

مرکز آموزش عالی علوم پزشکی وارسنگان

گروه علوم و صنایع غذایی

سمینار دوره کارشناسی علوم و صنایع غذایی



عنوان :

ارزیابی استخراج فوق بحرانی دی‌اکسید کربن بر خواص فیتوکمیکال ها

استاد رهنما:

دکتر پرنیان پزشکی

نام و نام خانوادگی:

علیرضا اسماعیل زاده

تاریخ ارائه:

۲۲ خرداد ۱۴۰۴



VARASTEGAN

Institute For Medical Science

Department of food science and technology
B.Sc. Seminar in food science and technology

Title:

“Evaluation of Phytochemical Properties Extracted by Supercritical CO₂”

Date:

May 2025

By:

Alireza Esmaeilzadeh

Supervisor:

Dr.Parnian Pezeshki

جدول اختصارات

اختصار	انگلیسی	معادل فارسی
SFE	Supercritical Fluid Extraction	استخراج با سیال فوق بحرانی
TM	Traditional Methods	روش های سنتی (کلاسیک)
NM	Novel Methods	روش های نوین
SC-CO ₂	Supercritical Carbon Dioxide	دی اکسید کربن فوق بحرانی
MAE	Microwave-Assisted Extraction	استخراج با کمک مایکروویو
UAE	Ultrasound-Assisted Extraction	استخراج با کمک امواج فراصوت
HPLC	High-Performance Liquid Chromatography	کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا
GAE	Gallic Acid Equivalents	معادل اسید گالیک (برای اندازه گیری ترکیبات فنولی کل)
QE	Quercetin Equivalents	معادل کوئرستین (برای اندازه گیری فلاونوئید کل)
TE	Trolox Equivalents	معادل ترولوکس (برای آنتی اکسیدان ها)
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl	آزمون رایج برای سنجش فعالیت آنتی اکسیدانی
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power	قدرت احیای آنتی اکسیدانی (روش FRAP)

فهرست مطالب

شماره صفحه

۲۴-۱

مقدمه

۲۶

هدف

۷۱-۲۷

مرور متون

۷۹-۷۲

بحث

۸۱-۸۰

نتیجه گیری

۸۳-۸۲

منابع

فهرست جداول

شماره صفحه

۱۵

جدول ۱

۱۶

جدول ۲

۳۴

جدول ۳

۳۵

جدول ۴

۳۶

جدول ۵

۳۷

جدول ۶

۴۵

جدول ۷

فهرست جداول (ادامه)

شماره صفحه

۶۶

جدول ۸

۶۸

جدول ۹

۶۹

جدول ۱۰

۷۰

جدول ۱۱

فهرست اشکال

شماره صفحه

۱۱	شکل ۱
۱۳	شکل ۲
۳۴	شکل ۳
۵۴	شکل ۴
۵۵	شکل ۵
۵۵	شکل ۶
۵۶	شکل ۷
۵۶	شکل ۸
۵۷	شکل ۹

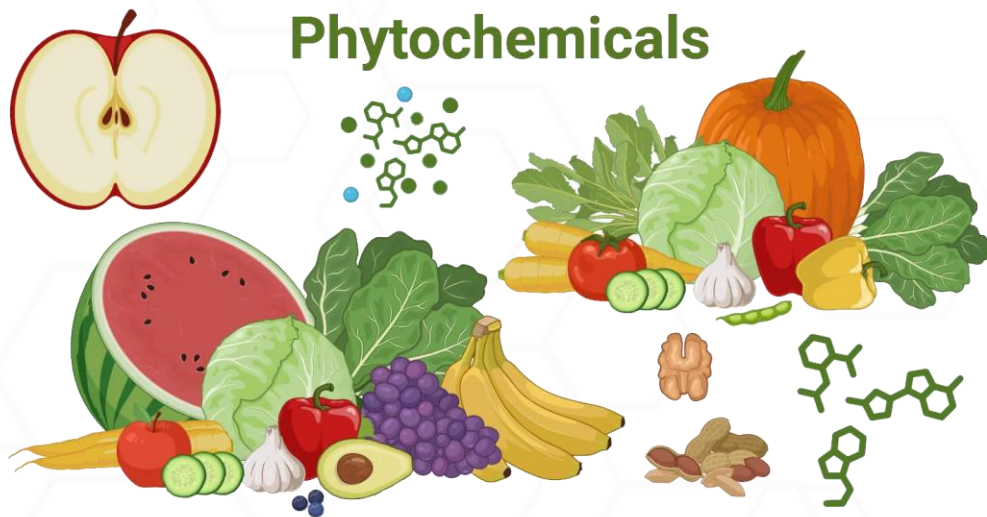
فهرست اشکال (ادامه)

شماره صفحه

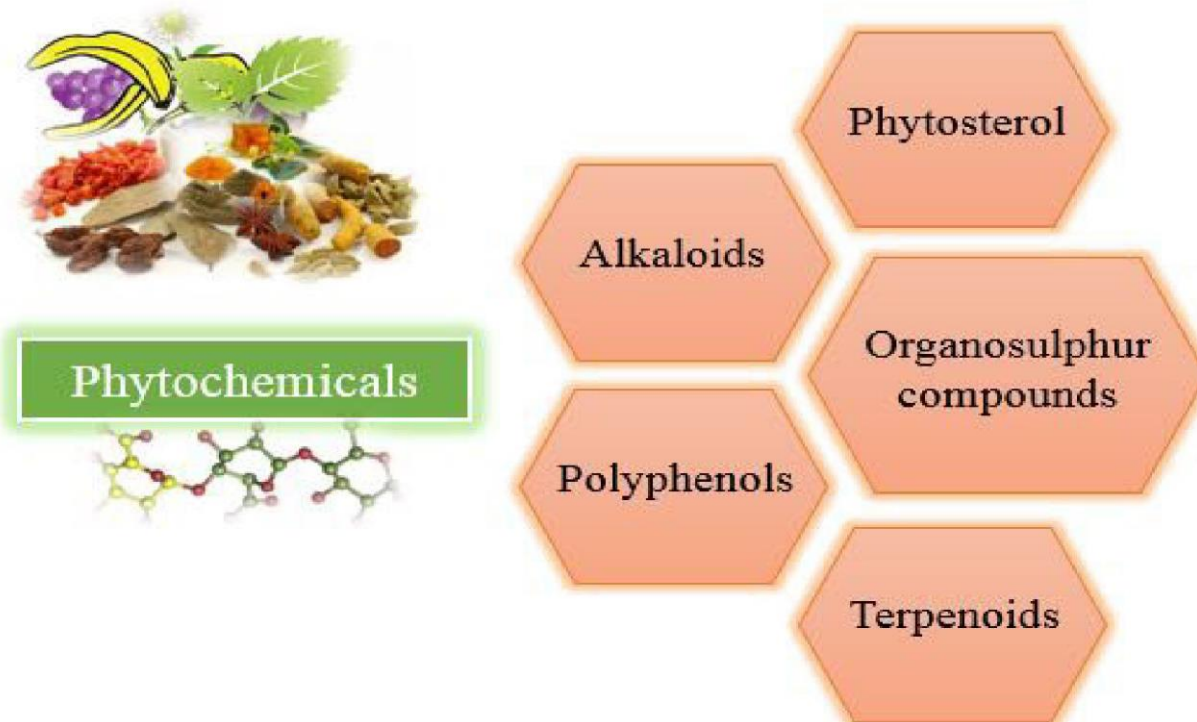
۵۷	شکل ۱۰
۵۷	شکل ۱۱
۵۸	شکل ۱۲
۵۸	شکل ۱۳
۵۸	شکل ۱۴
۵۹	شکل ۱۵
۷۵	شکل ۱۶
۷۶	شکل ۱۷



فیتوکمیکال ها (Phytochemicals) ترکیبات شیمیایی طبیعی هستند که توسط گیاهان تولید می شوند و نقش حیاتی در حفاظت از گیاهان در برابر عوامل بیماریزا، آفات و اشعه های مضر دارند. این ترکیبات معمولاً مسئول رنگ، عطر، طعم و حتی بافت گیاهان هستند.



شکل ۱: دسته‌بندی اصلی فیتوکمیکال‌ها بر اساس ساختار شیمیایی



مقدمه (ادامه)

اهمیت فیتوکمیکال در صنایع غذایی و دارویی

صنایع دارویی

تولید داروهای گیاهی و مکملها

فرمولاسیون داروهای نوین

صنایع غذایی

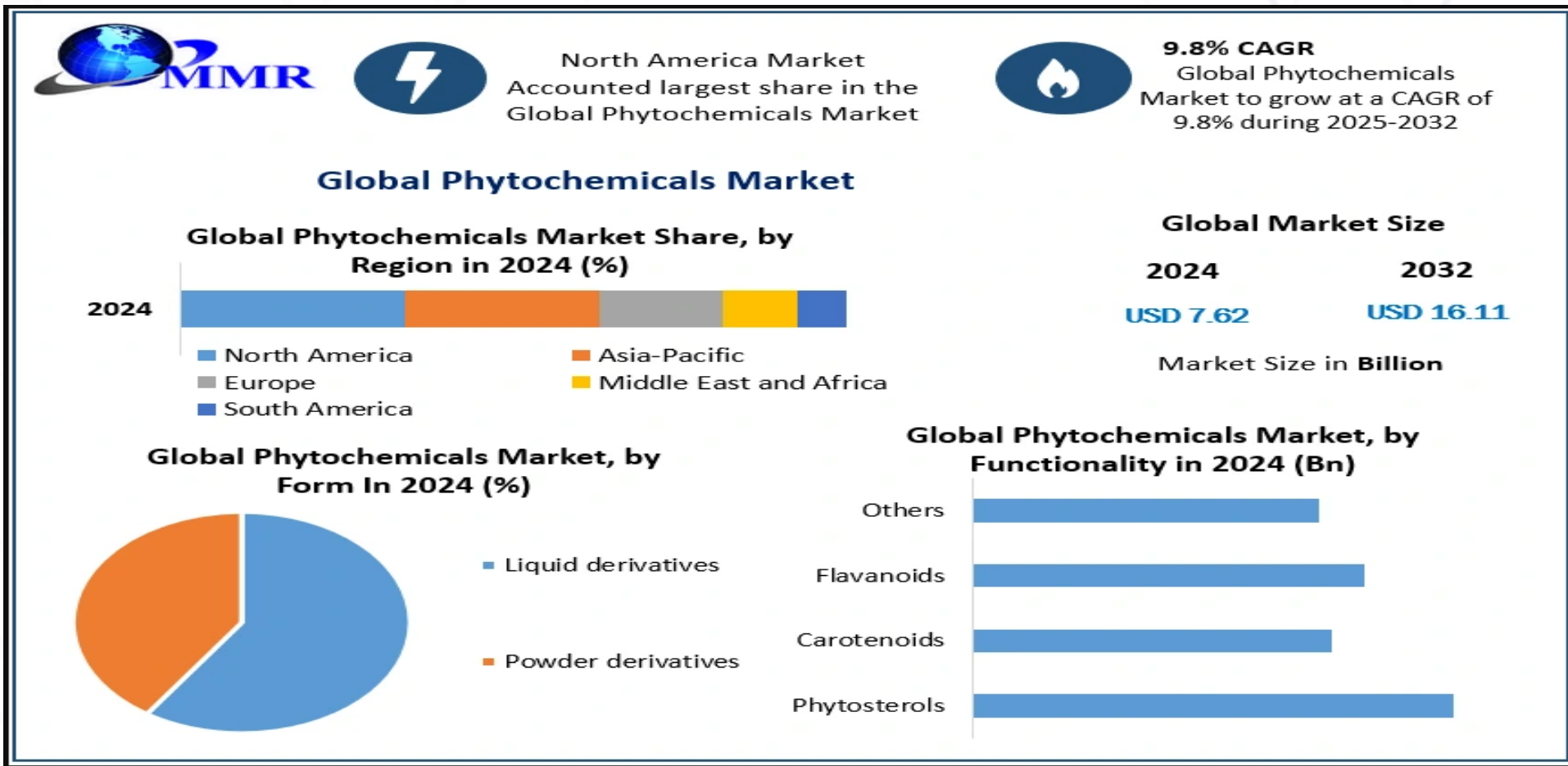
افزایش ارزش تغذیه‌ای و سلامتی

جایگزینی افزودنی‌های مصنوعی

توسعه محصولات جدید

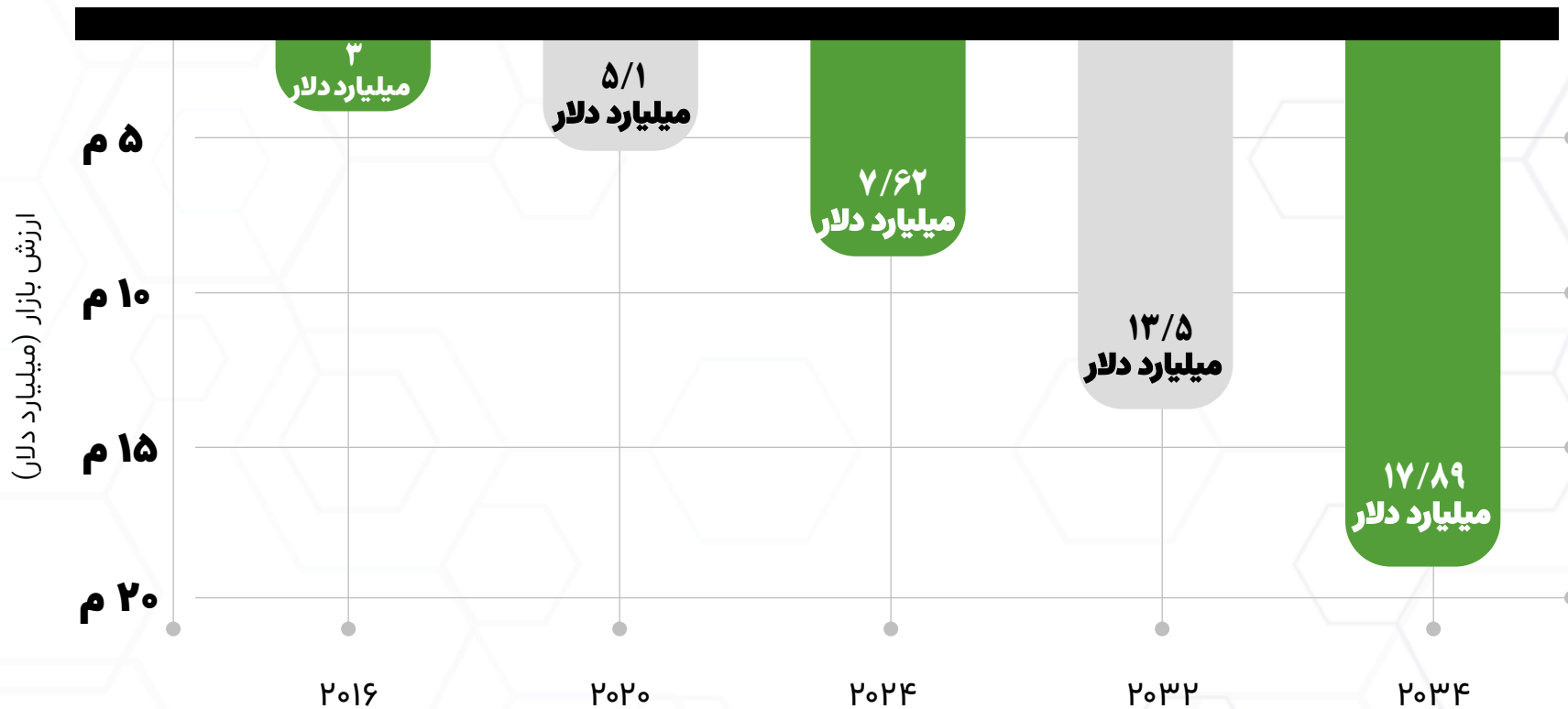
مقدمه (ادامه)

شکل ۲: وضعیت بازار جهانی فیتوکمیکال‌ها (۲۰۲۴-۲۰۳۲)



بازار جهانی فیتوکمیکال ها

چشم انداز بازار جهانی فیتوکمیکال ها تا سال ۲۰۳۴



مقدمه (ادامه)

جدول ۱ روش‌های رایج استخراج فیتوکمیکال‌ها

روش‌های نوین (NM)	روش‌های کلاسیک (TM)
استخراج با سیال فوق بحرانی (SFE)	تقطیر با بخار آب (Hydrodistillation)
استخراج با امواج مایکروویو (MAE)	
استخراج با امواج فراصوت (UAE)	سوکسله (Soxhlet)

مقدمه (ادامه)

جدول ۲ مقایسه روش های کلاسیک و نوین

روش استخراج	مزایا	معایب
TM	• بازده استخراج بالاتر • هزینه تجهیزات پایین	• زمان طولانی تر فرایند • دمای بالا و امکان تخریب ترکیبات حساس • مصرف زیاد حلال های آلی سمی • عدم انتخاب پذیری
NM	• زمان پردازش کوتاه تر • انتخاب پذیری بالا • دمای پایین (حفظ ترکیبات حساس) و کیفیت بالاتر ماده استخراج شده	• هزینه تجهیزات بالا • نیاز به سیال با خلوص بالا • بازدهی کمتر در برخی موارد

مقدمه (ادامه)

در بین روش‌های نوین کدام یک برتری دارد؟

روش استخراج با سیال فوق بحرانی (SFE)، به‌عنوان یکی از موفق‌ترین و برترین روش‌ها معرفی شده است. این روش به دلیل:



۱

کارایی و انتخاب‌پذیری بالا

۳

سازگاری با محیط زیست

۲

حفظ ترکیبات حساس

۴

قابلیت صنعتی‌شدن بالا

تاریخچه استفاده از روش SFE

۱۸۷۹

دانشمندان Hannay و Hogarth اولین بار مشاهده کردند که سیالات فوق بحرانی (مانند اتیلن) می‌توانند مواد جامد مانند نمک را حل کنند.

۱۹۷۰

کورت زوسل (Zosel) از مؤسسه ماکس پلانک با استفاده از SFE با CO_2 فوق بحرانی موفق به استخراج کافئین از دانه‌های قهوه شد.

۱۹۷۹

شرکت Krupp آلمان اولین سیستم صنعتی SFE با CO_2 فوق بحرانی را برای استخراج کافئین از قهوه معرفی کرد.

مقدمه (ادامه)

۱۹۸۰-
۲۰۰۰

گسترش کاربرد SFE در استخراج ترکیبات گیاهی،
اسانس‌ها و داروها به دلیل مزایای زیست‌سازگاری و
انتخاب‌پذیری بالا.

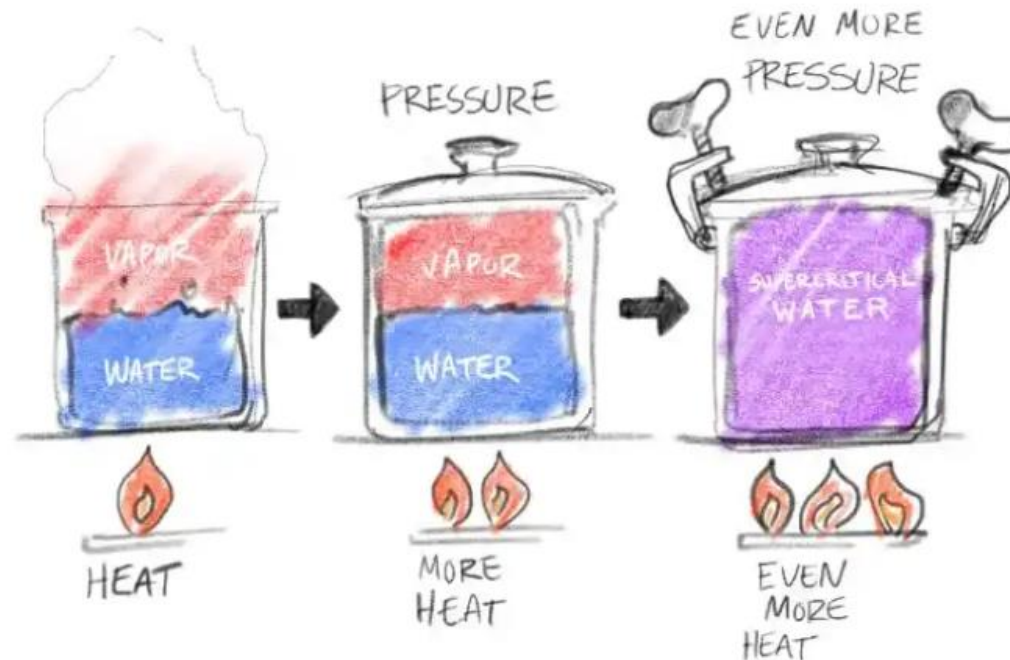
امروزه

استفاده گسترده در صنایع غذایی، داروسازی، آرایشی برای
استخراج تمیز و کارآمد ترکیبات ارزشمند.

مقدمه (ادامه)

روش استخراج با سیال فوق بحرانی

تعریف: سیال فوق بحرانی حالتی از ماده است که در دما و فشاری بالاتر از نقطه بحرانی خود قرار دارد و ویژگی‌های گاز و مایع را **همزمان** دارد و در روش استخراج فوق بحرانی به **عنوان حلال** استفاده میشود.

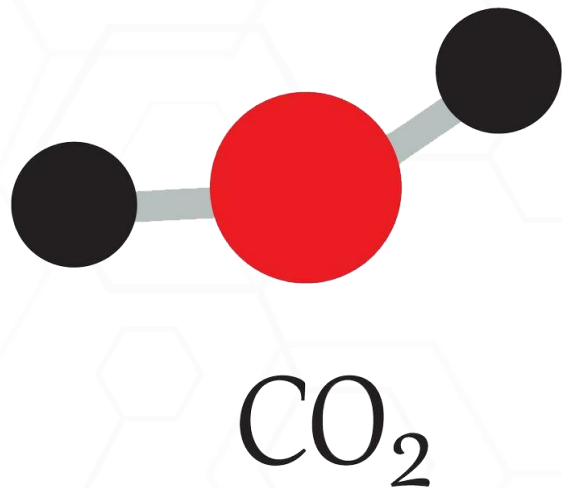


مقدمه (ادامه)

انتخاب حلال مناسب برای استخراج در روش SFE

حلالهایی که به عنوان سیال فوق بحرانی به کار میروند باید دارای ویژگی های زیر باشند:





مقدمه (ادامه)

روش استخراج با سیال فوق بحرانی CO₂

علت انتخاب کربن دی اکسید به عنوان سیال؟

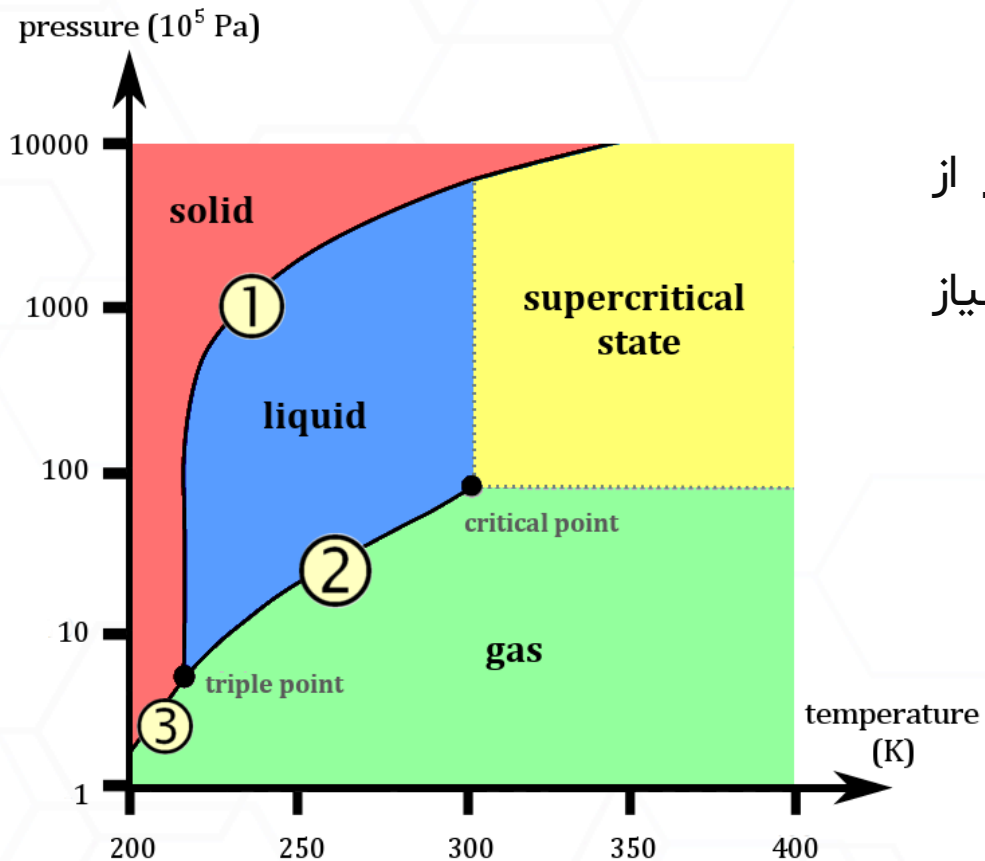
دی اکسید کربن به دلیل:

- غیرسمی بودن
- غیر قابل اشتعال و غیر خورنده بودن
- در دسترس و مقرون به صرفه بودن
- سازگار با محیط زیست
- دمای و فشار بحرانی پایین (حفظ ترکیبات حساس)
- گزینه ای مناسب برای استخراج میباشد.



مقدمه (ادامه)

شکل ۳: نمودار فازی دی اکسید کربن



شرایط فرآیند: فشار بالاتر از ۷۳٫۸ bar و دمای بالاتر از ۳۱٫۱°C برای رسیدن به حالت فوق بحرانی CO₂ مورد نیاز است.

مقدمه (ادامه)

کاربرد روش استخراج (SC-CO₂) در صنایع غذایی



مقدمه (ادامه)

مزایا و معایب استخراج با SC-CO₂

معایب

هزینه اولیه بالای تجهیزات

نیاز به کمک حلال برای ترکیبات با قطبیت بالا

مزایا

عدم باقی ماندن حلال سمی در محصول نهایی

حفظ ترکیبات حساس به حرارت

استخراج انتخابی و با خلوص بالا

فرآیند دوستدار محیط زیست

هدف

با توجه به اهمیت فیتوکمیکال‌ها در صنایع مختلف غذایی و دارویی و لزوم حفظ ویژگی‌های مطلوب آنها در شرایط استخراج، هدف از این سمینار ارزیابی خصوصیات فیتوکمیکال‌های استخراج شده با روش سیال فوق بحرانی CO_2 و مقایسه آن با سایر روش‌هاست.



مرور متون



Optimizing the supercritical fluid extraction process of bioactive compounds from processed **tomato skin by-products**

Pellicanò, Teresa Maria; Sicari, Vincenzo; Loizzo, Monica Rosa; Leporini, Mariarosaria; Falco, Tiziana; Poiana, Marco

۲۰۲۱

 ایتالیا

عنوان مقاله:

نویسندگان:

سال انتشار:

محل انجام
مطالعه:





مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارستگیان

مرور متون | مقاله اول



روش کار



مرور متون | مقاله اول

آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها

۱ گوجه‌فرنگی‌ها در دمای 65°C - 80°C پاستوریزه شدند
پالپ و دانه‌ها از پوست به روش فلوئاسیون جدا گردید

خشک‌کردن پوست‌ها

۲ خشک‌کردن اولیه به مدت ۱۲ ساعت در معرض نور خورشید
تکمیل فرآیند خشک‌کردن در 40°C - 50°C به مدت ۲۴ ساعت

۳ آسیاب کردن و الک کردن تا اندازه $350\ \mu\text{m}$ میکرون
خشک‌کردن کامل با فریز درایر (دمای انجمادی)

آماده‌سازی نهایی نمونه

مرور متون | مقاله اول

بارگذاری نمونه

۴
۱۸ گرم نمونه در محفظه ۲۵ میلی‌لیتری دستگاه استخراج کننده قرار داده شد.

تنظیم پارامترهای استخراج

۵
دمای ثابت 60°C
فشارهای ۳۵۰، ۴۵۰ و ۵۵۰ بار
نرخ جریان CO_2 : ۲ میلی‌لیتر/دقیقه

استخراج با SC-CO_2

۶
زمان استخراج ۲۰-۸۰ دقیقه
استفاده از CO_2 فوق‌بحرانی به عنوان حلال

مرور متون | مقاله اول



اندازه گیری درصد راندمان استخراج

در چهار بازه ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه
راندمان استخراج به صورت درصدی بیان
شد (در ۳ تکرار)

اندازه گیری میزان لیکوپن و بتا کاروتن

اندازه گیری میزان لیکوپن و بتا کاروتن با استفاده
از اسپکتوفتومتر UV-Visible به ترتیب در طول
موج ۵۰۳ و ۴۵۰ نانومتر انجام شد

اندازه گیری به روش HPLC

اندازه گیری ترکیبات فنولی

اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی

اندازه گیری میزان DPPH و ABTS با استفاده از
اسپکتوفتومتر UV-Visible به ترتیب در طول موج
۵۱۵ و ۷۳۴ نانومتر انجام شد



مرور متون | مقاله اول



آنالیز آماری

استفاده از نرم افزار SPSS 17 به روش
ANOVA و آزمون Duncan
 $P < 0.05$

جدول ۳

تأثیر فشار و زمان بر بازده استخراج

Table 1. Effect of extraction time on extraction yield at different pressure.

Extraction time	Extraction Yield (g)		
	A	B	C
	350 Bar	450 Bar	550 Bar
0	0.00	0.00	0.00
20	0.37	0.57	0.67
40	0.60	0.64	0.74
60	0.65	0.66	0.76
80	0.67	0.68	0.79

Data are reported as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$).

- بالاترین بازده (۷۹/۰ گرم) در فشار ۵۵۰ بار و زمان ۸۰ دقیقه
- افزایش فشار و زمان، بازده را بهبود میبخشد.

جدول ۴

محتوای لیکوپن و β -کاروتن در روغن استخراج شده در فشارهای ۳۵۰، ۴۵۰ و ۵۵۰ بار در دقیقه ۸۰

Table 2. Comparative β -carotene and lycopene content in oils obtained at different pressure. Data are expressed as mg/100 g DW.

	Lycopene	β -Caroten
A	0.50 ± 0.05	1.3 ± 0.1
B	0.62 ± 0.04	1.3 ± 0.4
C	0.86 ± 0.06 *	1.5 ± 0.4 *

Data are reported as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$).

محتوای لیکوپن و بتاکاروتن موجود در عصاره استخراج شده در فشار ۵۵۰ به طور معناداری بیشتر از ۳۵۰ و ۴۵۰ بار است.

جدول ۵

پروفایل ترکیبات فنولی در روغن استخراج شده

Table 3. Comparative phenolic profile in oils obtained at different pressure. Data are expressed as mg/kg DW.

	Vanillic acid	Caffeic acid	Ferulic acid	p-Coumaric acid	Chlorogenic acid	Quercetin	Epicatechin	Catechin	Naringenin	Luteolin
A	1.74 ± 0.02	16.32 ± 0.08	4.06 ± 0.02	5.52 ± 0.24	4.02 ± 0.08	6.71 ± 0.13	1.08 ± 0.05	3.12 ± 0.04	62.33 ± 0.15	0.24 ± 0.05
B	1.61 ± 0.09	26.8 ± 0.04	5.05 ± 0.07	6.55 ± 0.06	3.49 ± 0.57	6.58 ± 0.05	2.37 ± 0.06	3.57 ± 0.03	77.62 ± 0.08	0.16 ± 0.03
C	2.71 ± 0.05	26.60 ± 0.05	7.88 ± 0.04	10.05 ± 0.06	4.05 ± 0.07	6.85 ± 0.06	2.83 ± 0.03	4.02 ± 0.05	84.04 ± 0.10	0.27 ± 0.06

Data are reported as mean ± standard deviation (n = 3).

- در بین ترکیبات فنولی، **فرولیک اسید، کافئیک اسید و نارینژنین** با افزایش فشار، میزان استحصال آن ها **به طور معناداری** افزایش یافت.
- افزایش استخراج سایر ترکیبات فنولی با افزایش فشار معنادار نبود.

جدول ۶

فعالیت آنتی اکسیدانی روغن استخراج شده در فشار های مختلف

Table 4. Radical scavenging potential of oils obtained at different pressure.

	DPPH	ABTS
	(mM Trolox)	(mM Trolox)
A	0.06 ± 0.006	0.09 ± 0.04
B	0.07 ± 0.002	0.10 ± 0.02
C	0.08 ± 0.006	0.11 ± 0.01

Data are reported as mean ± standard deviation ($n = 3$).

- فعالیت آنتی اکسیدانی در دو روش مختلف تفاوت معناداری نداشت.
- در هر روش اندازه گیری، افزایش فشار سبب تغییرات معناداری در میزان فعالیت آنتی اکسیدانی نشد.
- و هیچ همبستگی مثبتی میان میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی در این مطالعه دیده نشد.



نتایج مطالعه

- فشار ۵۵۰ بار و زمان ۸۰ دقیقه بهینه ترین شرایط برای استخراج روغن از پوست گوجه فرنگی با بالاترین بازده و محتوای ترکیبات زیست فعال بودند.
- با افزایش فشار میزان استخراج ترکیبات لیکوپن، β -کاروتن، و نارینژنین، فرولیک اسید و کافئیک اسید به طور معناداری افزایش یافت در حالی که برای بقیه ترکیبات تغییرات معنادار نبود.
- فعالیت آنتی اکسیدانی روغن تحت تاثیر افزایش فشار قرار نگرفت و همبستگی بین میزان ترکیبات فنولی دیده نشد.

Supercritical carbon dioxide and ethanol-assisted extraction of bioactive compounds from Bourbon, Catimor, and Caturra coffee pulp for maximized antioxidant and therapeutic properties.

عنوان مقاله:

Le Quang Thai, Chutamat Niwat, Si Qin, Nattaya Konsue

نویسندگان:

۲۰۲۴

سال انتشار:



چین

محل انجام
مطالعه:



مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارستگیان

مرور متون | مقاله دوم



روش کار



آماده‌سازی نمونه‌ها

خشک‌کردن:

پوست قهوه تازه در دمای 60°C به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن خشک شد.

آسیاب و الک کردن:

نمونه‌ها آسیاب شده و از الک $1/88$ میلی‌متری عبور داده شدند. پودرنهایی در کیسه‌های زیپ‌لاک در محیط خشک نگهداری شد.

استخراج با آب داغ

۱۰ گرم پودر + ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر.

حرارت تا 85°C به مدت ۱۵ دقیقه.

سانتریفیوژ محلول و جمع‌آوری سوپرناتانت ($3000 \times g$ ، ۷ دقیقه)

تغلیظ با اواپراتور چرخشی + خشک‌کردن انجمادی.

مرور متون | مقاله دوم

استخراج با اتانول ۸۰٪

۳ ۱۰ گرم پودر + ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪.

همزدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط.

فیلتراسیون با کاغذ واتمن شماره ۱.

تبخیر با اواپراتور چرخشی تحت خلا + خشک‌کردن
انجمادی.

۴ شرایط پایه:

دما: ۶۰°C

فشار: ۳۰۰ بار

زمان: ۶۰ دقیقه

نرخ جریان CO₂ : ۲ میلی‌لیتر/دقیقه

متغیر: درصد اتانول (۰٪ تا ۵۰٪ به عنوان حلال کمکی).

استخراج با CO₂ فوق‌بحرانی (SC-CO₂)



ارزیابی عصاره ها

مرور متون | مقاله دوم



بازده استخراج:

درصد وزن عصاره خشک نسبت به وزن اولیه.

ترکیبات فنولی کل:

روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۱۰ نانومتر
برحسب (mg GAE/g)

فلاونوئید کل:

روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۷۵۰ نانومتر
برحسب (mg QE/g)

فعالیت آنتی اکسیدانی:

آزمون DPPH با روش اسپکتروفتومتری در طول موج
۵۱۷ نانومتر با استاندارد مرجع ترلوکس (TE)

آزمون FRAP با روش اسپکتروفتومتری در طول موج
۵۹۳ نانومتر با استاندارد مرجع ترلوکس (TE)

محتوای پلی ساکارید:

اندازه گیری محتوای پلی ساکارید با روش
اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۱۷ نانومتر





آنالیز آماری

نرم افزار: SPSS 22
آزمون‌ها: ANOVA و Tukey
سطح معناداری: $P < 0.05$

بهینه‌سازی درصد استخراج، ترکیبات زیست‌فعال و خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست قهوه

Table 1

Optimization of percent yield, bioactive compounds and the antioxidant properties of coffee pulp extract using super critical fluid co-solvent, thermal and ethanolic extraction methods.

Catimor coffee pulp extraction treatments	Yield%	Total phenolic compound (mg GAE/g extract)	Total flavonoid content (mg QE/g extract)	DPPH (mg TE/g extract)	FRAP (mmol TE/g extract)	Polysaccharide content (mg Polysaccharide/g extract)
0 % Ethanol/CO ₂ SFE	2.05 ± 0.30 ^f	0.11 ± 0.00 ^c	5.18 ± 0.33 ^f	0.94 ± 0.25 ^f	6.95 ± 0.35 ^f	1.22 ± 0.02 ^c
10 % Ethanol/CO ₂ SFE	5.32 ± 0.15 ^e	0.13 ± 0.06 ^c	5.67 ± 0.53 ^f	1.79 ± 0.14 ^e	7.73 ± 0.31 ^f	1.46 ± 0.27 ^c
20 % Ethanol/CO ₂ SFE	8.12 ± 0.61 ^d	0.30 ± 0.02 ^{bc}	10.93 ± 0.69 ^e	2.32 ± 0.06 ^d	17.93 ± 0.02 ^e	1.79 ± 0.36 ^c
30 % Ethanol/CO ₂ SFE	12.07 ± 0.57 ^{bc}	0.48 ± 0.02 ^{bc}	19.11 ± 1.61 ^d	4.35 ± 0.36 ^b	28.64 ± 0.80 ^b	3.07 ± 0.32 ^b
40 % Ethanol/CO ₂ SFE	12.45 ± 0.29 ^b	0.47 ± 0.03 ^{bc}	21.73 ± 1.99 ^c	4.26 ± 0.24 ^b	27.88 ± 0.23 ^c	3.25 ± 0.25 ^b
50 % Ethanol/CO ₂ SFE	14.96 ± 0.73 ^a	0.76 ± 0.12 ^{bc}	45.00 ± 3.34 ^a	5.19 ± 0.60 ^a	35.41 ± 0.21 ^a	4.17 ± 0.23 ^a
Hot water (85 °C, 15 min)	5.13 ± 0.38 ^e	2.85 ± 0.52 ^b	26.97 ± 2.68 ^b	3.67 ± 0.23 ^c	25.61 ± 0.63 ^d	1.64 ± 0.07 ^c
Ethanaol (80 %, 24 h)	9.44 ± 0.34 ^c	18.00 ± 1.04 ^a	26.25 ± 3.75 ^b	2.59 ± 0.30 ^d	27.93 ± 0.51 ^c	1.05 ± 0.25 ^c

TE: Trolox equivalent; QE: Quercetin equivalent; GAE: Gallic acid equivalent; DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; FRAP: Ferric reducing antioxidant power.

• بیشترین درصد استخراج، بالاترین میزان ترکیبات فلاونوئیدی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای پلی ساکاریدی مربوط به روش SC-CO₂ با ۵۰٪ اتانول / CO₂ بود.

• در بین تیمار های SC-CO₂ با افزایش میزان اتانول درصد استخراج TPC افزایش پیدا کرد، اما در بین ۳ روش (SC-CO₂ و اتانول و آب) اتانول بیشترین میزان استخراج TPC را داشت.



نتایج مطالعه

بازده استخراج ترکیبات زیست فعال از پوست قهوه با روش SC-CO₂ (۵۰٪ اتانول/CO₂، ۶۰°C، ۳۰۰ بار، ۶۰ دقیقه) نسبت به روش استخراج با اتانول و استخراج با آب داغ به طور **معناداری** بیشتر بود. میزان ترکیبات استخراج شده فلاونوئید ها، فعالیت آنتی اکسیدانی و پلی ساکارید نیز به طور **معناداری** در روش SC-CO₂ بیشتر بود.

Supercritical Fluid Extraction with CO₂ of *Curcuma longa* L. in Comparison to Conventional Solvent Extraction

عنوان مقاله:

Ann-Kathrin Widmann, Martin A. Wahl, Dietmar R. Kammerer, Rolf Daniels

نویسندگان:

۲۰۲۲

سال انتشار:



آلمان

محل انجام
مطالعه:



مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارستگیان

مرور متون | مقاله سوم



روش کار



مرور متون | مقاله سوم



آماده‌سازی مواد اولیه

مواد گیاهی:
پودر زردچوبه تهیه شد.

حلال‌ها:

متانول و n-هگزان، و دی‌اکسید کربن با خلوص $\geq 99.5\%$ تهیه شده و استفاده شدند.

استخراج با متانول و n-هگزان

- ۱ قسمت پودر زردچوبه با $2/5$ قسمت متانول و n-هگزان (هرکدام به صورت مجزا) مخلوط شد.
- مخلوط به مدت **۲۴ ساعت** در تاریکی ماندگاری داده شد.
- پس از فیلتراسیون با کاغذ صافی، باقی‌مانده دوباره با $2/5$ قسمت حلال تازه مخلوط و پس از **۲۴ ساعت** فیلتر شد.
- محلول‌های فیلتر شده ترکیب و حلال با تبخیر در اواپوراتور چرخشی حذف شد.

استخراج با سیال فوق بحرانی SC-CO₂

میزان استخراج

تیمار های متانول، n-هگزان و سه تیمار SFE (۴۲۵۳۵، ۴۲۵۵۵ و ۴۲۵۷۵) و یک تیمار SFE+اتانول (R۴۲۵۷۵)

میزان پایداری نمونه ها:

در تاریکی و دمای ۲۲ و ۴۰ °C به مدت ۶ ماه.

میزان ترکیبات زیست فعال:

اندازه گیری کورکومین و تورمرون ها در روزهای ۱، ۲۸، ۸۴ و ۱۶۸ با HPLC

مرور متون | مقاله سوم

۳۰۰ گرم نمونه پودر زردچوبه در فشار ثابت ۴۲۵ بار در سه دمای ۳۵، ۵۵ و ۷۵ درجه سلسیوس با نرخ جریان ۵ کیلوگرم بر ساعت به مدت ۱ ساعت استخراج شد.

ارزیابی عصاره ها



مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارسنگان

مرور متون | مقاله سوم



آنالیز آماری

نرم افزار: JMP 15.2

آزمون: ANOVA

سطح معنی داری: $P < 0.05$

شکل ۴

مقایسه بازده استخراج ترکیبات فعال در روش‌های مختلف

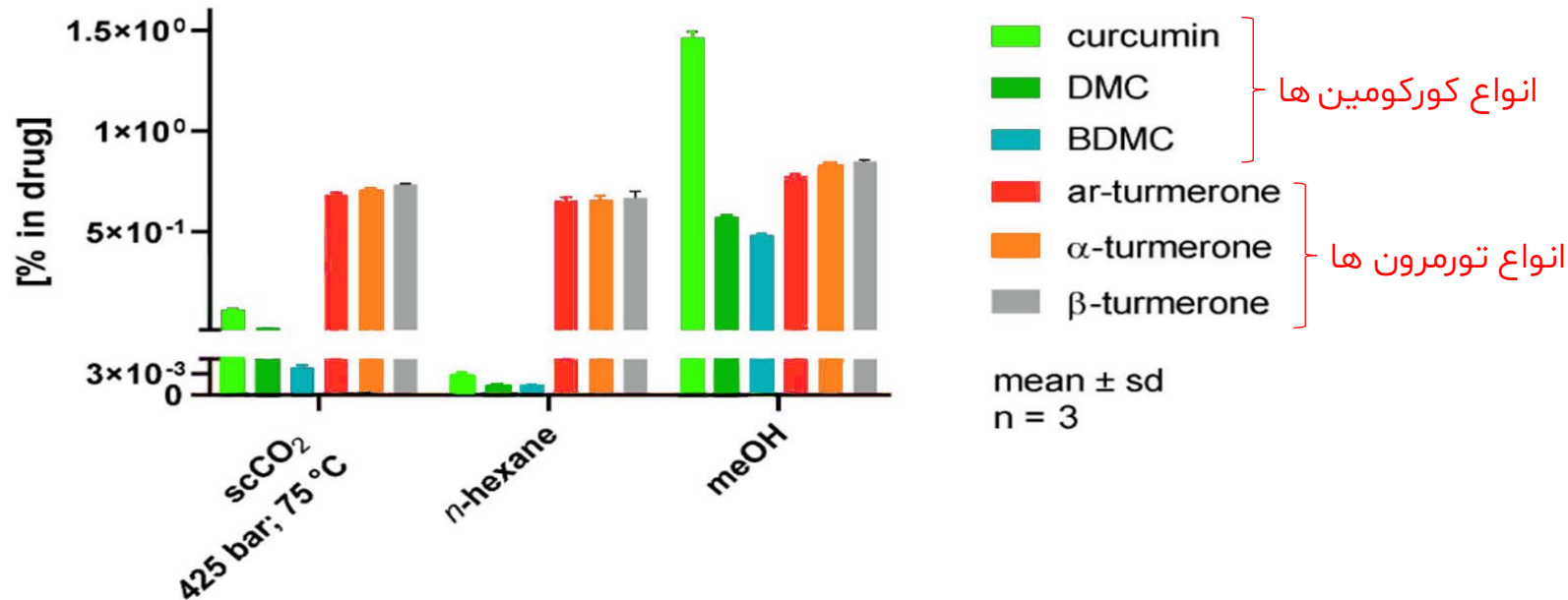


Figure 6. Comparison of a scCO₂ extract characterized by maximum curcumin and ar-turmerone yields with *n*-hexane and methanol extracts.

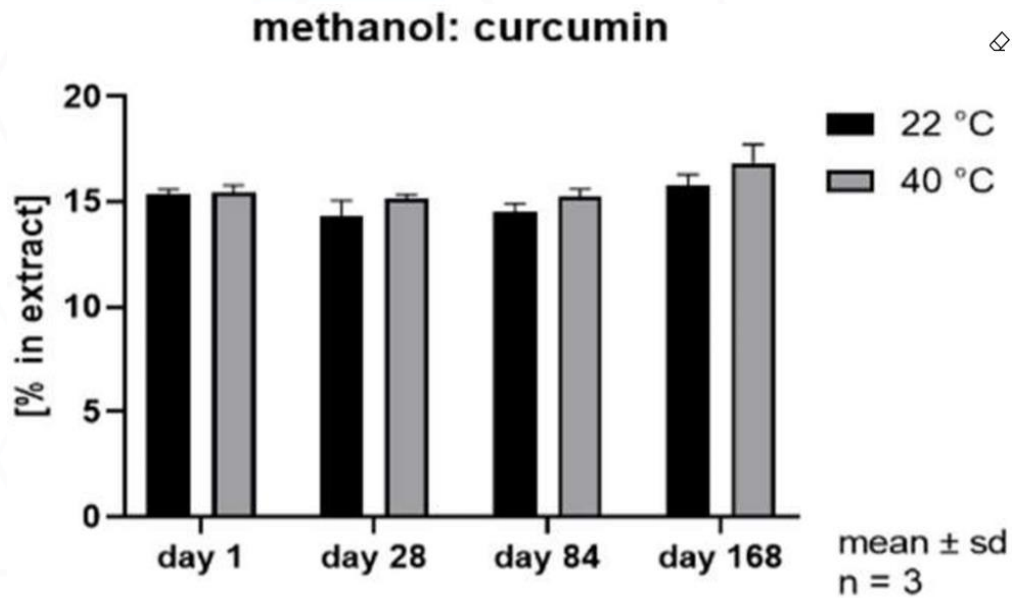
ترکیبات کورکومینی به واسطه قطبیت در متانول بیشترین میزان استخراج را داشت، اما در مورد ترکیبات تورمرونی بازده استخراج بین هر سه روش تفاوت معناداری نداشت، اما چنانچه قرار باشد از حلال‌های سمی استفاده نکنیم SC-CO₂ میتواند هم کورکومین‌ها و هم تورمرون‌ها را در یک نسبت حد واسط استخراج کند.

Widmann *et al.*, J. Agric. Food Chem., 2023

مرور متون | مقاله سوم

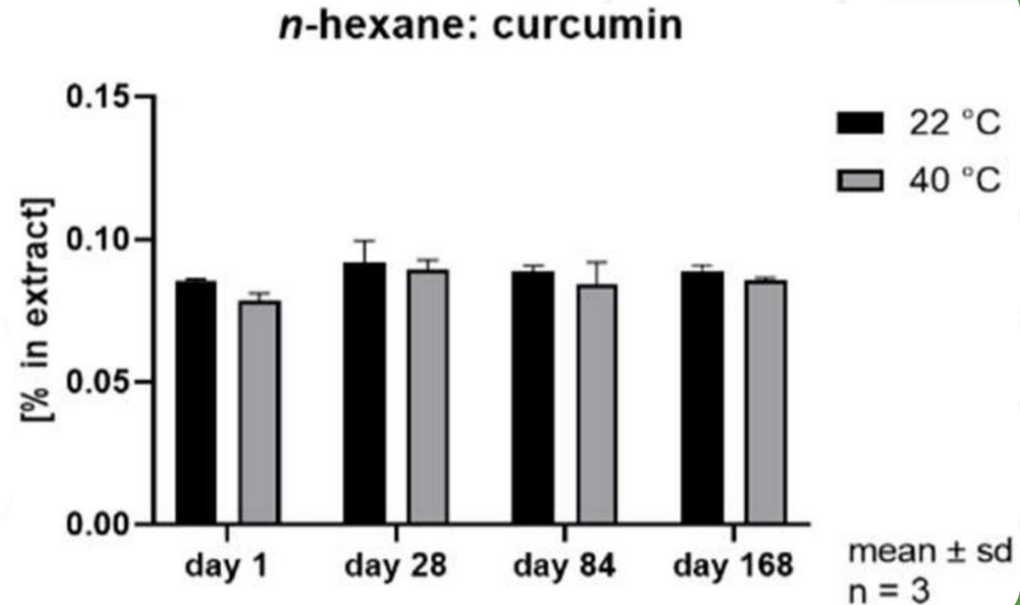
شکل های ۵ و ۶: بررسی پایداری کورکومین عصاره متانولی و عصاره هگزان

عصاره هگزان



تفاوت معنادار نیست

عصاره متانولی

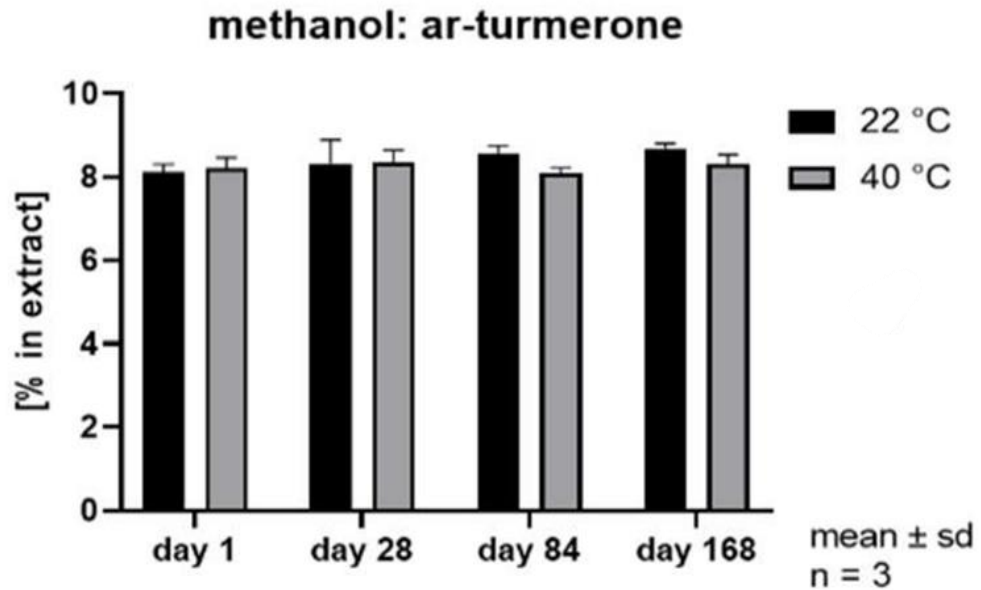


تفاوت معنادار نیست

مرور متون | مقاله سوم

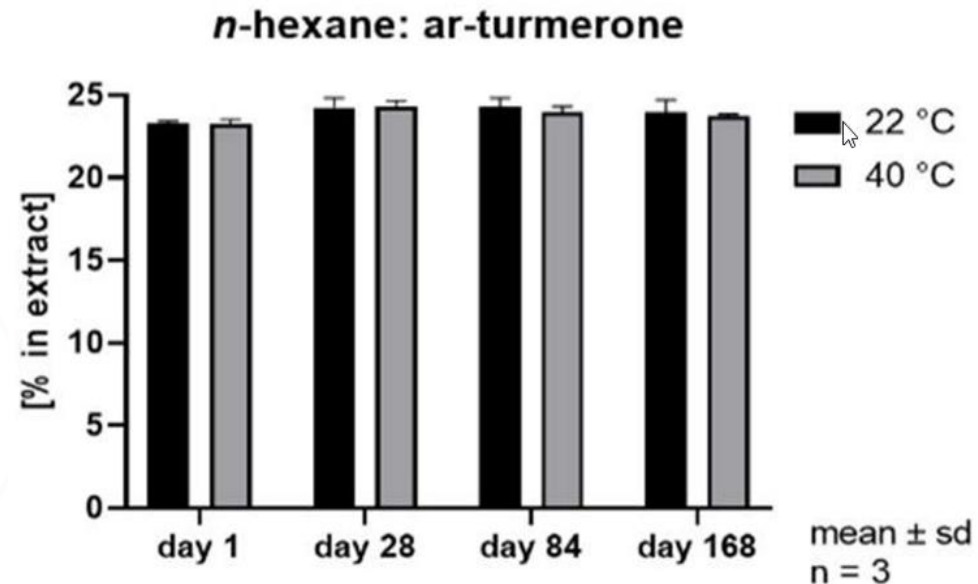
شکل های ۶ و ۷: بررسی پایداری تورمرون عصاره متانولی و عصاره هگزان

عصاره هگزان



تفاوت معنادار نیست

عصاره متانولی



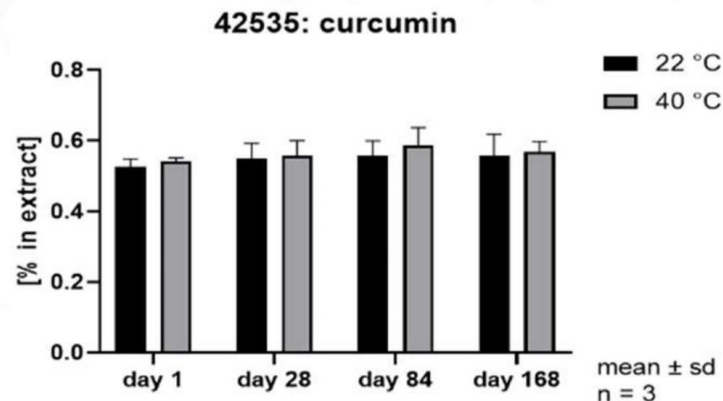
تفاوت معنادار نیست



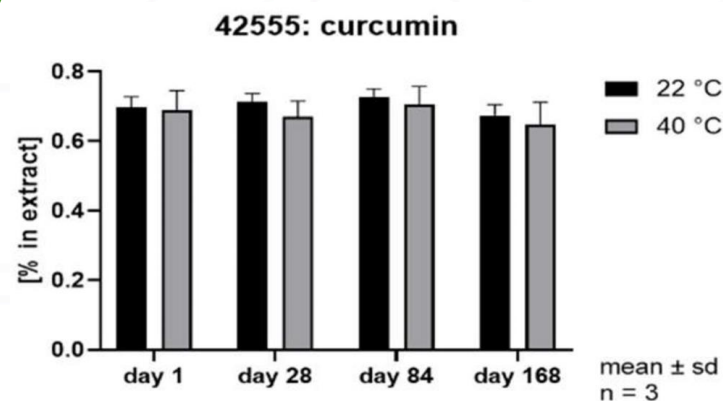
مرور متون | مقاله سوم

شکل های ۸، ۹ و ۱۰: بررسی پایداری کورکومین
عصاره های مختلف روش
SC-CO₂ (42575، 42555، 42535)

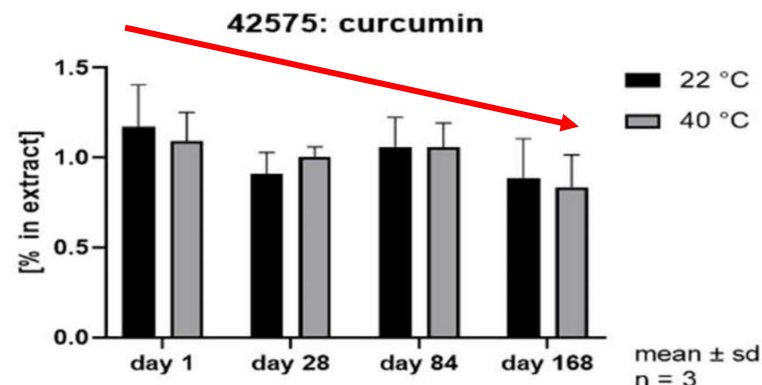
42535



42555



42575



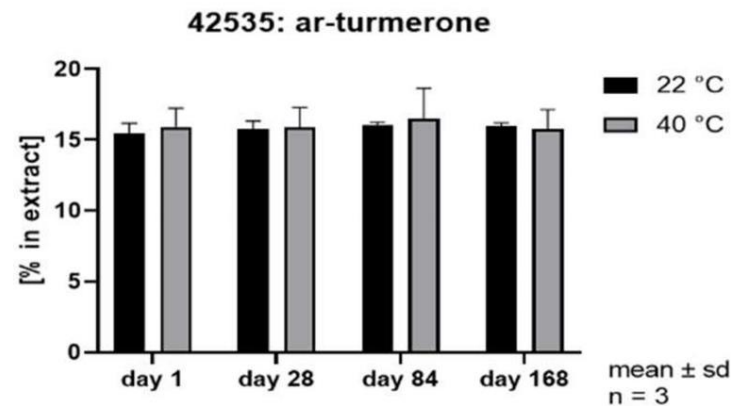
کاهش ۳۰ درصدی که معنادار نیست



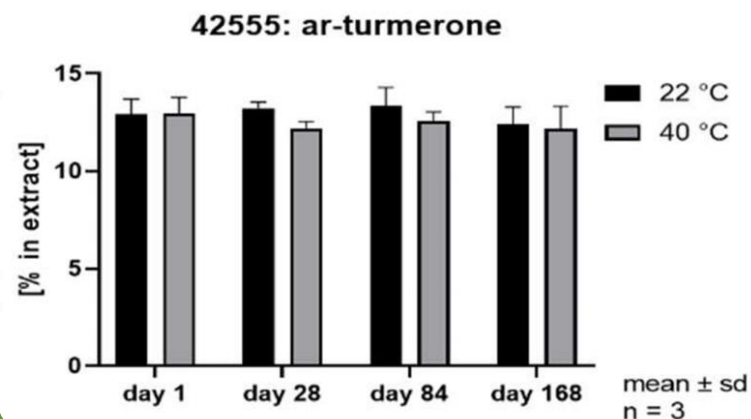
مرور متون | مقاله سوم

شکل های ۱۱، ۱۲ و ۱۳: بررسی پایداری تورمرین
عصاره های مختلف روش
SC-CO₂ (42575، 42555، 42535)

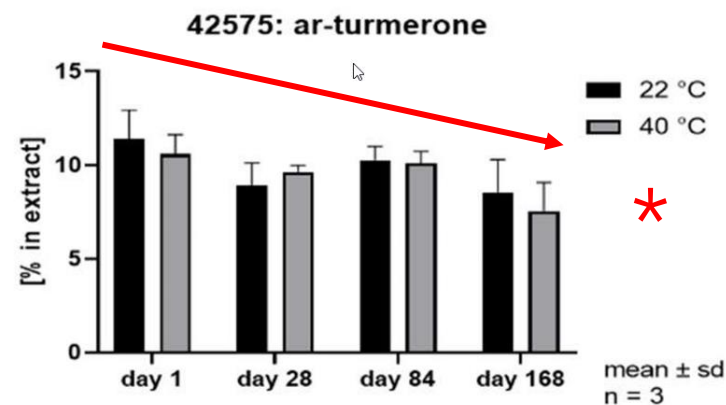
42535



42555



42575

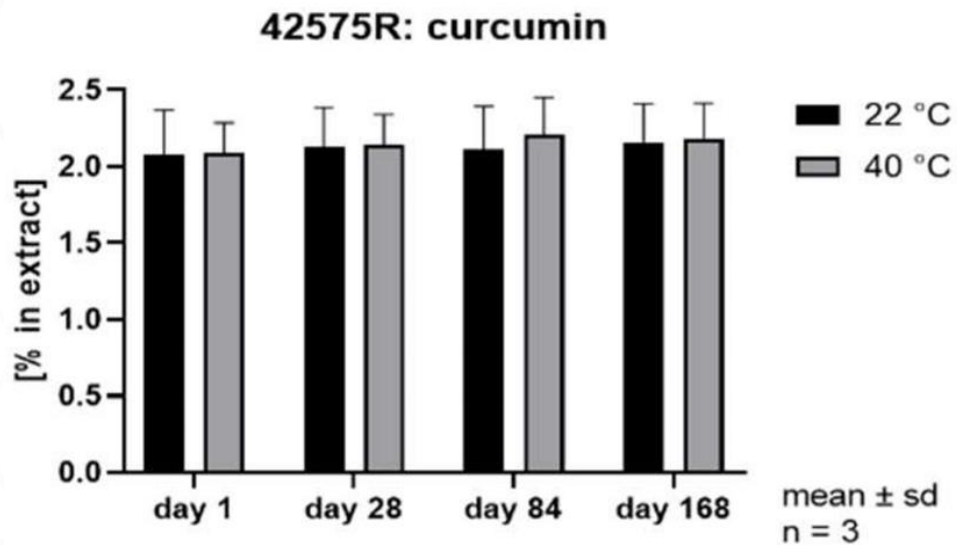


کاهش ۳۰ درصدی که معنادار است

مرور متون | مقاله سوم

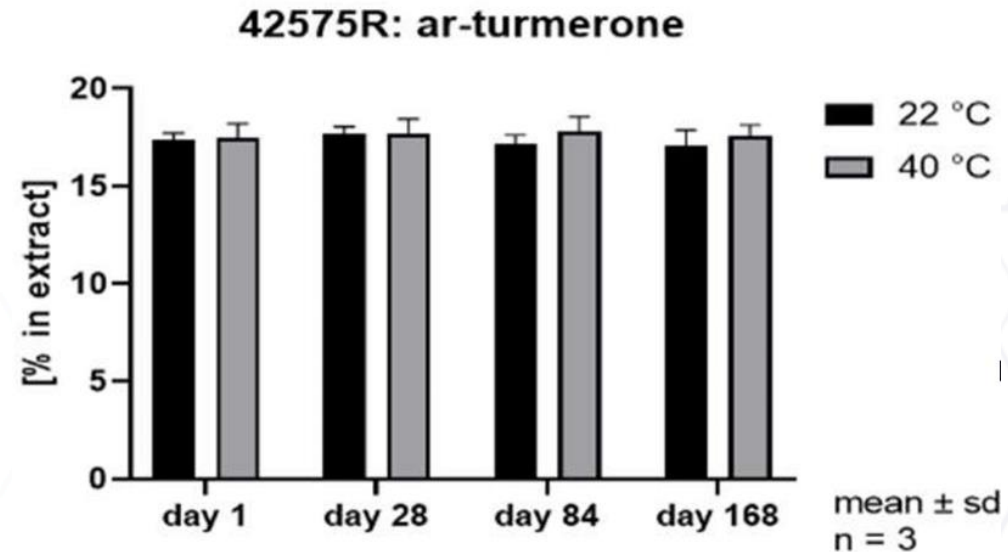
شکل های ۱۴ و ۱۵: بررسی پایداری کورکومین و تورمرون عصاره 42575R

42575R



تفاوت معنادار نیست

42575R



تفاوت معنادار نیست



نتایج مطالعه

سیال فوق بحرانی دی اکسید کربن میتواند هم کورکومین ها و هم تورمرون ها را در یک نسبت حد واسط بدون استفاده از حلال های سمی استخراج کند.
در عصاره های متانولی و هگزان و $SC-CO_2$ همراه با متانول (42575R) **پایداری بالا**، بدون تخریب قابل توجه در ۶ ماه مشاهده شد.

در عصاره های $SC-CO_2$ خالص تخریب در دمای ۷۵ درجه در تورمرون ها به میزان ۳۰ درصد صورت گرفت.
دمای نگهداری (۲۲ و ۴۰ درجه سلسیوس) تاثیری در میزان پایداری نداشت.

Supercritical CO₂ Extraction of **Oleoresin** from Peruvian **Ginger** (*Zingiber officinale* Roscoe): Extraction Yield, Polyphenol Content, Antioxidant Capacity, Chemical Analysis and Storage Stability

Fiorella P. Cárdenas-Toro, Jennifer H. Meza-Coaquira, Monserrat Gonzalez-Gonzalez, Gerardom, Fernández Barbero, Ceferino Carrera

۲۰۲۵



اسپانیا

عنوان مقاله:

نویسندگان:

سال انتشار:

محل انجام
مطالعه:



مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارستگیان

مرور متون | مقاله چهارم



روش کار



مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
و بهداشت

هموژن کردن پودر زنجبیل لیوفیلیزه



عبور از الک (۱۸۰ میکرومتر)



نگهداری در کیسه های وکیوم در فریزر دور از نور خورشید

استخراج به روش سوکسله Soxhlet

مرور متون | مقاله چهارم

آماده سازی نمونه

• حلال: هگزان.

• نسبت حلال به ماده خام: ۱۰ به ۱.

• دما: نقطه جوش هگزان (۶۹° C).

• زمان: ۶ ساعت.

• جداسازی حلال: تبخیر هگزان با اواپراتور چرخشی



مرور متون | مقاله چهارم



۳

انتخاب دما و فشار بهینه:

فشار های: ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰
دما های: ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس

انتخاب زمان:

زمان های:
۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۳۶۰ دقیقه

آنالیز عصاره ها

استخراج با CO₂ فوق بحرانی (SC-CO₂)

۴

بازده استخراج:

محاسبه بر اساس وزن عصاره خشک نسبت به وزن ماده اولیه.

محتوای پلی فنول کل:

به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استاندارد اسید گالیک.

فعالیت آنتی اکسیدانی:

سنجش ظرفیت احیای آهن (FRAP) با استاندارد ترولوکس

ارزیابی فیتوکمیکال (جینجرونها و شوگائولها): آنالیز با دستگاه UHPLC در طول موج ۲۸۰ نانومتر



نرم افزار
Minitab 17
آزمون
Tukey
سطح معناداری
 $p > 0.05$

آنالیز آماری

جدول ۸

تأثیر دما و فشار بر بازده استخراج

Table 1. Extraction yield for the studied pressure and temperature conditions.

T [°C]	P [bar]	Density [kg/m ³]	Extraction Yield [mg Extract/g Dry Basis]
40	80	277.90	2.74 ± 0.13 g. ^h
40	100	628.61	7.34 ± 0.18 ^f
40	150	780.23	11.86 ± 0.91 ^{d,e}
40	200	839.81	14.37 ± 0.39 ^{a,b}
40	250	879.49	15.40 ± 0.24 ^{a,b}
45	80	241.05	1.90 ± 0.32 ^h
45	100	498.25	4.65 ± 0.38 ^g
45	150	741.97	11.64 ± 0.91 ^{d,e}
45	200	812.69	12.13 ± 0.85 ^{c,d,e}
45	250	857.14	13.42 ± 1.06 ^{b,c,d}
50	80	219.18	1.84 ± 0.07 ^h
50	100	384.33	2.69 ± 0.23 ^{g,h}
50	150	699.75	10.73 ± 1.17 ^e
50	200	784.29	14.02 ± 0.99 ^{b,c}
50	250	834.19	16.35 ± 1.10 ^a

Different letters indicate statistically significant differences between the means of pairs compared (Tukey's test) at a significance level of 0.05.

- در دمای ۵۰ درجه با فشار ۲۵۰ بار بیشترین میزان استخراج را داشتیم که به طور معناداری نسبت به سایر شرایط بیشتر بود.

Table 2. Total polyphenol content and antioxidant activity

T [°C]	P [bar]	Total Phenolic Content [mg GAE Equivalent /g Extract]	FRAP Antioxidant Activity [mg Trolox /mL Methanol]
40	80	1.48 ± 0.62 ^f	n.a.
40	100	132.66 ± 18.69 ^d	n.a.
40	150	179.69 ± 11.99 ^{b,c}	519.86 ± 59.41 ^{a,b}
40	200	193.80 ± 19.17 ^{a,b,c}	571.81 ± 15.91 ^{a,b}
40	250	209.48 ± 21.34 ^{a,b}	587.80 ± 79.95 ^a
45	80	2.94 ± 0.00 ^f	n.a.
45	100	47.96 ± 15.33 ^e	n.a.
45	150	169.44 ± 2.83 ^c	495.95 ± 16.36 ^{a,b}
45	200	202.88 ± 0.38 ^{a,b,c}	557.26 ± 28.09 ^{a,b}
45	250	215.07 ± 0.96 ^a	594.40 ± 1.47 ^a
50	80	4.24 ± 0.59 ^f	n.a.
50	100	1.99 ± 0.72 ^f	n.a.
50	150	179.89 ± 21.59 ^{b,c}	471.14 ± 3.03 ^{a,b}
50	200	197.74 ± 4.01 ^{a,b,c}	539.12 ± 14.95 ^{a,b}
50	250	204.57 ± 16.21 ^{a,b}	596.89 ± 38.22 ^a

n.a. not analyzed. Different letters represent statistically significant differences between the means of compared pairs (Tukey's test) at a 0.05 significance level.

- افزایش فشار به طور معناداری میزان استخراج TPC را در تمام دماها افزایش داد اما در بالاترین فشار بین سه دمای ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس تفاوت معناداری دیده نشد.
- همین روند در مورد فعالیت آنتی اکسیدانی هم مشاهده شد.

جدول ۱۰

بازده استخراج عصاره و مقدار ترکیبات آن در زمان های مختلف

Table 3. Extraction yield and composition of gingerols and shogaols at 50 °C, 250 bar and 8ft³/h at different extraction times.

Time [min]	Extraction Yield [mg Extract/g d.b.]	Content of Gingerols and Shogaols in Oleoresin Extracts					
		[mg 6-Gingerol/g Extract]	[mg 6-Shogaol/g Extract]	[mg 8-Gingerol/g Extract]	[mg 8-Shogaol/g Extract]	[mg 10-Gingerol/g Extract]	[mg 10-Shogaol/g Extract]
10	3.08 ± 0.21 ^h	269.5 ± 28.2 ^a	25.2 ± 2.6 ^a	8.3 ± 3.0 ^a	49.5 ± 16.9 ^a	26.6 ± 9.1 ^a	16.0 ± 10.9 ^a
30	6.64 ± 0.31 ^g	250.5 ± 18.6 ^a	23.6 ± 2.0 ^a	7.7 ± 2.9 ^a	46.2 ± 15.5 ^a	24.9 ± 8.3 ^a	19.0 ± 6.9 ^a
60	10.37 ± 0.35 ^f	246.3 ± 14.8 ^a	23.3 ± 1.5 ^a	8.1 ± 2.0 ^a	47.3 ± 11.2 ^a	25.4 ± 6.0 ^a	20.4 ± 6.0 ^a
120	15.47 ± 0.33 ^e	244.3 ± 19.9 ^a	23.3 ± 1.5 ^a	8.4 ± 1.9 ^a	49.7 ± 9.4 ^a	26.8 ± 5.0 ^a	22.6 ± 5.7 ^a
180	19.09 ± 0.31 ^d	244.2 ± 25.7 ^a	23.2 ± 2.5 ^a	8.7 ± 2.2 ^a	51.4 ± 9.2 ^a	27.7 ± 5.0 ^a	23.1 ± 5.4 ^a
240	22.07 ± 0.16 ^c	246.3 ± 27.7 ^a	23.5 ± 2.8 ^a	9.1 ± 2.3 ^a	52.3 ± 9.9 ^a	28.2 ± 5.3 ^a	22.6 ± 5.2 ^a
300	24.15 ± 0.25 ^b	249.1 ± 30.7 ^a	23.9 ± 3.0 ^a	9.4 ± 2.3 ^a	51.6 ± 9.9 ^a	27.8 ± 5.3 ^a	21.3 ± 5.0 ^a
360	25.99 ± 0.13 ^a	254.7 ± 33.8 ^a	24.5 ± 3.4 ^a	9.6 ± 2.5 ^a	51.0 ± 9.4 ^a	27.5 ± 5.1 ^a	20.1 ± 4.6 ^a

Different letters denote statistically significant differences between the means of compared pairs (Tukey's test) at a 0.05 significance level

- زمان استخراج بر روی بازده استخراج تاثیرگذار بود و بازده را افزایش داد به طوری که در زمان استخراج ۳۶۰ دقیقه بیشترین بازده استخراج را داشتیم، با این وجود زمان در میزان ترکیبات جینجرول و شوگائول در عصاره استخراج شده تاثیر گذار نبود

Cárdenas-Toro *et al.*, Food Chem., 2025,

مقایسه کمی و کیفی استخراج فوق بحرانی و سوکسله

Table 4. Extraction yield, total polyphenol content, antioxidant capacity by IC₅₀ and FRAP assays, and contents of gingerol and shogaol in extracts obtained at 50 °C, 250 bar, 8 ft³/h and 360 min for supercritical extraction and Soxhlet extraction.

Extraction conditions	Supercritical CO ₂ Extraction (This Study) 50 °C 250 bar 6.74 g/min 360 min	Soxhlet Extraction with Hexane (This Study) 69 °C 360 min
Extraction yield	22.88 ± 2.12 mg extract/g d.b. ^a	47.42 ± 0.97 mg extract/g d.b. ^b
Total phenolic content	171.65 ± 2.12 mg GAE equivalent /g extract ^b	134.66 ± 4.96 mg GAE equivalent /g extract ^b
FRAP assay	368.14 ± 60.95 mg Trolox/g extract ^b	426.90 ± 33.62 mg Trolox/g extract ^b
Composition (gingerols and shogaols)	254.71 ± 33.79 mg 6-gingerol/g extract ^b	198.1 ± 21.9 mg 6-gingerol/g extract ^b
	9.63 ± 2.51 mg 8-gingerol/g extract ^b	5.6 ± 1.7 mg 8-gingerol/g extract ^b
	27.47 ± 5.06 mg 10-gingerol/g extract ^b	26.3 ± 4.0 mg 10-gingerol/g extract ^b
	24.46 ± 3.41 mg 6-shogaol/g extract ^b	21.0 ± 2.6 mg 6-shogaol/g extract ^b
	51.01 ± 9.39 mg 8-shogaol/g extract ^b	48.9 ± 7.4 mg 8-shogaol/g extract ^b
	20.11 ± 4.62 mg 10-shogaol/g extract ^b	36.1 ± 5.6 mg 10-shogaol/g extract ^b

n.r. not reported. ^a Results from 18 replicates. ^b Results from 3 replicates.

تفاوت دو روش در میزان بازده استخراج بود که روش سوکسله بازده بیشتری نسبت به CO₂ داشت و تفاوت معنادار بود اما از نظر فعالیت آنتی اکسیدانی و میزان ترکیبات جینجرول ها و شوگائول ها هم با اینکه روش CO₂ فعالیت بالاتر و ترکیبات بیشتری را دارا بود اما تفاوت معناداری وجود نداشت.

Cárdenas-Toro *et al.*, Food Chem., 2025,

مقایسه کمی و کیفی استخراج فوق بحرانی و سوکسله

Table 4. Extraction yield, total polyphenol content, antioxidant capacity by IC₅₀ and FRAP assays, and contents of gingerol and shogaol in extracts obtained at 50 °C, 250 bar, 8 ft³/h and 360 min for supercritical extraction and Soxhlet extraction.

Extraction conditions	Supercritical CO ₂ Extraction (This Study) 50 °C 250 bar 6.74 g/min 360 min	Soxhlet Extraction with Hexane (This Study) 69 °C 360 min
Extraction yield	22.88 ± 2.12 mg extract/g d.b. ^a	47.42 ± 0.97 mg extract/g d.b ^b
Total phenolic content	171.65 ± 2.12 mg GAE equivalent /g extract ^b	134.66 ± 4.96 mg GAE equivalent /g extract ^b
FRAP assay	368.14 ± 60.95 mg Trolox/g extract ^b	426.90 ± 33.62 mg Trolox/g extract ^b
Composition (gingerols and shogaols)	254.71 ± 33.79 mg 6-gingerol/g extract ^b	198.1 ± 21.9 mg 6-gingerol/g extract ^b
	9.63 ± 2.51 mg 8-gingerol/g extract ^b	5.6 ± 1.7 mg 8-gingerol/g extract ^b
	27.47 ± 5.06 mg 10-gingerol/g extract ^b	26.3 ± 4.0 mg 10-gingerol/g extract ^b
	24.46 ± 3.41 mg 6-shogaol/g extract ^b	21.0 ± 2.6 mg 6-shogaol/g extract ^b
	51.01 ± 9.39 mg 8-shogaol/g extract ^b	48.9 ± 7.4 mg 8-shogaol/g extract ^b
	20.11 ± 4.62 mg 10-shogaol/g extract ^b	36.1 ± 5.6 mg 10-shogaol/g extract ^b

n.r. not reported. ^a Results from 18 replicates. ^b Results from 3 replicates.

تفاوت دو روش در میزان بازده استخراج بود که روش سوکسله بازده بیشتری نسبت به CO₂ داشت و تفاوت معنادار بود اما از نظر فعالیت آنتی اکسیدانی و میزان ترکیبات جینجرول ها و شوگائول ها هم با اینکه روش CO₂ فعالیت بالاتر و ترکیبات بیشتری را دارا بود اما تفاوت معناداری وجود نداشت.

Cárdenas-Toro *et al.*, Food Chem., 2025,



نتایج مطالعه

طبق نتایج مطالعه با اینکه میزان بازده استخراج در روش سوکسله به طور معناداری بیشتر از روش SC-CO₂ است، ولی به دلیل اینکه میزان ترکیبات پلی فنولی و میزان ترکیبات جینجرول و شوگال ها در هر دو روش تفاوت معناداری ندارد و از طرفی روش SC-CO₂ انرژی مصرفی کمتری دارد، این روش توصیه میشود.

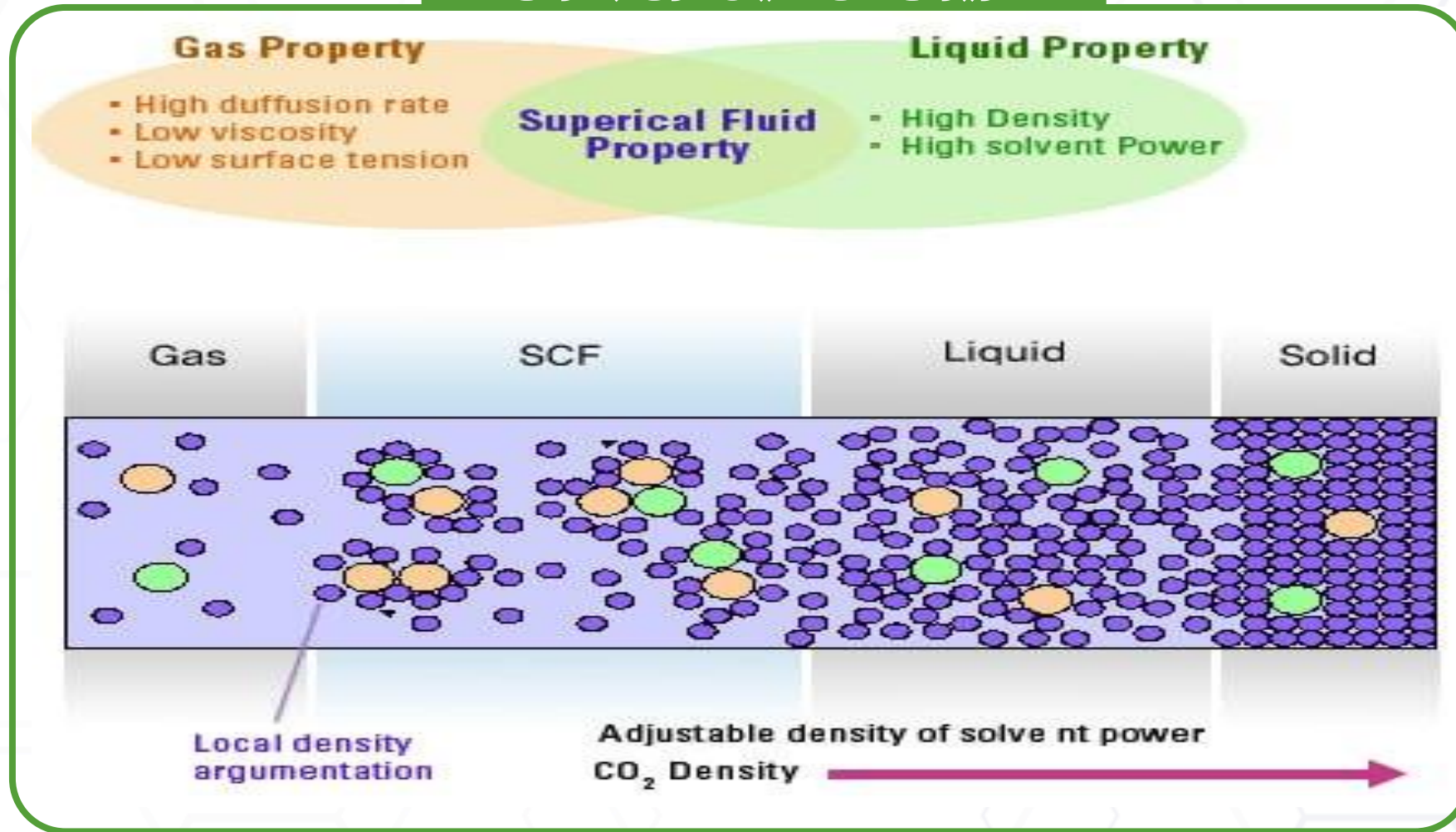


مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارسنگان

بجٹ

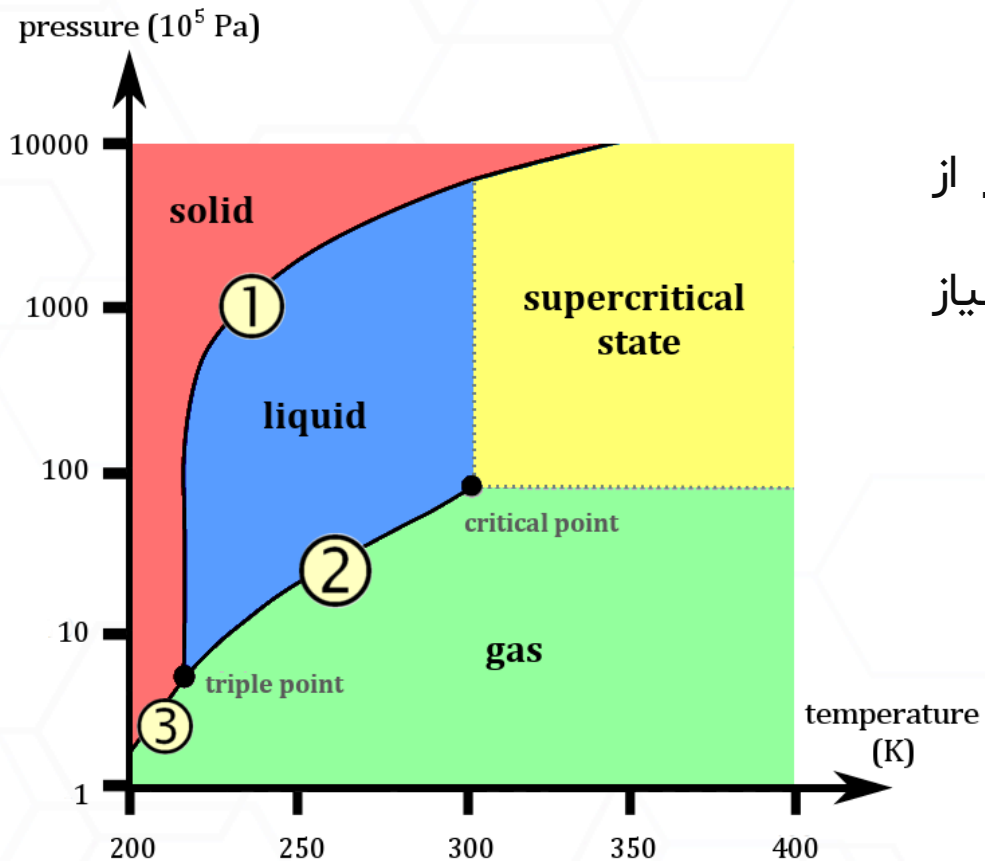


شکل ۱۶
ویژگی‌های سیال فوق بحرانی



مقدمه (ادامه)

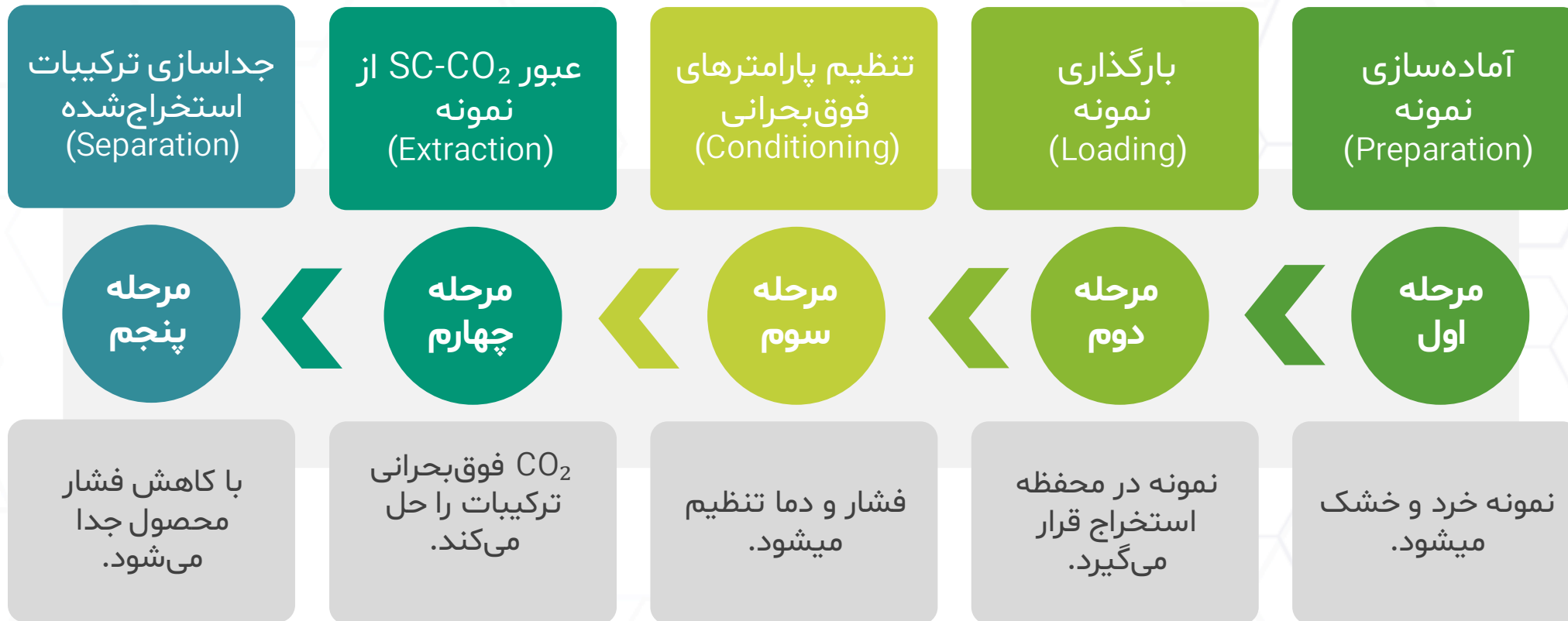
شکل ۳: نمودار فازی دی اکسید کربن



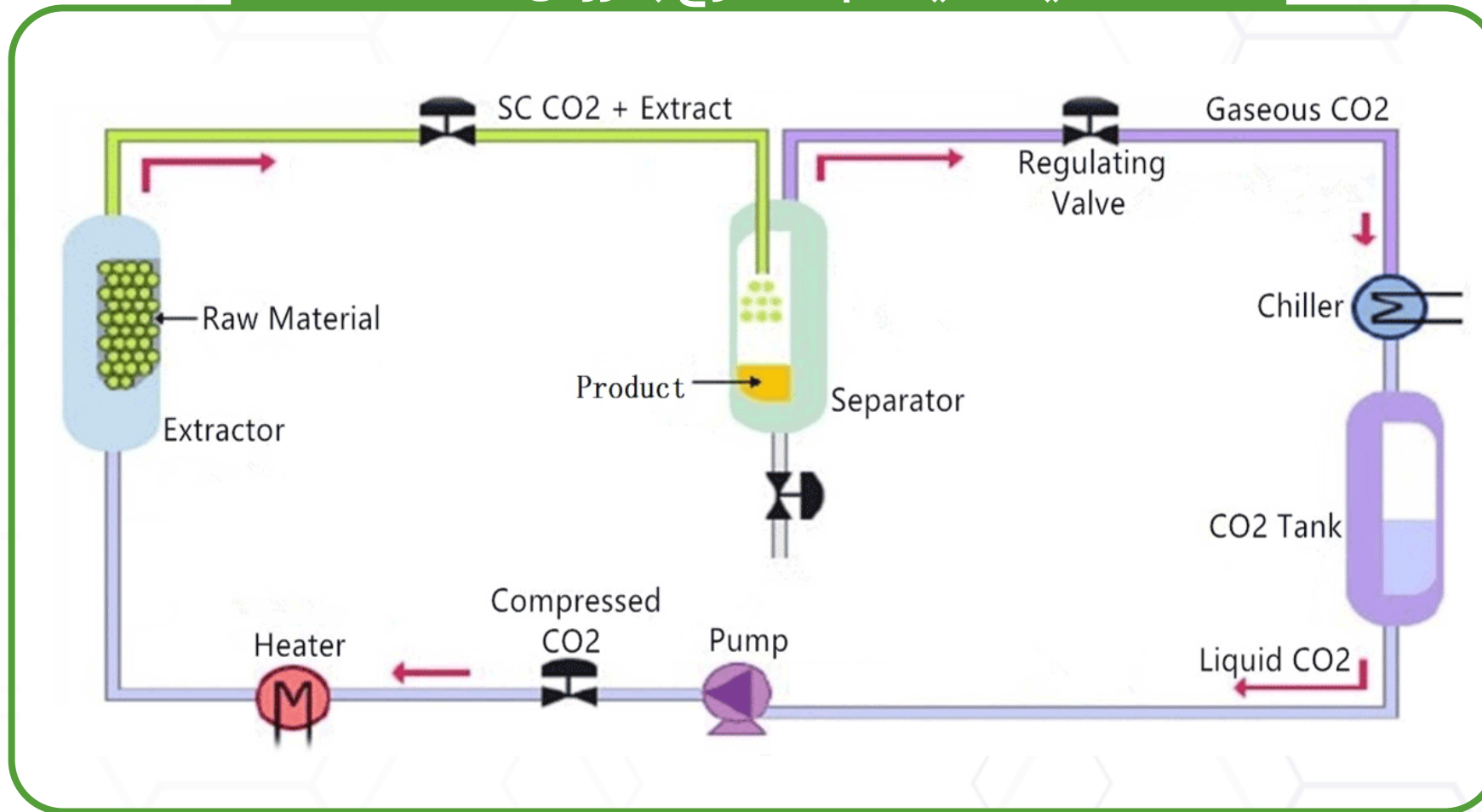
شرایط فرآیند: فشار بالاتر از ۷۳/۸ bar و دمای بالاتر از ۳۱/۱°C برای رسیدن به حالت فوق بحرانی CO₂ مورد نیاز است.

بحث (ادامه)

مراحل عملیات استخراج به روش SC-CO₂



شکل ۱۷
شماتیک سیستم استخراج به روش SC-CO₂

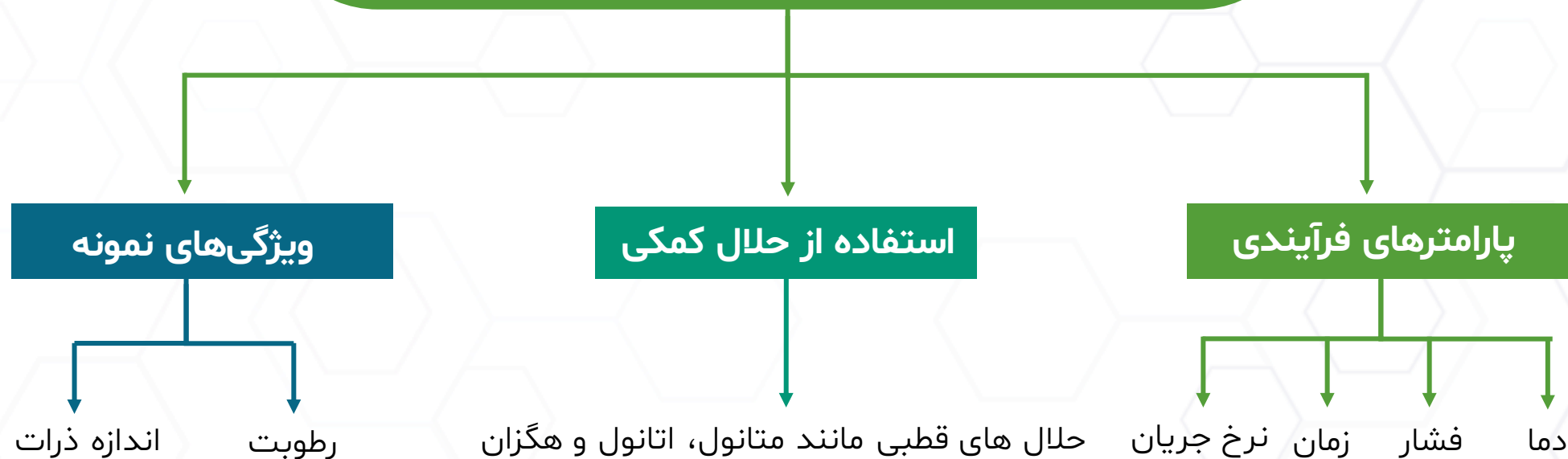




ویدئو فرایند استخراج به روش SC-CO₂



عوامل مؤثر بر کارایی روش SC-CO₂





مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارسنگان

نتیجه گیری





نتیجه گیری کلی

روش SC-CO₂ به دلیل **سبز بودن**، کارایی بالا و حفظ کیفیت ترکیبات، یک فناوری امیدوارکننده در استخراج فیتوکمیکال‌ها است. با این حال، بهینه‌سازی پارامترها و کاهش هزینه‌ها چالش‌های اصلی برای گسترش صنعتی این روش هستند. متون آینده می‌توانند بر ترکیب SC-CO₂ با سایر فناوری‌ها (مانند اولتراسوند) برای بهبود بازده متمرکز شوند.

منابع

1. Pellicano, T.M., Sicari, V., Loizzo, M.R., Leporini, M., Falco, T., Poiana, M. (2020). Optimizing the supercritical fluid extraction process of bioactive compounds from processed tomato skin by-products. *Food Science and Technology*, 40(3), 692-697. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02440-x>
2. Le, Q.T., Niwat, C., Qin, S., Konsue, N. (2024). Supercritical carbon dioxide and ethanol-assisted extraction of bioactive compounds from Bourbon, Catimor, and Caturra coffee pulp for maximized antioxidant and therapeutic properties. *Molecules*, 29(5), 1234-1245.
3. Widmann, A.K., Wahl, M.A., Kammerer, D.R., Daniels, R. (2023). Supercritical Fluid Extraction with CO₂ of *Curcuma longa* L. in comparison to conventional solvent extraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(12), 3456-3467.
4. Cárdenas-Toro, F.P., Meza-Coaquira, J.H., Gonzalez-Gonzalez, M., Fernández Barbero, G., Carrera, C. (2025). Supercritical CO₂ Extraction of Oleoresin from Peruvian Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Extraction Yield, Polyphenol Content, Antioxidant Capacity, Chemical Analysis and Storage Stability. *Food Chemistry*, 402, 135678.
5. Zhang, L., Wang, X., Chen, Y., et al. (2023). Optimization of supercritical CO₂ extraction parameters for bioactive compounds from medicinal herbs. *Scientific Reports*, 13, 4567. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32181-8>

6. Ben Amar, N., Ksouri, M., Krichen, F., et al. (2018). Effects of high water content and drying pre-treatment on supercritical CO₂ extraction from *Dunaliella salina* microalgae: Experiments and modelling. *Journal of Supercritical Fluids*, 133, 650-658. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.10.014>
7. Michielin, E.P., Salvador, A.A., Riehl, C.A.S., et al. (2019). Supercritical fluid extraction of grape seed oil: Effect of process parameters on yield and composition. *Journal of Supercritical Fluids*, 143, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.08.005>
8. Kumoro, A.C., Hasan, M., Singh, H. (2006). Effects of particle size and solvent flow rate on supercritical CO₂ extraction of ginger oleoresin. *Conference Proceedings of Chemical Engineering*, 1-12. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3085.5843>
9. Teofilovic, B., Pavlic, B., Vladić, J., et al. (2017). Influence of time and pressure of supercritical CO₂ extraction on total extraction yield of hop essential oil. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 23(3), 343-351. <https://doi.org/10.2298/CICEQ160203045T>
10. Combs, M.T., Ashraf-Khorassani, M., Taylor, L.T. (1996). Comparison of supercritical fluid extraction and solvent extraction of taxanes from *Taxus brevifolia*. *Journal of Supercritical Fluids*, 9(1), 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(96\)90008-X](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(96)90008-X)



مرکز آموزش عالی
علوم پزشکی
وارستگیان

با تشکر از توجه شما