وجود دارند. روغن را می‌توان از انواع متنوع نباتات به‌دست آورد، از جمله آن‌هایی که میوه‌های روغنی مانند زیتون و ناربال تولید می‌کنند و هم‌چنین آن‌هایی که بذر دانه‌های روغنی مانند کنجد، سویا و زغر تولید می‌کنند. یکی از مهم‌ترین مرحله در پروسس روغن نباتی، مرحله استخراج است که بر کیفیت و کمیت روغن استخراج شده تأثیر می‌گذارد. این مقاله مروری بر بررسی و مقایسه روش‌های استخراج روغن نباتی به طریقه‌های سنتی قدیمی، مرسوم (استخراج با محلل و میخانیکی) و غیر متعارف و پیشرفته (استخراج به کمک اولتراساوند و مایکروویو) تمرکز می‌کند.

**اصطلاحات کلیدی:** روغن نباتی؛ چربی؛ دانه روغنی؛ استخراج؛ صنایع غذایی

## Investigation of Recent Developments in Vegetable Oil Extraction Industry

Jr. Teaching Asst. Mohammad Tahir Aminzai<sup>1</sup>, Jr. Teaching Asst. Obaidurahman Abid

<sup>1,2</sup> Department of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, Kabul University, Kabul, Afghanistan

Email: mt.aminzai@gmail.com

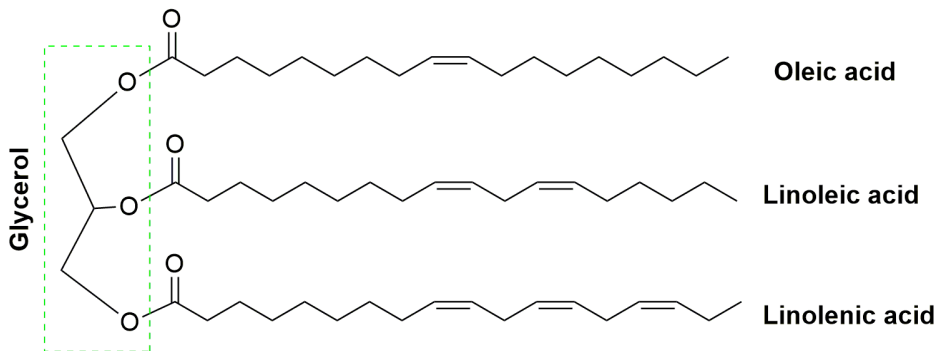
### Abstract

Vegetable oils have many applications in both the food (as frying, flavoring and cooking oil) and non-food industries (production of detergents, paints and biodiesel). They are mainly found in plant tissues, especially in the seeds, fruits, stone fruits, and tubers of plants. Different types of plants can produce vegetable oils, such as those with oleaginous fruits like coconuts and olives or those with oleaginous seeds like sesame, soybean, rapeseed and flaxseeds. Oil extraction is a crucial step in seed oil processing, as it affects the quality and quantity of the oil obtained. This article reviews and compares various methods of vegetable oil extraction, including traditional, conventional (solvent and mechanical extraction) and unconventional and advanced (ultrasound and microwave extraction) methods.

**Keywords:** Vegetable Oils; Fats; Seeds; Extraction; Food Industry

## مقدمه

بسیاری از نباتات حاوی روغن‌های قابل استخراج هستند که از قدیم به‌عنوان مواد اولیه غذایی یا صنعتی مورد استفاده قرار می‌گرفت (۱). از گذشته‌ها فرهنگ‌های روستایی مختلف در سراسر جهان از روش‌های سنتی متنوع برای استخراج روغن نباتی از نباتات مانند زغر، خرما، جواری، پنبه دانه، کنجد، سویا، گل آفتاب‌پرست، ممپلی و ناریال استفاده می‌کردند. روغن‌های نباتی به دلیل داشتن مواد مغذی بالا، عمدتاً به‌عنوان روغن خوراکی استفاده می‌شوند. هم‌چنان چربی‌ها و روغن‌های نباتی قوی‌ترین منبع انرژی در بدن هستند که تقریباً 9kcal انرژی در هر گرم در مقایسه با تنها 4kcal انرژی در هر گرم پروتئین‌ها و کاربوهایدریت‌ها، انرژی تولید می‌کند (۲). روغن‌ها نیز به‌عنوان مواد خام در صنایع کیمیای به‌عنوان ساخت پولیمیرها، بیودیزل، دواها، مواد آرایشی و سایر مواد کیمیای کاربرد دارند (۳). از نظر ترکیب، برای اسایل گلیسرول‌ها (ترای گلیسرید) جز اصلی کیمیای چربی‌ها و روغن‌ها می‌باشد (۱). برخلاف چربی‌های حیوانی که عمدتاً از اسیدهای شحمی مشبوع ساخته شده‌اند، روغن‌های نباتی (به استثنای روغن‌های ناریال و خسته خرما که عمدتاً از اسیدهای شحمی مشبوع تشکیل شده‌اند) حاوی نسبت‌های متفاوتی از اسیدهای شحمی مشبوع و غیر مشبوع (فیصدی بالای اسیدهای شحمی غیرمشبوع) در مالیکول‌های ترای گلیسرید خود هستند (شکل ۱).



شکل ۱: ساختمان ترای گلیسرید روغن نباتی (زغر)

در نباتات، ماده شحمی (ترای گلیسرید) فقط در برخی از قسمت‌ها مانند دانه‌ها، میوه‌ها، پوست میوه، خسته میوه، جوانه‌ها متمرکز می‌شود که نبات در طول رشد خود به‌عنوان منبع انرژی از آن استفاده می‌کنند. اگرچه انواع دانه‌های روغنی بسیار وسیع است؛ اما نباتات که می‌توانند به‌عنوان ماده خام در صنعت روغن‌های نباتی استفاده شوند، اندک هستند؛ زیرا بسیاری از آن‌ها حاوی مقدار کم روغن در ترکیب خود دارند، هم‌چنان برخی دیگر با مقدار روغن بالاتر به دلیل ساختار خاص نبات، از آن روغن

به مشکل استخراج می‌گردد. صنعت که محصولات روغنی، روغن‌های خوراکی و روغن‌های غیر خوراکی را تولید می‌کند. روغن‌های خوراکی (که حدود ۲/۳ حجم کل محصولات روغنی است) به‌طور مستقیم در مواد غذایی و روغن‌های غیر خوراکی (که یک سوم حجم کل روغن تولیدی را تشکیل می‌دهند) به‌عنوان مواد خام در صنایع کیمیاوی استفاده می‌شوند (۴).

تا قرن هجدهم، تکنالوژی به‌کار رفته جهت استخراج روغن نباتی محدود بر استفاده از نیروی انسانی و حیوانی بود. در قرن هجدهم، انرژی آب و باد تا حد زیادی جایگزین نیروی حیوانات برای کمک به استخراج روغن شدند. اخیراً اکثر صنایع استخراج روغن‌های نباتی از فن‌آوری‌های پیشرفته برای استخراج روغن استفاده می‌کنند؛ اما روش‌های سنتی هنوز هم در بسیاری از مناطق استفاده می‌شوند. این مقاله روش‌های کلی استخراج روغن نباتی از دانه‌های روغنی را خلاصه می‌کند. روش‌های استخراج روغن از مواد روغنی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که روغن با کیفیت بالا با حداقل اجزای نامطلوب، فیصدی محصول استخراج بالا و تولید کنجاره با ارزش بالا باشد.

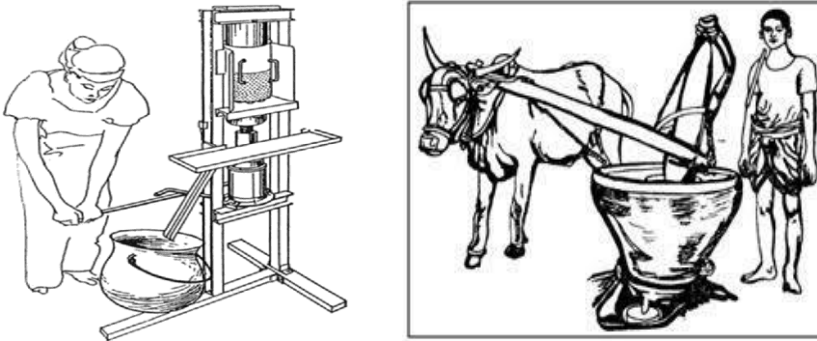
### میتودهای استخراج روغن نباتی

پروسه جداسازی برای گلیسریدها از دانه‌های روغنی به‌عنوان استخراج روغن نامیده می‌شود. این امر از طریق انواع پروسه‌های کیمیاوی، بیوکیمیاوی و میخانیکی به‌منظور به حداقل رساندن محصول و به حداقل رساندن تغییرات در کیفیت محصول امکان‌پذیر است (۵). قبل از این‌که پروسه استخراج روغن آغاز گردد، باید بالای دانه‌های روغنی یک سلسله پروسه‌های ابتدایی صورت گیرد. مراحل اساسی در این پروسه عبارتند از: کندن پوست، غربال کردن، مرتب‌سازی، پاک کردن، آسیاب کردن و پیش‌گرم کردن می‌باشد (۶). استخراج روغن از مواد روغنی می‌تواند به سه روش عمده انجام شوند. ۱. روش‌های سنتی قدیمی؛ ۲. روش‌های مرسوم؛ ۳. روش‌های غیر متعارف پیشرفته. روش سنتی قدیمی معمولاً یک پروسه دستی است و شامل پردازش اولیه و پریس دستی است. روش‌های مرسوم بهبود یافته شامل استخراج کیمیاوی و عملیه میخانیکی است (۷). درحالی‌که روش‌های غیرمتعارف پیشرفته شامل استخراج به کمک مایکروویو (MAE)، استخراج به کمک اولتراسونیک (UAE)، استخراج به کمک انترایم (EAE) و غیره می‌باشد (۸).

### روش‌های سنتی قدیمی

وسایل استخراج روغن سنتی، دستگاه‌های میخانیکی ساده‌ای هستند که با دست/حیوان کار می‌کنند (شکل ۲). این تجهیزات بر اساس اصل فشار میخانیکی کار می‌کنند و برای انجام کار به برق و یا مواد سوخت نیاز ندارند. آن‌ها با استفاده از قطعات ارزان ساخته می‌شوند که اغلب می‌توانند به‌صورت محلی

تولید شوند. این دستگاه‌ها غیرموتوری به دلیل کار با دست، ظرفیت تولیدی پایین در حدود ۲ تا ۵ کیلوگرام در ساعت یا ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرام در روز دارند. هم‌چنان از نظر فیصدی محصول، روش‌های قدیمی سنتی یا استخراج مرطوب که توسط جوامع روستایی در سراسر جهان استفاده می‌شد، ناکارآمد محسوب می‌شوند که اغلب کم‌تر از مقدار روغن موجود در تخم روغنی، روغن تولید می‌کنند.



شکل ۲: استخراج روغن به روش‌های سنتی قدیمی (۹)

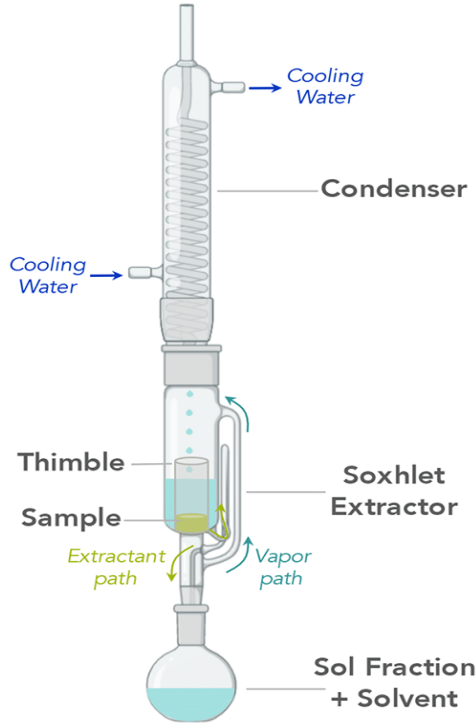
### روش‌های مرسوم

روش‌های مرسوم، روش‌های شناخته شده و پرکاربردترین میتود برای استخراج روغن می‌باشد. این روش شامل استخراج با محلل و استخراج با فشار میخائیکی می‌باشد. اکثر اوقات می‌توان روغن‌های نباتی را با استفاده از یکی از روش‌های فوق استخراج کرد؛ اما در صورت نیاز هر دو روش به شکل ترکیبی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰).

### الف) استخراج با محلل

روش استخراج با محلل شامل استفاده از محلل‌های عضوی مانند هایدروکاربن‌های زنجیر مستقیم، هایدروکاربن‌های کلورین دار، الکل‌ها و کیتون‌ها برای استخراج روغن از منابع نباتی می‌باشد. استخراج با محلل قادر است تقریباً تمام روغن موجود را از دانه‌های روغنی یا مغزها (حدوداً ۹۸٪) استخراج کند (۱۱). این روش علاوه بر فیصدی محصول بالای روغن، کنجاره غنی از پروتئین تولید می‌کند. محلل‌های که معمولاً در استخراج روغن مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از هگزان، دای ایتایل ایتر، پترولیم ایتر و ایتانول می‌باشد. پروسه استخراج روغن با محلل توسط دستگاه سوکسلیت (Soxhlet)، وسیله اصلی استخراج روغن نباتی از دانه‌های روغنی می‌باشد (شکل ۳). از دستگاه سوکسلیت به‌طور گسترده در استخراج روغن نباتی در مقیاس لابراتواری استفاده می‌شود؛ اما برای استخراج روغن به مقیاس بزرگ، نیاز به یک استخراج‌کننده تجارتي می‌باشد. با این حال، برخی محدودیت‌ها و نواقص مربوط به استخراج روغن با محلل وجود دارد: محلل‌های کیمیای به‌کار رفته در استخراج روغن برای صحت انسان مضر

هستند، هم‌چنان این مواد کیمیاوی بسیار قابل اشتغال هستند و خطر آتش‌سوزی و انفجار همیشه وجود دارد. سرمایه اولیه و هزینه‌های عملیاتی آن بالا است، انرژی مورد نیاز بالا بوده و کیفیت روغن کم‌تر از روغن اسخراج شده توسط روش میخانیکی می‌باشد (۱۱).



شکل ۳: دستگاه اسخراج روغن سوکسلیت (۱۱)

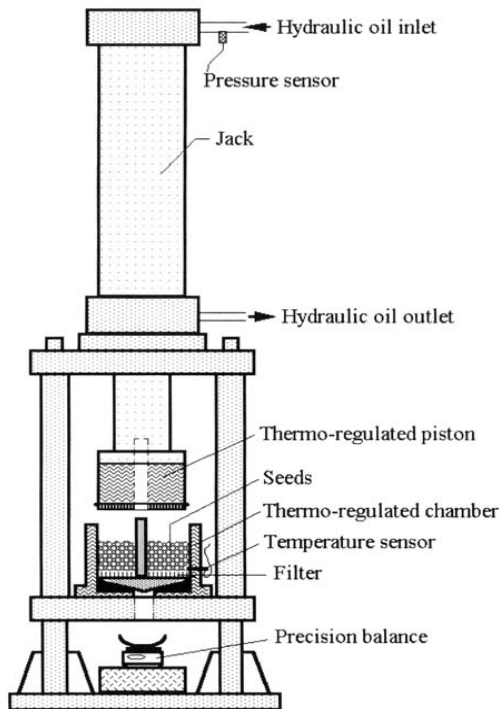
### ب) اسخراج با فشار میخانیکی

اسخراج میخانیکی (فشار هایدرولیک و فشار پیچ) یکی از قدیمی‌ترین روش‌های است که برای اسخراج روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد. پروسه فشار میخانیکی در عمل شامل دو مرحله می‌شود، مرحله اول آن آماده‌سازی دانه روغنی بوده و مرحله دوم آن اسخراج روغن می‌باشد. مرحله آماده‌سازی شامل پاک کردن، شکستن، آسیاب کردن و پختن (گرم کردن) است تا دانه‌های روغنی را قبل از فشار دادن در شرایط مطلوب قرار دهد. پروسه پخت معمولاً در درجه حرارت ۹۰-۱۱۵ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود، سپس اسخراج توسط پریس میخانیکی صورت گرفته که در نتیجه ۷۱-۸۲٪ محصول روغنی را تولید می‌کند (۱۲). روش‌های پریس میخانیکی اغلب برای اسخراج روغن نباتی از دانه‌های روغنی با محتوای روغن بالاتر از ۲۰٪ استفاده می‌شود. به‌طور کلی، این روش‌ها از مزایای هزینه عملیات پایین، تولید روغن با رنگ روشن، کیفیت بالا و غلظت کم اسیدهای شحمی آزاد برخوردار هستند. با این حال،

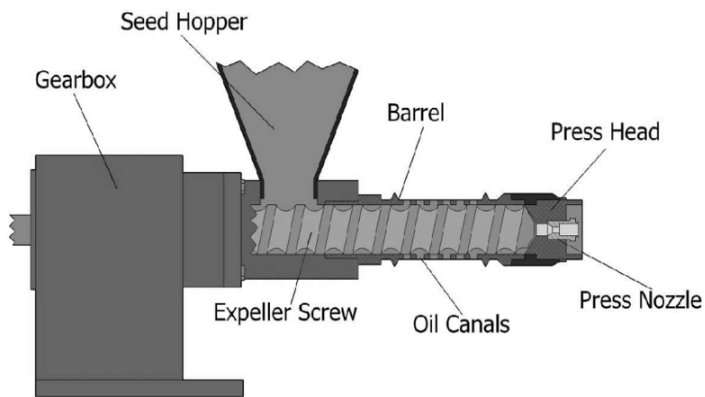
فیصدی محصول نسبتاً کم در مقایسه با استخراج با محلل داشته. بنابراین نسبتاً ناکارآمد است و اغلباً مقدار زیاد روغن (۸-۱۴٪) پس از استخراج در کیک یا کنجاره باقی می‌ماند. از این لحاظ باید این روش با روش استخراج با محلل ترکیب شود تا محتوای روغن باقی‌مانده در کنجاره توسط محلل استخراج شود (۱۳).

دو نوع روش فشار میخانیکی وجود دارد که عبارتند از روش فشار سرد و فشار گرم می‌باشد. روش فشار سرد در درجه حرارت پایین (زیر ۵۰ درجه سانتی‌گراد) و فشار پایین انجام می‌شود، درحالی‌که روش فشار گرم در درجه حرارت و فشار بالا انجام می‌شود. روغن‌های نباتی به‌دست آمده به روش فشار میخانیکی سرد نسبت به فشار میخانیکی گرم دارای کیفیت بهتر می‌باشد؛ زیرا از اثرات نامطلوب ناشی از حرارت بالا جلوگیری می‌شود. برخی از اثرات نامطلوب احتمالی کاهش پایداری اکسیدانتی، تخریب اجزای ارزش‌مند روغن و کاهش کیفیت نگهداری روغن است. در روغن‌های به‌دست آمده توسط فشار سرد، خلوص و خواص طبیعی روغن دانه‌ها حفظ می‌شود (۱۲).

دستگاه‌های فشار هیدرولیک (Hydraulic presses) تا دهه ۱۹۵۰ جهت استخراج روغنی‌های نباتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند؛ سپس آن‌ها با دستگاه فشار پیچ (Screw presses) و کارخانه‌های استخراج با محلل جایگزین شدند (شکل ۴). مزایای فشار پیچی نسبت به فشار هیدرولیک، فیصدی محصول بالای آن است؛ اما روش فشار هیدرولیک تا هنوز هم در صنعت استخراج روغن زیتون استفاده می‌کند.



(الف)



(ب)

شکل ۴: دستگاه‌های فشار میخانیکی استخراج روغن نباتی: الف) دستگاه فشار هایدرولیک (۱۴). ب) دستگاه فشار پیچ (۱۵)

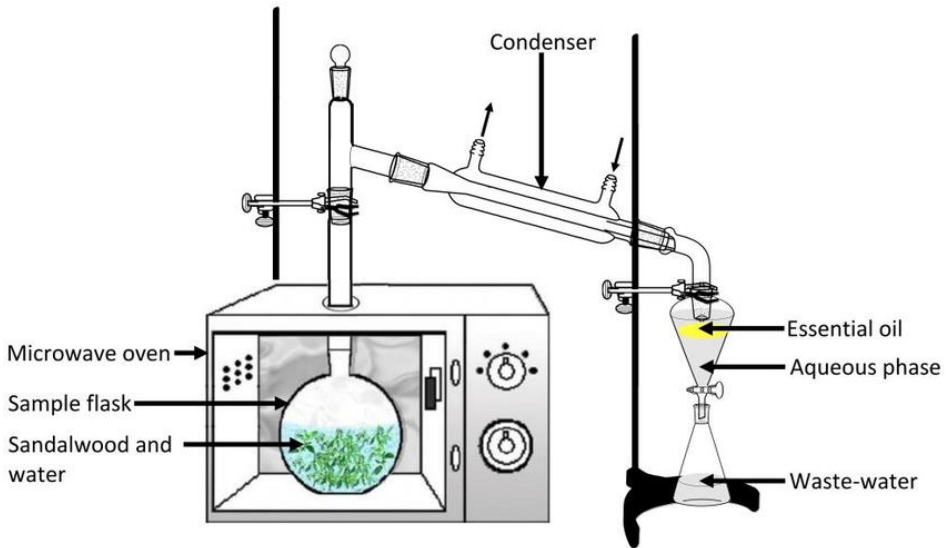
### روش‌های غیر متعارف پیشرفته

روش‌های مرسوم استخراج روغن علاوه بر این‌که از نظر حرارتی خطرناک هستند، زمان‌گیر و مقدار زیاد محلول در آن به مصرف می‌رسد. این کاستی‌ها را می‌توان با استفاده از روش‌های جایگزین پیشرفته مانند

استخراج به کمک مایکروویو (MAE)، استخراج به کمک اولتراسونیک (UAE)، استخراج به کمک انزایم و غیره برطرف کرد (۸).

### الف) استخراج به کمک مایکروویو

استخراج به کمک مایکروویو یکی از تخنیک‌های پیشرفته برای جداسازی روغن‌های نباتی از دانه‌های روغنی است (شکل ۵). این روش ساده بوده و نسبت به بسیاری از روش‌های حرارتی دیگر که برای استخراج روغن‌های نباتی با کیفیت بالا استفاده می‌شود، برتری دارد. قبل از آغاز پروسه استخراج روغن، دانه‌های روغنی در دما مایکروویو گرم می‌شود که از امواج رادیویی برای انتقال انرژی و تبدیل آن به حرارت در محدوده فریکوینسی حدود ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز استفاده می‌کند. استفاده از تشعشعات مایکروویو در دانه‌های روغنی منجر به پارگی غشای حجروی شده و باعث تماس بیشتر محلول با مغز دانه شده که در نتیجه فیصدی محصول روغن بالا به دست می‌آید (۱۶).



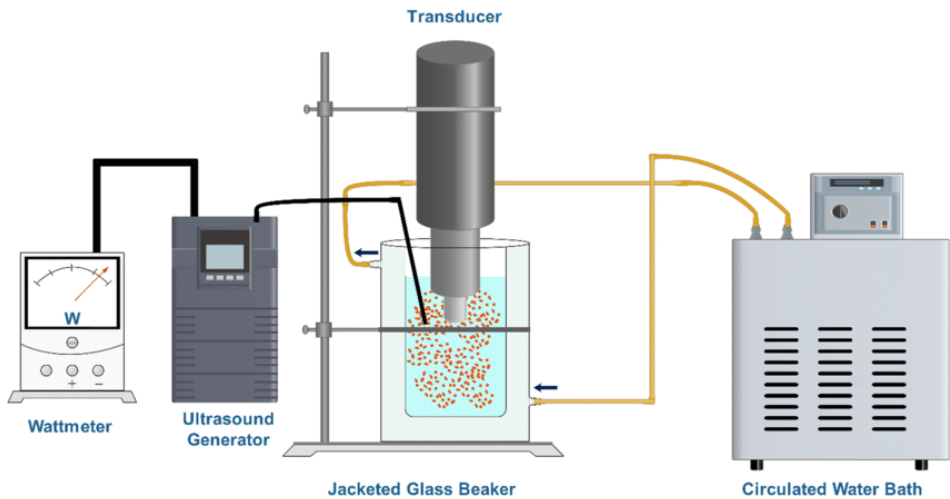
شکل ۵: پروسه استخراج روغن به کمک مایکروویو (۱۷)

در اثر روش مایکروویو روغن به سرعت مناسب استخراج شده و هم‌چنین فیصدی محصول روغن بالا و کیفیت روغن خوب به دست می‌آید. در واقع، این تخنیک برای استخراج روغن از انواع گسترده‌ای از دانه‌های روغنی از جمله سویا، کرچک، کنجد، زیتون، گل آفتاب‌پرست و غیره استفاده شده می‌تواند (۱۸).



### ب) استخراج به کمک اولتراسونیک

استخراج به کمک اولتراسونیک یک تکنیک نوآورانه جدید است که از امواج صوتی اولتراسونیک برای افزایش اهتزاز و حرارت استفاده می‌کند. این روش منجر به تخریب دیواره‌های حجروی سخت نباتات شده که در نتیجه تماس بین محلل و ماده نباتی را افزایش می‌دهد (۱۹). هنگامی که این روش در نتیجه استخراج با محلل ترکیب می‌شود، در نتیجه باعث افزایش فیصدی محصول روغن استخراج شده می‌گردد. سمارام در یک تجربه استخراج روغن از دانه‌های پایاپا را با استفاده از روش التراسونیک و استخراج با محلل تجزیه و تحلیل کرد. آن‌ها گزارش دادند که استخراج روغن به طریقه مرسوم یعنی استخراج با محلل مرسوم ۱۲ ساعت به طول انجامید، درحالی‌که روش UAE تنها ۳۰ دقیقه طول کشید (۲۰). این امر روش اولتراسونیک را از نظر سرعت کار و فیصدی محصول مناسب‌تر می‌سازد.



شکل ۶: پروسه استخراج روغن به کمک اولتراسونیک (۲۱)

### ج) استخراج به کمک انزایم

دیواره‌های حجروی نباتات از لیگنوسلولوزیک و سایر پولیمیرها دیگر تشکیل شده است که مانع اصلی برای استخراج روغن از آن می‌باشد. از انزایم‌ها برای هضم (شکستن) این مواد حجروی و از هم گسیختن منافذ به‌عنوان مرحله پیش از استخراج استفاده می‌شود که انتشار روغن در پروسه استخراج را آسان می‌کند. برخی از مؤثرترین انزایم‌های مورد استفاده از فنگس *Trichoderma* هستند (۲۲). انتخاب انزایم مورد استفاده بستگی به ساختار دانه روغنی، ساختار انزایم، شرایط تعامل و غیره دارد. روش استخراج روغن به کمک انزایم یک میتود جدید پیشرفته است که در درجه حرارت پایین کار می‌کند و هم‌چنین فیصدی محصول را افزایش می‌دهد.

## نتیجه‌گیری

این مقاله علمی به بررسی روش‌های شناخته شده و پرکاربرد استخراج روغن‌های نباتی یعنی روش‌های سنتی قدیمی، روش‌های مرسوم (استخراج با محلل و فشار میخانیکی) و همچنین روش‌های پیشرفته جدید با هدف افزایش و بهینه‌سازی فیصدی محصول روغن و بهبود کیفیت روغن پرداخته است. روش‌های سنتی قدیمی عمدتاً زمان‌گیر و ناکارآمد بودند. کاستی‌های عمده مرتبط با روش‌های مرسوم عبارتند از: تأخیر زمانی استخراج، مصرف زیاد محلل و اثرات نامطلوب حرارتی در درجه حرارت بالا می‌باشد. البته تکنیک‌های غیرمعارف پیشرفته مانند استخراج به کمک مایکروویو (MAE)، استخراج با کمک اولتراسونیک (UAE)، استخراج به کمک انزایم (EAE) و غیره توسعه یافته‌اند که در نتیجه آن تمامی کاستی‌ها و کمبودی‌های روش‌های سنتی قدیمی و مرسوم کاهش و یا هم به صورت کل از بین می‌رود.

1. Yusuf AK. A review of methods used for seed oil extraction. *Int. J. Sci. Res.* 2018;7(12):233-23.
2. Yusuf AK, Mamza PA, Ahmed AS, Agunwa U. Extraction and characterization of castor seed oil from wild *Ricinus communis* Linn. *International Journal of Science, Environment and Technology.* 2015;4(5):1392-404.
3. Özcan MM, Ünver A, Arslan D. A research on evaluation of some fruit kernels and/or seeds as a raw material of vegetable oil industry. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods.* 2015;7(2):187-91.
4. Mariana I, Nicoleta U, Sorin-Ştefan B, Gheorghe V, Mirela D. Actual methods for obtaining vegetable oil from oilseeds. In *Conference Paper, Politehnica University of Bucharest 2013 (Vol. 313).*
5. Alonge AF, Jackson NI. Extraction of Vegetable Oils from Agricultural Materials: A Review. In *Nigeria: Proceedings of the 12th CIGR Section VI International Symposium, held at the International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Oyo State, Nigeria 2018.*
6. Ogunniyi DS. Castor oil: a vital industrial raw material. *Bioresource technology.* 2006 Jun 1;97(9):1086-91.
7. Sheikh SM, Kazi ZS. Technologies for oil extraction: a review. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology.* 2016 Jul 8;1(2):238506.
8. Bampouli A, Kyriakopoulou K, Papaefstathiou G, Louli V, Krokida M, Magoulas K. Comparison of different extraction methods of *Pistacia lentiscus* var. chia leaves: Yield, antioxidant activity and essential oil chemical composition. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants.* 2014 Sep 1;1(3):81-91.
9. Sheikh SM, Zakiuddin KS. History of human powered oil expeller: a literature review. *Explorations in the History and Heritage of Machines and Mechanisms.* 2019:77-88.
10. Ali, F.M., Ali, B.E. and Speight, J.G. *Handbook of Industrial Chemistry: Organic Chemicals.* McGraw- Hill Education, USA; 2015.
11. Danielsen SP, Beech HK, Wang S, El-Zaatari BM, Wang X, Sapir L, Ouchi T, Wang Z, Johnson PN, Hu Y, Lundberg DJ. Molecular characterization of polymer networks. *Chemical reviews.* 2021 Apr 1;121(8):5042-92.
12. Arişanu AO. Mechanical continuous oil expression from oilseeds: oil yield and press capacity. 2013 Oct 24; 347 - 352.
13. Sinha LK, Haldar S, Majumdar GC. Effect of operating parameters on mechanical expression of solvent-soaked soybean-grits. *Journal of Food Science and Technology.* 2015 May;52(5):2942-9.
14. Lanoisellé JL, Vorobyov EI, Bouvier JM, Pair G. Modeling of solid/liquid expression for cellular materials. *AICHE journal.* 1996 Jul;42(7):2057-68.
15. Ionescu M, Voicu G, Sorin-Stefan B, Covaliu C, Dincă M, Ungureanu N. Parameters influencing the screw pressing process of oilseed materials. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, Băile Olăneşti, Romania 2013 Jul. p. 20-22.*

16. Rassem HH, Nour AH, Yunus RM. Techniques for extraction of essential oils from plants: a review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2016 Nov;10(16):117-27.
17. Kusuma HS, Mahfud M. Preliminary study: Kinetics of oil extraction from sandalwood by microwave-assisted hydrodistillation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2016 Apr 1*;128(1).
18. Mgudu L, Muzenda E, Kabuba J, Belaid M. Microwave-assisted extraction of castor oil. In *International Conference on Nanotechnology and Chemical Engineering (ICNCS'2012)*". 2012 Dec 21. p. 21-22.
19. Takadas F, Doker O. Extraction method and solvent effect on safflower seed oil production. *Chemical and Process Engineering Research*. 2017;51:9-17.
20. Samaram S, Mirhosseini H, Tan CP, Ghazali HM. Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seed oil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability. *Industrial Crops and Products*. 2014 Jan 1;52:702-8.
21. Poyraz Ç, Küçükyıldız G, Kırbaşlar Şİ, Ciğeroğlu Z, Şahin S. Valorization of Citrus unshiu biowastes to value-added products: an optimization of ultrasound-assisted extraction method using response surface methodology and particle swarm optimization. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021 Feb 1:1-1.
22. Nde DB, Foncha AC. Optimization methods for the extraction of vegetable oils: a review. *Processes*. 2020 Feb 8;8(2):209.