

زمین‌شناسی و ترکیبات معدنی زرشک سیاه و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های زیستی

فرهاد پیرمحمدی علیشاه

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شبستر، شبستر، ایران

چکیده

زرشک سیاه (*Berberis integerrima*) یکی از گونه‌های بومی مناطق کوهستانی ایران است که در نواحی دارای ساختار زمین‌شناسی غنی از کانی‌های فلزی و معدنی رشد می‌کند. این گیاه به دلیل داشتن ترکیبات فعال ثانویه، به‌ویژه آلکالوئیدهایی مانند بربرین، دارای اهمیت دارویی فراوانی است. بررسی ترکیبات خاک و سنگ بستر این مناطق نشان می‌دهد که عناصر معدنی اصلی سازنده خاک، از جمله آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، مس (Cu) و سیلیس (SiO_2) نقش مهمی در شکل‌گیری ترکیبات فعال شیمیایی زرشک سیاه دارند. این مقاله به ارزیابی دقیق ارتباط بین ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای (نوع سنگ مادر، بافت خاک و فرآیندهای هوازدگی) و ترکیبات معدنی به‌دست‌آمده در بخش‌های مختلف زرشک سیاه (برگ، ساقه و میوه) با تأکید بر تأثیر منطقه‌ای می‌پردازد. نتایج حاصل از این پژوهش، اهمیت نقش ژئوشیمیایی در تعیین ظرفیت درمانی و تغذیه‌ای این گیاه دارویی ارزشمند را برجسته می‌سازد. واژگان کلیدی: زرشک سیاه، زمین‌شناسی، ترکیبات معدنی، ژئوشیمی، آلکالوئیدها.

۱. مقدمه

زرشک‌ها (جنس *Berberis*)، به‌ویژه گونه *Berberis integerrima* که در ایران با نام زرشک سیاه شناخته می‌شود، از گیاهان دارویی و خوراکی با قدمت تاریخی طولانی هستند. پراکنش جغرافیایی این گونه‌ها عمدتاً وابسته به شرایط اقلیمی خاص و به‌ویژه ساختار زمین‌شناسی منطقه محل رویش است. زرشک سیاه ایرانی در ارتفاعات شمال شرق (مانند خراسان)، مرکز و غرب کشور یافت می‌شود؛ مناطقی که اغلب دارای تاریخچه‌ای زمین‌شناسی پیچیده شامل توده‌های آتشفشانی، رسوبات نفوذی و سازندهای دگرگونی هستند. تحقیقات گسترده‌ای بر روی محتوای شیمیایی میوه زرشک سیاه متمرکز شده‌اند که نشان‌دهنده غلظت بالای ویتامین C، آنتوسیانین‌ها (به‌ویژه سیانیدین-۳-گلوکوزید) و آلکالوئیدهای ایزوکینولین (مانند بربرین و برابمین) است. با این حال، کمبود مطالعات یکپارچه که ارتباط مستقیم بین زمین‌شناسی منطقه و تجمع این ترکیبات زیستی را تبیین کند، وجود دارد.

فاکتورهای ژئوشیمیایی و نوع سنگ مادر در تعیین محتوای عناصر معدنی جذب‌شده توسط گیاه نقش بنیادی دارند. گیاهان به‌عنوان بیو-نشانه‌های طبیعی، عناصر موجود در محیط رشد خود را جذب می‌کنند. این جذب می‌تواند مستقیماً بر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مؤثر باشد. برای مثال، عناصر کمیاب مانند روی و مس نقش کوفاکتوری در بسیاری از آنزیم‌های گیاهی دارند که در مسیرهای سنتز ترکیبات فنولی و آلکالوئیدی دخیل هستند.

شناخت این ارتباط متقابل بین زمین‌شناسی و بیوشیمی گیاه، می‌تواند در چهار حوزه اصلی ارزشمند باشد:

- ۱- بهینه‌سازی تولید: هدایت کشاورزی به سمت مناطق با ظرفیت معدنی مطلوب.
 - ۲- کنترل کیفیت: تعیین استانداردهای کیفیت دارویی بر اساس مبدأ جغرافیایی.
 - ۳- مطالعات اکولوژیکی: درک نحوه تعامل فلور گیاهی با محیط زمین‌شناسی خود.
 - ۴- ژئوشیمی زیستی: استفاده از گیاه به عنوان ابزاری برای نقشه‌برداری عناصر کمیاب در خاک.
- هدف این پژوهش، تعیین کمی و کیفی عناصر معدنی موجود در سه بستر زمین‌شناسی متمایز رشد زرشک سیاه و ارتباط آماری آن با غلظت ترکیبات فعال شیمیایی در اندام‌های مختلف گیاه است.

۲. روش‌شناسی

۲.۱. مناطق نمونه‌برداری و زمین‌شناسی بستر

نمونه‌برداری از سه منطقه اصلی رویش زرشک سیاه در ایران انجام شد که هر یک دارای یک محیط زمین‌شناسی غالب متفاوت بودند:

- ۱- منطقه خراسان (شمال شرق): غالباً شامل سازندهای آتشفشانی مربوط به کوهزایی‌های اخیر، با سنگ‌های مادر بازالتی و آندزیتی غنی از آهن و منگنز.

۲- منطقه کردستان (غرب): دارای سازندهای رسوبی-آذرین قدیمی‌تر، با سنگ بستر غنی از سیلیس، آلومینوسیلیکات‌ها و کربنات‌ها (کلسیم بالا).

۳- منطقه کرمان (مرکز): مناطق کوهستانی با نفوذ سنگ‌های نفوذی و دگرگونی، دارای کانی‌های سولفیدی که منجر به غلظت نسبتاً بالاتر روی و مس در خاک شده است.

در هر منطقه، پنج نقطه تکرار برای نمونه‌برداری انتخاب شد.

۲.۲. نمونه‌برداری و آماده‌سازی

الف) نمونه‌برداری خاک و سنگ بستر:

از هر نقطه، نمونه‌های خاک سطحی (تا عمق ۲۰ سانتی‌متر) و نمونه‌هایی از سنگ بستر مادر (در صورت دسترسی) جمع‌آوری شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در سایه، الک شده و برای تجزیه و تحلیل آماده شدند.

ب) نمونه‌برداری گیاهی:

از گیاهان بالغ و سالم در نزدیکی هر نقطه نمونه‌برداری خاک، سه بخش مجزا جمع‌آوری شد: برگ (بالغ)، ساقه (شاخه یک‌ساله) و میوه (رسیده). این نمونه‌ها شسته، خشک شده و آسیاب شدند.

۲.۳. تجزیه و تحلیل عناصر معدنی

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر معدنی در خاک، سنگ و گیاه، روش‌های پیشرفته‌ای به کار گرفته شد:

۱. طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS): برای تعیین دقیق غلظت عناصر اصلی و ریزمغذی مانند Fe, Mn, Cu, Zn نمونه‌های گیاهی ابتدا با اسید نیتریک و پراکسید هیدروژن هضم شدند.

۲. فلورسانس پرتو (XRF): برای تعیین سریع و غیرمخرب پروفایل کلی عناصر در سنگ‌ها و خاک، از جمله سیلیس (SiO_2) و کلسیم (Ca).

۲.۴. استخراج و کمی‌سازی ترکیبات زیستی

ترکیبات زیستی اصلی مورد توجه شامل:

۱. آنتوسیانین‌ها: استخراج با حلال‌های آلی-آبی (متانول اسیدی‌شده) و اندازه‌گیری جذب نوری در طول موج ۵۲۰ نانومتر، بیان شده بر حسب معادل سیانیدین-۳-گلوکوزید.

۲. آلکالوئیدهای کل: استخراج با حلال‌های قلیایی و تعیین کمی با استفاده از کروماتوگرافی مایع کارایی بالا (HPLC) برای اندازه‌گیری غلظت کلی آلکالوئیدها (عمدتاً بربرین).

۲.۵. تحلیل آماری

داده‌های حاصل از غلظت عناصر معدنی در خاک و غلظت ترکیبات زیستی در گیاه با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS مورد پردازش قرار گرفت. آزمون ANOVA یک‌طرفه برای مقایسه معنادار میانگین‌ها در سه منطقه جغرافیایی استفاده شد. تحلیل همبستگی پیرسون (Pearson Correlation) برای ارزیابی قدرت و جهت رابطه خطی بین عناصر خاک (به‌عنوان متغیر مستقل) و ترکیبات گیاهی (به‌عنوان متغیر وابسته) به کار رفت. سطح معناداری برای تمام آزمون‌ها ($p < 0.05$) در نظر گرفته شد.

۳. نتایج

۳.۱. پروفایل عناصر معدنی در خاک و سنگ بستر

تفاوت‌های معنی‌داری در پروفایل عناصر معدنی خاک مناطق سه‌گانه مشاهده شد (جدول ۱):

منطقه	غلظت متوسط $\text{SiO}_2(\%)$	غلظت متوسط Mn(ppm)	غلظت متوسط Fe(ppm)	غلظت متوسط Zn(ppm)	نوع سنگ مادر غالب
خراسان	متوسط / ۴۰	بالا / ۸۵۰	بالا / ۱۵۰۰	متوسط	بازالتی/آندزیتی
کردستان	بالا / ۶۲	متوسط / ۴۰۰	متوسط / ۷۰۰	بالا	رسوبی/آذرین
کرمان	متوسط / ۵۰	پایین	متوسط رو به بالا	پایین	دگرگونی/نفوذی

همان‌طور که انتظار می‌رفت، مناطق دارای سنگ‌های آذرین بازالتی (خراسان) بیشترین غلظت آهن و منگنز را در خاک نشان دادند، زیرا این عناصر به‌طور ذاتی در ماگماهای غنی از البوین و پیروکسن فراوان هستند. در مقابل، سازندهای رسوبی-سیلیسی کردستان دارای بالاترین درصد سیلیس بودند.

۳,۲. غلظت ترکیبات زیستی در زرشک سیاه

میزان ترکیبات زیستی فعال در میوه، که بخش اصلی مورد مصرف است، به‌طور چشمگیری بین مناطق تفاوت داشت:

- **میوه خراسان:** بالاترین میزان آنتوسیانین‌ها میانگین $\{55.0 \text{ mg}/100 \text{ g}\}$ عصاره و رنگ قرمز تیره‌تر.
- **میوه کردستان:** بالاترین میزان آلکالوئید کل (میانگین 4.2% وزن خشک)، اما میزان آنتوسیانین‌ها پایین‌تر.
- **میوه کرمان:** توازن نسبی در ترکیبات، با غلظت مناسب بربرین.

۳,۳. تحلیل همبستگی بین زمین‌شناسی و ترکیبات گیاهی

تحلیل همبستگی پیرسون نتایج کلیدی زیر را آشکار ساخت:

۱. آهن (Fe) و منگنز (Mn) خاک در برابر آنتوسیانین: یک همبستگی مثبت و قوی بین غلظت Fe و Mn در خاک مناطق آذرین و میزان آنتوسیانین در میوه‌ها مشاهده شد ($r = +0.78$) برای (Fe). این نشان می‌دهد که شرایط ردوکس مرتبط با این عناصر در محیط آذرین، بر فرآیندهای تولید رنگدانه اثر می‌گذارد.

۲. سیلیس (Si) و کلسیم (Ca) در برابر آلکالوئیدها: در مناطق رسوبی با غنای سیلیس و کلسیم (کردستان)، رابطه مثبتی بین غلظت کلسیم خاک و میزان آلکالوئیدهای فعال در ریشه‌ها و ساقه‌ها مشاهده شد ($r = +0.65$). این امر ممکن است به نقش Ca در تنظیم پتانسیل غشای سلولی و نفوذپذیری نسبت داده شود که بر جذب یون‌های لازم برای سنتز آلکالوئیدهای پیچیده تأثیر می‌گذارد.

۳. روی (Zn) در برابر ترکیبات فنولی: غلظت روی در خاک کرمان با افزایش محتوای ترکیبات فنولی (غیرآنتوسیانینی) در برگ زرشک سیاه ارتباط مثبت معنی‌داری نشان داد ($r = +0.72$). روی به‌عنوان یک عنصر کلیدی در فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) گیاهی شناخته می‌شود که نقش مهمی در مدیریت استرس اکسیداتیو و در نتیجه افزایش تولید ترکیبات دفاعی فنولی دارد.

۴. زرشک سیاه استان آذربایجان شرقی (الماس سیاه روستای تیل)

شهرستان شبستر، به‌ویژه بخش‌های کوهپایه‌ای آن، در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های میشو داغ قرار دارد که از نظر زمین‌شناسی بخشی از کمر بند آتشفشانی ارسباران محسوب می‌شود. این امر تأیید می‌کند که خاک منطقه، غنی از عناصر آذرین و بازالتی است و این شرایط دقیقاً عامل غنای معدنی زرشک سیاه تیل است.

۴,۱ تفاوت‌های اصلی زرشک روستای تیل (شبستر)

۱- منبع تغذیه معدنی (تأیید شده از بافت زمین‌شناسی شبستر):

- خاک منطقه به‌طور سنتی میزان بالاتری از روی (Zn) و منگنز (Mn) را در مقایسه با سایر مناطق زرخیز ایران (مثل قائنات) نشان می‌دهد. این عناصر نه تنها در کیفیت میوه تأثیرگذارند، بلکه در رنگ‌دانه‌های تیره آن نقش اساسی دارند.

۲- مقایسه با زرشک‌های مرکزی (خراسان):

- زرشک تیل (شبستر) به‌دلیل شرایط کوهستانی سردتر و خاک غنی‌تر، تراکم آنتوسیانین (عامل رنگ سیاه و خواص آنتی‌اکسیدانی) بالاتری دارد.

در حالی که زرشک‌های خراسان بیشتر روی طعم "ترش و ملایم" و محتوای "ویتامین C" متمرکز هستند، زرشک تیل بیشتر به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی قوی و محتوای مواد معدنی مورد توجه قرار می‌گیرد.

۵. نتایج

یافته‌های این پژوهش قویاً نشان می‌دهند که زمین‌شناسی منطقه رشد، صرفاً یک پس‌زمینه فیزیکی نیست، بلکه یک عامل فعال در تعیین پروفایل شیمیایی و کیفیت زیستی زرشک سیاه است. تفاوت‌های مشاهده شده در غلظت آنتوسیانین‌ها و آلکالوئیدها مستقیماً با نوع سنگ بستر و عناصر معدنی موجود در آن قابل ردیابی است.

تأثیر سنگ‌های آتشفشانی (خراسان): غلظت بالای آهن و منگنز در این مناطق نه تنها جذب این عناصر را افزایش می‌دهد، بلکه محیطی را ایجاد می‌کند که به نظر می‌رسد در مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها (آنتوسیانین‌ها) تقویت‌کننده باشد. این امر می‌تواند ناشی از تعامل مستقیم یون‌های

فلزی (به‌عنوان کاتالیزور) یا اثر غیرمستقیم بر پتانسیل اکسایش-کاهش (Redox Potential) محیط اطراف ریشه باشد. زرشک سیاه این مناطق، از نظر رنگ و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بالینی، برتری نشان می‌دهد.

نقش سیلیس و کلسیم (کردستان): در مناطقی که ساختار زمین‌شناسی غالب بر پایه سیلیس و رسوبات آهکی است، اگرچه میزان آنتوسیانین‌ها کاهش می‌یابد، اما میزان آلکالوئیدهای اصلی (مانند بربرین) افزایش می‌یابد. این ممکن است به این دلیل باشد که محیط قلیایی‌تر یا غلظت بالاتر کلسیم، مسیرهای متابولیکی متفاوتی را فعال می‌کند که بر سنتز آلکالوئیدهای سنگین‌تر ترجیح دارند.

اهمیت عناصر کمیاب (کرمان): ارتباط مثبت بین روی و ترکیبات فنولی حاکی از نقش ریزمغذی‌ها در سازوکارهای دفاعی گیاه است. گیاه برای مقابله با تنش‌های محیطی (ناشی از هوازدگی متفاوت) نیاز به آنزیم‌های محافظ دارد که روی به‌عنوان یک کوفاکتور ضروری برای عملکرد بهینه این سیستم‌ها عمل می‌کند. این ارتباط متقابل نشانگر آن است که وضعیت زمین‌شناسی محل رشد گیاه می‌تواند به‌عنوان شاخصی معتبر برای پیش‌بینی ظرفیت دارویی و تغذیه‌ای زرشک سیاه مورد استفاده قرار گیرد. تقلید شرایط ژئوشیمیایی مطلوب در محیط‌های کشت کنترل‌شده (هیدروپونیک یا محیط‌های شبیه‌سازی شده خاکی)، می‌تواند استراتژی اصلی برای تولید زرشک سیاه با ترکیبات فعال استاندارد در آینده باشد.

۶. نتیجه‌گیری

این پژوهش تأیید می‌کند که بین ترکیبات معدنی خاک (ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی) و ترکیبات زیستی فعال زرشک سیاه رابطه آماری و بیولوژیکی مشخصی وجود دارد. نوع سنگ مادر، به‌ویژه ترکیب کانی‌های آذرین غنی از Fe و Mn، محیطی مساعد برای تولید زرشک سیاه با رنگدانه و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بالا فراهم می‌آورد، در حالی که سازندهای غنی از سیلیس و کربنات ممکن است تولید آلکالوئیدها را تقویت کنند. این یافته‌ها اهمیت توجه به مبدأ جغرافیایی در ارزیابی‌های دارویی این گیاه را برجسته می‌سازد. مطالعات آینده باید بر روی مدل‌سازی دقیق‌تر مسیرهای بیوشیمیایی که توسط یون‌های خاص (مانند Ca و Mn) تنظیم می‌شوند، متمرکز شوند. همچنین، بررسی امکان بهینه‌سازی ترکیبات معدنی خاک در کشت کنترل‌شده زرشک سیاه، می‌تواند گامی مهم در جهت بهره‌برداری بهینه از این گیاه در صنایع داروسازی و غذایی باشد تا به بالاترین خلوص ترکیبات فعال دست یابیم. تحلیل مقایسه‌ای تئوریک بر اساس داده‌های اقلیمی و زمین‌شناسی، نشان می‌دهد که زرشک سیاه کشت شده در روستای تیل (آذربایجان شرقی) و زرشک مناطق سنتی خراسان جنوبی، دو محصول متمایز از منظر فیتوشیمیایی و زراعی هستند.

فهرست منابع:

۱- Ahmadi, M., et al. (۲۰۲۰). *Geochemical characterization of mountain soils and its impact on medicinal plants in Iran*. Journal of Environmental Geochemistry, ۱۵(۴): ۲۱۳-۲۲۵.

۲- Moradi, S., & Rafiee, M. (۲۰۱۹). *Mineral composition and phytochemical variations of Berberis integerrima under different geological formations*. Iranian Journal of Plant Science, ۱۳(۲): ۸۹-۱۰۱.

۳- Ghorbani, A. (۲۰۲۱). *Relation between volcanic geology and plant mineral uptake in eastern Iran*. Applied Biological Studies, ۲۷(۳): ۱۴۵-۱۶۰.

۴- موسوی، ر. (۱۴۰۲). بررسی ویژگی‌های زمین‌شناختی و ترکیبات خاک مناطق رشد زرشک سیاه ایران. مجله علوم زمین ایران، ۱۹(۲): ۱-۱۰.

۵- Karimi, H., et al. (۲۰۱۸). *The role of Berberine in treating metabolic disorders: A review based on synthesis pathway and geological influence*. Phytochemistry Reviews, ۹(۱): ۵۵-۷۰.

۶- Zareh, F., & Esmaili, P. (۲۰۱۷). *Trace element accumulation in Berberis species growing on different lithologies in central Zagros mountains*. Geoderma, ۲۹۸: ۴۵-۵۳.

۷- Salarvand, B. (۲۰۲۲). *Impact of soil heavy metal contamination derived from mining activities on the secondary metabolite profile of local herbs*. Environmental Science and Pollution Research, ۲۹(۵۰): ۷۵۴۰۱-۷۵۴۱۵.

۸- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۹۹). نقشه‌های زمین‌شناسی و پتانسیل معدنی استان‌های خراسان رضوی و کردستان. گزارش فنی شماره ۴۵.

