

نوع مقاله: مروری
نشریه ویژه فرش و رنگ

Dor: 20.1001.1.22517278.1400.11.2.2.2

مروری بر روش‌های استخراج ماده رنگزا از گیاه اسپرک

روح الامین شاهی^۱، زهرا احمدی^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده هنرهای کاربردی، گروه فرش، دانشگاه هنر، تهران، ایران، صندوق پستی ۱۵۹۱۶۳۴۳۱۱.

۲- استادیار، دانشکده هنرهای کاربردی، گروه فرش، دانشگاه هنر، تهران، ایران، صندوق پستی ۱۵۹۱۶۳۴۳۱۱.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۲۸ تاریخ بازبینی نهایی: ۰۰/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۲/۰۴ در دسترس به صورت الکترونیک: ۰۰/۰۶/۱۶

چکیده

لوتولا یا همان گیاه اسپرک از تیره کوکناریان دارای ماده رنگزایی با فام زرد از گروه فلاونوئید است که مهم‌ترین ساختار رنگزای آن لوتولین می‌باشد. این ماده رنگزا به دلیل شفافیت و قدرت رنگی بالا و نیز ثبات‌های عمومی بهتر، نسبت به دیگر مواد رنگزای زرد طبیعی دارای اهمیت بوده و مورد توجه صنایع مختلف قرار گرفته است. بافت سلولزی و زائد موجود در مواد رنگزای طبیعی سبب کاهش بازده و کیفیت رنگرزی و اشکال در رنگ همانندی می‌شود. برای استفاده بیشینه از رنگزای درون گیاه، کاربرد روش‌های استخراج اجتناب ناپذیر است. پژوهش‌های زیادی در حوزه‌ی استخراج ماده رنگزا از این گیاه نظیر روش‌های سنتی جوشاندن، خیساندن و دم‌گذاری و روش‌های جدید نظیر سوکسله، مایکروویو، فراصوت، پلاسما، مایع بحرانی و بکارگیری سیستم‌های غشایی و نیز بررسی تاثیر حلال‌های مختلف نظیر آب، متانل، اتانل و همچنین مواد کمکی در حین رنگرزی و استخراج مورد توجه محققین قرار گرفته است. نتایج حاصله بیانگر تاثیر موثر برخی از روش‌های استخراج نسبت به روش معمولی، به کارگیری حلال و نیز تاثیر pH محیط استخراج می‌باشد. بررسی نتایج استخراج مواد رنگزا از گیاه اسپرک به کمک روش‌های صاف کردن و رنگرزی کالای پشمی به برتری روش رسوب‌گیری با دندان آلوم و سپس اولترافیلتراسیون انجامید. در مقایسه روش‌های استخراج سوکسله با روش فراصوت برتری بازده استخراج و صرف زمان و انرژی کمتر در روش فراصوت، بازده استخراج بسیار خوبی را نشان داد. به طور کلی تحقیقات نشان داده که استفاده از پودر ماده رنگزای استخراجی از گیاه اسپرک به‌عنوان جایگزین گیاه اسپرک علاوه بر استفاده در صنایع دارویی و بهداشتی نه تنها بازده و کیفیت رنگرزی را افزایش می‌دهد بلکه می‌تواند جایگزین مناسبی برای رنگزاهای مصنوعی باشد. در این مطالعه، پژوهش‌های صورت گرفته در رابطه با روش‌های مختلف استخراج رنگزا از گیاه اسپرک، تاثیر حلال‌ها و مواد کمکی بر بازده استخراج و کیفیت رنگرزی بررسی و معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی

اسپرک، استخراج ماده رنگزا، رنگرزی طبیعی، ماده رنگزای گیاهی، فام زرد.

چکیده تصویری



A Review on the Dye Extraction Methods from Weld

Rouhol Amin Shahedi¹, Zahra Ahmadi^{2*}

1- Faculty of Applied Arts, Department of carpet, Hand Woven Carpet Group, Art University, P. O. Box:1591634311, Tehran, Iran.

2- Faculty of Applied Arts, Department of carpet, Art University, P. O. Box:1591634311, Tehran, Iran

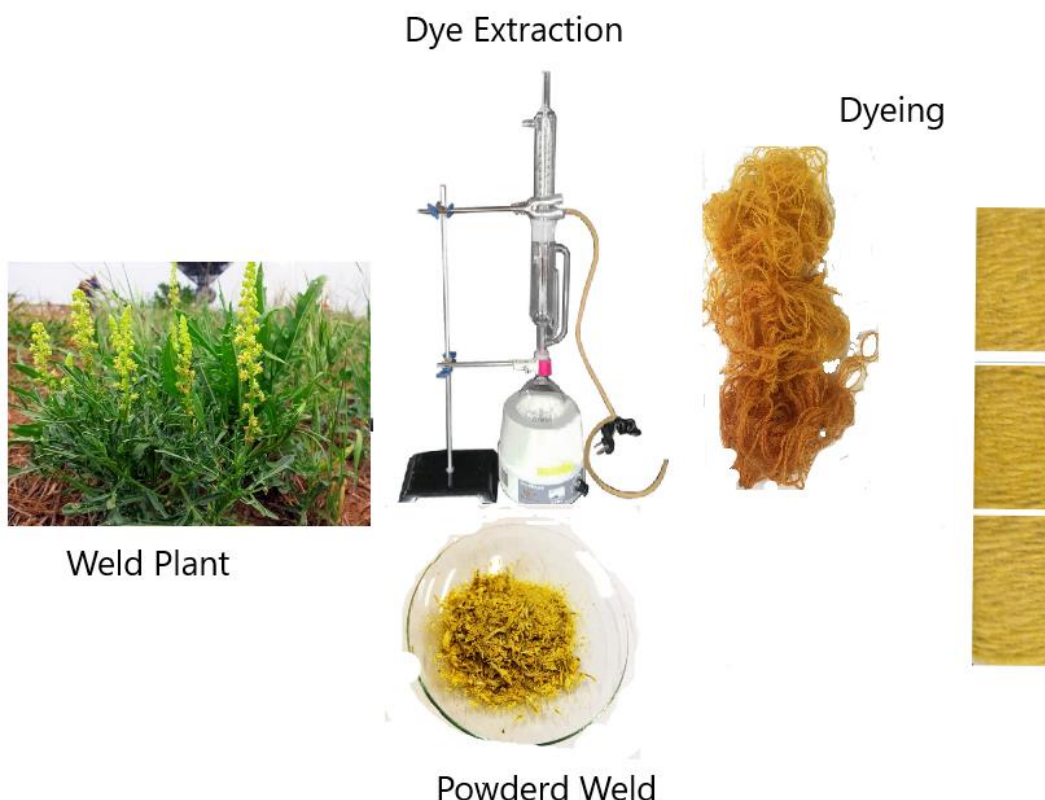
Abstract

Reseda luteola is a plant species in the genus *Reseda*. The common name is weld. The plant is rich in luteolin, a flavonoid that produces a bright yellow dye. This dye is more important and noticeable than other natural yellow dyes due to its high transparency and color strength, and better general fastness. Cellulose and waste tissue in natural dyes reduce the efficiency and quality of natural dyeing, occupy a large volume of dyeing equipment with dye plant pulp and complex dye matching. To make maximum use of the dye in the plant, applying the extraction methods is inevitable. Much research has been done in the field of dye extraction from this plant. Extraction of natural dyes from weld with the help of traditional methods such as boiling, soaking and steaming and modern techniques such as soxhlet, microwave, ultrasound, plasma, membrane, critical liquid and the effect of various solvents such as water, methanol, ethanol, water-ethanol, and water methanol as well as auxiliaries during dyeing and extraction have been considered by researchers. The results show the effectiveness of some extraction methods compared to the conventional method, different solvents, and the effects of extraction bath pH. The results of dye extraction from weld using filtration methods and wool dyeing led to the superiority of deposition of dyes by alum mordant and then ultrafiltration. Compared to Soxhlet extraction methods with the ultrasonic technique, extraction efficiency was superior and less time and energy was spent in the ultrasound method showed excellent extraction efficiency. In general, research has been demonstrated that dye powder extracted from weld can be used instead of the plant. In addition, use in the pharmaceutical and health industries increases the efficiency and quality of dyeing and can be an excellent alternative to synthetic dyes. In this study, the researches related to different dye extraction methods from the weld, the effect of solvents and auxiliaries on the extraction efficiency, and dyeing quality are reviewed and introduced.

Keywords

Weld, Dye extraction, Natural dyeing, Yellow color, Herbal dyes.

Graphical abstract



۱- مقدمه

مواد رنگزای طبیعی، تمام مواد رنگزا و دندانه‌هایی که از گیاهان، حشرات، مواد معدنی و دیگر منابع طبیعی بدست آمده‌اند را شامل می‌شوند. اما با سنتز اولین رنگزای مصنوعی به نام ماوین توسط پرکین در سال ۱۸۵۶، انقلابی در زمینه رنگزها بوقوع پیوست و پس از آن تقریباً همه مواد رنگزای مصنوعی از منابع پتروشیمی و از طریق فرآیندهای شیمیایی خطرناک بدست می‌آیند که به نوعی تهدیدی برای بشریت و محیط‌زیست محسوب می‌شوند. در حال حاضر به دلایل زیست‌محیطی و نیز سلیقه عمومی، تمایل بازار فرش دستباف و نیز دیگر صنایع نساجی مورد مصرف انسان برای استفاده از رنگزاهای طبیعی بیشتر شده است. تاکنون در رنگرزی خامه قالی با مواد رنگزای طبیعی، استفاده مستقیم از مواد رنگزا به صورت گیاه خشک شده یا پودر شده در حمام رنگرزی مرسوم بوده است. استفاده از این روش مشکلات عدیده‌ای برای رنگرز و فرآیند رنگرزی ایجاد می‌کند. در فرآیند رنگرزی ضروری است تا ابتدا مواد رنگزای طبیعی عصاره‌گیری شوند و سپس برای رنگرزی کلاف‌های پشمی مورد استفاده در فرش به کار روند. در غیر این صورت مشکلاتی به واسطه حضور بخش‌های زائد گیاه بوجود می‌آید که مهم‌ترین آنها عدم ایجاد یکنواختی، تکرارپذیری رنگرزی و اشغال حجم زیادی از پاتیل توسط تفاله‌ها و چسبیدن تفاله گیاه به کالای مورد رنگرزی است [۱]. رنگرزی با عصاره باعث خواهد شد تا بتوان از دستگاه‌های رنگرزی کلاف یا توده الیاف، برای رنگرزی طبیعی استفاده کرده و میزان تولید محصول با کیفیت را بالا برد و نیز دستیابی به یک فرآیند استخراج استاندارد و بهینه‌سازی متغیرها برای یک منبع طبیعی خاص علاوه بر تسهیل تکرارپذیری رنگرزی طبیعی، از نقطه نظر اقتصادی دارای اهمیت بوده و اثرگذار بر قیمت نهایی محصول است. چندین روش مختلف برای استخراج مواد رنگزای طبیعی وجود دارد برخی از این روش‌ها عبارت است از روش ساده آبی، روش پیچیده حلال (سوکسله)، استخراج با اسید و باز، روش تخمیر، استخراج با امواج فراصوت (UAE)، ریزموج (MAE)، روش سیال فوق بحرانی (SFE)، استخراج به وسیله آنزیم و غیره می‌باشند که هر کدام از این شیوه‌ها دارای مزایا و معایبی هستند [۲]. استخراج ترکیبات گیاهی با حلال به عنوان یکی از قدیمی‌ترین روش‌های جداسازی شناخته شده است. معمولاً استخراج ترکیبات زیست فعال از گیاهان توسط تقطیر با بخار و استخراج با حلال آلی و با استفاده از روش‌های تراوش، خیساندن و سوکسله انجام می‌شود. زمان طولانی استخراج، بازدهی کم، سمی بودن فاز استخراج شده با حلال (متاثر از نوع حلال بکار رفته) و شرایط عملیاتی سخت، استفاده از چنین روش‌هایی را با چالش روبرو کرده است. در نتیجه کاربرد روش‌های جدید، استخراج سریع‌تر و موثرتر و در نتیجه مقدار نمونه خروجی نیز بیشتر است. به دلیل مصرف کمتر حلال آلی، این روش‌ها به عنوان روش‌های دوست‌دار محیط‌زیست معرفی می‌شوند. از آنجا که گیاهان و ترکیبات موثره آنها هریک دارای ساختار شیمیایی متفاوتی هستند، بهترین روش و بهترین حلال در هر گیاه متمایز است، یافتن و کاربرد روش‌هایی برای استخراج این ترکیبات با ارزش که بتوان بیشترین ماده عملگر را با کمترین ناخالصی و کم‌ترین تخریب بدست آورد از اهمیت بسزایی برخوردار است [۳]. گیاه

اسپرک در بین مواد رنگزای گیاهی علاوه بر مصارف رنگی در منسوجات، مصارف دیگری در حوزه دارویی و مواد غذایی دارد و نیز این رنگزا نسبت به مواد رنگزای گیاهی که تولید رنگ زرد دارند دارای رنگی قوی‌تر و شفاف‌تر بوده و البته نسبتاً گران‌تر است فلذا یافتن روش‌های استخراج مناسب رنگزا از این گیاه کاملاً توجیه پذیر است [۴]. در این پژوهش با مرور مطالعات و پژوهش‌های انجام گرفته در حوزه استخراج ماده رنگزا از گیاه اسپرک، بررسی روش‌های مختلف استخراج به کار رفته برای ماده رنگزای موجود در گیاه اسپرک مورد توجه بوده است.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱- مواد رنگزای طبیعی

مواد رنگزای طبیعی به شش دسته‌ی فلاونوئید، تانن، ایندیگوئیدی، یونی، مستقیم و آلیزارین تقسیم می‌شوند که یا منشأ گیاهی داشته و از ریشه و گل و برگ و میوه و پوست تنه نباتات بدست می‌آیند و یا مواد رنگزای حیوانی که موجوداتی مانند حشره قرمز دانه و صدف ارغوان مولد آنها هستند و یا از معادن استخراج می‌شوند مانند خاک سرخ. ایرانیان برای رنگرزی پشم و ابریشم از دیرباز از مواد رنگزای گیاهی نظیر انار، گردو، روناس، اسپرک و همچنین از حشره قرمز دانه استفاده می‌کنند و با وجود کشف مولد رنگزای شیمیایی، مواد رنگزای طبیعی در برخی از کارگاه‌های رنگرزی هنوز استفاده می‌شوند. یکی از فام‌های پر کاربرد در فرش‌های ایرانی، فام زرد می‌باشد که در مناطق مختلف ایران از رنگزاهای متفاوتی برای رسیدن به فام زرد مورد نظر استفاده می‌کنند. از مهم‌ترین این مواد رنگزا اسپرک، جاشیر، گندل، برگ مو، هلیله، جفت (بلوط) می‌باشد که از خواص ثباتی خوبی برخوردار هستند اما گیاه اسپرک دارای ثبات‌های عمومی بهتر بوده و فام زرد شفاف‌تری را حاصل می‌نماید. طبق بررسی‌های انجام شده، مواد رنگزای زرد طبیعی بیشتر از ترکیبات فلاونوئیدی هستند [۱].

۲-۲- گیاه اسپرک

اسپرک یک گیاه علفی دو یا چند ساله از تیره کوکناریان^۱ و بومی اروپا می‌باشد. این گیاه در آسیای غربی، آفریقای شمالی و آمریکایی نیز رشد می‌کند. گیاه فوق می‌تواند به صورت خود رو در هر مکانی رشد کند. همه اجزای این گیاه به جز ریشه آن حاوی ماده رنگی است و می‌توان از آن به صورت تازه یا خشک استفاده کرد. گیاه اسپرک در ایران نیز به صورت وحشی زیاد روئیده می‌شود. گیاه اسپرک تقریباً کرک دار، به بلندی تا یک و نیم متر به رنگ سبز زنگاری با برگ‌های متناسب و ساده بصورت دراز و خطی و گل‌های آن زرد خوشه‌ای است. بوته آن را پس از خشک کردن و خرد کردن در رنگرزی مصرف می‌کنند. اگر چه در تمام قسمت‌های گیاه ماده رنگی وجود دارد اما در گل و برگ، ماده رنگزای بیشتری وجود دارد. رنگ زرد حاصله از آن در مقابل نور بیشتر از سایر زردهای طبیعی دارای ثبات است. از این گیاه برای به دست آوردن طیف‌های مختلف رنگ‌های زیتونی، لیمویی،

است. افزون بر آن، ماده رنگزای دیگری با نام آپیجنین^۱ با فرمول ملکولی $C_{15}H_{10}O_5$ و کوئرستین^۲ با فرمول $C_{15}H_{10}O_7$ مولکولی در این گیاه یافت می شود که سبب حصول فام رنگی زرد می گردد. علاوه بر دو ماده فوق، مواد رنگزای دیگری همانند کامپفرول^۳ و میریستین^۴ در گیاه اسپرک وجود دارند که مقادیر آنها بسیار جزئی می باشد [۳]. طیف جذبی ماده رنگزای استخراج شده از اسپرک سه پیک جذبی اصلی را در ناحیه فرابنفش نشان می دهد، که بیانگر وجود سه ترکیب اصلی در ماده رنگزا استخراج شده از اسپرک است [۵، ۶]. طیف جذبی ماده رنگزای استخراجی در شکل ۳ نشان داده شده است.

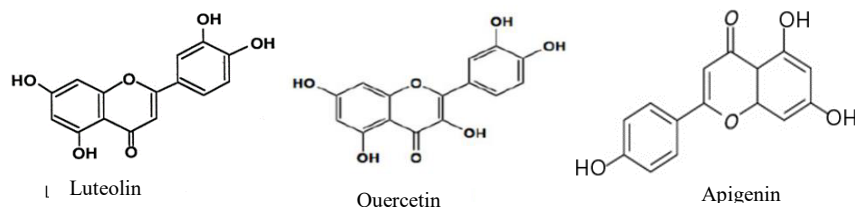
- ^۱ Apegenin
^۲ Quercetin
^۳ Kaempferol
^۴ Myricetin

سبز، نارنجی با دندانه‌های مختلف استفاده می کنند. تصویر این گیاه در شکل ۱ نشان داده شده است. ماده رنگزای اسپرک که جوهر کارتامیک نام دارد با داشتن چهار گروه هیدروکسیل در دسته فلاون‌ها قرار گرفته که توانایی ایجاد رنگ زرد پررنگ با ثبات متوسط روی کالای پروتئینی را داراست [۱]. نام لاتین آن WELD، نام علمی آن RESEDA LUTEOLA و شماره کالر ایندکس آن C.I.NATURAL YELLOW 2 می باشد [۱، ۲]. رنگ زرد حاصل از اسپرک مربوط به وجود ترکیبات فلاونوئیدی چون لوتئولین و آپیجنین و گلوکوزیدهای آنهاست. سه ترکیب لوتئولین، لوتئولین-۷،۳ دی گلوکوزید و لوتئولین-۷ گلوکوزید بیش از ۸۰٪ کل فلاونوئیدهای اسپرک را تشکیل می دهند. ساختار شیمیایی اجزای رنگی گیاه اسپرک در شکل ۲ نشان داده شده است [۳].

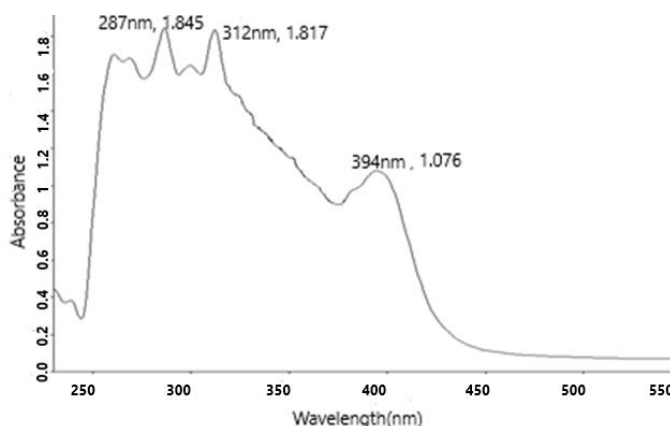
اصلی ترین این مواد شامل لوتئولین با فرمول ملکولی $C_{15}H_{10}O_6$ و وزن مولکولی ۲۸۶ است که در حرارت ۲۲۸ تا ۲۳۰ درجه سانتی گراد تجزیه می شود. این ترکیب در محیط قلیایی محلول و در آب به مقدار کم محلول



شکل ۱- گیاه اسپرک [۴].



شکل ۲- ساختار شیمیایی اجزاء رنگی گیاه اسپرک [۳].



شکل ۳- سه پیک مهم جذبی اسپرک در ناحیه فرابنفش [۶].

بافت‌های گیاهی، نسبت حلال به نمونه گیاهی بستگی دارد [۸، ۹].

۴- روش‌های استخراج

۴-۱- روش حرارتی^۵ (تغلیظ و عصاره‌گیری)

در این روش سنتی که گیاه خشک در حضور آب و در شرایط مختلف اسیدی تا بازی جوشانده شده و پس از استخراج ترکیبات موثره به روش‌های ساده مواد جامد و مایع جداسازی شده و برای تغلیظ یا موارد دیگر استفاده می‌شوند [۹].

۴-۲- روش خیساندن^۶

در روش خیساندن که برای اسانس‌گیری استفاده می‌شود، گیاه را با روغن یا چربی با دقت و ملائمت حرارت داده و به صورت یک مخلوط خیس خورده در روغن غلیظ درآورده و مرتب (۱۲ الی ۴۸ ساعت) به هم می‌زنند. بعد از آن که روغن از اسانس فرار اشباع شد، گل‌ها را خارج نموده و فشار می‌دهند تا چربی‌ها کاملاً از آن جدا شوند. پس از آن که چربی‌های حاوی اسانس فرار سرد شدند، اسانس فرار را با الکل در سه نوبت متوالی از چربی ثابت استخراج می‌نمایند [۱۰]، مثال ساده خیساندن چای کیسه‌ای است.

۴-۳- روش بدون حرارت یا تراوش^۷

در این روش از دستگاه پرکولاتور که اغلب استوانه‌ای یا قیفی شکل است استفاده می‌شود. انتهای ظرف یک شیر مناسب تعبیه شده که به وسیله آن سرعت استخراج را می‌توان تنظیم کرد. تصویر پرکولاتور در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. در این روش نسبت ارتفاع بهینه پرکولاتور به میزان پودر گیاهی معمولاً ۵ به ۱ است.



شکل ۴- تصویر پرکولاتور [۱۱].

رنگزای گیاهی اسپرک به دلیل بازده بالای رنگی استخراج و نیز ثبات‌های عمومی نسبتاً بالاتر در مقایسه با سایر مواد رنگزای طبیعی که برای فام زرد رنگ استفاده می‌شوند مورد توجه دانشمندان زیادی قرار گرفته است. این ماده رنگزا نه تنها برای الیاف طبیعی بلکه برای الیاف مصنوعی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. رنگزای نایلون با این ماده رنگزا نیز نتایج خوبی از کیفیت رنگرزی را نشان داده است [۷]. با توجه به گستردگی استفاده از گیاه اسپرک در صنایع نساجی برای رنگرزی در کنار سایر صنایع نظیر دارویی و آرایشی-بهداشتی [۸] به دلیل خواص مناسب این گیاه لازم است روش‌های مناسب استفاده از ماده رنگزای درون گیاه به کار گرفته شود. در ادامه روش‌های متفاوت استخراج که در تحقیقات وسیعی مورد توجه دانشمندان قرار گرفته مرور می‌شود.

۳- استخراج

استخراج شامل جداسازی بخش موثره بافت‌های گیاهی با استفاده از حلال و روش انتخابی است. در طول استخراج، حلال به درون مواد گیاهی انتشار یافته و ترکیبات با قطبیت مشابه را در خود حل می‌نماید. در این میان روش ایده‌آل روشی است که ساده، کم هزینه و سریع باشد و حلال‌های آلی (بکار رفته) را در کمترین مقدار مصرف نماید و علاوه بر بازده، گزینش‌پذیری و تکرارپذیری بالایی داشته و با اغلب دستگاه‌های تجزیه‌ای سازگار باشد. روش‌های سنتی استخراج منجر به تهیه فرآورده‌های جالینوسی^۱ شامل جوشانده، دم کرده، عصاره مایع، تنتور^۲، عصاره‌های نیمه‌جامد و یا عصاره‌های پودر شده می‌شود. روش‌های صنعتی استخراج شامل خیساندن، پرکولاسیون، هضم (استفاده از آنزیم‌های هضم کننده)، جوشاندن، سوکسله، استخراج آبی-الکلی از طریق تخمیر، کانترکانت^۳، ریزموج، فراصوت، مایع فوق بحرانی، فیتونیک^۴ (استخراج با حلال‌های هیدروفلوئورکربنی) می‌باشند. عوامل موثر برای انتخاب حلال مواردی چون میزان ترکیبات قابل استخراج، سرعت استخراج، تنوع ترکیبات مختلف استخراج، تنوع ترکیبات بازدارنده استخراج، سهولت بکارگیری عصاره، سمیت حلال در فرآیند سنجش زیستی، خطرات بهداشتی بالقوه مواد موجود در عصاره می‌باشد. انتخاب حلال، بستگی به عصاره مورد نیاز و ترکیباتی دارد که لازم است در عصاره موجود باشند. تنوع در روش استخراج معمولاً به عواملی چون طول دوره استخراج، حلال مورد استفاده، pH حلال، دما، اندازه ذرات

^۱ داروی جالینوسی به دارویی اطلاق می‌شود که در داروخانه و طبق فرمول مذکور در یک داروخانه معتبر و تحت نظر داروساز مسئول فنی داروخانه و برای عرضه و فروش در همان داروخانه تهیه می‌شود.

^۲ تنتور عصاره یک نمونه در یک محلول است. معمولاً، کلمه تنتور به عصاره الکل اشاره دارد، اگرچه ممکن است از سایر حلال‌ها استفاده شود.

^۳ Counter current، یکی از فرایندهای استخراج چند مرحله‌ای با جریان متقابل

^۴ Phytonics، استخراج با روش فیتونیک به کمک حلال‌های هیدروفلوئورکربن انجام می‌شود.

^۵ Decoction
^۶ Maceration
^۷ Perculation

دمای بالا منجر به افزایش حلالیت ترکیبات کم محلول در دمای پایین می‌شود. بعد از استفاده از این روش صاف کردن لازم نیست. از معایب این روش این است که زمان زیادی لازم دارد و مقدار زیادی حلال مصرف می‌شود. به علت استفاده از دمای بالا، ترکیبات حساس به حرارت آسیب دیده و مواد ناخواسته و نامطلوبی ایجاد می‌شوند [۱۲، ۱۳].

۴-۵- روش استخراج با امواج فراصوت^۳ (UAE)

دو حالت کلی استخراج، حمام‌های فراصوت و سیستم فراصوت میله‌ای می‌باشند. تأثیرات مکانیکی فراصوت، باعث نفوذ بیشتر حلال به درون مواد سلولی شده و انتقال جرم را بهبود می‌دهند. فراصوت در طی استخراج می‌تواند دیواره‌های سلولی را نیز تخریب کند و باعث تسهیل آزادسازی محتوای آن شود. بنابراین تخریب سلولی کارآمد و انتقال جرم مؤثر، دو عامل اصلی هستند که باعث افزایش استخراج با فراصوت می‌شوند. فرکانس فراصوت تأثیرات زیادی روی بازده و سرعت استخراج دارد. همچنین اثرات فراصوت روی بازده و سرعت استخراج با توجه به ماهیت ترکیبات استخراجی متفاوت می‌باشد. استخراج به کمک فراصوت یک روش ساده بوده و جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی استخراج است. فواید اصلی استفاده از فراصوت در استخراج شامل افزایش بازده و سرعت استخراج است. فراصوت امکان استخراج ترکیبات حساس به حرارت را فراهم می‌سازد. در مقایسه با روش‌های استخراج جدید دیگر همچون استخراج با ریزموج، دستگاه فراصوت ارزان‌تر بوده و اجرای آن راحت‌تر می‌باشد. استخراج به کمک فراصوت مشابه استخراج با سوکسله می‌تواند با هر حلالی برای استخراج دامنه وسیعی از ترکیبات طبیعی استفاده شود [۱۳]. تصویر این دو سیستم در شکل شماره ۵ الف و ب نشان داده شده است.

در فراصوت، امواج مکانیکی است که برای پراکندگی، به محیط الاستیک نیاز داشته و صداها با فرکانس موجی متفاوت دارد. صداها در محدوده فرکانس شنوایی انسان هستند، در حالی که فراصوت فرکانس‌هایی بالاتر از شنوایی انسان، اما پایین‌تر از فرکانس‌های ریزموج، (از ۲۰ کیلوهرتز- ۱۰ مگاهرتز) دارد. سازوکار اصلی استخراج با امواج فراصوت به پدیده حفره‌زایی^۴ مربوط می‌شود.

مواد گیاهی قبل از قرارگیری آنها در محلول مناسب با مقدار مناسبی از آب مرطوب و در ظرف در بسته تقریباً به مدت چهار ساعت قرار می‌گیرند. سپس، مواد گیاهی باید به راحتی در دستگاه پرکولاتور قرار داده شود تا امکان عبور یکنواخت مایعات و تماس کامل با مواد گیاهی فراهم شود. دستگاه آب‌رسانی باید با مایع پر و پوشانده شود. خروجی پایین باز می‌شود تا زمانی که به طور منظم مایع بیشتری برای پوشاندن تمام مواد به آن اضافه شود و باید به مدت ۲۴ ساعت در پرکولاتور خیس بخورد. پرکولیشن^۱ یا تراوش در فیزیک، شیمی و علم مواد، نفوذ (عبور کردن) و فیلتر مایعات از طریق مواد متخلخل اشاره دارد که توسط قانون دارسی شرح داده شده است. پرکولیشن رایج‌ترین روش برای تهیه مواد عصاره مایعات است [۹].

۴-۴- روش سوکسله^۲

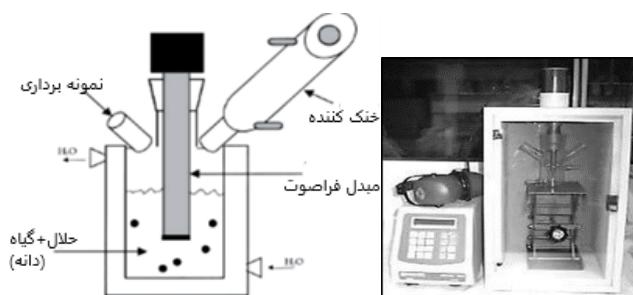
روش‌های قدیمی عصاره‌گیری بر پایه قرار گرفتن گیاه در حلال مناسب می‌باشد که به منظور افزایش سرعت فرآیند از هم زدن یا حرارت دادن استفاده می‌شود. از جمله روش‌های قدیمی می‌توان سوکسله، تقطیر، خیساندن و پرکولاسیون را نام برد. سوکسله روش استاندارد است که به عنوان مرجع اصلی ارزیابی دیگر روش‌ها بکار می‌رود. این روش، عمومی بوده و برای استخراج ترکیبات با فراریت کم یا متوسط که در مقابل حرارت پایدار باشند بکار می‌رود. در این روش و سایر روش‌های عصاره‌گیری انتخاب حلال اهمیت بسیار زیادی دارد، به‌طوری‌که انتخاب حلال‌های مختلف موجب ایجاد عصاره‌های متفاوت و ترکیبات متنوع در آن عصاره خواهد شد. در این روش هگزان، حلالی است که به جهت بازده بالای استخراج، مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا دمای جوش بین ۶۳ تا ۶۹ درجه سانتی‌گراد داشته، حلالیت مواد روغنی در آن خوب است و می‌توان پس از استفاده آن را بازیافت کرد، اما این حلال آلاینده‌ی محیط‌زیست بوده و به همین دلیل گاهی از حلال‌های کم خطری مانند اتانل، ایزوپروپانل، هیدروکربن‌ها و غیره در این روش استفاده می‌شود. اندازه ذره و دما از موضوعات دیگری است که در همه‌ی روش‌ها از جمله سوکسله باید به آن توجه کرد. از محاسن این روش سادگی آن است. حلال تازه بطور مداوم در تماس با پودر گیاهی قرار می‌گیرد. استفاده از

³ Ultrasound assisted extraction

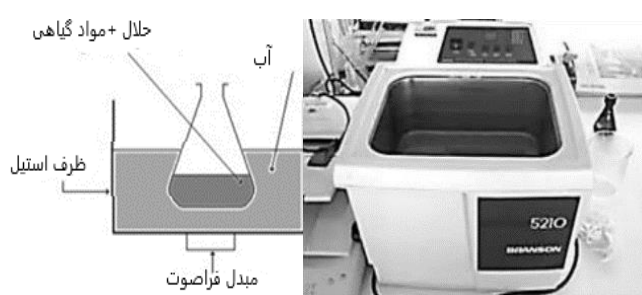
⁴ Cavitation

¹ Percolation

² Soxhlet



ب) سیستم میله‌ای فراصوت



شکل ۵- الف) سیستم حمام فراصوت

وقتی که یک موج صوتی از میان یک محیط الاستیک عبور می‌کند، باعث جابجایی طولی ذرات شده، به عنوان یک پیستون در سطح محیط عمل کرده که در نتیجه یک توالی مراحل انقباض و انبساط صورت می‌گیرد. در این حالت بطور موقت مولکول‌ها از جایگاه اصلی خود جدا شده و به عنوان موج صوتی عبور می‌کنند که می‌توانند با مولکول‌های اطراف برخورد نموده سپس در طی مرحله انبساط، اولین گروه از مولکول‌ها به عقب سمت موقعیت اصلی خود کشیده و انرژی جنبشی آن‌ها را بیشتر به عقب می‌کشد. بنابراین، مناطق انبساطی در محیط ایجاد می‌شود و از آنجا که هر محیط فاصله مولکولی بحرانی دارد، هنگامی که این فاصله بیش از حد شود، فعل و انفعالات مولکولی شکسته شده و حفره‌ها در مایع ایجاد می‌شوند. حفره‌های ایجاد شده در محیط، حباب‌های حفره سازی ناشی از فراصوت بوده که قادر به رشد در طول مراحل انبساط و کاهش اندازه در چرخه‌های انقباض می‌باشند. هنگامی که اندازه این حباب‌ها به یک نقطه بحرانی برسد، آنها در طول چرخه انقباض متلاشی شده و مقدار زیادی انرژی آزاد می‌شود. دما و فشار در لحظه متلاشی شدن تا ۵۰۰۰ کلوین و ۵۰۰۰ اتمسفر در حمام فراصوت در دمای اتاق تخمین زده می‌شود، ایجاد این نقاط داغ می‌تواند بطور چشمگیری واکنش‌های شیمیایی را در محیط تسریع کند. وقتی این حباب‌ها روی سطح مواد جامد متلاشی شوند، فشار و دمای بالای آزاد شده بطور مستقیم میکروجت‌ها و امواج شوک را در سطح جامد تولید می‌کند. اصابت این میکروجت‌ها به سطح باعث سایش، شکستگی و تخریب آن می‌شود. امواج فراصوت، مراحل فرآیند استخراج ترکیبات گیاهی، یعنی تورم بافت به منظور جذب حلال و نیز خروج ترکیبات بافت به حلال را از طریق ایجاد تخلخل و منافذ در دیواره سلول‌ها بهبود می‌بخشد و انتقال جرم را تسهیل و تسریع می‌کند. حباب ناشی از حفره سازی، نزدیک به سطح مواد گیاهی در طول چرخه انقباض متلاشی می‌شود و میکروجت را بطور مستقیم به سطح وارد می‌کند. فشار و دمای بالای به کار گرفته شده در این فرآیند، دیواره‌های سلولی بستر گیاهی را پاره کرده و محتوای آنها را در محیط آزاد خواهد کرد. برخلاف شیوه‌های مرسوم، امواج صوتی باعث تخریب دیواره سلولی در یک مدت زمان کوتاه شده و عصاره گیاهی در طول دیواره سلولی انتشار می‌یابد. مشخصات گیاهی مثل میزان رطوبت، اندازه‌ی ذرات و نوع حلال مورد استفاده، به منظور بدست آوردن استخراج کارآمد و موثر مهم هستند. به علاوه عوامل زیادی شامل فرکانس، فشار، دما و زمان، کارکرد امواج صوتی را تحت تاثیر قرار می‌دهند [۱۳].

از مزایای استخراج به کمک امواج فراصوت، افزایش قطبیت سیستم شامل (استخراج کننده، آنالیت‌ها و بستر) و افزایش بازدهی استخراج با حفره‌زایی است که می‌تواند مشابه یا بزرگ‌تر نسبت به استخراج سوکسله باشد. استخراج با کمک امواج فراصوت امکان افزودن یک استخراج کننده کمکی را فراهم می‌سازد و موجب افزایش قطبیت فاز مایع می‌شود. فراصوت می‌تواند دمای عملیاتی را کاهش دهد و امکان استخراج ترکیبات حساس به حرارت را فراهم سازد که تحت شرایط عملیاتی

استخراج سوکسله تغییر می‌کند. زمان استخراج نسبت به استخراج سوکسله کوتاه‌تر است. از مزایای استخراج با کمک امواج فراصوت نسبت به استخراج با کمک امواج ریزموج می‌توان به سریع‌تر و ساده‌تر بودن این روش اشاره کرد. بطوریکه عملیات کمتری درگیر آن بوده و در نتیجه آلودگی آن کمتر است. در جذب اسید، روش فراصوت نسبت به ریزموج ایمن‌تر است، بطوریکه با دما و فشار کم‌تری انجام پذیر است. استخراج با کمک امواج فراصوت نسبت به استخراج سیال فوق بحرانی تجهیزات بسیار ساده‌تری را نیاز دارد. بنابراین هزینه کل فرآیند استخراج بسیار پایین‌تر است. استخراج با کمک فراصوت می‌تواند با هر حلالی برای استخراج بسیاری از ترکیبات طبیعی استفاده شود. از طرف دیگر، استخراج با سیال فوق بحرانی به طور انحصاری از CO₂ برای استخراج استفاده می‌کند، بنابراین دامنه آن به آنالیت‌های غیرقطبی محدود است. از معایب استخراج به کمک امواج فراصوت نسبت به روش سوکسله، عدم تجدیدپذیری حلال در سیستم‌های ناپیوسته در طول فرآیند است. بنابراین بازده آن تابعی از ضریب توزیع است. از طرف دیگر شستشو و صاف کردن بعد از استخراج نسبت به زمان کل فرآیند طولانی است و مصرف حلال را افزایش داده و احتمال اتلاف و یا آلودگی عصاره در طول جابجایی وجود دارد. استخراج سوکسله تکرارپذیرتر است. به طور معمول، استخراج به کمک امواج فراصوت نسبت به استخراج توسط امواج ریزموج ضعیف‌تر بوده، بطوریکه سطح میله فراصوت می‌تواند بازده استخراج را تغییر دهد. اندازه ذرات، یک عامل مهم در کاربردها به کمک فراصوت است. روش استخراج با سیال فوق بحرانی ساده‌تر و سریع‌تر نسبت به برخی روش‌های فراصوت حلال مایع است. برخلاف برخی از حلال‌های استفاده شده برای فراصوت مانند سیکلوهگزان، تتراهیدروفوران و مخلوط‌های دوتایی مانند دی کلرومتان و استن، CO₂ فوق بحرانی برای محیط خطرناک نیست. به طور معمول روش‌های SFE نسبت به استخراج با کمک فراصوت دقت بیشتری دارند که احتمالاً به دلیل استفاده آنها از حمام به جای سیستم نوع پروب است [۱۴، ۱۳].

۴-۶- روش استخراج همراه با امواج ریزموج (MAE)

استخراج با حلال به کمک ریزموج برای اولین بار در استخراج مواد موثره از مرکبات، گیاهان معطر و غلات مورد استفاده قرار گرفت. این روش در سال ۱۹۹۰ به‌عنوان فرآیند استخراج با حلال کمک شده با امواج ریزموج اختراع شد. این امواج تابش‌های الکترومغناطیسی با فرکانس ۳۰۰-۰/۳ گیگاهرتز هستند. استخراج با کمک امواج ریزموج براساس جذب انرژی ریزموج توسط مولکول‌های قطبی ترکیبات شیمیایی است. انرژی جذب شده با ثابت دی‌الکتریک جسم متناسب است، که موجب چرخش دوقطبی در میدان الکتریکی (معمولاً ۴۵/۲ گیگاهرتز) می‌شود. استخراج در دمای بین ۱۵۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. حلال گرم امکان استخراج سریع آنالیت‌های پایدار حرارتی را فراهم می‌سازد. بازده

¹ Microwave assisted extraction

ایزومری شدن یا تخریب ترکیب در پی داشته باشد که به صافی یا نیروی گریز از مرکز برای حذف جامد باقیمانده در طول فرآیند نیاز است [۱۳] پیشرفت‌های متفاوتی در زمینه روش‌های استخراج با امواج ریزموج مانند استخراج با حلال به کمک امواج ریزموج، تقطیر با آب به کمک امواج ریزموج تحت خلاء، تقطیر با آب به کمک امواج ریزموج، استخراج با فشار هوا به کمک امواج ریزموج، استخراج به کمک امواج ریزموج بدون حلال، استخراج به کمک نفوذ خشک ریزموج، تراوش و گرانش انجام شده است [۱۷-۱۴].

۴-۷- استخراج با استفاده از سیستم‌های غشایی

غشاها برای جداسازی گونه‌های مختلفی از مواد در حالات جامد، مایع و گاز توسعه یافته‌اند. با اینکه روش جداسازی با غشاها نسبت به روش‌های دیگری چون تقطیر، جذب سطحی، بلوری شدن و استخراج مایع - مایع جدیدتر است ولی با توجه به کارایی و سهولت استفاده طی دو دهه اخیر، گسترش چشمگیری در استفاده از آن مشاهده شده است. امروزه جداسازی غشایی در بسیاری از صنایع مانند صنایع دارویی، زیست فناوری، صنایع غذایی، پتروشیمی، پالایش، نساجی، کاغذسازی، خودروسازی، تصفیه آب و فاضلاب و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. غشا به عنوان یک فاز که اجزای خوراک بطور انتخابی از آن عبور می‌کنند، تعریف می‌گردد. به عبارت بهتر، غشا به صورت فازی که اجزای جداشونده خوراک با سرعت‌های متفاوت از آن عبور می‌کنند، عمل می‌نماید. در این روش، معمولاً تغییر فازی صورت نمی‌گیرد و محصولات نیز در همدیگر قابل امتزاج هستند. در فرآیندهای غشایی، جزئی از خوراک که از غشا عبور می‌کند به نام تراوش کرده و بخشی که نتواند از غشا عبور کند، نگه داشته شده، نامیده می‌شود که بر اساس هدف جداسازی، هر کدام از آنها می‌توانند به عنوان محصول در نظر گرفته شوند. در حالت کلی، روش‌های غشایی در مواقعی که غلظت مواد کم باشد، کارایی بسیار زیادی دارند. نیروی محرکه لازم در فرآیندهای غشایی می‌تواند به صورت اختلاف غلظت، فشار، دما و پتانسیل الکتریکی باشد. ساده‌ترین نوع غشاها براساس اختلاف اندازه ذرات عمل می‌کنند که از این نظر مشابه صافی‌ها هستند ولی غشاها از لحاظ اندازه‌ی منافذ و توزیع اندازه آنها و نیز نحوه‌ی جریان، با صافی‌ها تفاوت دارند. کارایی غشاها با دوشخصه تعیین می‌گردند که شامل دبی عبور کرده از غشا و گزینش پذیری غشاها است. فرآیندهای غشایی با داشتن مزایایی چون کاهش مصرف انرژی به دلیل عدم تغییر فاز، حجم کم و عدم نیاز به فضای زیاد، تنوع در شکل و اندازه، افت فشار کم و انتقال جرم زیاد، بالا بودن بازده جداسازی برای محلول‌های رقیق، نیاز کم به مواد افزودنی و حلال‌ها، ساده بودن طراحی غشاها و سهولت کاربرد آنها در مقیاس‌های صنعتی و همچنین به دلیل اینکه دوست‌دار محیط‌زیست هستند، از سایر روش‌های جداسازی متمایز شده‌اند. با این حال این روش معایبی از قبیل قطبش غلظتی و گرفتگی غشاها، طول عمر کوتاه غشا، انتخاب‌پذیری و دبی کم عبوری از غشاها و هزینه بالای ساخت را دارد [۱۹، ۱۸].

استخراج با کمک امواج ریزموج به خواص و حجم حلال، نسبت حجم حلال به ماده استخراجی، توان امواج ریزموج، مدت زمان پرتودهی، اندازه ذرات وضعیت ماده گیاهی و به خصوص ثابت دی الکتریک نسبی وابسته است. برای MAE از ظرف شفاف ریزموج و حلال با ثابت دی الکتریک بالا استفاده می‌شود که بیشترین امواج ریزموج را جذب می‌کند. در ثابت دی الکتریک‌های بالاتر، انرژی بیشتری توسط مولکول‌ها جذب شده و حلال سریع‌تر به نقطه جوش می‌رسد. بنابراین افزایش دما و فشار، استخراج ترکیبات از گیاهان را آسان می‌سازد. همچنین می‌توان حلال‌هایی با ثابت دی الکتریک پایین را در فشار اتمسفر ۱ استفاده نمود. در این صورت، استخراج در ظروف باز انجام می‌شود، به همین دلیل حلال مقدار کمی از انرژی را جذب می‌کند. بستر نمونه گرم شده و آنالیت‌ها به یک حلال خنک‌کننده انتقال می‌یابند. این روش برای استخراج آنالیت‌های ناپایدار حرارتی کم قطبی بکار می‌رود. بطور معمول، مواد گیاهی در یک حلال ریزموج غیرجاذب مانند هگزان، غوطه‌ور شده و تحت تابش انرژی ریزموج قرار می‌گیرند. هرچند در بیشتر موارد از مواد گیاهی خشک برای استخراج استفاده می‌شود، اما هنوز سلول‌های گیاهی با مقادیر میکروسکوپی رطوبت همراه هستند که به عنوان هدف برای حرارت دهی امواج ریزموج بکار برده می‌شوند. رطوبت، زمانی که در معرض تنش‌های حرارتی زیاد، فشار بالای موضعی و گرمایش ریزموج قرار می‌گیرد، درون سلول‌های گیاهی حرارت دیده و تبخیر می‌شود و به دلیل تورم سلول گیاهی روی دیواره سلولی، فشار بسیار زیادی را تولید می‌کند. فشار، دیواره سلولی را از درون تحت فشار قرار داده و سرانجام باعث پارگی آن‌ها با سرعت بیشتری نسبت به استخراج مرسوم می‌شود، که تراوش اجزای فعال را از سلول‌های تخریب شده به حلال احاطه کننده تسهیل کرده و از این رو بازدهی استخراج اجزای گیاهی را بهبود می‌بخشد. دماهای بالای حاصل شده با پرتودهی امواج ریزموج می‌توانند هر پیوندی از سلولز را که جزء اصلی دیواره سلولی است، آبکافت نموده و در عوض، طی چند دقیقه آن را به اجزای محلول تبدیل نمایند. دماهای بالایی که در دیواره‌های سلولی در طی استخراج با امواج ریزموج به دست می‌آیند، از دست دادن آب سلولز را افزایش و قدرت مکانیکی آن را کاهش می‌دهند و این پدیده به دسترسی آسان حلال به ترکیبات درون سلول کمک می‌کند [۱۷، ۱۳].

بعضی از مزایای اصلی استخراج با کمک امواج ریزموج برای استخراج محصول از مواد گیاهی نسبت به روش‌های سنتی شامل زمان استخراج کوتاه‌تر، کاهش اندازه دستگاه استخراج، انتقال انرژی سریع‌تر، کاهش گرادیان حرارتی، کنترل آسان، گرمایش نمونه، کاهش میزان حلال مصرفی، بهبود بازدهی استخراج، انجام فرآیند به صورت خودکار، ایجاد تلاطم در طی استخراج، سادگی انجام فرآیند و هزینه کم می‌باشد. از معایب این روش، این است که کارایی امواج ریزموج زمانی که ترکیبات هدف و حلال غیرقطبی باشند و یا زمانی که آنها فرار باشند، بسیار کم و ضعیف است. بنابراین، هنگام بکارگیری برای استخراج آنالیت‌های غیرقطبی از مواد غیرقطبی، به استفاده از حلال‌هایی با گشتاور دوقطبی بزرگتر از صفر نیاز است. استفاده از انرژی‌های ریزموج بالا ممکن است

۵- حلال‌های مورد استفاده برای استخراج برخی ترکیبات فعال گیاهی

برای استخراج ترکیبات موثره گیاهی باتوجه به اینکه ماده مورد استخراج چه ساختاری دارد و میزان قطبیت آن چقدر می‌باشد انتخاب حلال صورت می‌گیرد. که در این میان برخی حلال‌های معمول که بیش از بقی حلال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد به شرح زیر آورده شده است [۱۴، ۱۰].

آنچه که از جدول شماره ۱ استنتاج می‌شود، بهترین حلال‌های آلی برای استخراج ماده رنگزا از گیاه اسپرک، اتانل، متانل، کلروفرم و استون می‌باشد و حلال‌های اسیدی نظیر اسید استیک، اسید فرمیک و اسید کلریدریک نیز شرایط خوبی را برای افزایش بازده استخراج ایجاد می‌نمایند

۶- جداسازی و شناسایی

۱-۶- روش‌های کروماتوگرافی و طیف‌سنجی

این روش‌ها شامل کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا^۱ (HPLC)، کروماتوگرافی لایه نازک با کارایی بالا^۲ (HPTLC)، کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی^۳ (GC-MS) و فرابنفش-مرئی (UV-VIS) بوده که در شناسایی گیاه خام براساس مواد موثره عمده آنها و تعیین مقدار این ترکیبات بصورت کمی استفاده می‌شوند. با استفاده از این روش‌ها می‌توان به ترکیب ثابتی در آماده سازی محصولات گیاهی دست یافت. روش UV-VIS ساده و سریع است، اما تنها برای ترکیباتی که در این

¹ High Performance Liquid Chromatography

² High Performance Thin Layer Chromatography

³ Gas Chromatography- Mass Spectrophotometry

جدول ۱- حلال‌های آلی مصرفی برای استخراج ترکیبات گیاهی [۸].

آب	متانل	اتانل	استون	کلروفرم	اتیل استات	دی اتیل اتر
آنتوسیانین	آنتوسیانین	تانن، پلی فنل	فنل	ترپنوتید		
منوساکارید	سایونین	پلی استیلین	فلانول	فلاونوتید، ژنین		آلکالوئید
دی ساکارید	تانن	فلانول		آلکالوئید		
تانن، سایونین	کواآزینوتید	ترپنوتید، استرول	تانن	اسانس، ژنین	فلاونوتید	ترپنوتید
پپتید، صمغ	فلاون، فنون	آلکالوئید، رزین	دی ترپن	آنتراکینون	چالکون	کومارین
اسید آمینه	پلی فنل	اسانس	آنتراکینون	گلوکوزاینولات	استیلین	اسید چرب
هیدروکلوتید	لاکتون	گلیکوزید	بنزوکینون	کانابینوتید	ویتانولید	روغن
آلکالوئید	تریترپنوتید	کرومون، کوارین	نفوکینون	ویتانولید		کاروتنوتید
اسید آلی	-گلیکوزید	سیانوژنتیک	لیگنین	استروئید-آلکالوئید		
سیانوژنتیک	رزین	-گلیکوزید		لیگنان		

جدول ۲- اجزای رنگی استخراج شده از اسپرک [۹ و ۶].

لوتلین-۳، دی گلیکوساید	لوتلین، ۷- دی گلیکوساید	لوتلین
لوتلین-۵، دی گلیکوساید	لوتلین-۳، ۷- دی گلیکوساید	آپیچنین
لوتلین-۴، دی گلیکوساید	لوتلین-۴، ۵- دی گلیکوساید	

ناحیه جذب دارند، کاربرد دارد. روش HPLC برای آنالیز کمی ترکیبات پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. جداسازی ترکیبات فرار مانند روغن‌های فرار توسط روش کروماتوگرافی گازی GC و GC-MS بهتر صورت می‌گیرد [۱۸، ۱۵، ۱۶].

۶-۲- کروماتوگرافی اثر انگشت

کروماتوگرافی اثر انگشت به عنوان یک روش شناسایی جامع برای اندازه‌گیری کمی و نشان دادن اطلاعات شیمیایی داروهای گیاهی توسط کروماتوگرام و اسپکتروگرام با روش‌های تجزیه‌ای به کار می‌رود و علاوه بر نشان دادن اجزای عمده مورد نظر و مواد موثره، نسبت شیمیایی ترکیبات را نیز در اختیار می‌گذارد. در واقع این روش یک الگوی کروماتوگرافی از ترکیبات فعال دارویی و یا اجزای شیمیایی موجود در عصاره در اختیار قرار می‌دهد. کروماتوگرافی اثر انگشت می‌تواند تشابه و تفاوت‌های بین نمونه‌های مختلف را نشان دهد. روش‌های TLC و HPLC روش‌های مرسوم کروماتوگرافی اثر انگشت هستند [۱۸، ۱۶].

۷- پیشینه پژوهش

وارسته و همکارانش با استفاده از روش خیساندن ترکیبات فلاونوتید را از گیاهان جداسازی کردند [۱۰]. در یک کار تحقیقاتی استخراج ماده رنگزای طبیعی اسپرک به روش‌های ساده و بهره‌گیری از حلال‌ها جهت رنگرزی پشم مورد مطالعه قرار گرفته است. ماده رنگزای طبیعی اسپرک به کمک حلال‌های مختلف نظیر آب، متانل، اتانل، آب-اتانل و آب-متانل استخراج گردید. اجزای رنگی استخراج شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

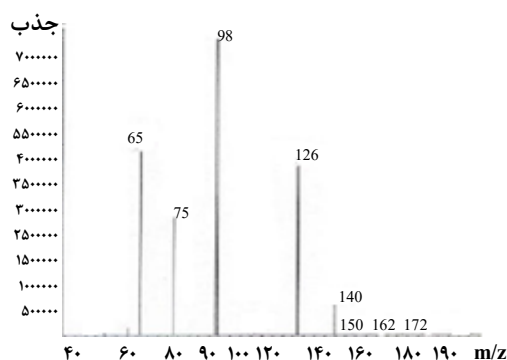
لیتر آب مقطر استخراج شده و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۴۰ دقیقه، توان فراصوت ۷۳٪ و pH=۱۱ به عنوان شرایط بهینه معین گردید. وی میزان جذب محلول حاوی ماده رنگزا را ۰/۵۵ و بازده جداسازی برابر با ۸۷/۱۴٪ بدست آورد که از ۱/۴ گرم پودر گیاه اسپرک، میزان ۱/۲۲ گرم عصاره و از این میزان عصاره، ۱/۰۳ گرم پودر حاوی ماده رنگزا بدست آورد. طیف جذبی آن در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. ماده رنگزای استخراج شده از گیاه نیز توسط دستگاه GC-MS مورد شناسایی قرار گرفت. تصویر آن در شکل شماره ۷ نشان داده شده است. علاوه بر آن، مقایسه نتایج استخراج به کمک حلال و روش فراصوت نشان داد که نه تنها استفاده از روش فراصوت موجب افزایش بازده استخراج می‌شود بلکه بکارگیری این فناوری زمان استخراج را نیز کاهش می‌دهد [۴].

در پژوهش ذکر شده، باتوجه به تاثیر عوامل مختلف در میزان استخراج، از روش طراحی آزمایش به روش رویه پاسخ RSM استفاده شده است. زیرا بهینه سازی فرایندها به روش سنتی معایب زیادی دارد. از جمله این عیوب تعداد نمونه، صرف زمان طولانی و هزینه بالای مواد اولیه می‌باشد. همچنین، در مطالعات تک عاملی فرایندها، اثرات متقابل متغیرها در نظر گرفته نمی‌شود و نتایج بدست آمده به عنوان نتایج بهینه قابل اعتماد نیستند. در این میان، نشان داده شد که روش رویه پاسخ به عنوان روشی قابل قبول در مقایسه با شیوه‌های سنتی مدل سازی می‌باشد. در این پژوهش برای اولین بار، ماده رنگزای اسپرک با استفاده از امواج فراصوت استخراج شده و فرآیند استخراج با بکارگیری روش رویه پاسخ که در شکل ۸ نشان داده شده، بهینه گردید. پس از اتمام فرآیند استخراج، محلول رنگی بدست آمده تبدیل به عصاره غلیظ شده و سپس پودر گردید و بازده استخراج نیز محاسبه شد. همچنین با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی MS-GC ماده رنگزای موجود در عصاره گیاه نیز شناسایی شد [۴]. در بهینه نمودن شرایط استخراج باید به تاثیر توان عواملی نظیر دما، زمان، فام رنگی ماده رنگزای استخراج شده و در نهایت هزینه توجه کافی داشت. دیواغلو و همکارانش [۱۴] در مقاله مروری خود بهترین حلال برای جداسازی و استخراج لوتئولین از گیاه اسپرک را متانل ذکر کرده‌اند. با استفاده از این حلال مقدار ۸/۶ گرم ماده رنگزا به ازای هر یک کیلوگرم گیاه اسپرک حاصل می‌شود.

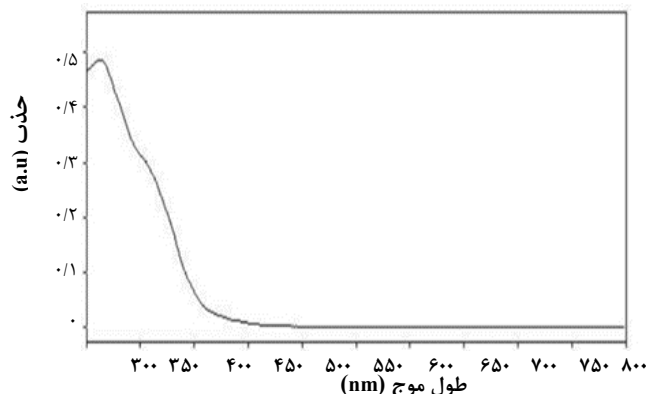
سپس نخ پشمی با ماده رنگزای استخراج شده در این تحقیق، رنگرزی گردید. رفتار جذبی ماده رنگزای طبیعی اسپرک با استفاده از عوامل رنگی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر برتری روش استخراج با حلال نسبت به روش معمولی می‌باشد [۱۹، ۲۰]. در این تحقیق استخراج رنگزا از گیاه اسپرک به روش سوکسله توسط حلال‌های اتانل و کلروفرم و ترکیب آنها انجام گرفت و سپس اجزای رنگی توسط روش‌های کروماتوگرافی ستونی لایه نازک (TLC)، (NMR)، (IR) و جرم مشخص گردید. نتایج نشان داد تعداد ۸ جزء رنگی در این گیاه وجود دارد که مهم‌ترین آن لوتئولین^۱ و گلوکوزیدهای آن واپیجنین می‌باشد. میزان رمق‌کشی برای رنگ استخراج شده از اسپرک در مقایسه با رنگ خام گیاه اسپرک ۴۹ درصد افزایش داشته است و این به نوبه خود باعث صرفه‌جویی در استفاده از رنگزا می‌شود. از طرف دیگر در مقایسه‌ای بین نتایج رنگرزی اعم از ثبات‌های عمومی و نیز خواص رنگی نمونه‌ها و نمونه‌های رنگرزی شده با یک ماده رنگزای شیمیایی و نیز با توجه به آسیب‌های مواد رنگزای شیمیایی به محیط‌زیست و انسان، رنگزای استخراجی از اسپرک جایگزین خوبی برای ماده رنگزای مصنوعی زرد برآورد گردید [۲۰].

حسین‌نژاد و همکارانش پس از استخراج پودر ماده رنگزا از گیاه اسپرک به روش سوکسله، از دندانه‌های گیاهی برای رنگرزی کالای پشمی استفاده کردند. نتایج آزمایشات نشان داد استفاده از دندانه گیاهی نتایج بهتری را در مقایسه با دندانه‌های معدنی ایجاد می‌کند [۲۱]. آیینه‌چی در پایان‌نامه خود [۴] بهینه‌سازی استخراج مواد رنگزا از گیاه اسپرک به روش فراصوت را مورد بررسی قرار داد. سپس بازده این روش با استخراج به روش سنتی با حلال و هم‌زن مغناطیسی مقایسه شد. نتایج نشان داد روش فراصوت بازده بسیار بهتری دارد. وی مواد رنگزای موجود در گیاه اسپرک را با استفاده از انرژی فراصوت استخراج و سپس با تغلیظ عصاره، تبدیل به پودر نمود. عوامل موثر بر بازده استخراج با استفاده از طراحی آزمایش به روش رویه پاسخ بهینه‌سازی شده و تاثیر متغیرهای دما، زمان، توان فراصوت و pH حمام با استفاده از طرح مرکب مرکزی CCD مورد بررسی قرار گرفت. میزان ۰/۱ گرم پودر گیاه اسپرک در ۱۰۰ میلی

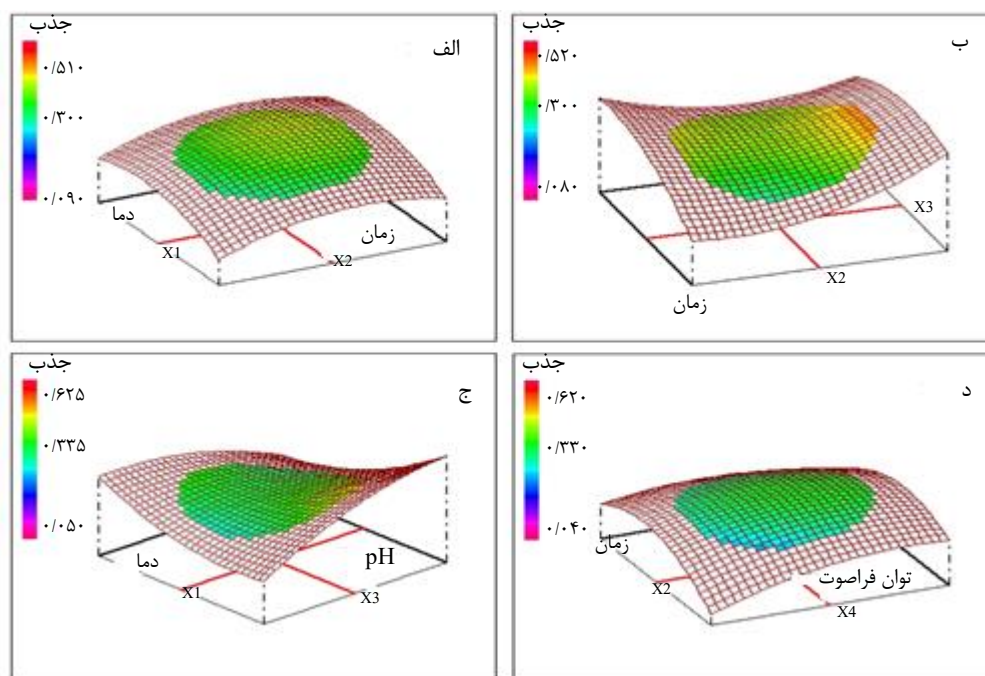
^۱ Luteolin



شکل ۷- کروماتوگرام عصاره گیاه اسپرک توسط GC-MS [۴].



شکل ۶- نمودار جذب محلول حاوی ۰/۱ گرم ماده رنگزا در ۱۰۰ ml آب مقطر [۴].



شکل ۸- الف) نمودار ۳ بعدی (زمان-دما)، $pH=4$ و توان فراصوت ۷۰٪، ب) نمودار ۳ بعدی (pH-زمان)، دما $40^{\circ}C$ و توان فراصوت ۷۰٪، ج) نمودار ۳ بعدی (pH-دما)، زمان ۴۰ دقیقه و توان فراصوت ۷۰٪، د) نمودار ۳ بعدی (توان فراصوت-زمان)، دما $40^{\circ}C$ و $pH=4$ [۴].

نمودند. در تمام روش‌های منتخب به عنوان روش بهینه استخراج، بازده وزنی استخراج کمتر از ۷۰ درصد بود اما در رنگ‌ریزی با غلظت ۳۰ درصد از پودر ماده رنگزای استخراج شده، عمق رنگی حاصله پر رنگ تر از نمونه‌ی رنگ‌ریزی شده با ۱۰۰ درصد گیاه اسپرک بود [۲۲]. در جدول شماره ۵ حلال‌های مورد استفاده در هر روش استخراج ذکر شده است. از لحاظ شکل ظاهری پودرهای استخراج شده می‌توان گفت نمونه‌هایی که با حلال آبی استخراج شده اند بازده استخراج بهتری دارند و رنگ زرد شفاف‌تری دارند و نمونه‌هایی که با حلال آلی استخراج شده اند، کمی کدرتر شده بود. البته سنجش و مقایسه پودرهای استخراجی فقط به لحاظ وزن پودر و شفافیت و زردی پودرها، کار اشتباهی است چرا که امکان دارد خلوص رنگزای استخراجی در حضور حلال آلی بیشتر باشد و همین دلیل کدر بودن پودر رنگزا استخراجی باشد و به طور کلی نتایج پژوهش فوق نشان داد: ماده رنگزای استخراج شده بوسیله دستگاه سوکسله به کمک حلال ترکیبی آب و متانل بهترین نتیجه را داد و نمونه بعدی بوسیله دستگاه فراصوت در حضور زاج سفید و اسید استیک بود. نمونه منتخب سوم بوسیله دستگاه ریزموج با حلال ترکیبی آب و متانل استخراج شد. بعد از آن نمونه استخراج شده در سوکسله بوسیله آب و نمونه منتخب آخر به روش جوشاندن در حضور زاج سفید و اسید استیک استخراج شده بود. در پژوهش‌های انجام شده روش‌های سنتی در کنار فراصوت، ریزموج و سوکسله برای استخراج رنگزا از گیاه اسپرک مورد مطالعه قرار گرفته بودند و سایر روش‌های استخراج که در بخش پیشین به آن‌ها اشاره شد برای اسپرک هنوز مورد پژوهش قرار نگرفته‌اند. طیف جذبی نخ رنگ‌ریزی شده با ماده رنگزای استخراجی از گیاه اسپرک در شکل شماره ۹ نشان داده شده است

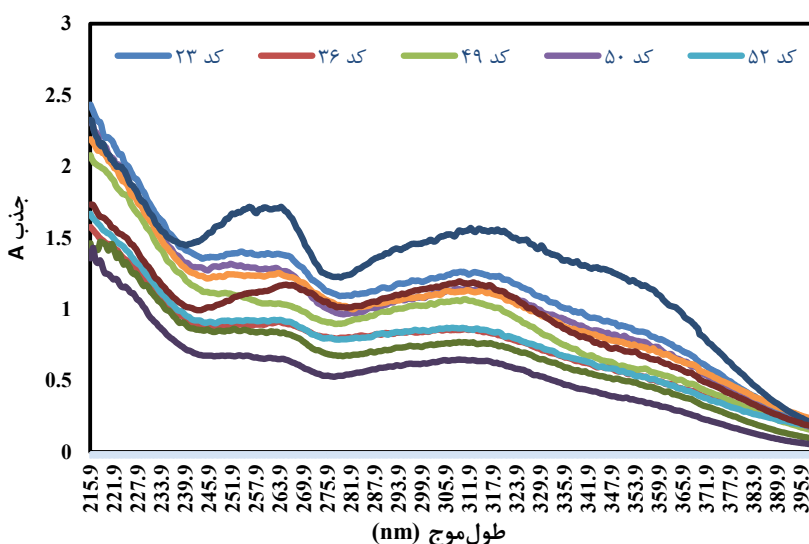
شاهدهی در پایان‌نامه خود [۲۲]، استخراج ماده رنگزای موجود در گیاه اسپرک را به روش‌های سنتی از قبیل جوشاندن، خیساندن و دم‌گذاری^۱ و نیز سوکسله و روش‌های مدرنی چون ریزموج و فراصوت در حلال‌های آب، متانل و اتانل در شرایط مختلف pH محیط استخراج انجام داد. در این پژوهش پس از استخراج پودر ماده رنگزا از گیاه اسپرک به روش‌های مختلف علاوه بر طیف‌سنجی محلول رنگی حاصله از پودر استخراج شده در ناحیه مرئی (UV-visible)، کالای پشمی رنگ‌ریزی شده با مقادیر مختلف از ماده رنگزای استخراجی به روش پیش دندانه نیز به وسیله طیف‌سنجی انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام آزمایشات طیف‌سنجی، مقادیر رنگی و ثبات‌های عمومی کالای پشمی رنگ‌ریزی شده نیز اندازه‌گیری شدند.

در این پژوهش ۵ نمونه برتر معرفی شدند، نمونه‌ی منتخب اول به‌وسیله دستگاه سوکسله به کمک حلال ترکیبی آب و متانل (طبق نسخه)، نمونه بعدی بوسیله دستگاه فراصوت در حضور زاج سفید و اسید استیک (طبق نسخه)، نمونه منتخب سوم به‌وسیله دستگاه ریزموج با حلال ترکیبی آب و متانل (طبق نسخه) استخراج شده است. نمونه بعدی به‌وسیله سوکسله با حلال آب (طبق نسخه) استخراج شده و نمونه منتخب آخر به روش جوشاندن در حضور زاج سفید و اسید استیک (طبق نسخه) استخراج گردیده است. باتوجه به نتایج نزدیک به هم این ۵ نمونه در آزمون‌های مختلف، می‌توان در شرایط مختلف از هریک از آنها استفاده نمود. اما باتوجه به کوتاه‌تر بودن زمان استخراج و نیز استفاده از آب به‌عنوان حلالی ساده، ارزان و در دسترس و نیز غیرسمی بودن، نمونه برتر در این پژوهش را نمونه‌ای که به روش فراصوت استخراج شده بود، معرفی

¹ Infusion

جدول ۵- حلال‌های مورد استفاده در هر روش استخراج همراه با بازده حاصل شده [۲۲].

روش استخراج	حلال / حلال‌های مناسب	مزایا / معایب	بازده (%)
جوشاندن	آب + اسید سولفوریک	طولانی بودن زمان استخراج، عدم امکان استفاده از حلال‌های آلی، بازده پایین استخراج/ مقرون به صرفه بودن	۶۴
خیساندن در دمای محیط	آب	طولانی بودن زمان استخراج، عدم امکان استفاده از حلال‌های آلی، پایین بودن بازده استخراج/ مقرون به صرفه بودن	۵۱
دم‌گذاری	آب	طولانی بودن زمان استخراج، عدم امکان استفاده از حلال‌های آلی/ مقرون به صرفه بودن	۴۹/۸
سوکسله	آب و آب + متانل	افزایش زمان استخراج و افزایش مصرف انرژی و حلال، امکان استفاده از حلال‌های آلی و معدنی، احتمال تخریب ساختار رنگزا	۵۷/۸
فراصوت	آب + اسید استیک	کاهش زمان استخراج و افزایش سرعت، امکان استفاده از حلال‌های آلی و معدنی/ گران بودن روش کنترل آسان، گرمایش نمونه، کاهش میزان حلال مصرفی، بهبود بازدهی استخراج، انجام فرآیند به صورت اتوماتیک، ایجاد تلاطم در طی استخراج، سادگی انجام فرآیند و هزینه کم، امکان استفاده از حلال‌های آلی و معدنی/ گران بودن تجهیزات	۵۶
ریزموج	آب + اسید استیک		۵۳/۸

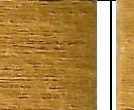
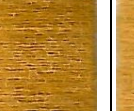
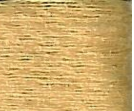


شکل ۹- نمودار طیف فرابنفش (UV-visible) محلول‌های رنگی منتخب [۲۲].

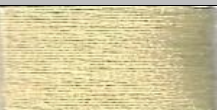
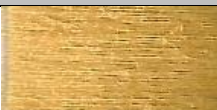
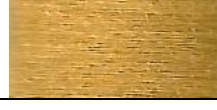
پودر ماده رنگزای استخراج شده به روش‌های مختلف، رنگریزی شدند و همچنین رنگ نمونه نخ‌های پشمی که با گیاه اسپرک مستقیماً رنگریزی شدند در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در پژوهشی از تقی زاده و همکاران [۱۸] از فرآیندهای غشایی به منظور تغلیظ و ساخت پودر ماده رنگزا از گیاه اسپرک استفاده شد. ایشان ابتدا شرایط استخراج مواد رنگزا را بهینه نمودند که برای آن غشای اولترافیلتراسیون با استفاده از الیاف اکریک توسط فرآیند وارونگی فازی، غشای نانوفیلتراسیون به روش پلیمری شدن بین سطحی بر روی غشای اولترافیلتراسیون و غشای اسمز معکوس نیز بصورت تجاری تهیه شد. صاف کردن و تغلیظ به چهار روش اولترافیلتراسیون/ اسمز معکوس (UF/RO)، اولترافیلتراسیون/ نانوفیلتراسیون (UF/NF)، اسمز معکوس (RO) و رسوب‌گیری با آلوم (Al) و سپس اولترافیلتراسیون انجام و به ترتیب ۰/۳، ۰/۲۶، ۰/۳۵، ۰/۰۶ گرم پودر رنگی به ازای یک گرم از گیاه خرد شده اسپرک بدست آمد.

نتایج پژوهش فوق نشان داد که بکارگیری روش‌های سوکسله و فراصوت بوسیله حلال ترکیبی آب- متانل به نسبت ۸۰ به ۲۰ با بازده ۵۸٪ نتایج بهتری از نظر بازده استخراج و کیفیت ماده رنگزا حاصل کرده است. استفاده از زاج سفید در حضور اسید استیک برای استخراج ماده رنگزا از گیاه اسپرک علاوه بر بالا بردن بازده استخراج سبب بالا رفتن کیفیت رنگریزی می‌شود. همچنین نتایج نشان داد استفاده از پودر رنگزای استخراجی از گیاه اسپرک به‌عنوان جایگزین گیاه اسپرک نه تنها بازده و کیفیت رنگریزی را افزایش می‌دهد بلکه می‌تواند فام‌های بسیار پرمایه‌تر در مقایسه با رنگریزی نخ پشمی با گیاه اسپرک را هم در دسترس قرار دهد [۲۲]. در این پژوهش استفاده از دندانه زاج سفید در حمام استخراج در حضور اسید استیک، بازده خوبی از استخراج حاصل نمود. خاصیت انعقاد کنندگی سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم در محیط اسیدی با pH حدود ۵ سبب ته نشین شدن رنگزای استخراج شده در حمام استخراج گردید. علاوه بر این رنگ محلول نسبت به سایر حمام‌های استخراج بسیار شفاف‌تر بود. رنگ نمونه نخ‌های پشمی که با

جدول ۶- نمونه‌های نخ پشمی رنگ‌رزی شده بادرصدهای مختلف از پودر ماده رنگ‌زای استخراج شده به روش‌های مختلف از گیاه اسپرک [۲۲].

نمونه	%۲	%۵	%۱۰	%۲۰	%۳۰	%۵۰
روش سوکسله						
روش سنتی / سود						
روش سنتی / اسید استیک						
روش ریزموج						
روش فراصوت						

جدول ۷- نمونه‌های پشمی رنگ‌رزی شده با گیاه اسپرک در درصدهای مختلف [۲۲].

درصد	عکس	درصد	عکس	درصد	عکس
%۲		%۳۰		%۷۰	
%۵		%۴۰		%۸۰	
%۱۰		%۵۰		%۹۰	
%۲۰		%۶۰		%۱۰۰	

لاکاز ترکیبی زیست سازگار با توانایی کاتالیزوری جهت شروع واکنش پیوند مواد رنگ‌زای طبیعی پلی فنولی آروماتیک با پشم است. از آنجا که اسپرک ماده رنگ‌زای طبیعی شامل ترکیبات پلی فنولی آروماتیک با ساختار فلاونوئیدی است که بر اساس این ویژگی لاکاز می‌تواند در فرآیند رنگ‌رزی آن کمک کند. در این تحقیق تاثیر لاکاز بر ترکیبات پلی فنولی اسپرک با هدف برقراری پیوند شیمیایی با لیف پشم بررسی شده است. بدین منظور عصاره‌ی اسپرک استخراج شده به روش جوشاندن در حلال آب- متانل به نسبت ۸۰:۲۰ تهیه و تاثیر لاکاز بر آن بر اساس کروماتوگرافی جداسازی اندازه، طیف‌سنجی جذبی و اندازه‌گیری اکسیژن محلول بررسی شده است. تصویر عصاره‌های استخراج شده در شکل ۱۰(الف) نشان داده شده است. عوامل سنتیک اکسیدشدن مواد رنگ‌زا در

سپس الیاف پشم با استفاده از پودر مواد رنگ‌زای استخراج شده رنگ‌رزی شدند و مشخصات و قدرت رنگی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی انعکاسی اندازه‌گیری و خواص ثباتی نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مشخصات رنگی نمونه‌ها نسبت به نمونه مرجع تغییراتی مانند کاهش در روشنایی و کاهش در تهرنگ زرد داشتند و قدرت رنگی نمونه‌ها نیز بسیار خوب بودند. نتایج حاصل از ثبات شستشویی نشان‌دهنده ثبات‌های متوسط تا خوب بودند. ثبات‌های سایشی و لکه‌گذاری نمونه‌ها نیز عالی بودند.

نصیری و همکارانش [۲۳] به تاثیر آنزیم لاکاز بر ویژگی‌های رنگی اسپرک استخراج شده از گیاه و استفاده از واکنش اکسیدشدن ترکیبات پلی فنولیک ماده رنگ‌زای اسپرک توسط لاکاز در رنگ‌رزی پشم پرداختند.

عامل موثر را تقویت می‌نماید [۲۳].

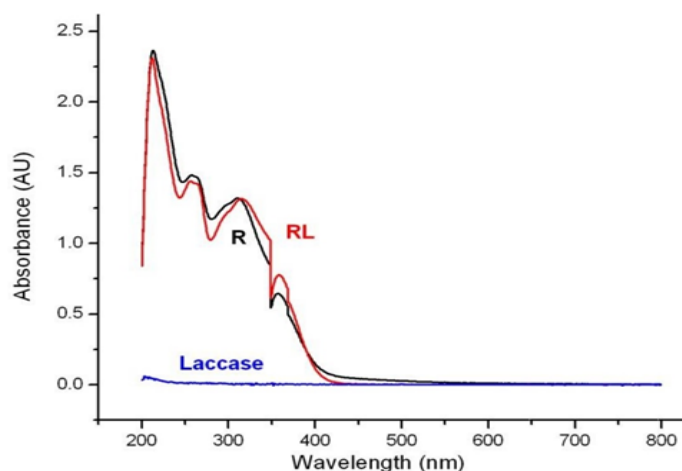
حسین نژاد و همکارانش [۲۴] استخراج ماده رنگزا از گیاه اسپرک را با روش فراصوت-ریز موج در محیط آبی انجام دادند. بازده وزنی استخراج برای گیاه اسپرک ۳۲ درصد گزارش شده است. برای رنگرزی با پودر ماده رنگزای حاصله، از پودر استخراج شده از گیاه تانن دار به عنوان دندانه طبیعی و روش رنگرزی دندانه رنگ هم‌زمان استفاده شد.

میرجلیلی و همکارانش نیز در تحقیق خود ماده رنگزای استخراج شده از گیاه اسپرک را برای رنگرزی کالای پشمی استفاده کردند. رنگرزی با کمک دندانه آلومینیم انجام شد به منظور ارزیابی بازده رنگرزی، هم‌زمان کالای پشمی با ماده رنگزای اسیدی نیز رنگرزی شد. همانطور که از داده‌های جدول ۹ نیز مشخص است، نتایج نشان داد که رنگرزی با اسپرک به روش پیش دندانه در حضور آلوم نتایج بهتری را نسبت به روش دندانه-رنگ هم‌زمان ایجاد می‌کند [۲۵].

نتایج تحقیقات فوق نشان داد که ثبات‌های عمومی رنگرزی کالای پشمی رنگرزی شده با اسپرک در مقایسه با نمونه رنگرزی شده با رنگزای مصنوعی اسیدی همانطور که در جدول شماره ۱۰ نشان داده شده است قابل قبول بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای رنگزاهای مصنوعی باشد. در یک مطالعه مروری که روی خواص آنتی باکتریال گیاهان رنگزا انجام گرفت، روش‌های استخراج یکی از عوامل مهم در کارایی و افزایش بازده خاصیت ضدباکتری معرفی شدند بطوری‌که روش استخراج اسانس‌های گیاهی می‌تواند بازده استخراج، درصد و نوع ترکیبات شیمیایی موجود در آن را تغییر دهد [۲۶].

حضور لاکاز محاسبه و سپس رنگرزی کالای عمل شده با اسپرک به کمک لاکاز بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان دادند که لاکاز ماده‌ای مناسب برای تغییر ساختار مواد رنگزای اسپرک است و سبب بهبود درصد تثبیت رنگ و ثبات شستشویی بین ماده رنگزا و پشم می‌شود. نتایج حاصل از تاثیر لاکاز در فرآیند استخراج در جدول ۸ نشان داده شده است.

در طیف جذبی ماده رنگزای اسپرک که در شکل ۱۰(ب) نشان داده شده، قله‌هایی در ۲۱۳، ۲۵۷، ۳۱۱، ۳۵۸ نانومتر مشاهده می‌شود. پس از عمل با لاکاز شدت جذب در محدوده ۳۹۰-۳۱۰ نانومتر بیشتر شده و شدت قله ۳۵۸ نانومتر افزایش یافته است که به دلیل بسپارش اکسیدشدنی پلی‌فنل‌ها به واسطه لاکاز می‌باشد. جفت شدن اکسیداسیونی منجر به ایجاد ترکیب‌های با وزن مولکولی زیاد می‌شود که به دلیل داشتن ساختارهای بزرگ مزدوج در طول زنجیر و جذب نور در محدوده ۴۰۰-۳۰۰ نانومتر پرنرنگ می‌باشند. رنگ محلول استخراجی پس از عمل با لاکاز از زرد به قهوه‌ای تغییر کرده که نشان‌دهنده تشکیل رنگدانه‌های رنگی در اثر جفت شدن اکسیدشدنی است. این واکنش‌ها در بیوسنتز لیگنین، تانن‌ها و ملانین‌ها گزارش شده اند. ماده رنگزای اسپرک به دلیل داشتن ترکیبات پلی فنلی پیش ماده مناسبی برای اکسیداسیون کاتالیزور شده با لاکاز است که با واکنش با آن پرنرنگ شده و وزن مولکولی آن افزایش می‌یابد. عمل نمودن کالای رنگرزی شده با اسپرک در محلول آنزیم لاکاز استفاده از آن سبب افزایش قدرت رنگی، درصد تثبیت رنگ و ثبات شستشویی شده است. نتایج حاصل شده احتمال ایجاد پیوند کووالانس بین ماده رنگزا و پشم در اثر وجود لاکاز به عنوان



شکل ۱۰- الف) تصویر سمت راست محلول رنگی از گیاه اسپرک (R) و ب) طیف جذبی اسپرک (R) اسپرک عمل شده و اسپرک عمل شده با لاکاز (RL) [۲۳].

جدول ۸- درصد تثبیت رنگ و مشخصات رنگی نمونه‌های پشمی رنگرزی شده با اسپرک [۲۳].

نمونه	درصد تثبیت رنگ	ثبات شستشویی	ثبات لکه‌گذاری	L*	a *	b *
قبل از عمل در لاکاز	۲۱/۹	۱-۲	۱-۲	۷۶/۴۳	۰/۶۰	۳۶/۷۱
بعد از عمل در لاکاز	۹۰/۵	۴-۵	۴-۵	۷۲/۹۲	۷/۶۶	۲۹/۳۹

جدول ۹- مشخصه‌های رنگی کالای پشمی رنگریزی شده با رنگزای اسپرک و رنگزای مصنوعی اسیدی [۲۵].

نوع ماده رنگزا	پارامترهای رنگی				
	L*	a*	b*	C*	h
اسپرک استخراج شده	۵۸/۷۱	۴/۸۲	۳۸/۱۸	۳۶/۷۸	۷۹/۱۴
ماده رنگزای اسیدی (هماهنگ با فام اسپرک)	۵۷/۶۴	۵/۸۳	۳۹/۵۲	۳۷/۱۲	۷۸/۴۶
اسپرک-پیش دندانه با ۲ درصد آلوم	۵۵/۴۳	۷/۹	۴۰/۵۷	۴۰/۷۸	۷۵/۱۲
ماده رنگزای اسیدی (هماهنگ با فام اسپرک-پیش دندانه با ۲٪ آلوم)	۵۵/۵۹	۸	۴۰/۸۸	۴۲/۱۵	۷۴/۱۵
اسپرک-دندانه هم‌زمان با ۱۰ درصد آلوم	۶۱/۸۳	۷/۲	۴۰/۴	۴۰/۳۲	۷۵/۳۴
ماده رنگزای اسیدی (هماهنگ با فام اسپرک-دندانه هم‌زمان با ۱۰٪ آلوم)	۶۱/۸۱	۷/۰۴	۴۰/۳۶	۴۰/۲۲	۷۵/۵۸

جدول ۸- ثبات‌های شستشویی و نوری کالای پشمی رنگریزی شده با ماده رنگزای اسپرک و ماده رنگزای مصنوعی اسیدی [۲۵].

نوع رنگزا	ثبات شستشویی	ثبات نوری
اسپرک استخراج شده	۵	۶
ماده رنگزای اسیدی (هماهنگ با فام اسپرک)	۴-۵	۷
اسپرک-پیش دندانه با ۲٪ آلوم	۴	۶-۷
ماده رنگزای اسیدی (هماهنگ با فام نمونه رنگریزی شده با اسپرک-پیش دندانه با ۲٪ آلوم)	۴-۵	۷
اسپرک-دندانه هم‌زمان با ۱۰٪ آلوم	۴-۵	۷
ماده رنگزای اسیدی (هماهنگ با فام نمونه رنگریزی شده با اسپرک-دندانه هم‌زمان با ۱۰٪ آلوم)	۵	۷

۹- نتیجه گیری

گیاه اسپرک از گیاهان خود رو می‌باشد که دارای خواص دارویی است. این گیاه دارای مولکول‌های شیمیایی بر پایه لوتئولین که ماده رنگزا هستند، می‌باشد. ماده‌ی رنگزایی که از گیاه اسپرک استخراج می‌شود به دلیل ویژگی‌های خاص خود هم در صنایع دارویی- بهداشتی و هم صنعت نساجی جهت رنگریزی کاربرد دارد. مقاله حاضر با رویکرد بررسی روش‌های استخراج ماده رنگزا از گیاه اسپرک به منظور استفاده در فرآیند رنگریزی تدوین شد. مطالعات نشان داده که میزان ماده رنگزا، فام رنگی و ثبات‌های عمومی رنگریزی که از این گیاه بدست می‌آید در مقایسه با سایر گیاهان با فام رنگی زرد نظیر جاشیر، گندل و غیره سبب قابل توجه است. به دلایل ذکر شده گیاه اسپرک، در هنر صنعت فرش دستباف مورد توجه رنگرزان قرار گرفته و از آن برای رنگریزی نخ‌های پشمی و ابریشمی مورد استفاده در فرش دستباف به وفور استفاده می‌شود. بکارگیری گیاه رنگزا به روش مستقیم در رنگریزی علاوه بر آنکه حجم زیادی از پاتیل را اشغال نموده و بازده رنگریزی کاهش می‌یابد به دلیل حضور بخش سلولزی، رسیدن به یک رنگریزی یکنواخت، ترکیبی و رنگ همانندی بسیار مشکل می‌شود. لذا با توسعه فناوری که امکان استخراج مواد رنگزا از درون گیاه میسر گردیده دانشمندان را بر آن داشت تا روش‌های مختلف استخراج را برای تهیه پودر ماده رنگزا از گیاه اسپرک به کار برند. نتایج تحقیقات محققین نشان داد که به کاربردن روش‌های متعدد استخراج نه تنها کیفیت فام رنگی را تغییر نمی‌دهد چه بسا بازده رنگی،

جذب رنگ، ثبات‌های عمومی رنگریزی و سهولت کاربرد گیاهان رنگزا را ارتقا می‌دهد. عمق رنگی حاصله از رنگریزی با پودر رنگزای استخراجی در مقایسه با گیاه رنگزا بسیار بیشتر می‌شود. استفاده از حلال‌های مختلف آلی و معدنی در فرآیند استخراج روی بازده تاثیر می‌گذارد. آنچه که نتایج نشان می‌دهد در بین حلال‌های آلی متانل و اسید استیک بازده استخراج و کیفیت ماده رنگزای استخراج شده برای رنگریزی را افزایش می‌دهد. بکارگیری روش‌های سنتی استخراج نظیر خیساندن، دم‌گذاری و جوشاندن در کنار روش‌های وابسته به تجهیزات پیشرفته‌تر نظیر سوکسله، ریزموج، فراصوت و غیره. همگی در افزایش کیفیت رنگریزی گیاهی موثر هستند که به سهولت قابل جایگزینی با روش استفاده‌ی مستقیم از گیاه است. توجه به زمان استخراج، میزان مصرف آب انرژی در فرآیندهای استخراج و سرمایه‌گذاری اولیه برای فراهم نمودن تجهیزات پیشرفته استخراج تصمیم‌گیری جهت انتخاب هریک از روش‌ها را مشخص می‌نماید. توصیه بکارگیری هریک از روش‌های استخراج منوط به اهداف مد نظر می‌باشد. میزان سرمایه‌گذاری و هدف نهایی از مصرف پودر ماده رنگزای استخراج شده در انتخاب روش استخراج بسیار موثر است. در نهایت با توجه به بازده بالای رنگریزی انواع کالای نساجی با ماده رنگزای استخراج شده از گیاه اسپرک در دستیابی به انواع فام‌های زرد و حتی ترکیبی، با استفاده از روش‌های متعدد استخراج، ماده رنگزای استخراج شده از اسپرک می‌تواند جایگزین مناسبی برای رنگزاهای مصنوعی با طیف رنگی زرد قرار بگیرد.

۱۰- مراجع

۱. س. افشارنیا، رنگرزی با رنگینه‌های طبیعی، دانشگاه پیام نور، صفحه ۴۶-۵۱، ۱۳۸۷.
۲. ا. دانشگر، فرهنگ جامع فرش یادواره (دانشنامه ایران)، جلد ۱، چاپ دوم، انتشارات یادواره اسدی، صفحه ۵۵-۵۶، ۱۳۹۰.
۳. م. منتظر، م. ویسیان، م. ابراهیم حیدری، "طبیعت گرایی در رنگرزی الیاف پروتئینی"، تهران، مرکز نشر بازرگانی، ۱۳۸۷.
۴. ف. آئینه چی، م. باقرزاده کثیری، ک. قرنچیک، "مطالعه و بهینه‌سازی فرآیند استخراج مواد رنگزای گیاه اسپرک به کمک امواج فراصوت"، نشریه علمی علوم و فناوری رنگ، ۱۲، ۱۱۵-۱۲۴، ۱۳۹۷.
5. U Woelfle, B Simon-Haarhaus, I. Merfort, C. M. Schempp, L. Reseda luteola, "extract displays antiproliferative and pro-apoptotic activities that are related to its major flavonoids", *Phytother Res*, 24, 1033-6, 2010.
6. P. S Vankar, D. Shukla, "Spectrum of colors from reseda luteola and other natural yellow dyes", *J. text. eng. fash. technol.* 4, 2018.
7. A. Shams-Nateri, A. Hajipour, E. Dehnavi, "Colorimetric Study on Polyamides Dyeing with Weld and Pomegranate Peel Natural Dyes", *Cloth. Text. Res. J.* 32, 15-124, 2014.
۸. م. آزاد بخت، "ضرورت استاندارد کردن عصاره گیاهان دارویی در تحقیقات و نحوه انجام آن"، مجله علوم پزشکی رازی، ۲۳، ۱۷-۸، ۱۳۹۵.
۹. خ. فریزاده، "بررسی شرایط استخراج از ریشه گیاه روناس"، اولین کنفرانس بین المللی و هفتمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، رشت، آبان، ۱۳۸۸.
۱۰. م. وارسته کجوریان، "استخراج ترکیبات فلاونوئیدی و بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی آنان از دو گونه *achillea* و *achillea eriopHora dc* biebersteinii afan"، پایان نامه کارشناسی ارشد علوم گیاهی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۱.
۱۱. ه. اربابی اصلی، "استخراج و اندازه‌گیری کوئرستین و کامفرول در ۴ گونه گیاه دارویی از جنس بومادران"، بابونه، رازک و رازیانه، پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، ۱۳۸۹.
۱۲. ش. مزدستان، "مقایسه اهمیت روش‌های مختلف استخراج بر فعالیت آنتی اکسیدانی برگ گیاه مورد"، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۵، ۲۴-۱۳۹۴، ۱۰.
۱۳. م. خواجه نوری، ع. حقیقی اصل، "بررسی استخراج ترکیبات طبیعی گیاهان با کمک امواج ریزموج و فراصوت"، فصل‌نامه فناوری‌های نوین غذایی، ۱، ۱۳۹۳، ۹۱-۸۱.
14. O. Deveoglu, R. Karadag, "A Review on the Flavonoids – A Dye Source", *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 3, 188-200, 2019.
۱۵. م. گل مکانی، "بررسی مقایسه ای روش استخراج به کمک نفوذ خشک ریزموج و گرانش بر کیفیت اسانس رزماری"، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۴، ۲۷۰-۲۵۷، ۱۳۹۴.
۱۶. م. عابدی، م. کرمی پور، "استاندارد سازی گیاهان دارویی و فرآوری دارویی و غذایی گیاهی"، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، ۳، ۶۵-۷۶، ۱۳۹۴.
17. M. Srivastava, P. Udawat, P. Gupta, S.K. Mishra, "Dyeing of silk with natural dye extracted from Rheum emodi with different mordants", *Man-Made Textiles in India*, 39, 273-278, 2011.
18. R. Taghizadeh borujeni, A. kbari, A. Gharehbaai, A. Yunessnia lehic, "Extraction and preparation of dye powders from Reseda luteola L. using membrane processes and its dyeing properties", *Environ. Technol. Innov.* 21, 101-249, 2021.
۱۹. ن. عسگری، "مطالعه ای بر فرآیندهای غشایی"، نشریه الکترونیک انجمن علمی مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، ۱۸-۱، ۱۳۸۷.
۲۰. ل. نوری، "رنگرزی پشم با رنگزای طبیعی زرد استخراج شده از اسپرک"، هشتمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، ۱۳۹۱.
21. M. Hosseinezhad, K. Gharanjig, R. Jafari, H. Imani, "Green Dyeing of Woolen Yarns with weld and Madder natural Dyes in the Presences of Biomordant", *Prog. Color Colorants Coat.* 14, 35-45, 2021.
۲۲. ر. شامدی، "بررسی روش‌های استخراج رنگزا از گیاه اسپرک به منظور ارایه روش بهینه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر تهران، رشته فرش دستباف، ۱۳۹۸.
۲۳. م. نصیری برومند، م. منتظر، و. دوشک، "استفاده از واکنش اکسیداسیون ترکیبات پلی فنولیک رنگزای اسپرک توسط لاکاز در رنگرزی پشم"، نشریه علمی علوم و فناوری رنگ، ۱۳، ۱۱۷-۱۰۷، ۱۳۹۸.
24. M. Hosseinezhad, K. Gharanjig, R. Jafari, H. Imani, "Cleaner colorant extraction and environmentally wool dyeing using oak as eco-friendly mordant", *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 1-12, 2020.
25. M. Mirjalili, Kh. Nazarpour, "Eco-friendly dyeing of wool using natural dye from weld as co-partner with synthetic dye", *Journal of Cleaner Production*, 19, 1045-1051, 2011.
۲۶. ز. احمدی، ف. غلامی هوجقان، "مروری بر خواص آنتی باکتریال، ضد میکروب و قارچ ترکیبات گیاهی و کاربرد آنها در منسوجات"، مطالعات در دنیای رنگ، ۹، ۴۱-۵۸، ۱۳۹۸.