



بهینه سازی استخراج عصاره برگ چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) کشت پاییزه به روش مایکروویو و ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی آن

محدثه طالبی حقیگو^۱، نرگس مورکی^{۲*}، مسعود هنرور^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷

کلمات کلیدی:

آنتی اکسیدان طبیعی،

عصاره گیاهی،

بهینه سازی استخراج،

چغندر قند،

مایکروویو

در مطالعه حاضر، خاصیت آنتی اکسیدانی عصاره برگ چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) پاییزه استخراج شده به روش مایکروویو بررسی شد. عصاره‌ها با استفاده از دو نوع حلال آب و استون با توان‌های حداقل ۵۲/۷ وات و حداکثر ۳۰۷/۳ وات در زمان‌های حداقل ۵/۸۶ دقیقه و حداکثر ۳۴/۱۴ دقیقه توسط مایکروویو استخراج شدند. شرایط استخراج بهینه با توجه به محتوی فنل کل و مهار رادیکال آزاد، با کاربرد حلال آب، توان ۹۰ وات و زمان ۱۰ دقیقه معرفی شد. دو فاکتور زمان و توان ماکروویو به طور معنی دار بر استخراج ترکیب‌های فنلی موثر بودند ($P < 0.05$). با افزایش زمان و قدرت مایکروویو، میزان فنل استخراج شده از هر دو نوع عصاره استونی و آبی افزایش یافت، که در این پژوهش عصاره آبی بهتر عمل کرد. ارزیابی توانایی مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره‌های برگ چغندر قند پاییزه نشان داد که با گذشت زمان، مقدار این شاخص در هر دو عصاره روند کاهشی داشت. فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره استونی برگ چغندر قند کمتر از عصاره آبی آن بود. با افزایش توان مایکروویو، توانایی مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره استونی افزایش یافت، در حالی که این توانایی در عصاره آبی برگ چغندر قند کمتر بود.

DOI: 10.48311/fsct.2026.84011.0

* مسئول مکاتبات:

Nargess_mooraki@yahoo.com

۱-مقدمه

یابد؛ همچنین فاکتورهای تانن، فلاونوئید، محتوی فنلی کل افزایش پیدا کرد و به طور کلی این تشعشع که با شدت زیادی به اتمسفر زمین می رسد، باعث تحریک قابلیت آنتی اکسیدانی چغندر قند می شود [۱۰،۱۱]. Indu و همکاران ترکیباتی را در عصاره ریشه ی بتاولگاریس شناسایی کردند که قابلیت مهار رادیکال آزاد را داشتند؛ این ترکیبات شامل اسید گالیک، کومارین، کوئرستین، اسید سیرینجیک، اسید سناینیک، اسید گالیک، کاتچین، اسید کافئیک، اسید P-کوماریک و اسید کلروژنیک بودند [۱۲]. پژوهشی در زمینه ترکیبات زیست فعال چغندر با تاکید بر اثرات مفید آن بر میکروب های روده توسط de Oliveira و همکاران در سال ۲۰۲۱ انجام شده است و نتایج حاکی از آن بود که چغندر دارای ارزش غذایی برجسته و انواع مختلفی ترکیبات زیست فعال از جمله فیبر رژیمی، الیگوساکاریدها، بتالین و فنولیک ها می باشد که به طور موثر ترکیب و عملکرد میکروب های روده را تعدیل می کنند و علاوه بر آن اثرات محرکی بر رشد و متابولیسم باکتری های پروبیوتیک دارد که نشان می دهد چغندر علاوه بر خاصیت آنتی اکسیدانی و آنتی باکتریالی دارای خواص پروبیوتیکی نیز می باشد [۱۳].

در سالهای اخیر، روش های جدید استخراج به دلیل مزایایی همچون کاهش هزینه، افزایش بازده استخراج و زمان کوتاه تر برای فرآیند استخراج، مورد توجه قرار گرفته اند. این روش های نوین شامل استخراج با مایکروویو، استخراج با امواج فراصوت و استخراج با سیال فوق بحرانی هستند [۱۴]. در گذشته، مایکروویو بیشتر برای خشک کردن، تغلیظ و غیرفعال کردن باکتری ها و آنزیم های موجود به کار می رفت؛ اما در سال های اخیر، از این دستگاه ها برای استخراج ترکیبات زیست فعال موجود در بافت های گیاهی و جانوری استفاده می شود [۱۵]. امواج مایکروویو امواج الکترومغناطیسی هستند که فرکانس آنها بین ۳/۰ تا ۳۰۰ گیگا هرتز قرار دارد. این امواج به داخل بافت گیاه نفوذ کرده و با واکنش با مولکول های قطبی، گرمای تولید شده

چغندر قند، با نام علمی (*Beta vulgaris*) به عنوان یک گیاه دو ساله از خانواده اسفناجیان (*Chenopodiaceae*) شناخته می شود؛ گیاهی بلند و باطراوت است که دارای برگ های بزرگ و درخشانی می باشد [۱،۲]. این گیاه یکی از گیاهان با ارزش، هم راستای گندم و برنج و همچنین یکی از دوازده گیاه اصلی دنیا می باشد [۳]. علاوه بر این، چغندر حاوی مواد مغذی متعددی از جمله اسید استتاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسید چرب پالمیتیک، ساپونین، اسید اسکوربیک، فلاونوئید، اسید فولیک، کلسیم، فسفر، آهن و ویتامین های آ، ب، ث و روی است. همچنین کاروتنوئیدها و ویتامین E که خواص آنتی اکسیدانی و محافظتی دارند نیز در چغندر قند وجود دارند [۴،۵،۶].

با وجود اینکه چغندر قند یکی از گیاهان مهم کشاورزی است اما در نواحی مانند ایران که از آب و هوای خشک و نیمه خشک برخوردارند و با کمبود منابع آبی روبرو هستند، کشت محصولات با نیاز آبی زیاد در فصل های بهار و تابستان مانند چغندر قند با مشکل روبه رو است؛ لذا برای رفع این مشکل و استفاده از بارش های فصلی از کشت پاییزه چغندر قند استفاده می شود. نتایج مطالعه ای که در اسپانیا انجام شد، حاکی از آن بود که مصرف آب در کشت پاییزه ۳۳ درصد در مقابل کشت بهاره کاهش یافت [۷،۸]. از دیگر دلایلی که کشت پاییزه ارجحیت دارد، افزایش سطح برگ است. در این راستا دهیم فرد و رحیمی مقدم اعلام کردند میزان پارامتر سطح برگ چغندر قند در دو شهر مشهد و نیشابور تقریباً در یک زمان به حداکثر مقدار خود می رسد، اما عملکرد چغندر قند کشت شده در بهار نسبت به چغندر قند کشت شده در پاییز کمتر می باشد [۹]؛ در واقع با افزایش میزان این شاخص، عملکرد چغندر قند و بهره وری آن از نور و تشعشعات افزایش می یابد به گونه ای که ارزیابی عصاره ی برگ چغندر قند نشان داد که با بالاتر رفتن شدت پرتو فرابنفش B و جذب آن توسط این گیاه، میزان رنگدانه های بتانین و بتاگزانترین که به ترتیب رنگ های قرمز و زرد در گیاه تولید می کنند، افزایش می

اکسیدانی کمتر مورد توجه بوده است. لذا با توجه به مزایای کشت چغندر قند در فصل پاییز و تأثیرات مثبت این گیاه ارزشمند، هدف از این مطالعه بهینه سازی استخراج و بررسی پتانسیل آنتی اکسیدانی عصاره برگ های چغندر قند پاییزه استخراج شده به روش مایکروویو می باشد.

۲- مواد و روش ها

تهیه ی نمونه

ابتدا برگ های چغندر قند از خوزستان تهیه شده و با آب شهری کاملاً شسته و گل زدایی شدند. برگ ها در دمای اتاق خشک شده و در ظرف پلاستیکی درب دار در جای خشک و خنک تا زمان عصاره گیری نگهداری شدند.

استخراج عصاره

از دستگاه مایکروویو برای تهیه ی عصاره از برگ چغندر قند استفاده شد. ابتدا ۵ گرم از پودر برگ چغندر قند با ترازو وزن و درون بالن با حجم ۲۵۰ سی سی ریخته شد. به طور جداگانه از حلال آب و استون برای عصاره گیری استفاده گردید. ۲۵ میلی لیتر از حلال مورد نظر با دقت اندازه گیری شده و به درون بالن حاوی پودر برگ چغندر قند اضافه شد و در نهایت بالن برای استخراج عصاره درون مایکروویو قرار گرفت. بهینه سازی آزمایش به روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی صورت گرفت (جدول ۱). سپس قدرت های لازم بر حسب وات و زمان های مورد نیاز بر حسب دقیقه مطابق با جدول ۲ را در دستگاه تنظیم کرده و عمل عصاره گیری شروع شد؛ بعد از گذشت زمان و به دست آمدن عصاره، آن را از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ عبور داده و درون ظرف های تیره رنگ تا زمان انجام آزمون های مورد نظر درون یخچال نگهداری شدند.

منجر به تخریب سلول های بافت گیاه می شود [۱۶]. انتخاب حلال مناسب برای استخراج عصاره با استفاده از مایکروویو از اهمیت بالایی برخوردار است. حلال های قطبی مانند آب به دلیل جذب بهتر امواج مایکروویو و گرم شدن سریع تر، به استخراج مؤثرتر مواد فعال کمک می کنند. در مقابل، حلال های غیرقطبی مانند هگزان برای این روش استخراج مناسب نیستند. به منظور افزایش راندمان و کارایی مایکروویو، توصیه می شود از ترکیبی از حلال های قطبی و غیرقطبی استفاده شود [۱۷، ۱۸]. در مطالعات متعددی از مایکروویو برای استخراج عصاره استفاده شد. نتایج مطالعه ی انجام شده در راستای مقایسه روش های مختلف استخراج نظیر مایکروویو، اولتراسوند، استخراج کلاسیک و سوکسله بر عملکرد استخراجی ترکیب فنلی و DPPH عصاره برگ و میوه ی گیلاس نشان داد بالاترین عملکرد استخراجی برای هر دو سوکسله بود؛ اما عصاره های به دست آمده توسط مایکروویو حاوی بیشترین مقدار ترکیبات فنلی بودند و بهترین فعالیت آنتی اکسیدانی را از خود نشان دادند. همبستگی بالایی بین ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی در هر دو عصاره دیده شد [۱۹]. در چندین مطالعه ی دیگر نیز، به کارگیری این روش نوین استخراج، منجر به ارتقاء کیفیت عصاره به دست آمده نسبت به سایر روش های استخراج گردید [۲۰، ۲۱، ۲۲]. با توجه به نگرانی های مرتبط با مصرف آنتی اکسیدان های سنتزی و اثرات جانبی آن ها، استفاده از آنتی اکسیدان های طبیعی استخراج شده از منابع گیاهی توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. برگ چغندر قند به عنوان یک منبع در دسترس و غنی از ترکیبات زیست فعال، پتانسیل بالایی برای استخراج ترکیبات آنتی اکسیدانی دارد.

اگرچه تحقیقات زیادی در زمینه استخراج ترکیبات آنتی اکسیدانی از منابع گیاهی انجام شده، اما بررسی استخراج عصاره برگ چغندر قند با روش مایکروویو و تأثیر حلال های مورد استفاده بر بازده استخراج و فعالیت آنتی

Table 1. Factors selected for optimizing microwave-assisted extraction from sugar beet leaves

Factor	Name	Units	Type	SubType	Maximum	Minimum
A	Time	Minute	Numeric	Continuous	34/14	5/86
B	Power	Watt	Numeric	Continuous	307/30	52/70
C	Solvent	-	Categoric	Nominal	Water	Acetone

Table 2. Defined runs using Response Surface Methodology and Central Composite Design for microwave-assisted extraction from sugar beet leaves

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3
	A: Time	B: power	C: Solvent
	minute	Watt	
1	20	180	Water
2	10	90	Acetone
3	20	180	Water
4	20	180	Acetone
5	34/14	180	Water
6	20	180	Water
7	5/86	180	Acetone
8	10	90	Water
9	20	307/3	Acetone
10	20	307/3	Water
11	20	180	Acetone
12	20	180	Water
13	20	180	Acetone
12	20	52/7	Acetone
11	30	90	Acetone
12	30	90	Water
13	10	270	Water
14	20	52/7	Acetone
15	20	180	Acetone
16	30	90	Acetone
17	30	90	Water
18	10	270	Water
19	34/14	180	Acetone
20	20	180	Acetone
21	30	270	Water
22	30	270	Acetone
23	20	52/7	Water
24	20	180	Water
25	5/86	180	Water
26	10	270	Acetone

۱۰۰ میکرولیتر از هر عصاره با ۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتیو ۶۰ درصد مخلوط شد و پس از گذشت ۳ دقیقه، ۴۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۷/۵ درصد به آن اضافه گردید؛ به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد و جذب

ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره های به دست آمده

اندازه گیری محتوی فنلی کل

نمونه ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد [۲۳].

اندازه گیری مهار رادیکال آزاد

۵ میلی لیتر از هر عصاره با یک میلی لیتر از محلول DPPH مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و تحت شرایط تاریکی قرار گرفت. بعد از گذشت این مدت مقدار جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه گیری شد [۲۴].

آنالیز آماری

طراحی آزمایش به روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی با استفاده از نرم افزار Design Expert نسخه ۱۳ انجام شد. در این طراحی متغیرهای مستقل یا فاکتورها شامل نوع حلال (آب و استون)، زمان و قدرت دستگاه بود (جدول ۱). پس از انجام آزمایشات نتایج در نرم افزار تحلیل و معادلات به دست آمد و معنی داری اثر متغیرها بر مدل بررسی شد.

۳- نتایج و بحث

ترکیبات موجود در عصاره های گیاهی در گذشته به عنوان طعم دهنده مورد استفاده قرار می گرفتند. اما امروزه مشخص شده است که بسیاری از این عصاره ها دارای خواص آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی هستند؛ به ویژه، عصاره هایی که حاوی ترکیبات فنلی هستند، معمولاً از قابلیت های آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی بیشتری برخوردارند. بنابراین، می توان از این عصاره ها به عنوان نگهدارنده های طبیعی به جای نگهدارنده های مضر سنتزی برای افزایش ماندگاری مواد غذایی بهره برد [۲۵،۲۶]. افزودن عصاره برگ چغندر قند به پوشش کیتوزان و استفاده از آن به عنوان پوشش خوراکی برای ماهی اوزون برون، منجر به کاهش شاخص کل بازهای نیتروژن دار فرار، اسیدهای چرب آزاد، پراکسید، تیوباربتوریک اسید و

همچنین شاخص های میکروبی در نمونه های دارای پوشش با مقادیر بیشتر کیتوزان (۲ درصد) و عصاره ی برگ چغندر قند (۱/۵ درصد) در مقایسه با نمونه شاهد طی هفت روز نگهداری شد. همچنین، این تیمار از نظر حسی نمره ی بالاتری از ارزیابان دریافت کرد [۲۷]. در مطالعه ی دیگری، صادقی و همکاران بیان کردند که اضافه کردن ۳۰ درصد عصاره ی برگ گیاه منداب استخراج شده به روش پرکولاسیون باعث حفظ کیفیت ماریناد فیله میگوی سفید هندی از نظر حسی، TVBN و ظرفیت نگهداری آب شد [۲۸]. در این مطالعه شرایط بهینه استخراج عصاره، اثر فاکتورهای نوع حلال مصرفی، قدرت مایکروویو و زمان استخراج بر توانایی آنتی اکسیدانی عصاره های استحصالی بررسی شد.

تعیین شرایط بهینه عصاره گیری با استفاده از دستگاه

ماکروویو از برگ چغندر بر اساس فعالیت

آنتی اکسیدانی

نتایج تحلیل داده های بدست آمده از اندازه گیری دو فاکتور محتوی فنل کل و توان مهار رادیکال های آزاد DPPH نشان داد که مدل های پیشنهادی برای بررسی اثر سه فاکتور نوع حلال، زمان عصاره گیری و توان دستگاه ماکروویو به ترتیب تابع دو مدل درجه دوم و اثر متقابل دو فاکتور هستند. با توجه به مدل های بدست آمده برای بهینه سازی استخراج عصاره حلال شماره ۱ (آب قطبی ترین حلال) مهمترین کارایی را در استخراج ترکیبات فنلی داشت، دو فاکتور زمان و توان دستگاه ماکروویو نیز به طور معنی دار بر استخراج ترکیب های فنلی موثر بودند. در جدول ۴ شرایط بهینه عصاره گیری از برگ چغندر ارائه شده است که در آن ۱۵ حالت به ترتیب با در نظر گرفتن حداقل زمان و قدرت برای استخراج و بیشترین محتوی ترکیب های فنلی کل و توان مهار رادیکال های آزاد DPPH ارائه شده که اولین اجرا با بالاترین مقدار مقبولیت در اولین ردیف انتخاب شد. در جدول ۳ قیود تعیین شرایط بهینه معرفی شده است.

Table 3. Summary of Experimental Design set for determining the optimal extraction conditions

Name	Goal	Lower Limit	Importance	Upper Weight	Lower Weight	Upper Limit
A: Time	minimize	10	3	1	1	30
B: power	minimize	90	3	1	1	270
C: Solvent	is in range	Water	3	1	1	Acetone
DPPH	maximize	218/77	3	1	1	251/18
Total Phenol	maximize	2/57	3	1	1	2/74

Table 4. Determination of optimal extraction conditions from sugar beet leaves based on three factors time, power and solvent type using a microwave-assisted device

Number	Time(min)	Power(W)	Solvent	DPPH($\mu\text{g}/\text{mg}$)	Total Phenol(mg/5ml)	Desirability
1	10/000	90/000	Water	249/611	2/624	0/740
2	10/127	90/000	Water	249/565	2/623	0/737
3	10/000	92/920	Water	249/485	2/623	0/733
4	10/294	90/000	Water	249/505	2/622	0/733
5	10/000	98/066	Water	249/266	2/621	0/721
6	10/000	211/500	Water	244/369	2/637	0/564
7	10/000	90/000	Acetone	233/416	2/601	0/534
8	10/000	90/987	Acetone	233/478	2/600	0/532
9	10/000	207/532	Acetone	240/850	2/612	0/491
10	10/000	206/808	Acetone	240/804	2/611	0/491
11	10/000	208/490	Acetone	240/911	2/612	0/491
12	10/000	210/110	Acetone	241/013	2/613	0/491
13	10/000	204/527	Acetone	240/660	2/610	0/491
14	10/000	210/883	Acetone	241/062	2/614	0/491
15	10/000	201/539	Acetone	240/534	2/609	0/490

نمودار های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نمودارها با تاکید بر نقطه بهینه، اثر قدرت \times زمان، زمان \times نوع حلال، و نوع حلال \times قدرت با نقاط مطلوب (Desirable) را نمایش می دهد.

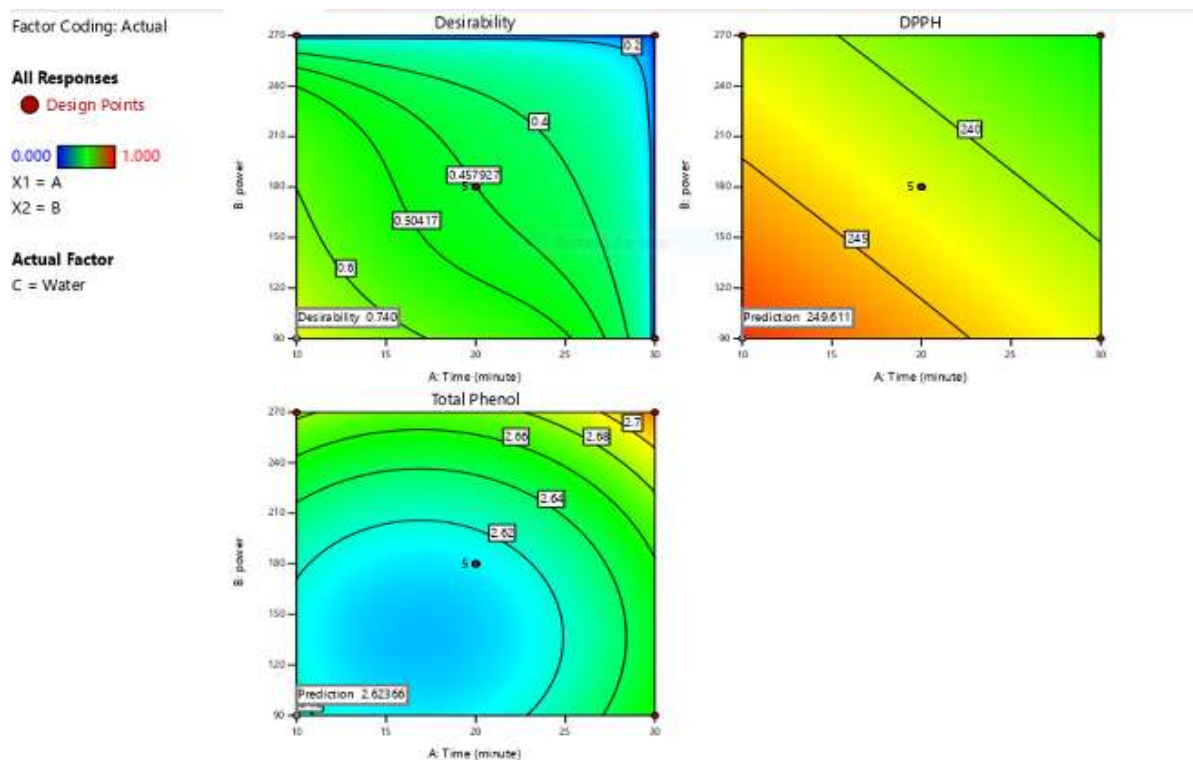


Figure 1. Graph emphasizing the optimal point in the interaction between the factors of time × power

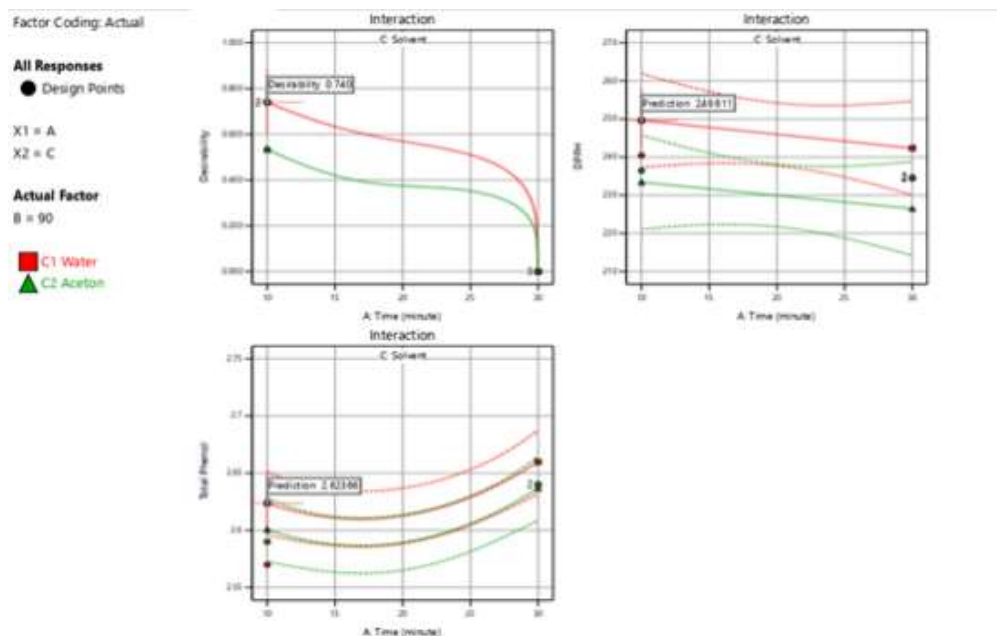


Figure 2. Graph emphasizing the optimal point in the interaction between the factors of time × solvent type

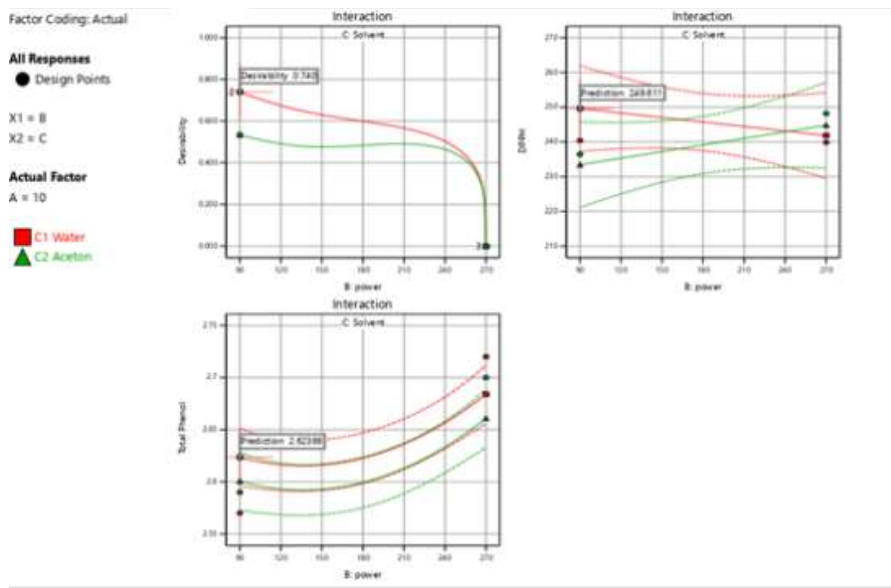


Figure 3. Graph emphasizing the optimal point in the interaction between the factors of power × solvent type

(نمودارهای ۴ و ۵) که نشان دهنده توزیع نرمال داده‌ها می‌باشند.

محتوی فنلی کل

در ابتدا وضعیت توزیع داده‌ها با استفاده از نمودارهای توزیع نرمال و Box-Cox مورد بررسی قرار گرفت

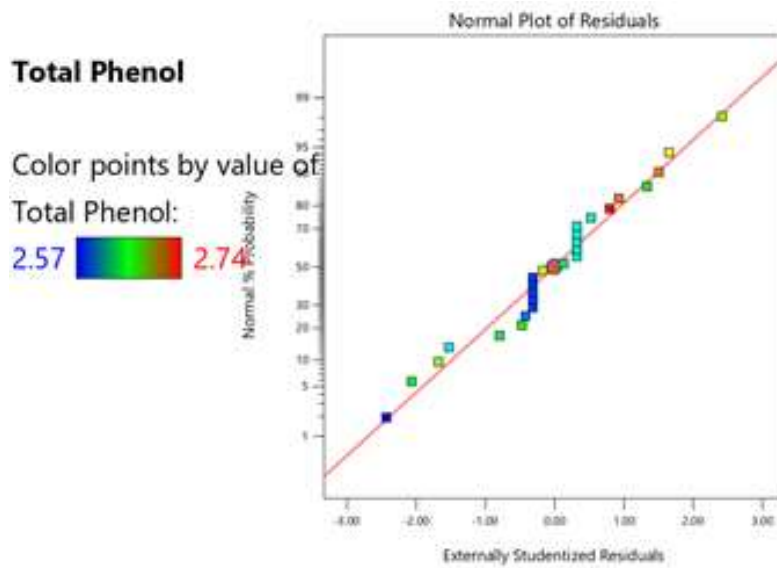


Figure 4. Visualization of the Normal Distribution of Residuals

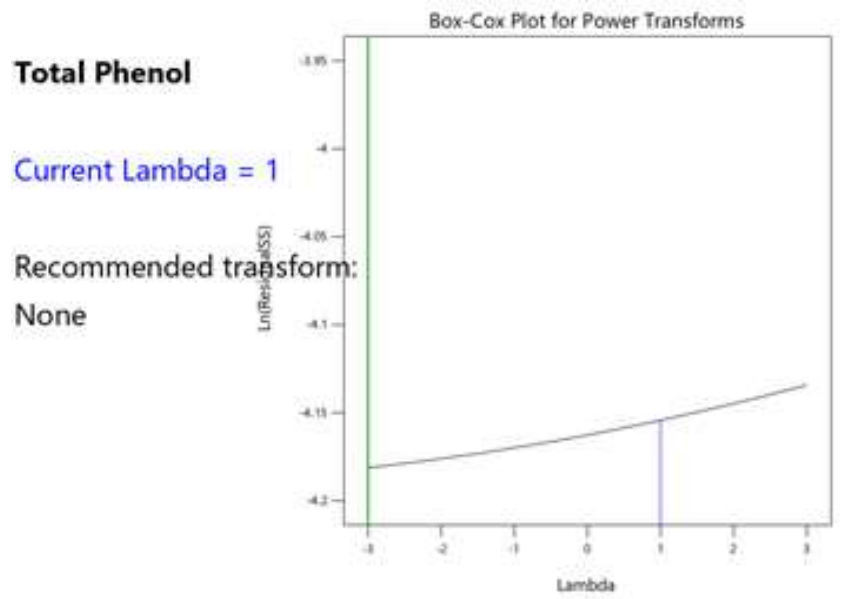


Figure 5. Box-cox

در جدول ۵ نتایج آنالیز واریانس یک طرف (One-Way ANOVA) برای مدل درجه دوم سطح پاسخ ارائه شده است.

Table 5. Results of the one-way ANOVA for the second-order model

ارزش P	ارزش F	میانگین مربع	درجه آزادی	جمع مربعات	منبع
<0/0001*	11/58	0/0091	5	0/0455	Model
0/0185*	6/58	0/0052	1	0/0052	A-Time
0/0003*	18/57	0/0146	1	0/0146	B-power
0/0486*	4/41	0/0035	1	0/0035	C-Solvent
0/0010*	14/68	0/0115	1	0/0115	A2
*0/0005	17/19	0/0135	1	0/0135	B2

*: معنی داری در سطح ($p < 0.05$)

فاقد اثر معنی دار بر مدل بودند حذف شده است. در معادله زیر ارتباط فاکتورهای مورد بررسی با فاکتور ارائه گردیده است.

Total Phenol =

مقدار عددی F نشان می دهد که مدل معنی دار است و تنها ۰/۰۱ درصد احتمال دارد که مقدار عددی F در سبب Noise باشد. لازم به ذکر است در این مدل اجزائی که

+۲/۶۰

+ ۰/۰۱۸۱ A

+۰/۰۳۰۲ B

- ۰/۰۱۱۵ C

+۰/۰۲۹۲ A²+ ۰/۰۳۱۲ B²

نیز در استخراج ترکیبات فنلی به صورت معنی داری موثر بودند. نتایج ارزیابی عصاره ی استخراج شده دانه آووکادو (*Persea americana Mill*) به کمک مایکروویو در پژوهش دیگری حاکی از آن بود که دو پارامتر زمان استخراج و قدرت مایکروویو بر استخراج ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی از دانه های آووکادو تاثیر گذارند [۳۳]. ترکیبات فنلی عصاره به شدت از زمان استخراج تاثیر می پذیرند [۳۴]. در فرآیند استخراج مواد مؤثره از گیاهان، توان بالای مایکروویو می تواند به دلیل حساسیت ترکیبات به حرارت، راندمان را کاهش دهد. دما و توان مایکروویو به یکدیگر وابسته اند و افزایش توان مایکروویو منجر به افزایش دما می شود. همچنین، اگر نمونه به مدت طولانی حتی با توان کم در معرض امواج مایکروویو قرار گیرد، ترکیبات مؤثر موجود در آن ممکن است از بین بروند. به همین دلیل، زمان استخراج با مایکروویو معمولاً کمتر از ۳۰ دقیقه است [۳۵، ۳۶]. در همین راستا گلمکانی و همکاران بیان کردند که بیشترین مقدار فنل کل عصاره مغز دانه نارنج در کمترین توان مورد استفاده مایکروویو (۱۰۰ وات) و کمترین زمان فرایند استخراج (۵ دقیقه) مشاهده شد [۳۷]؛ اما در مطالعه ی حاضر، با افزایش زمان و قدرت مایکروویو هم در عصاره ی استونی و هم در عصاره ی آبی محتوی فنلی بیشتری استخراج شد که عصاره ی آبی در این تحقیق بهتر عمل کرد. کشاورز و همکاران اعلام کردند که افزایش توان مایکروویو موجب افزایش استخراج ترکیبات فنلی بیشتری در میوه ی کنار شد [۳۸]. بر خلاف این نتایج در بررسی Singh و همکاران در سال ۲۰۱۱ مشخص شد که افزایش توان منجر به کاهش ترکیبات فنلی پوست سیب زمینی می شود [۳۹]. لطیفی و همکاران از سه

نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن بود که با بررسی خاصیت آنتی اکسیدانی عصاره ی به دست آمده با سنجش محتوی فنلی کل حلال آب به عنوان قطبی ترین حلال، کارایی موثرتری در استخراج ترکیبات فنلی در مقابل حلال استون داشت؛ در فرآیند استخراج ترکیبات فنلی، نوع قطبیت حلال های به کار رفته تأثیر قابل توجهی بر افزایش کارایی استخراج این ترکیبات دارد [۲۹]. در مطالعه ای مشاهده شد حلال بهینه برای استخراج فلوروتانین از ۳ جلبک قهوه ای توسط مایکروویو، آب می باشد و جلبک *C. flexuosum* قوی ترین فعالیت آنتی اکسیدانی را با مقدار ۶۲/۱ میلی گرم گالیک اسید بر گرم از خود نشان داد [۳۰]. طی ارزیابی John و همکاران در سال ۲۰۱۷ فعالیت آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی عصاره ی متانولی و استونی پوست *Beta vulgaris L.* نشان داد که محتوی فنلی و فلاونوئید عصاره ی متانولی پوست چغندر قرمز به ترتیب ۹۹/۱ $\mu\text{g}/\text{mg}$ GAE و ۴/۷۶ $\mu\text{g}/\text{mg}$ QE در حالی که برای عصاره ی استونی پوست چغندر قرمز این شاخص به ترتیب ۴۶/۵۳ $\mu\text{g}/\text{mg}$ GAE و ۴/۵۱ $\mu\text{g}/\text{mg}$ QE اندازه گیری شدند [۳۱]. این پژوهش از نظر این که حلال استون نسبت به حلال قطبی دیگر مورد استفاده ترکیبات فنلی کمتری از پوست چغندر قرمز استخراج کرد با مطالعه حاضر که حلال استون نسبت به حلال آب در استخراج ترکیبات فنلی برگ چغندر قند ضعیف عمل کرد، تشابه دارد. اما بر خلاف نتایج پژوهشی که انجام شد، در ارزیابی فندرسکی و اردستانی عصاره آبی سداب، کمترین بازده استخراج ترکیبات فنلی را در مقایسه با حلال دیگر (اتانول) داشت [۳۲]. همانطور که در نمودار ۶ مشاهده می شود، پارامترهای زمان و قدرت مایکروویو

مشاهده شد؛ در واقع می توان علت پایین تر بودن ترکیبات فنلی عصاره ی به دست آمده توسط مایکروویو در این پژوهش نسبت به دو روش دیگر را دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد محفظه ی مایکروویو دانست [۴۰].

روش مایکروویو، غرقابی و فراصوت برای استخراج عصاره پوست لیموترش استفاده کردند و نتایج بررسی مقدار ترکیبات فنلی در عصاره های استحصالی حاکی از آن بود که ترکیبات فنل بیشتری در عصاره ی استخراج شده توسط فراصوت نسبت به روش های مایکروویو و غرقابی

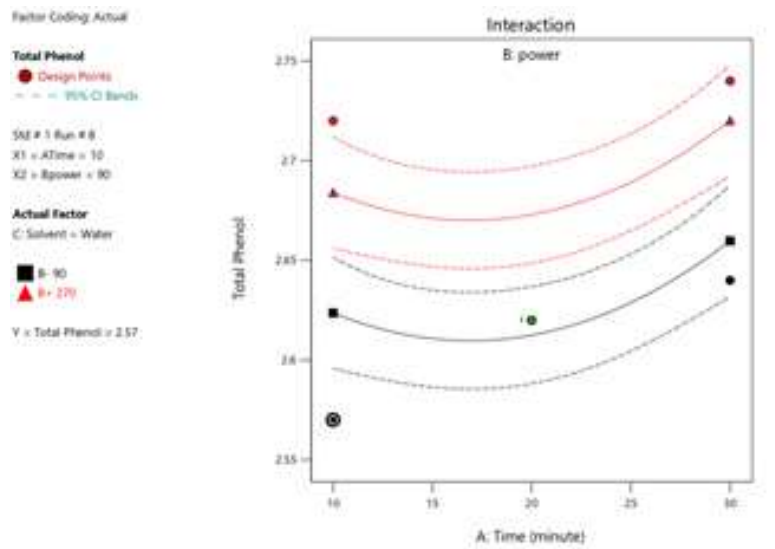


Figure 6. Interaction between time, microwave power, application of the used water solvent and total phenol content

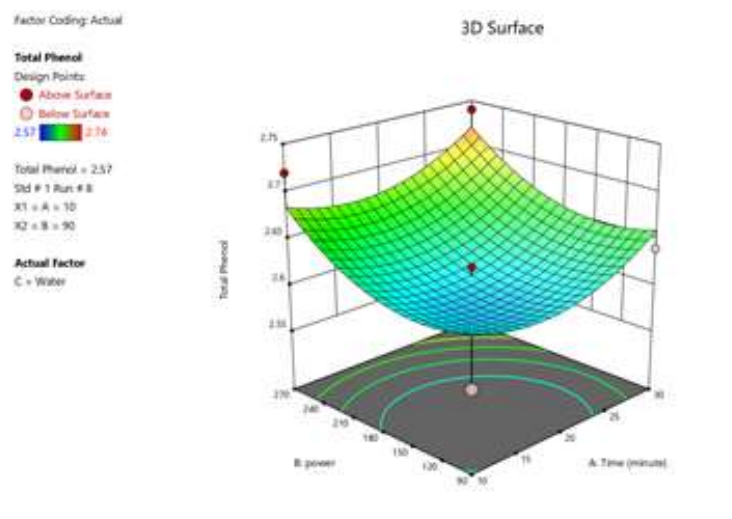


Figure 7. 3D plot of the effect of time and microwave power with water as a solvent on the total phenol content

(نمودار های ۸ و ۹) که نشان دهنده وضعیت توزیع داده‌ها می‌باشند.

توان مهار رادیکل‌های آزاد با استفاده از آزمون DPPH در ابتدا وضعیت توزیع داده‌ها با استفاده از نمودارهای توزیع نرمال و Box-Cox مورد بررسی قرار گرفت

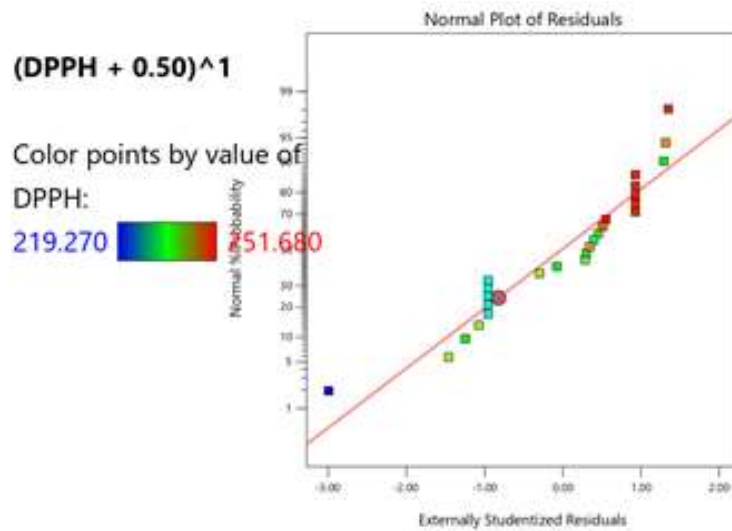


Figure 8. Visualization of the Normal Distribution of Residuals

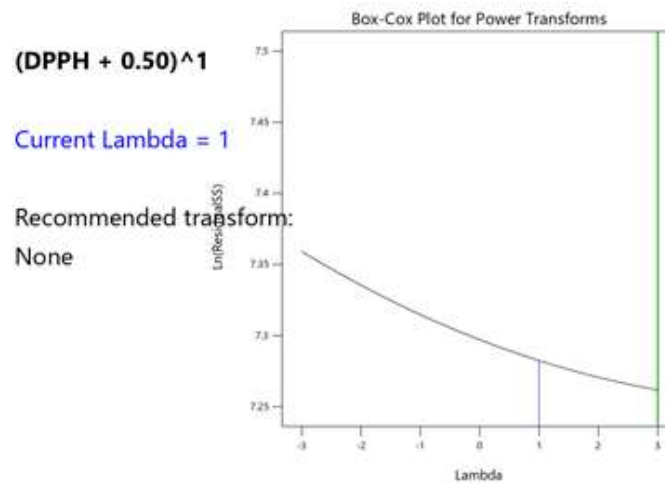


Figure 9. Box-Cos

در جدول ۶ نتایج آنالیز واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) برای مدل اثر متقابل دو فاکتور سطح پاسخ ارائه شده است.

Table 6. Results of the one-way analysis of variance of the linear model

منبع	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربع	F ارزش	P ارزش
Model	843/38	6	140/56	1/84	0/1454
A-Time	190/14	1	190/14	2/48	0/1315
B-power	15/57	1	15/57	0/2034	0/6571
C-Solvent	271/51	1	271/51	3/55	0/0751
AB	0/0545	1	0/0545	0/0007	0/9790
AC	0/0971	1	0/0971	0/0013	0/9720
BC	366/01	1	366/01	4/78	0/0415

مقدار عددی F نشان می دهد که مدل معنی دار است تنها ۱۴/۵۴ درصد احتمال دارد که مقدار عددی F در سبب

Noise باشد. در این مدل هیچ یک از فاکتورها به عنوان جزء معنی دار ($p < 0.05$) در نظر گرفته نشدند.

$$(DPPH+0/50)^1 =$$

$$+ 239/45$$

$$- 3/46 A$$

$$+ 0/9874 B$$

$$- 3/23 C$$

$$+ 0/0825 AB$$

$$+ 0/0783 AC$$

$$+ 4/79 BC$$

یکی از راه های شناسایی توانایی عصاره های استخراج شده از گیاهان مختلف در مهار رادیکال آزاد، آزمون DPPH است [۴۱]. همانطور که در نمودار ۱۰ مشاهده می شود، ارزیابی مهار رادیکال آزاد در پژوهش حاضر نشان داد که با گذشت زمان در هر دو عصاره مقدار این شاخص کاهش پیدا کرد که در عصاره ی استونی برگ چغندر قند

مهار رادیکال آزاد کمتر از عصاره آبی بود؛ اما با افزایش توان میکروویو، مهار رادیکال آزاد در عصاره ی استونی افزایش و در عصاره ی آبی برگ چغندر قند کاهش یافت. قدرت مهارکنندگی عصاره ها به تعداد و موقعیت گروه های هیدروکسیل و وزن مولکولی ترکیبات فنلی وابسته است.

* معنی داری در سطح $P < 0.05$

برگ های گیاه چویل (*Ferulago angulata*) توسط مایکروویو، به عصاره های دارای نسبت ۱۰۰:۰ درصد حلال اتانول به آب تعلق داشت [۴۶]. سنجش DPPH عصاره های به دست آمده از دانه انگور نشان داد که با افزایش زمان استخراج، کاهش توان مایکروویو و غلظت حلال مصرفی فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش پیدا کرد [۴۷]. در حالی که در مطالعه ی حاضر افزایش زمان موجب کاهش مهار رادیکال آزاد شد.

عصاره ی پوست سبزرگدو با حلال اتانول در غلظت های ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد، با قدرت های مایکروویو ۹۰، ۴۵۰ و ۹۰۰ وات، در زمان های ۱، ۸ و ۱۵ دقیقه استخراج شد. مشاهده شد با مقدار ثابت غلظت اتانول، با افزایش زمان استخراج از ۸ به ۱۵ دقیقه و توان ثابت مایکروویو، مقدار DPPH عصاره های پوست گردو از ۳۴۸/۹ درصد به ۲۷۴/۰۸ درصد کاهش پیدا کرد. همچنین، در زمان استخراج ثابت ۸ دقیقه با افزایش توان مایکروویو از ۹۰ وات به ۹۰۰ وات، مهار رادیکال آزاد عصاره اتانولی پوست گردو از ۳۴۸/۹ درصد به ۳۸۴/۵۳ درصد افزایش یافت [۴۸]. در سال ۲۰۲۲ Safdari و همکاران دریافتند که افزایش توان مایکروویو از ۴۰۰ به ۸۰۰ وات موجب کاهش مهار رادیکال در عصاره های چغندر قرمز شد. در مطالعه حاضر نیز افزایش توان مایکروویو باعث شد در عصاره ی آبی برگ چغندر قند توانایی مهار رادیکال آزاد کاهش یابد [۴۹].

در ترکیبات فنلی با وزن مولکولی پایین تر، گروه های هیدروکسیل به راحتی در دسترس هستند [۴۲]. بعد از ارزیابی خاصیت آنتی اکسیدانی عصاره های استخراج شده ی برگ چغندر قند، در بین توان های مورد استفاده قدرت ۹۰ وات مایکروویو و زمان استخراج ۱۰ دقیقه به عنوان پارامترهای بهینه انتخاب شدند. در مطالعه ای که توسط فیاض و همکاران انجام شد حلال متانول در این پژوهش کارایی بهتری در مقابل حلال آب داشت؛ با توجه به نتایج به دست آمده شرایط بهینه استخراج کاروتنوئید توان ۹۰ وات مایکروویو و زمان استخراج ۱۰ دقیقه بود و همچنین شرایط بهینه برای استخراج کلروفیل a و b توان ۱۸۰ وات و زمان ۲۰ دقیقه بود [۴۳]. ممکن است با افزایش زمان استخراج توسط مایکروویو و به کارگیری حلال هایی مانند آب، اتانول و متانول باعث افزایش دما شده و در نتیجه ترکیبات حساس موجود آسیب ببینند [۴۴]. در سال ۲۰۲۱ Salami و همکاران در رابطه با بهینه سازی استخراج عصاره برگ گیاه خندل (*Eruca Sativa*) به روش مایکروویو دریافتند که عصاره های به دست آمده توسط حلال آب به عنوان حلال با ثابت دی الکتریک بالا نسبت به حلال های اتانول و متانول بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی را داشتند و همچنین استفاده از کمترین نسبت نمونه به حلال (۱:۵) نشان دهنده ی مزیت این روش می باشد [۴۵]. آقاجانی و همکاران دریافتند که بالاترین میزان رادیکال گیرندگی عصاره استخراج شده از

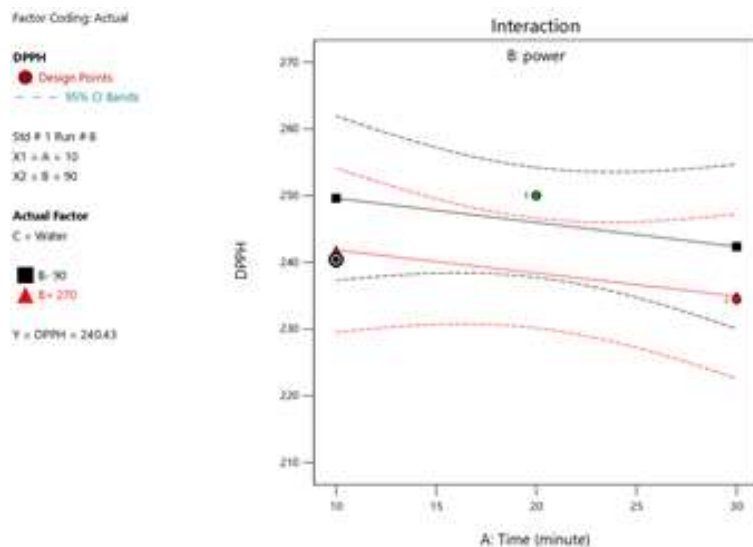


Figure 10. Interaction between time, microwave power, application of the used water solvent and DPPH

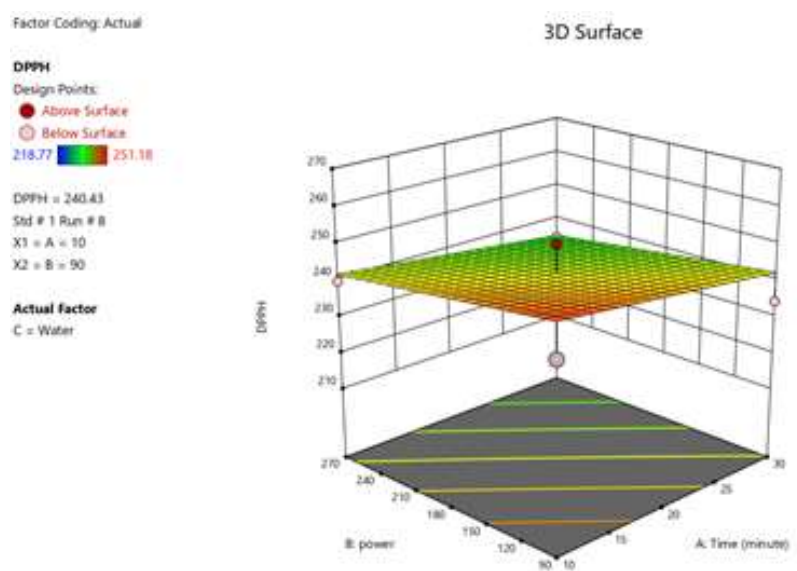


Figure 11. 3D plot of the effect of time and microwave power with water as a solvent on the DPPH

استخراج منجر به افزایش محتوی فنلی و کاهش مهار رادیکال‌های آزاد می‌شود. همچنین، افزایش توان مایکروویو باعث استخراج بیشتر محتوی فنلی از برگ چغندر و کاهش توانایی مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره آبی و افزایش این توانایی در عصاره استونی گردید. در مجموع، بین حلال آب و حلال استون از نظر میزان استخراج ترکیبات فنلی و مهار رادیکال آزاد اختلاف جزئی مشاهده شد.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، حلال آب به دلیل داشتن قطبیت بالا به عنوان حلال مؤثر انتخاب شد و همچنین قدرت ۹۰ وات و زمان ۱۰ دقیقه به عنوان پارامترهای بهینه تعیین گردیدند. بررسی توانایی آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های آبی و استونی برگ چغندر قند پاییزه نشان داد که در هر دو نوع عصاره، افزایش زمان

تأمین مالی

نویسنده تأیید می‌کند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

منافع رقابتی

۵- منابع

- [1] Latorre, M. E., Bonelli, P. R., Rojas, A. M., & Gerschenson, L. N. (2012). Microwave inactivation of red beet (*Beta vulgaris L. var. conditiva*) peroxidase and polyphenoloxidase and the effect of radiation on vegetable tissue quality. *Journal of food Engineering*, 109(4), 676-684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.026>
- [2] Jain, S., Garg, V. K., & Sharma, P. K. (2011). Anti-inflammatory activity of aqueous extract of *Beta vulgaris L.* *Journal of Basic and Clinical Pharmacy*, 2(2), 83-86.
- [3] Basati, J., Kolivand, M., & Neamati, A. (2003). Study of autumn sowing of sugar beet in the tropical areas of Kermanshah province. *Journal of Sugar Beet*, 18(2), 119-130. <https://doi.org/10.22092/jsb.2003.8279>
- [4] Mokhtari-Dehkordi, S. H., Hojjati, M. R., Rouhi, L., Rabiei, Z., & Alibabaei, Z. (2014). Effect of ethanolic extract of beet roots and leaves on motor coordination in male Wistar rats. *Journal of Shahrekord University of Medical Sciences*, 16(3), 108-115. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:178451631>
- [5] Anthony, H., Mark, G., & Margot, L. (1992). *The new Royal Horticultural Society dictionary of gardening*, (4), London: The Macmillan Press and the Stockton Press.
- [6] Roghani, M., Rahimian, G., & Baluchnejadmojarad, T. O. U. R. A. N. D. O. K. H. T. (2006). The effect of oral administration of chard on contractile reactivity of isolated aorta in diabetic rats. *Journal of Inflammatory Diseases*, 10(2), 46-51.
- [7] Zan, M. (2013). Evaluation root yield of autumn-sowing sugar beet in Khorasan province using SUCROS model. [Master's thesis, Shahid Beheshti University]. Tehran, Iran.
- [8] Garcia-Vila, M., Morillo-Velarde, R., & Fereres, E. (2019). Modeling sugar beet responses to irrigation with AquaCrop for optimizing water allocation. *Water*, 11(9), 1918. <http://dx.doi.org/10.3390/w11091918>
- [9] Deihimfard, R., & Rahimi Moghaddam, S. (2015). Assessing the yield of spring and autumn-sown sugar beet in Mashhad and Neyshabor, Khorasan using a simulation model. *Journal of Plant Production Research*, 22(3), 157-180. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.3.7.8>
- [10] Rahimzadeh, P., & Razavi, S. M. (2019). Phytochemical variations in sugar beet (*Beta vulgaris L.*) in response to ultraviolet-B radiation. *Journal of Sugar Beet*, 34(2), 215-226. <http://dx.doi.org/10.22092/jsb.2019.121369.1185>
- [11] Scott, R. K., & Jaggard, K. W. (1993). Crop physiology and agronomy. In 'The Sugar Beet Crop: Science into practice'.
- [12] Indu, R., Adhikari, A., Ray, M., Hazra, A. K., Sur, T. K., & Das, A. K. (2017). Antioxidant properties of polyphenolic rich HPLC standardized extract of *Beta vulgaris L.* roots. *International Journal of Research and Development in Pharmacy & Life Sciences*, 6(3), 2619-2624. [http://dx.doi.org/10.21276/IJRDPL.2278-0238.2017.6\(3\).2619-2624](http://dx.doi.org/10.21276/IJRDPL.2278-0238.2017.6(3).2619-2624)
- [13] de Oliveira, S. P. A., do Nascimento, H. M. A., Sampaio, K. B., & de Souza, E. L. (2021). A review on bioactive compounds of beet (*Beta vulgaris L. subsp. vulgaris*) with special emphasis on their beneficial effects on gut microbiota and gastrointestinal health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 2022-2033. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1768510>
- [14] Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- [15] Tiwari, B. K., & Cullen, P. J. (2012). Extraction of red beet pigments. In *Red beet biotechnology: Food*

- and pharmaceutical applications (pp. 373-391). Boston, MA: Springer US.
- [16] Kaufmann, B., Christen, P., & Veuthey, J. L. (2001). Parameters affecting microwave-assisted extraction of withanolides. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 12(5), 327-331. <http://dx.doi.org/10.1002/pca.599>
- [17] Eskilsson, C. S., & Björklund, E. (2000). Analytical-scale microwave-assisted extraction. *Journal of chromatography A*, 902(1), 227-250. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00921-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00921-3)
- [18] Trivedi, N., Patadia, M., & Kothari, V. (2011). Biological applications of microwaves. *International Journal of Life Sciences and Technology*, 4(6), 37-46. <http://10.1.7.192:80/jspui/handle/123456789/2698>
- [19] Karabegović, I. T., Stojičević, S. S., Veličković, D. T., Nikolić, N. Č., & Lazić, M. L. (2013). Optimization of microwave-assisted extraction and characterization of phenolic compounds in cherry laurel (*Prunus laurocerasus*) leaves. *Separation and Purification Technology*, 120, 429-436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2013.10.021>
- [20] Esmailzadeh Kenari, R., & Razavi, R. (2023). Investigating the effect of different extraction methods on the antioxidant properties of green tea extract. *Research in Plant Metabolites*, 1(3), 79-95. <http://dx.doi.org/10.22034/jrpsm.2024.453519.1036>
- [21] Asadzadeh, R., Emam Jome, Z., & Askari, Gh. R. (2015). Effect of Various Extraction Methods on the Antioxidant and Phenolic Compounds of Chicory Leaves. [Master's thesis, University of Tehran Aras International Campus. Iran: University of Tehran Aras]. Iran.
- [22] Yousefi, M., Bimakr, M., Ghoreishi, S. M., & Ganjloo, A. (2024). Effect of Supercritical CO₂ and Microwave-assisted Extraction Methods on Bioactive Compounds Extraction from *Silybum marianum* Seed. *FSCT*, 21(148), 30-44. <http://dx.doi.org/10.22034/FSCT.21.148.30>
- [23] Parejo, I., Viladomat, F., Bastida, J., Rosas-Romero, A., Flerlage, N., Burillo, J., & Codina, C. (2002). Comparison between the radical scavenging activity and antioxidant activity of six distilled and nondistilled Mediterranean herbs and aromatic plants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(23), 6882-6890. <https://doi.org/10.1021/jf020540a>
- [24] Stojičević, S. S., Stanisavljević, I. T., Veličković, D. T., Veljković, V. B., & Lazić, M. L. (2008). Comparative screening of the anti-oxidant and antimicrobial activities of *Sempervivum marmoratum* L. extracts obtained by various extraction techniques. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 73(6), 597-607. <http://dx.doi.org/10.2298/JSC0806597S>
- [25] Hosseini, M. H., Razavi, S. H., & Mousavi, M. A. (2009). Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. *Journal of food processing and preservation*, 33(6), 727-743. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00307.x>
- [26] Javadian, S. R., Shahosseini, S. R., & Ariaii, P. (2017). The effects of liposomal encapsulated thyme extract on the quality of fish mince and *Escherichia coli* O157: H7 inhibition during refrigerated storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26(1), 115-123. <http://dx.doi.org/10.1080/10498850.2015.1101629>
- [27] Talebi Hagho, M., Mooraki, N., & Honarvar, M. (2025). Effect of Chitosan Coating Supplemented with Sugar Beet Leaf Extract (*Beta vulgaris L.*) on Quality Attributes of Sevruga Fillets (*Acipenser stellatus*) during Refrigeration.
- [28] Sadeghii, S., Mooraki, N., & Honarvar, M. (2021). Investigating the Possibility of Extraction of khandal Extract by Percolation Method and its Application in Marinated White Indian Shrimp Fillet. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 10(2), 199-216. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2021.274948.1232>
- [29] Naczka, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41(5), 1523-1542. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.002>
- [30] Zhang, R., Yuen, A. K., Magnusson, M., Wright, J. T., de Nys, R., Masters, A. F., & Maschmeyer, T. (2018). A comparative assessment of the activity and structure of phlorotannins from the brown seaweed *Carpophyllum flexuosum*. *Algal research*, 29, 130-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2017.11.027>
- [31] John, S., Monica, J., Priyadarshini, S., Sivaraj, C., & Arumugam, P. (2017). Antioxidant and antibacterial activities of *Beta vulgaris L.* peel extracts. *Int. J. Pharma Res. Health Sci*, 5(6), 1974-1979.
- [32] Fendereski, F., & Ardestani, F. (2014). extraction of *ruta graveolens L* using percolation and microwave and evaluation of its antioxidant effect on sunflower oil. [Master's thesis, Islamic Azad university Shahrood Branch]. Iran.

- [33] Weremfo, A., Adulley, F., & Adarkwah-Yiadom, M. (2020). Simultaneous optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds and antioxidant activity of avocado (*Persea americana* Mill.) seeds using response surface methodology. *Journal of analytical methods in chemistry*, 2020(1), 7541927. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/7541927>
- [34] Rusak, G., Komes, D., Likić, S., Horžić, D., & Kovač, M. (2008). Phenolic content and antioxidative capacity of green and white tea extracts depending on extraction conditions and the solvent used. *Food Chemistry*, 110(4), 852-858. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.072>
- [35] Chen, W., Sommerfeld, M., & Hu, Q. (2011). Microwave-assisted Nile red method for in vivo quantification of neutral lipids in microalgae. *Bioresource technology*, 102(1), 135-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.076>
- [36] Hemwimon, S., Pavasant, P., & Shotipruk, A. (2007). Microwave-assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. *Separation and purification technology*, 54(1), 44-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2006.08.014>
- [37] Golmakani, M., Hosseinzadeh Farbudi, A., Mesbahi, G., & Alavi, S. N. (2024). Microwave-assisted extraction of bioactive compounds from bitter orange seed cotyledon and evaluating their antioxidant properties. *FSCT*, 21(146), 138-157. <http://dx.doi.org/10.22034/FSCT.21.146.138>
- [38] Keshavarz, B., Rezaei, K., & Safari M. (2010). Effect of various extraction conditions (microwave – assisted extraction, ultrasound-assisted extraction, stir bar, and Soxhlet) on the recovery of total phenol and flavonoid compounds from *Ziziphus spina-christi*. [Master's thesis, University of Tehran]. Iran.
- [39] Singh, A., Sabally, K., Kubow, S., Donnelly, D. J., Gariépy, Y., Orsat, V., & Raghavan, G. S. V. (2011). Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidants from potato peels. *Molecules*, 16(3), 2218-2232. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules16032218>
- [40] Latifi, Y., Darvishhoseini, M., Seddighi Pashaki, A., Ghafuri, Z., Najafi, L., & Arjmandian, A. (2021). A comparative study between maceration, microwave and ultrasound methods for extraction sour lemon peel extract and its antioxidant properties. *FSCT*, 18(118), 325-334. <http://dx.doi.org/10.52547/fsct.18.118.325>
- [41] Kallel, F., Drissa, D., Chaaria, F., Belghitha, L., Bouaziza, Raoudha, F., Ghorbela, R., EllouzChaabouni, S., (2014). Garlic (*Allium sativum* L.) husk waste as a potential source of phenolic compounds: Influence of extracting solvents on its antimicrobial and antioxidant properties. *Industrial Crops and Products*, 62, 34–41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.047>
- [42] Jung, C. H., Seog, H. M., Choi, I. W., Park, M. W., & Cho, H. Y. (2006). Antioxidant properties of various solvent extracts from wild ginseng leaves. *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 266-274. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.004>
- [43] Fayaz, Y., Honarvar, M., & Moorki, N. (2021). Optimization of Extraction of Antioxidant and Phenolic Compounds of *Caulerpa sertularioides* by Microwave-Assisted Extraction Process. *Journal of food technology and nutrition*, 18(2 (70), 5-20. SID. <https://sid.ir/paper/950942/en>
- [44] Barbero, G. F., Palma, M., & Barroso, C. G. (2006). Determination of capsaicinoids in peppers by microwave-assisted extraction–high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *Analytica chimica acta*, 578(2), 227-233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2006.06.074>
- [45] Salami, P., Mooraki, N., & Honarvar, M. (2021). Optimizing of *Eruca sativa* (khandal) Extraction by Microwave Method and its Application in Marinated *Huso huso* (Beluga) Fillet. *Food Technology & Nutrition*, 18(4), 53-70. <https://sid.ir/paper/951255/fa>
- [46] Aghajani, A., Mortazavi, S. A., Tabatabai Yazdi, F., Shafafi Zenozian, M., & Saedi Asl, M. R. (2019). Determination of the phenolic content and free radical scavenging activity of extract obtained from chevil (*Ferulago angulata*) leaves by microwave and maceration. *Journal of food science and technology (Iran)*, 16(86), 119-131. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-20744-fa.html>
- [47] Krishnaswamy, K., Orsat, V., Gariépy, Y., & Thangavel, K. (2013). Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic antioxidants from grape seeds (*Vitis vinifera*). *Food and Bioprocess Technology*, 6, 441-455. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0800-2>
- [48] Shabanian, M., Sari, A. A., & Daraei Garmakhany, A. (2021). Optimization of ethanolic extracts of walnut green peel extracted by Microwave method and investigation of their antioxidant properties. *FSCT*, 18 (115), 283-298. <http://dx.doi.org/10.52547/fsct.18.115.23>
- [49] Safdari, H., Faraji, M., & Moslehi Shad, M. (2022). Extraction of Betalain from Red Beet by Microwave and Ultrasound and Evaluation of its

Stability under Different Conditions. [Master's thesis, Islamic Azad University Safadasht Branch]. Iran.



Scientific Research

Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Autumn-Grown Sugar Beet (*Beta vulgaris L.*) Leaf Extract and Evaluation of its Antioxidant Activity

M. Talebi Haghgo^a, N. Mooraki^{b*}, M. Honarvar^c

1- M. Sc. Student of the Department of Food Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associate Professor of Fisheries Science, Department of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/03/19

Review: 2025/08/01

Accepted: 2025/10/19

Keywords:

Natural antioxidants,
Plant extract,
Extraction optimization,
Sugar beet,
Microwave

DOI: [10.48311/fsct.2026.84011.0](https://doi.org/10.48311/fsct.2026.84011.0)

*Corresponding Author E-

Nargess_Mooraki@yahoo.com

This study examined the antioxidant properties of leaf extract from autumn sugar beet (*Beta vulgaris L.*) obtained through a microwave extraction method. The extraction utilized two solvents, water and acetone, with microwave power settings ranging from a minimum of 52/7 W to a maximum of 307/3 W, and extraction times varying from 5/86 minutes to 34/14 minutes. The optimal conditions for extraction, based on total phenol content and free radical scavenging activity, were identified as using water as the solvent, a power setting of 90 W, and an extraction duration of 10 minutes. The factors of extraction time and microwave power were found to significantly influence the yield of phenolic compounds ($P < 0.05$). An increase in both time and microwave power resulted in a higher phenol yield from both acetone and aqueous extracts, with the aqueous extract demonstrating superior performance. The assessment of the free radical scavenging capacity of the autumn sugar beet leaf extracts indicated a decline in this capacity over time for both types of extracts. Notably, the free radical scavenging activity of the acetone extract was lower than that of the aqueous extract. Furthermore, while the free radical scavenging ability of the acetone extract improved with increased microwave power, the aqueous extract exhibited a different trend in its scavenging capacity.