

تغییرات میزان روی در خاک با استفاده از طیف‌نگاری گیاهان محدوده معدن روی گوجر در شمال استان کرمان

حسن سالاری*، مهدی هنرمند، حسین مظفری و مهدیه حسینجانی زاده

ایران، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، پژوهشکده علوم محیطی، گروه اکولوژی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

چکیده

استفاده از داده‌های طیف‌نگاری یکی از راه‌های بررسی خصوصیات و ویژگی‌های گیاهان است. قرار گرفتن گیاهان در معرض فلزات سنگین گیاهان را وادار به واکنش استرس‌زا می‌کند. این موارد می‌توانند در طیف بازتابی گیاه و پاسخ طیفی آن مؤثر باشند. به منظور بررسی طیف‌نگاری گیاهان در مناطق آلوده به فلز سنگین و گیاهان غیر آلوده از گیاهان *Ficus carica*، *Cupressus arizonica*، *Punica granatum* و *Eucalyptus camaldulensis* در معدن سرب و روی گوجر در استان کرمان برای انجام طیف‌نگاری به‌عنوان گیاهان تحت تاثیر آلودگی استفاده شد. همچنین ۴ گیاه نیز از محدوده اطراف شهر ماهان و شهر کرمان به‌عنوان گیاه سالم (نمونه شاهد) انتخاب شدند. نتایج حاصل از طیف‌نگاری گیاهان محدوده معدن گوجر در سیمای طیفی خود تفاوت‌هایی با نمونه‌های گیاهی سالم نشان دادند. توانایی بیش‌انباشتگری گیاهان در جذب فلزات سنگین به طور نمونه در گیاه *Brassica napus* (کلزا)، *Cannabis sativa* (شاهدانه) و *Lepidium sativum* (شاهی) جهت بررسی تغییر سیمای طیفی ناشی از تجمع فلزات سنگین انجام شد. در هر سه گیاه مورد آزمایش طیف جذبی گیاهان مورد آزمایش و شاهد از نظر افزایش میزان شیب و طیف عارضه جذبی اختلاف نشان داد. بررسی‌های طیفی بر روی گیاهان به ویژه نمونه‌های شاهی، شاهدانه و کلزا نشان داد که این گیاهان در شناسایی مناطقی که تحت آلودگی فلزات سنگین قرار داشته کاربرد مناسبی دارند.

واژه‌های کلیدی: استان کرمان، طیف‌نگاری گیاهان، معدن روی گوجر، *Ficus carica*، *Eucalyptus camaldulensis*، *Punica granatum*

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۴۳۳۷۷۶۶۱۱، پست الکترونیکی: h.salari@kgut.ac.ir

مقدمه

گیاهان بطور معمول بیشتر در معرض آلودگی و خطرات زیست محیطی قراردارند زیرا موقعیت آن‌ها ثابت بوده و توانایی تعامل با آلودگی‌های زیست محیطی را ندارند هرچند در مقیاس‌های کوچک برای بقا از خود واکنش نشان می‌دهند و تا حدودی با محیط اطراف سازگاری پیدا می‌کنند (۱۳). واکنش گیاهان به فلزات سنگین موارد مختلفی را شامل می‌شود. فلزات معمولاً در متابولیسم و فعالیت‌های آنزیمی تاثیر منفی می‌گذارند. فلزات سنگین در

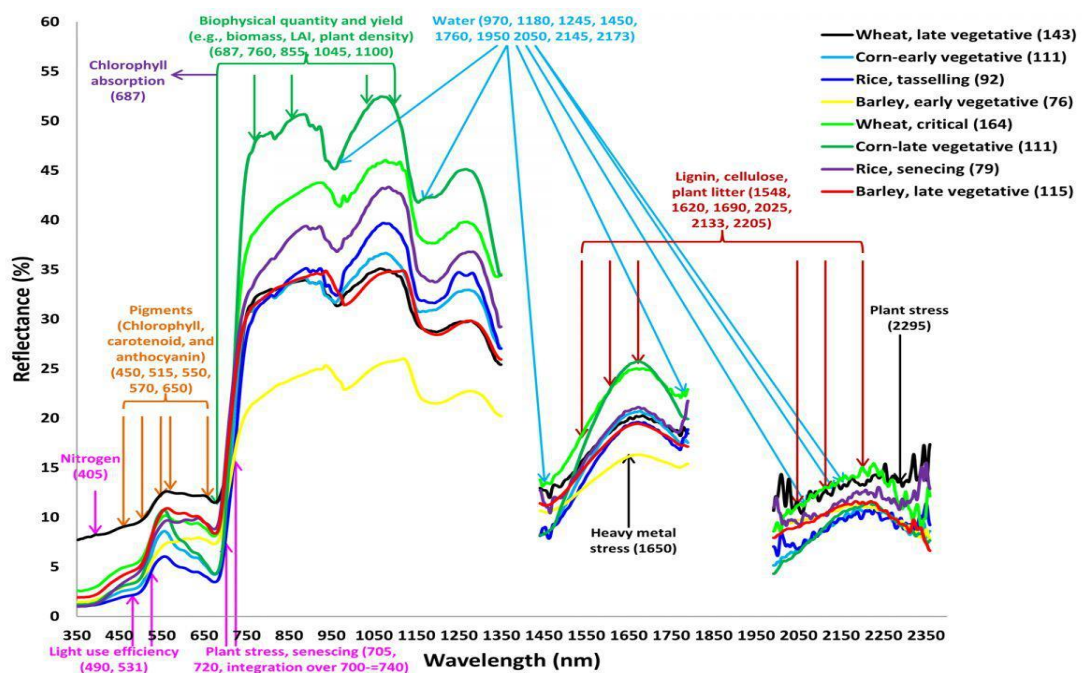
یکی از کاربردهای نوین و جالب توجه دانش سنجش از دور استفاده از داده‌های طیف‌نگاری و ابر طیفی برای بررسی خصوصیات و ویژگی‌های گیاهان است. در این حیطه مباحثی چون تنش شوری، خشکی، بیماری‌های گیاهان، آفت، سرما و حتی تنش فلزات سنگین مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی و تاثیر فلزات سنگین بر روی گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا گیاهان نقش بسیار مهمی در زنجیره غذایی تمام موجودات زنده دارند.

فعالیت‌های فتوسنتزی را نیز تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و معمولاً گیاه را وادار به واکنش استرس می‌کند. در مواردی که فلزات سنگین جذب شده جایگزین اتم منیزیم در ساختار مولکولی کلروفیل می‌شوند (۷).

این موارد می‌توانند در طیف بازتابی گیاه و پاسخ طیفی آن مؤثر باشند از این رو از این قابلیت به منظور بررسی سلامت گیاهان در رویارویی با فلزات سنگین و یا حتی دیگر خصوصیات ۲۲ سیمای طیفی نمونه‌های برگ انجیر کرمان *Ficus carica* (نمونه شاهد) و انجیر راور نشان داده شده است. گستره طیفی گیاهان در رویارویی با عوامل محیطی، نشان خاصی از خود بروز می‌دهد. در شکل ۱ سیمای طیفی چند گیاه به همراه تغییرات و عواملی که باعث ایجاد آن شده‌اند مشاهده می‌شود.

بافت گیاهان تاثیر گذاشته و وارد ساختارهای شیمیایی آنها می‌شوند به نحوی که در بین مولکول‌ها محصور و عایق شده و باعث از دست رفتن قابلیت‌های آنها در چرخه‌های متابولیکی شوند مانند چرخه سیتریک اسید (۱۴).

راهبردی که گیاهان برای همکنش با فلزات سنگین در محیط زیست دارند به دو شیوه است، یا آنها را در خود انباشت کرده و در بافت خود اندوخته می‌کنند و واکنش‌های بیوشیمیایی از خود بروز می‌دهند و یا اینکه از ورود آنها جلوگیری می‌کنند. در هر دو صورت زمانی که میزان غلظت عناصر سمی در خاک و محیط اطراف بالا رود تاثیر منفی بر روی سلامت، رشد و زیست‌توده گیاهان خواهد گذاشت. قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین



شکل ۱- سیمای طیفی گیاهان و گستره تاثیر عوامل گوناگون بر روی گستره طیفی گیاه (۱۹)

بازه ۷۵۰ تا ۱۱۵۰ نانومتر (۰/۷ تا ۱/۱ میکرومتر) مربوط به خصوصیات بیوفیزیکی آن می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در بازه طیفی ۱۵۵۰ تا ۱۷۵۰ نانومتر (۱/۷ تا ۱/۵ میکرومتر) گستره‌ای است که تنش فلزات سنگین خود را نمایان می‌کند. همچنین در

مواد و روشها

طیف نگاری از گیاهان در مناطق آلوده و مناطق شاهد با دستگاه اسپکترورادایومتر مدل ASD (Analytical FieldSpec Spectral Devices R3) انجام و در همه موارد منحنی پیوستار ترسیم و نمودارها مقایسه گردید. دستگاه تجزیه طیفی (ASD) توسط شرکت خصوصی دستگاه تجزیه طیفی که سال ۱۹۹۰ در کلرادو تاسیس گردیده، به جامعه محققین معرفی شده است. این دستگاه شامل طیف سنج می باشد که در این مدل طیف نمونه‌ها در محدوده طیفی

۲۵۰۰-۳۵۰۰ nm با پهنای باند ۱۰ nm اندازه‌گیری می‌شوند (۶). حسگر فیبر نوری که از طریق یک کابل بازتاب نوری را به طیف سنج منتقل می‌کند. به منظور نشانه‌گیری بهتر، حسگر فیبر نوری در بخشی شبیه تفنگ قرار دارد. یک نوت بوک برای نمایش و ذخیره داده‌های طیفی با استفاده از نرم افزار مخصوص داده‌های طیف‌سنجی (RS) و صفحه سفید مینا به شکل یک لوح فشرده که برای کالیبره کردن دستگاه طیف سنج به کار می‌رود (شکل ۲) .



شکل ۲- دستگاه اسپکترورادایومتر FieldSpec و نحوه قرارگیری آن در آزمایشگاه.

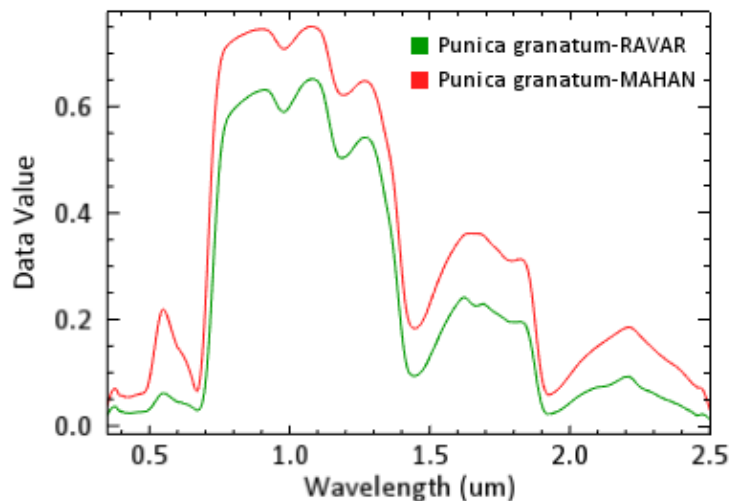
جهت بررسی اینکه تجمع فلزات سنگین مانند روی در سیمای طیفی گیاهان منطقه تاثیر گذار خواهد بود یا خیر توانایی بیش‌انباشتگری گیاهان در جذب فلزات سنگین انجام شد. برای این منظور از سه گیاه، کلزا، شاهدانه و شاهی در نمونه‌های خاک معدن و خاک شسته شده (Leached Soil) با اسید نیتریک در غلظت ۳ مولار استفاده شد. خاک نمونه‌های معدنی در دو گلدان متفاوت با میزان ماده معدنی متفاوت قرار داده شدند، یکی گلدان با ماده معدنی بیشتر (Zn-Major) و دیگری با ماده معدنی کمتر (Zn-Minor). به منظور اندازه‌گیری روی گیاه و خاک بصورت جداگانه به مدت ۴۸ ساعت درون آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شد و پس از خشک شدن کامل جهت انجام عمل هضم اسیدی، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. در این مرحله نمونه‌ها با دستگاه خردکن، خرد گشته و به مقدار ۰/۱۲۵ گرم توزین شدند و سپس در داخل لوله‌های آزمایش، در ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا نمونه گیاهی کاملاً در اسید هضم شود. در مرحله بعد محلول را

جهت بررسی اینکه تجمع فلزات سنگین مانند روی در سیمای طیفی گیاهان منطقه تاثیر گذار خواهد بود یا خیر توانایی بیش‌انباشتگری گیاهان در جذب فلزات سنگین انجام شد. برای این منظور از سه گیاه، کلزا، شاهدانه و شاهی در نمونه‌های خاک معدن و خاک شسته شده (Leached Soil) با اسید نیتریک در غلظت ۳ مولار استفاده شد. خاک نمونه‌های معدنی در دو گلدان متفاوت با میزان ماده معدنی متفاوت قرار داده شدند، یکی گلدان با ماده معدنی بیشتر (Zn-Major) و دیگری با ماده معدنی کمتر (Zn-Minor). به منظور اندازه‌گیری روی گیاه و خاک بصورت جداگانه به مدت ۴۸ ساعت درون آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شد و پس از خشک شدن کامل جهت انجام عمل هضم اسیدی، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. در این مرحله نمونه‌ها با دستگاه خردکن، خرد گشته و به مقدار ۰/۱۲۵ گرم توزین شدند و سپس در داخل لوله‌های آزمایش، در ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا نمونه گیاهی کاملاً در اسید هضم شود. در مرحله بعد محلول را

نتایج

نتایج نشان داد که گیاهان محدوده معدن گوجر در سیمای طیفی خود تفاوت‌هایی با نمونه‌های گیاهی سالم داشتند. در شکل ۳ سیمای طیفی برگ درخت انار ماهان به‌عنوان نمونه سالم و برگ درخت انار راور (معدن گوجر) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۳ پدیدار است در گستره طیفی ۱/۶ تا ۱/۷ میکرومتر در انار راور یک عارضه جذبی کوچک مشاهده می‌شود همچنین در گستره طیفی ۰/۸ تا ۰/۹ میکرومتر شیب سیمای طیفی انار راور در سنجش با انار ماهان کمی بیشتر است.

به مدت ۲۰ دقیقه گرم کرده تا بخارات اسیدی از آن خارج گردد. در نهایت حجم محلول به ۱۲ میلی لیتر رسانده و از کاغذ صافی عبور داده شد. نمونه‌های گیاهی و محلول‌های استاندارد روی توسط دستگاه ICP-OES ساخت کشور استرالیا آنالیز شد (۲۳). آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام و نتایج حاصل به صورت جدول ۲ ارائه گردید. محاسبه ضریب همبستگی بسته به نوع داده‌ها به دو صورت انجام می‌شود. یکی از این روش‌ها روش پیرسون می‌باشد که فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. در صورتی که توزیع داده‌ها نرمال نباشد یا باید از داده‌های تبدیل یافته و یا از روش‌های غیر پارامتری استفاده کرد که یکی از مهمترین روش‌های غیر پارامتری محاسبه ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن می‌باشد.

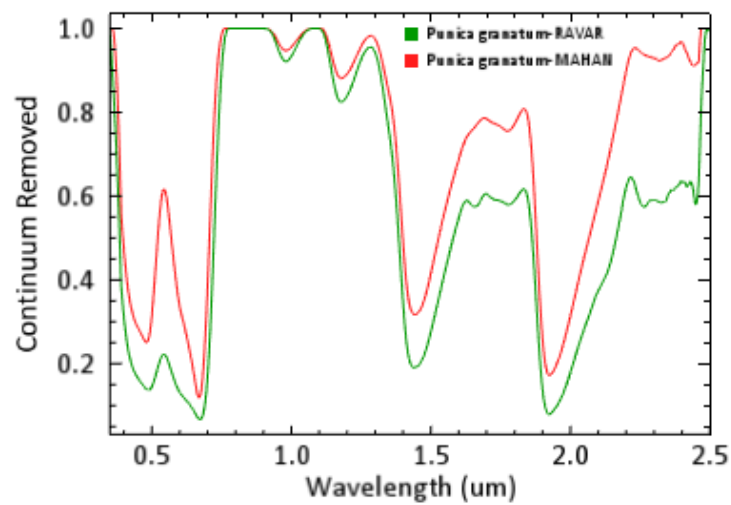


شکل ۳- سیمای طیفی نمونه برگ انار سالم (انار ماهان) و انار تحت تنش (انار راور)

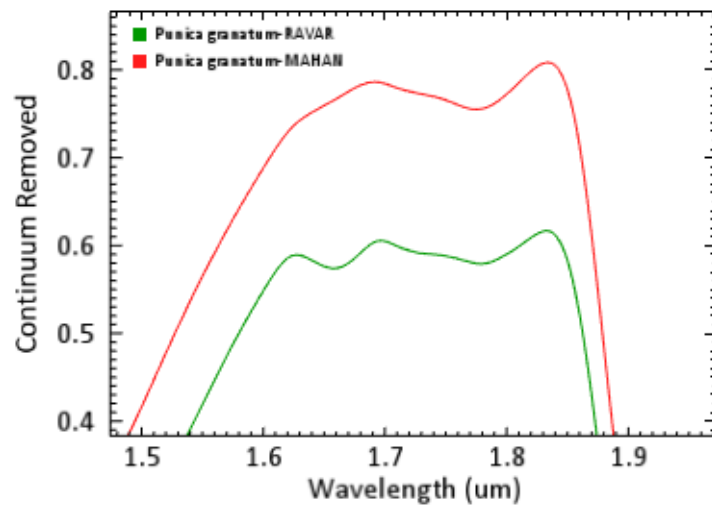
آن‌طور که دیده می‌شود میزان عارضه جذبی گستره ۱ میکرومتر در نمونه انجیر راور بسیار بیشتر از نمونه سالم (انجیر کرمان) است همچنین از گستره ۱/۱ میکرومتر سیمای طیفی نمونه انجیر راور با شیب تندتری به عارضه جذبی شدیدتری در گستره ۱/۲ میکرومتر ختم می‌شود که این مورد در نمونه انجیر کرمان به این شدت نیست.

پس از اعمال منحنی حذف پیوستار در نرم افزار ENVI 5.3 بر روی این دو طیف تفاوت‌های عارضه‌های جذبی بهتر نمایان می‌شود (شکل ۴) عارضه جذبی گستره ۱/۶ میکرومتر بهتر دیده می‌شود (شکل ۵) همچنین میزان جذب در گستره‌های ۱ میکرومتر، ۱/۳ میکرومتر و ۱/۴ میکرومتر در نمونه برگ انار راور نسبت به انار ماهان بیشتر است.

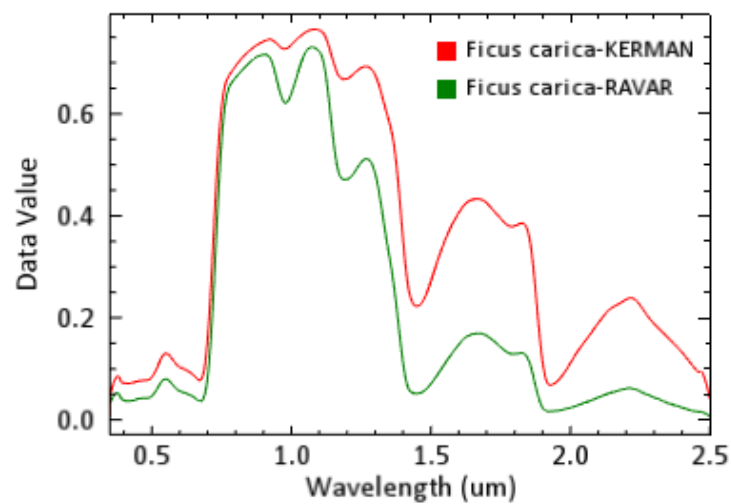
در شکل ۶ سیمای طیفی نمونه‌های برگ انجیر کرمان (نمونه شاهد) و انجیر راور نشان داده شده است.



شکل ۴- سیمای طیفی نمونه‌های انار بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار



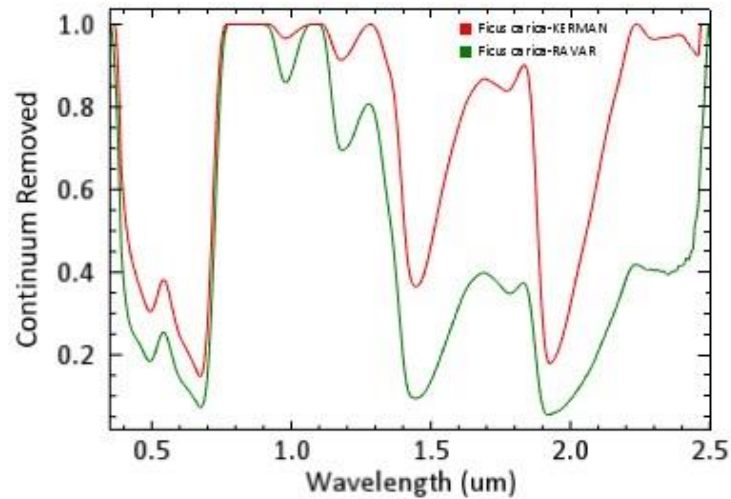
شکل ۵- سیمای طیفی گستره ۱/۶-۱/۷ میکرومتر در نمونه انار پس از اعمال منحنی حذف پیوستار که یک عارضه جذبی نمایان است.



شکل ۶- سیمای طیفی برگ انجیر نمونه‌های راور (معدن گوجر) و کرمان (نمونه شاهد).

کرمان (نمونه شاهد) بیشتر از نمونه انجیر راور (معدن گوجر) است.

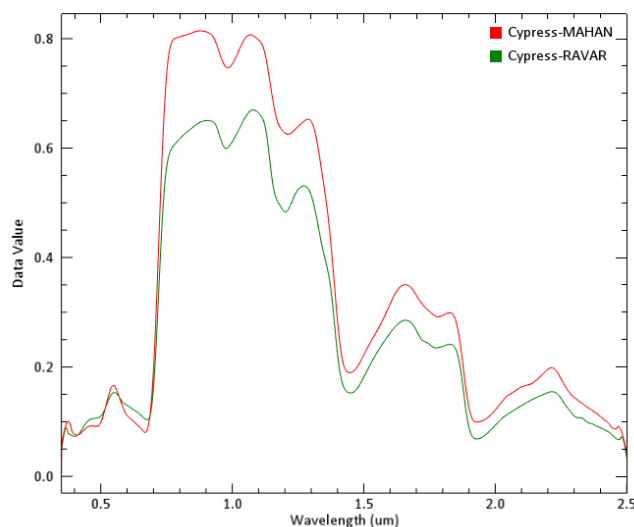
پس از اعمال منحنی حذف پیوستار عوارض جذبی خود را بهتر نشان داده‌اند (شکل ۷) همچنین در عارضه جذبی که در گستره ۱/۷ میکرومتر دیده می‌شود در نمونه انجیر



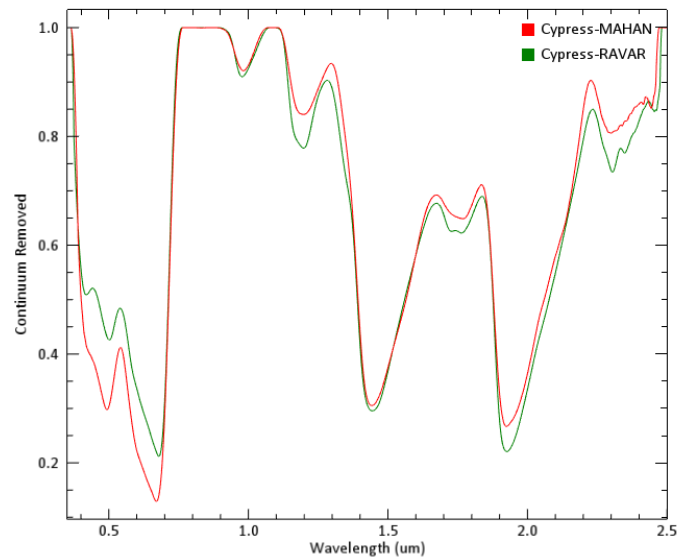
شکل ۷- سیمای طیفی نمونه‌های انجیر پس از اعمال منحنی حذف پیوستار

است. پس از اعمال منحنی حذف پیوستار بر روی سیمای طیفی این دو نمونه تفاوت‌های عوارض جذبی بهتر مشخص است (شکل ۹)، در گستره طیفی ۱/۸-۱/۷ میکرومتر یک عارضه بازتاب کوچک را در نمونه سرو راور می‌توان مشاهده نمود که در نمونه سرو ماهان دیده نمی‌شود (شکل ۱۰).

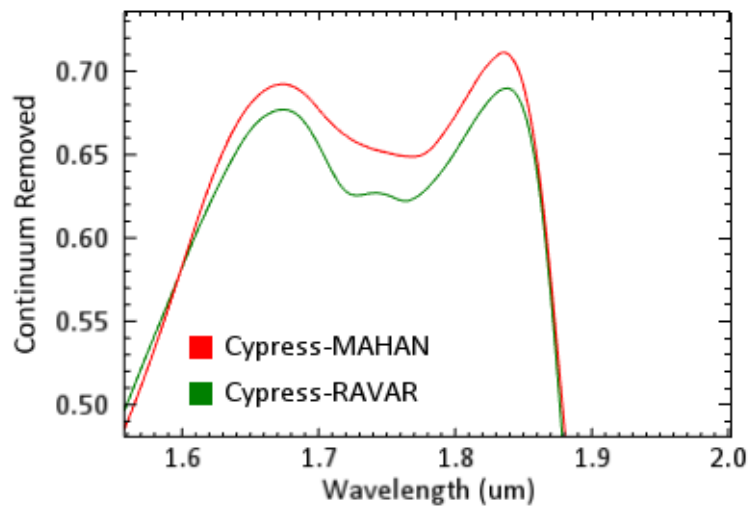
نمونه دیگری که در سیمای جذبی خود تغییراتی را نشان داد نمونه برگ درخت سرو بود. سیمای طیفی نمونه سرو ماهان (نمونه شاهد) و سرو راور (معدن گوجر) در شکل ۸ قابل مشاهده است. از گستره ۰/۷ میکرومتر تا ۱ میکرومتر نمونه سرو راور در سنجش با نمونه سرو ماهان یک شیب تندتر رو به بالایی از خود نشان می‌دهد که در نمونه سرو ماهان این گستره کم‌وبیش به صورت یک خط مستقیم



شکل ۸- سیمای طیفی برگ سرو ماهان (نمونه شاهد) و سرو راور



شکل ۹- سیمای طیفی نمونه‌های سرو ماهان و سرو راور پس از اعمال منحنی حذف پیوستار

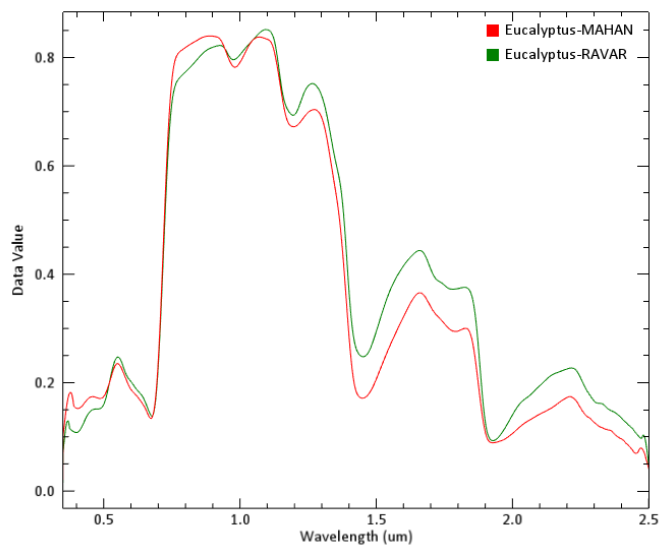


شکل ۱۰- سیمای طیفی سرو ماهان و راور در گستره ۱/۷-۱/۸ پس از اعمال منحنی حذف پیوستار

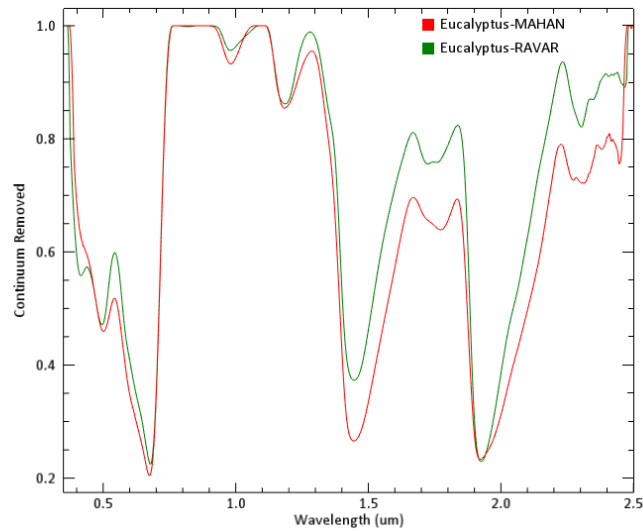
در این گستره ۱/۸-۱/۷ میکرومتر قابل مشاهده است، در این گستره طیفی در نمونه اکالیپتوس راور یک عارضه بازتابی کوچک دیده می‌شود. (شکل ۱۲ و شکل ۱۳).

گیاه دیگر مورد آزمایش شاهدانه نیز در سیمای طیفی خود تغییراتی را نشان داد. در شکل ۱۷ سیمای طیفی سه نمونه شاهدانه قابل مشاهده است. در سیمای طیفی این گیاه نیز نمونه‌های رشد کرده در خاک شسته شده با نمونه‌های رشد کرده در خاک معدن متفاوت است.

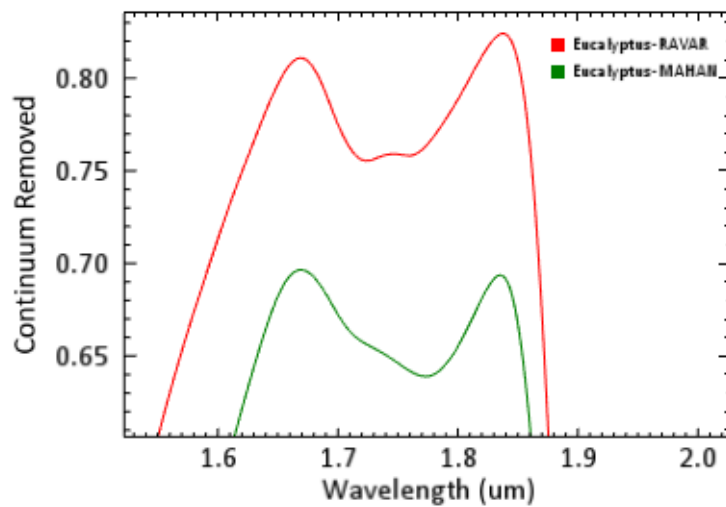
اکالیپتوس نمونه دیگری بود که مورد بررسی قرار گرفت. سیمای طیفی دو نمونه برگ اکالیپتوس در شکل ۱۱ قابل مشاهده است. اکالیپتوس ماهان (نمونه شاهد) و اکالیپتوس راور در گستره ۰/۷ تا ۱ میکرومتر تفاوتی را در میزان شیب سیمای طیفی نشان می‌دهند که این شیب در نمونه راور (معدن گوجر) در سنجش با نمونه ماهان (نمونه شاهد) شدیدتر دیده می‌شود. با اعمال منحنی حذف پیوستار تفاوت اندکی در سیمای طیفی این دو نمونه



شکل ۱۱- سیمای طیفی نمونه برگ اکالیپتوس ماهان (نمونه شاهد) و اکالیپتوس راور



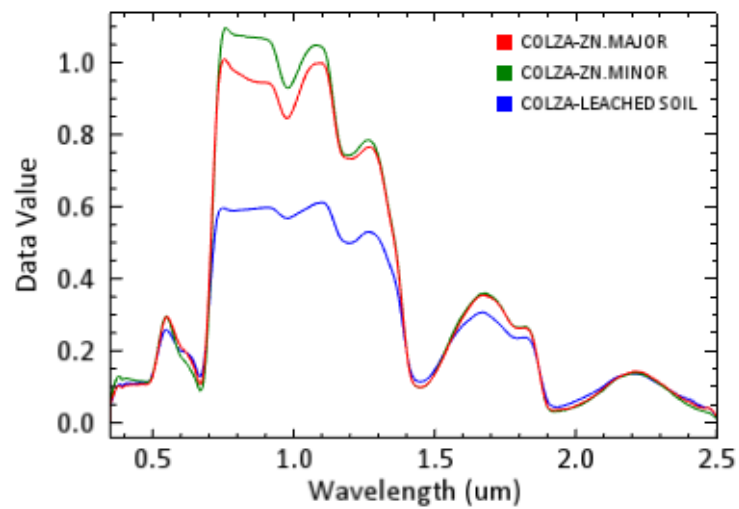
شکل ۱۲- سیمای طیفی اکالیپتوس ماهان و اکالیپتوس راور بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار



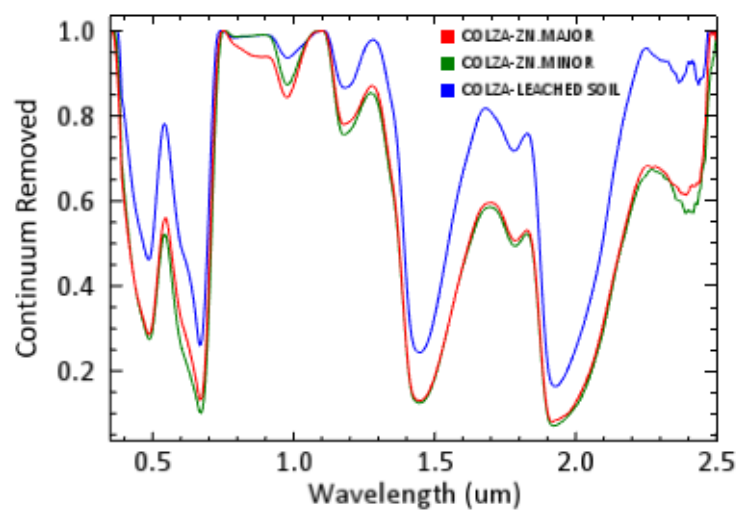
شکل ۱۳- سیمای طیفی اکالیپتوس راور و اکالیپتوس ماهان بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار در گستره ۱/۷-۱/۸ میکرومتر یک عارضه بازتابی ضعیف در نمونه راور نمایان است.

جدول ۱- میزان عناصر اصلی تشکیل دهنده ۳ نمونه خاک بر حسب ppm

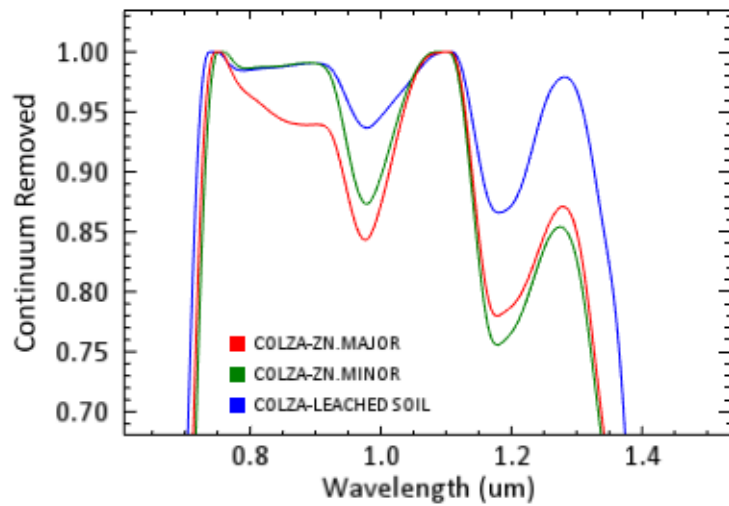
	Zn	Pb	Mg	Ca	Fe	Al	As
شسته شده	904	691	12819	57884	31628	9161	28/6
عیار کم	24035	5842	14660	81568	51358	10818	627/8
عیار بالا	>3%	15206	12132	78902	85408	7533	1770/6



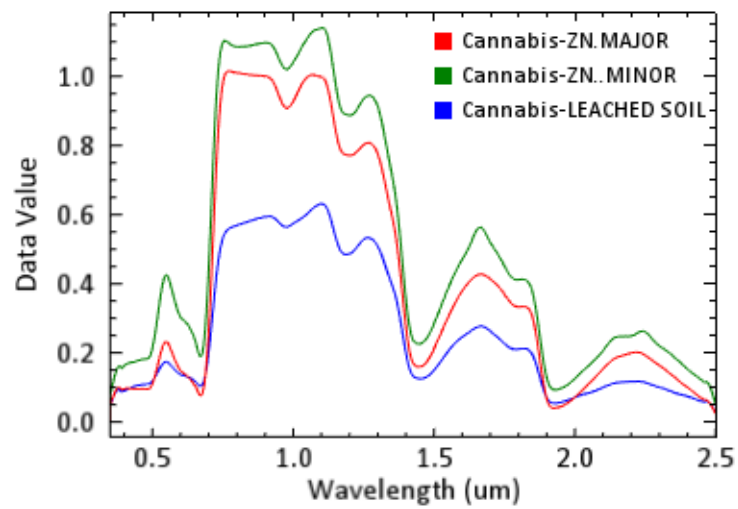
شکل ۱۴- سیمای طیفی ۳ نمونه کلزا، نمونه‌های آلوده تفاوتشان با نمونه شاهد نمایان است.



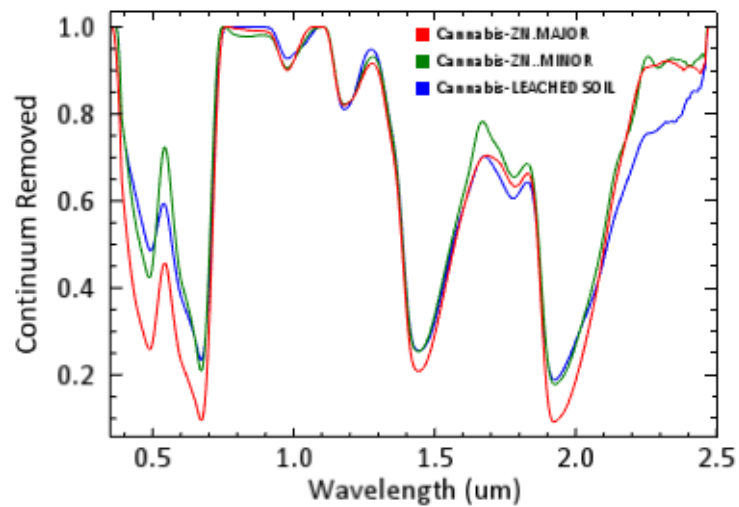
شکل ۱۵- سیمای طیفی نمونه های کلزا بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار



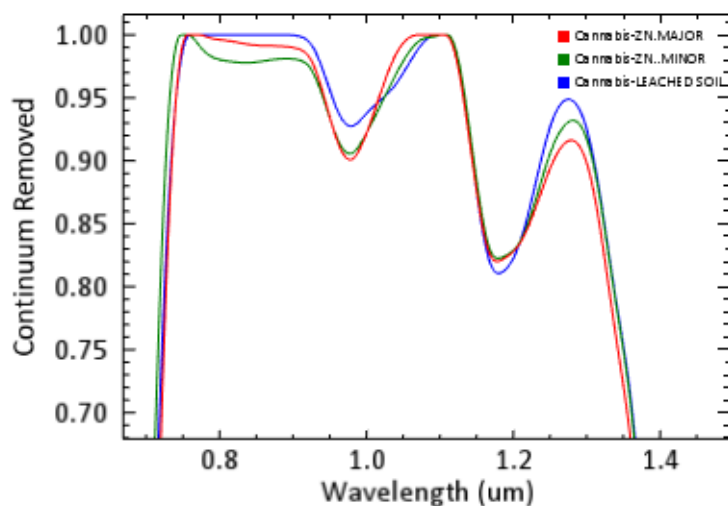
شکل ۱۶- منحنی طیفی نمونه های کلزا بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار، در گستره ۰/۷-۱ میکرومتر تفاوت های چشمگیر مشخص است



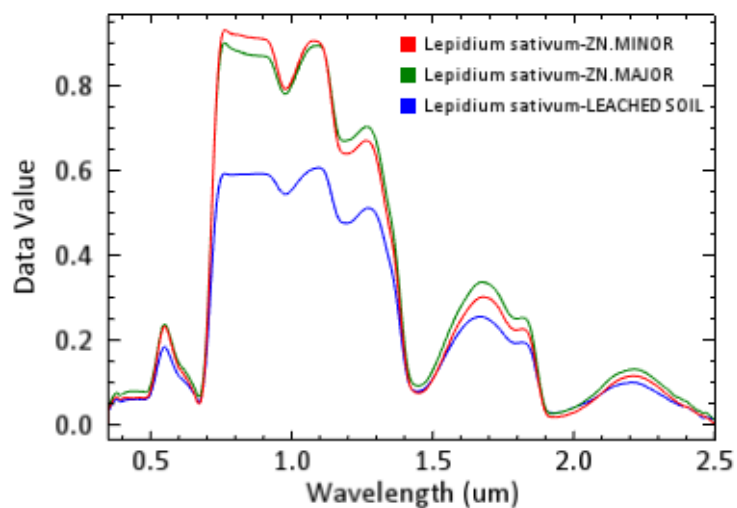
شکل ۱۷- سیمای طیفی نمونه‌های کشت شده در شاهدانه در خاک شده شده و خاک معدن.



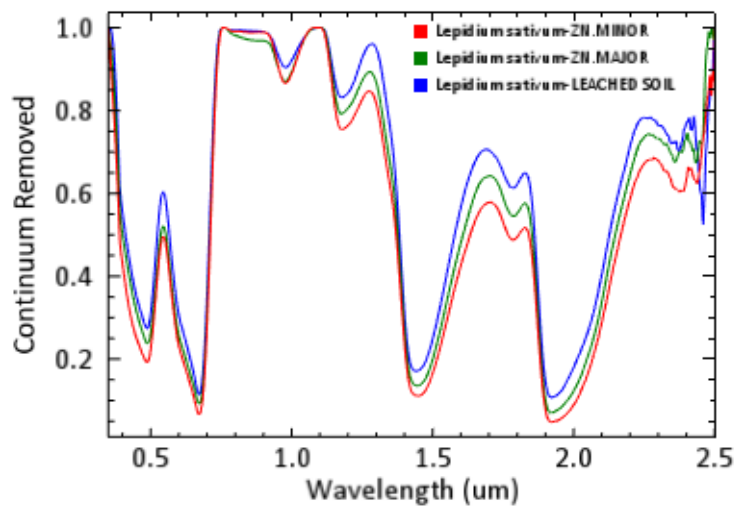
شکل ۱۸- سیمای طیفی نمونه‌های کشت شده در شاهدانه در خاک شده شده و خاک معدن بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار.



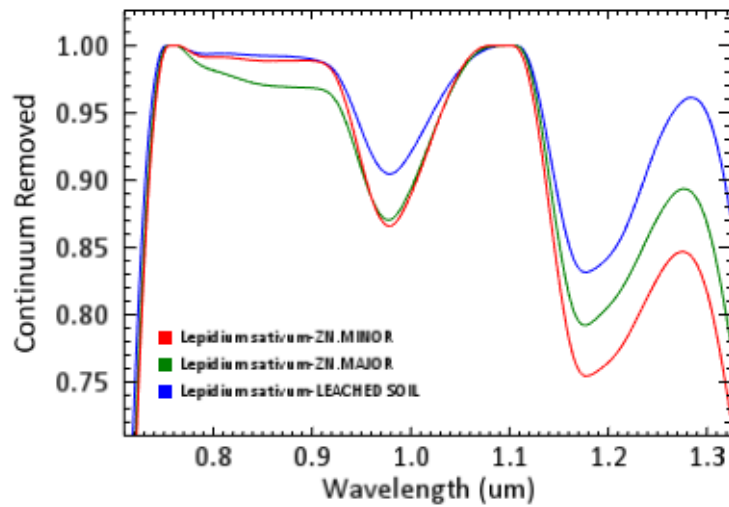
شکل ۱۹- سیمای طیفی نمونه‌های کشت شده در خاک شده شده و خاک معدن بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار در گستره ۰/۷-۱ میکرومتر تفاوت‌ها در میزان شیب و عرضه جذبی مشخص است.



شکل ۲۰- سیمای طیفی نمونه‌های شاهی کشت داده شده در خاک شسته شده و خاک معدن.



شکل ۲۱- سیمای طیفی نمونه‌های شاهی کشت داده شده در خاک شسته شده و خاک معدن بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار.



شکل ۲۲- سیمای طیفی نمونه های شاهی کشت داده شده در خاک شسته شده و خاک معدن بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار در گستره ۰/۷-۱ میکرومتر تفاوت های بین نمونه شاهد و نمونه های آلوده در میزان عرضه جذبی و شیب منتهی به آن واضح است.



شکل ۲۳- سه نمونه گیاه شاهدانه کشت داده شده در خاک شسته شده (گلدان سمت چپ)، خاک کم عیار (گلدان وسط) و خاک پر عیار (گلدان راست)

نمونه های رشد کرده در خاک معدن در همان گستره طیفی سیمای طیفی با یک شیب تند به عرضه جذبی شدیدتری ختم می شود. در شکل ۱۸ سیمای طیفی نمونه های شاهدانه بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار قابل مشاهده است. در شکل ۱۹ گستره طیفی ۰/۷-۱ میکرومتر بعد از اعمال منحنی طیفی از تفاوت در میزان شیب و افزایش عرضه جذبی حکایت دارد.

بحث در نتایج

به منظور از میان برداشتن و یا تقلیل آلودگی فلزات سنگین از این گیاهان می توان استفاده بهینه برد که این روش به نام

جدول ۲- ضرایب همبستگی محاسبه شده به روش اسپیرمن در معدن

گوجر	گوجر					
	کلسیم	آرسنیک	منیزیم	آهن	روی	سرب
کلسیم	۱	-۰/۲۵۰	۰/۴۷۳	۰/۰۸۳	-۰/۰۷۳	-۰/۲۷۵
آرسنیک	-۰/۲۵۰	۱	۰/۱۰۵	-۰/۷۶۰	۰/۶۷۱	۰/۹۶۲
منیزیم	۰/۴۷۳	۰/۱۰۵	۱	۰/۲۵۸	۰/۲۱۵	۰/۰۸۴
آهن	۰/۰۸۳	-۰/۷۶۰	۰/۲۵۸	۱	۰/۵۲۲	۰/۶۹۴
روی	-۰/۰۷۳	۰/۶۷۱	۰/۲۱۵	۰/۵۲۲	۱	۰/۶۶۸
سرب	-۰/۲۷۵	۰/۹۶۲	۰/۰۸۴	۰/۶۹۴	۰/۶۶۸	۱

در گستره طیفی ۰/۷-۱ میکرومتر سیمای جذبی با یک خط صاف به عرضه جذبی نسبتاً ضعیف ختم می شود اما در

بازتابی ضعیفی وجود دارند که در نمونه‌های رشد کرده در ماده معدنی شدت یافته‌اند. همچنین در گستره طیفی ۰/۷-۱ میکرومتر شیب سیمای طیفی نمونه‌های آلوده بسیار زیاد است در حالی که در نمونه شاهد شیبی مشاهده نمی‌شود. در شکل ۱۵ سیمای طیفی نمونه‌های کلزا بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار قابل مشاهده است در شکل ۱۶ گستره طیفی ۰/۷-۱ میکرومتر بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار نمایش داده شده و بخوبی میزان تفاوت در شاخصه‌های جذبی را مشخص نموده است. در نمونه کلزا با میزان روی بالا (COLZA-ZN.MAJOR) میزان جذب و شیب بیشتر می‌باشد.

در شکل ۲۰ سیمای طیفی نمونه‌های شاهی کشت شده در خاک شسته شده و خاک معدن نشان داده شده است. در این نمونه گیاهی نیز به مانند نمونه‌های دیگر میان سیمای طیفی نمونه رشد کرده در خاک شسته شده و نمونه خاک معدن تفاوت‌های قابل توجهی دیده می‌شود. در سیمای طیفی شاهی رشد کرده در نمونه خاک شسته شده در گستره ۰/۷-۱ میکرومتر سیمای طیفی به صورت خط مستقیم به عارضه جذبی نسبتاً ضعیف ختم می‌شود اما در نمونه‌ها رشد کرده در خاک آلوده در گستره طیفی ۰/۷-۱ میکرومتر این روند با شیب تند به عارضه جذبی شدیدتری ختم می‌شود. در شکل ۲۱ سیمای طیفی نمونه‌های شاهی بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار قابل مشاهده است. در شکل ۲۲ سیمای طیفی نمونه‌های شاهی بعد از اعمال منحنی حذف پیوستار در گستره ۰/۷-۱ میکرومتر مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشخص است تفاوت بین سیمای طیفی نمونه‌های شاهی رشد کرده در خاک شسته شده و نمونه‌های رشد کرده در خاک معدن مشخص هستند. نمونه‌ای که در خاک آلوده تر رشد کرده شیب گستره طیفی ۰/۷-۱ میکرومتر بیشتر و عارضه جذبی در ۱ میکرومتر شدیدتر است.

گیاه‌پالایی خوانده می‌شود. تعدادی از گیاهان قابلیت انباشتگری و بیش‌انباشتگری دارند، بدین معنا که فلزات سنگین را در خود به میزان بسیار زیاد انباشت می‌کنند این قابلیت از دیدگاه زیست محیطی حائز اهمیت است. گیاهانی چون کلزا، شاهدانه و شاهی (تر تیزک) از این جمله گیاهان هستند که پژوهش‌های متعددی در رابطه با قابلیت گیاه‌پالایی و انباشت فلزات سنگین مانند روی، سرب، آرسنیک بر روی آن‌ها انجام شده و بیش‌انباشتگری آن‌ها به اثبات رسیده است و از این قابلیت آن‌ها می‌توان در مقابله با آلودگی فلزات سنگین بهره برد (۱، ۲، ۳، ۷، ۱۲، ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۱۸). در پژوهش حاضر توانایی بیش‌انباشتگری این گیاهان در جذب فلزات سنگین استفاده شد تا بررسی شود که آیا تجمع فلزات سنگین مانند روی در سیمای طیفی آن‌ها تاثیر گذار خواهد بود یا خیر. برای این منظور از سه گیاه، کلزا، شاهدانه و شاهی در نمونه‌های خاک معدن و خاک شسته شده (Leached Soil) با اسید نیتریک در غلظت ۳ مولار استفاده شد. خاک نمونه‌های معدنی در دو گلدان متفاوت با میزان ماده معدنی متفاوت قرار داده شدند، یکی گلدان با ماده معدنی بیشتر (Zn-Major) و دیگری با ماده معدنی کمتر (Zn-Minor). در جدول ۱ میزان عناصر تشکیل دهنده نمونه‌های خاک ذکر شده‌اند. همان‌طور که از جدول بر می‌آید میزان فلزات سنگین مانند سرب و روی در نمونه‌های معدنی بسیار زیاد است.

هر سه گیاه در گلدان‌های مورد نظر کشت داده شده تا رشد کنند و برگ‌های آن‌ها سبز شوند سپس طیف‌نگاری بر روی آن‌ها صورت پذیرفت و سیمای طیفی آن‌ها استخراج شد (۴). در شکل ۱۴ سیمای طیفی ۳ نمونه گیاه کلزا در گلدان‌های با میزان متفاوت روی، نشان داده شده است. همان‌طور که سیمای طیفی نمونه‌های کلزا نشان می‌دهند، نمونه‌ای که در خاک باغچه رشد نموده با نمونه‌هایی که در خاک حاوی ماده معدنی رشد نموده‌اند متفاوت است. در گستره طیفی ۰/۷-۱ میکرومتر شاخصه‌های جذبی و

در شمال غرب کانادا با استفاده از اسپکتروفتومتر جهت پیش بینی غلظت عناصر سنگین باند مادون قرمز نزدیک در طول موج ۱۱۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر پیشنهاد شد (۲۰). بانزاهو و همکاران (۲۱) امکان استفاده از انعکاس طیفی را به عنوان یک روش سریع و همزمان در ارزیابی عناصر آلاینده در حومه شهر نانجینگ چین تأیید کردند. در تحقیقی دیگر چو و همکاران با استفاده از تلفیق داده‌های ژئوشیمی طیف سنجی میدانی و داده‌های سنجش از دور ابر طیفی در معدنی در جنوب شرق اسپانیا آلودگی فلزات سنگین در رسوبات ابراهه ای مورد بررسی قرار دادند که بدین منظور از نسبت باندهای ۵۰۰/۶۱۰ نانومتر در ناحیه مرئی، مادون قرمز نزدیک و میزان جذب در محدوده ۲۲۰۰ نانومتر استفاده کردند که دریافتند الگوی مکانی مشابهی بین نقشه‌های حاصل از تصاویر چند طیفی داده‌های اسپکتروفتومتری وجود داشت. نتایج آنها تأیید کرد که پارامترهای مشتق شده از خصوصیات جذب طیفی خاک‌ها پتانسیل لازم برای تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی عناصر سنگین را دارا می‌باشد (۴). جک موند و همکاران (۸) فریر (۵) پارک و مایکل (۱۵) مطالعات گسترده‌ای را در زمینه کاربرد انعکاس طیفی و تصاویر ماهواره‌ای در بررسی پراکنش عناصر سنگین انجام داده‌اند. در هر حال فرآیندهای مربوطه باعث ایجاد تفاوت در سیمای طیفی گیاهان شده و این امر می‌تواند در سنجش از دور و پایش آلودگی های زیست محیطی ناشی از پراکندگی فلزات سنگین بسیار کارگشا باشد.

تشکر و قدردانی: این مقاله بخشی از یک طرح پژوهشی بوده که قرارداد آن به شماره ۹۵/۴۰۸ در پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان به ثبت رسیده است. نویسندگان مقاله مراتب تشکر خود را از مسئولین پژوهشگاه و دانشگاه اعلام می‌دارند.

نظر به اینکه سیمای طیفی اکثر نمونه‌ها در گستره طیفی ۷۵۰ تا ۱۱۵۰ نانومتر (۰/۷ تا ۱/۱ میکرومتر) مربوط به خصوصیات بیوفیزیکی دچار تغییر می‌شود. و تنها در نمونه‌های اوکالیپتوس و سرو در گستره طیفی ۱۵۵۰ تا ۱۷۵۰ نانومتر (۱/۵ تا ۱/۷ میکرومتر) محدوده‌ای که تنش فلزات سنگین خود را نمایان می‌کند دارای تفاوت با نمونه سالم و استاندارد هستند. می‌توان اینطور نتیجه گرفت که اکثر نمونه‌های گیاهی مخصوصاً کلزا، شاهدانه و شاهی تغییرات مربوط به انباشت فلزات سنگین را در خصوصیات بیوفیزیکی از خود نشان می‌دهند یعنی با انباشت فلزات سنگین به نوعی کنار آمده‌اند اما این انباشت تأثیر خود را در خصوصیات بیوفیزیکی و قرار گیری در ساختار مولکولی گیاهان گذاشته است. تحقیقات انجام شده در جهان نیز گرچه بر روی عناصر و معادن مختلف صورت گرفته است ولی عمدتاً نشان از تغییر طیف جذبی عناصر در مناطقی معدنی دارند که نتایج این تحقیق نیز در همین راستا است. در تحقیقی برای تعیین مشخصات خاک در باغات سیب در چین با استفاده از طیف سنج زمینی فلزات سنگین موجود در خاک As, Cu, Pb, Zn, Cr مورد بررسی قرار گرفته است (۲۲). لوسک و همکاران برای مطالعه باقی مانده‌های معدنی در مکان‌های تحت فعالیت استخراج و همچنین بررسی محتوای عناصر سنگین در شمال اسپانیا از داده‌های IKONOS و داده‌های ابر طیفی CASI استفاده کردند. آن‌ها متوجه شدند که تفکیک پذیری طیفی لزوماً برای پیش بینی محتوای عناصر سنگین یک محدودیت نیست چنانچه نتایج حاصل از چهار باند ماهواره IKONOS مشابه نتایج بدست آمده از ۶۵ باند داده‌های ابر طیفی می‌باشد (۱۱). همچنین کمپر و سومر طی مطالعه‌ای غلظت عناصر سنگین را در اطراف معدنی در شمال اسپانیا با استفاده از میزان انعکاس باند مادون قرمز نزدیک پهنه بندی کردند که نتایج آنها نشان داد که غلظت Fe, Cu, As, Cd, Zn, Sb, S, Hg, Pb بالاتر از مقادیر معمول می‌باشد (۹). در مطالعه ویلیامز و مالی در اطراف رودخانه‌ای

منابع

۱. داودپور، ر. اردکانی، س. چراغی، م. عبدی، ن. لرستانی ب. ۱۳۹۹. بررسی قابلیت انباشتگی زیستی و تثبیت آرسنیک و برخی فلزات سنگین توسط گونه گون (Stragalus spp). مجله پژوهش‌های گیاهی. دوره ۳۳. شماره ۲. صفحه ۴۷۷-۴۸۸.
۲. رضائزاد، ف. علوم، ح. قلی پور، ز. کلانتری، خ. ۱۳۹۶. پاسخ دو گونه کاج (*Pinus nigra*) و (*P. eldarica*) اطراف کارخانه مس سرچشمه در جذب فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های ساختاری برگ. مجله پژوهش‌های گیاهی. دوره ۳۰. شماره ۲. صفحه ۴۰۷-۳۹۳.
- ۳.
۴. Aziz, H. A. Aziz S. Q. 2013. phytoremediation of soil contaminated with nickel by lepidium sativum; optimization by response surface methodology. 15: 69-75.
۵. Choe, E. F. Van Der Meer, F. Van Ruitenbeek, H. Van Der Werff 2008. Remote Sensing of Environment Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: A case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain. 112: 3222-3233.
۶. Ferrier, G. 1999. Application of imaging spectrometer data in identifying environmental pollution caused by mining at Rodaquilar, Spain," *Remote Sens. Environ.* 68: 125-137.
۷. Ghorbani, A. Honarmand, M. Shahriari, H. Hassani, M. J. 2019. Regional scale prospecting for non-sulphide zinc deposits using ASTER data and different spectral processing methods. 40: 8647-8667.
۸. Hosseini A. Universiti, V. Vakili, A. H. 2016. The Potential of *Lepidium sativum* for Phytoremediation of Contaminated Soil with Cadmium. 2013. 20-24.
۹. Jacquemoud, B. Ustin, S. S. L. Verdebout, J. Schmuck, G. Andreoli, Hosgood, G.. 1996. Estimating leaf biochemistry using the PROSPECT leaf optical properties model," *Remote Sens. Environ.* 56: 194-202.
۱۰. Kemper, S. 2000. Estimate heavy metal contamination in soil after a mining accident using reflectance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 36: 2742-2747.
۱۱. Koz, B. Ger, H. Leštan, D. 2003. Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plants. 12: 548-553.
۱۲. Lévesque, T. Staenz, J. Szeredi, K. 2011. The impact of spectral band characteristics on unmixing of hyperspectral data for monitoring mine tailings site rehabilitation. *Can. J. Remote Sens.* 26: 231-240.
۱۳. Li, C. Xiao, B. Wang, Q. H. Yao, S. H. Wu, J. Y. 2014. Phytoremediation of Zn- and Cr-Contaminated Soil Using Two Promising Energy Grasses. *water air soil pollut.* 225: 20-27.
۱۴. Mialhe, F. Gunnel, Y. F. A. Ignacio, N. Delbart, J. Oganian and S. Henry. 2015. Monitoring land-use change by combining participatory land-use maps with standard remote sensing techniques: Show case from a remote forest catchment on Mindanao, Philippine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-Information.* 36: 69-82.
۱۵. Moreno, J. L. J. Zabalza, V. S. M. Serrano, J. Revuelto, M. Gilaberte, C. Molina, E. M. Tejada, J. M. Ruiz. Tague, C. 2014. Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: Scenarios in Upper Aragón River. *Science of the Total Environment.* 493: 1222-1231.
۱۶. Park, M. Stenstrom, M. K. 2006. Using satellite imagery for stormwater pollution management with Bayesian networks. 40: 3429-3438.
۱۷. Rahman, M. A. Hasegawa, H. 2011. Chemosphere Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere.* 83: 633-646.
۱۸. Robinson, B. 2003. Uptake of arsenic by New Zealand watercress (*Lepidium sativum*). *Science of The Total Environment.* 30:67-73.
۱۹. Souhila, A. Mameri, N. Abdi, N. Grib, H. Lounici, H. Drouiche, N. 2016. Phytoremediation of soil contaminated with Zn using Canola (*Brassica napus* L.). *Ecol. Eng.* 95: 43-49.
۲۰. Thenkabail, P. Lyon, G. Huete, A. 2012. hyperspectral remote sensing of vegetation. Taylor & Francis. 705 p.

21. Williams, M. 1997. Use of Near-infrared reflectance spectroscopy in prediction of heavy metal in freshwater sediments by their association with organic matter. *Env. Sci. Technol.* 31: 3461–3467.
22. Wo, X. Yanzaho, W. Jun, C. 2005. Possibilities of reflectance spectroscopy for assessment of contamination element in suburban soil.,” *Appl. Geochemistry.* 20: 1051–1059.
23. Yi-Wei, L. I. Shi-Qi, D. O. Chun-Ying, Y. A. Yu-Zhong, L. I. Wei, B. A. I. Zhong-Nan, F. Qiao-Zhen A. N. 2011. Determination of soil parameters in apple-growing regions by near- and mid-infrared spectroscopy. *Pedosphere.* 21: 591–602.
24. Zagner, S., Kneer, R., Wanner, G., Cosson, J. P., Deus-Neumann, B., Zenk, M. H. 1998. Hyperaccumulation, complexation and distribution of nickel in *Sebertia acuminata*. *Phytochemistry.* 47:339–347.

Soil Zinc Content Changes Using Spectroscopy of Plants in Gojer mine in North Kerman Province

Hassan Salari^{1*}, Mehdi Honarmand¹, Hossein Mozafari¹, Mahdiah Hosseinjanizadeh¹

¹Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, I.R. of Iran

Abstract

Data spectroscopy using is one way to study the properties and properties of plants. Plants that exposure to heavy metals induces a stressful reaction that can affect the reflectance spectrum of the plant and its spectral response. *Eucalyptus camaldulensis*, *Ficus carica*, *Punica granatum* and *Cupressus arizonica* were used to investigate the spectroscopy as heavy metal-contaminated plants and non-contaminated at Gojar Mine in Kerman province. Also some plants from the around Mahan and Kerman were selected as control samples. The results of the spectroscopy of the Gojer mine plants showed differences in their spectral images with control plant samples. The accumulationability of plants *Brassica napus*, *Cannabis sativa*, *Lepidium ativum* to absorb heavy metals carried out to investigate the spectral change caused via heavy metal accumulation. The absorption spectra of the tested and control plants were significantly different in all three plants. Spectral studies on *Brassica napus*, *Cannabis sativa*, *Lepidium ativum* showed that these plants are useful in identifying areas that are heavily metal contaminated.

Key words: *Eucalyptus camaldulensis*, *Ficus carica*, Gojer zinc mine, Kerman Province, *Punica granatum* Plant Spectroscopy.