



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



مطالعه اسید هیومیک استخراجی از لئوناردیت و برخی از ویژگی های شیمیایی آن

راضیه آهسته^{۱*}، مجید حجازی مهریزی^۲، ناصر برومند^۳، مهدی سرچشمه پور^۴، مجید فکری^۵

۱- دانشجوی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ * r.ahesteh@agr.uk.ac.ir

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان

۵- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

لئوناردیت‌ها از لحاظ ساختار و ویژگی‌های شیمیایی طیف گسترده‌ای دارند و شناخت دقیق‌تر این ویژگی‌ها می‌تواند به درک بهتر کاربردهای بالقوه آن‌ها در کشاورزی کمک کند. این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های شیمیایی اسید هیومیک استخراج شده از لئوناردیت در منطقه پابدانا (زرد) انجام شد. در این مطالعه، شانزده نمونه بررسی شدند که شامل سیزده نمونه لئوناردیت از معدن زغال‌سنگ گلتوت در منطقه پابدانا و سه نمونه باطله زغال‌سویی بودند. در نمونه‌های برداشت شده، ویژگی‌های شیمیایی شامل درصد اسید هیومیک، نسبت آلیفاتیک به آروماتیک و اندازه و وزن مولکولی اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که بازده استخراج اسید هیومیک با افزایش میزان اولیه اسید هیومیک افزایش یافت و در نمونه‌های L1، L2، L10، L11 و به ترتیب ۶۴/۶۱، ۰۵/۶۰، ۰۷/۶۰، و ۳۵/۶۲ درصد بود. تحلیل ساختاری نشان داد که نمونه‌های C1 و L13 با نسبت آلیفاتیک به آروماتیک (E4/E6) به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۵۸ ساختار آروماتیک‌تر، و نمونه‌های L3 و L6 با نسبت‌های ۳/۹۳ و ۳/۸۸ ساختار آلیفاتیک‌تر دارند. نتایج این مطالعه نشان داد که لئوناردیت‌های منطقه پابدانا به دلیل تنوع ساختاری و غنای اسید هیومیک، می‌تواند منبعی مناسب برای استخراج اسید هیومیک و کاربرد در بهبود خاک کشاورزی محسوب گردد.

واژگان کلیدی: آروماتیک، آلیفاتیک، اسید هیومیک، لئوناردیت.

مقدمه

لئوناردیت، ماده‌ای آلی غنی از ترکیبات هیومیکی، از تجزیه بقایای گیاهی در شرایط زمین‌شناسی خاص تشکیل می‌شود و به‌عنوان منبعی کلیدی برای استخراج اسید هیومیک شناخته می‌شود (Stevenson, 1994). یکی از انواع لئوناردیت لیچه نام دارد که به دلیل محتوای بالای اسید هیومیک، به عنوان یک ماده بهبوددهنده خاک و محرک زیستی (biostimulant) برای گیاهان استفاده می‌شود (Olivares, 2014 & Canellas). این ماده می‌تواند به بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب، و کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان در خاک‌های آلوده کمک کند (Arquetopanyo et al., 2018). از لئوناردیت، به‌ویژه نوع لیچه، می‌توان برای استخراج اسید هیومیک با بازده بالا استفاده کرد که کاربردهای گسترده‌ای در کشاورزی پایدار دارد.

اسید هیومیک با بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش ظرفیت نگهداری آب، و تقویت فعالیت میکروبی خاک، نقش مهمی در ارتقای رشد گیاهان و پایداری کشاورزی ایفا می‌کند (Canellas & Olivares, 2014). این ترکیبات معمولاً با استفاده از محلول‌های قلیایی مانند هیدروکسید سدیم استخراج و با اسیدی کردن محلول، جدا می‌شوند (Stevenson, 1994).

ساختار شیمیایی اسید هیومیک، شامل زنجیره‌های آلیفاتیک و آروماتیک با گروه‌های عاملی نظیر کربوکسیل و فنولی بوده که به آن قابلیت تعامل با یون‌های فلزی و مواد آلی را می‌دهد و این امر برای بهبود خواص خاک حیاتی است (Tan, 2014). این ویژگی‌ها، اسید هیومیک را به ابزاری مؤثر برای افزایش فراهمی عناصر غذایی، کاهش شوری خاک، و جذب فلزات سنگین در خاک‌های آلوده تبدیل کرده است (Fuentes et al., 2018). به‌عنوان مثال، مطالعه‌ای توسط Nardi و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که اسید هیومیک رشد ریشه گیاهان را تا ۲۵ درصد افزایش می‌دهد و جذب نیتروژن و فسفر را بهبود می‌بخشد. همچنین، پژوهشی توسط Kulikowska و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کرد که اسید هیومیک با تقویت فعالیت میکروبی، ساختار خاک‌های فقیر را بهبود می‌بخشد و به مدیریت پایدار خاک کمک می‌کند.

پژوهشی توسط Ampong و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که اسید هیومیک استخراج‌شده از لئوناردیت در خاک‌های شنی، فراهمی عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد، اما تأثیر آن بر pH و EC خاک به دلیل ظرفیت بافری خاک محدود است. با این حال، اطلاعات درباره ویژگی‌های شیمیایی لئوناردیت منطقه پابدانا (زرنند)، به‌ویژه در مقایسه با باطله‌های زغال‌شویی، همچنان محدود است، که ضرورت بررسی دقیق‌تر این منابع بومی را برای کاربرد در کشاورزی پایدار برجسته می‌کند. پژوهش دیگری توسط Ampong و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از کروماتوگرافی مایع و طیف‌سنجی جرمی نشان داد که اسید هیومیک استخراج‌شده از لئوناردیت، به دلیل وزن مولکولی متوسط و حضور گروه‌های عاملی فعال، می‌تواند ساختار خاک‌های شنی را بهبود بخشد و فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر را افزایش دهد. با این حال، اطلاعات درباره استخراج اسید هیومیک از لئوناردیت‌های ایران، به‌ویژه در مقایسه با سایر منابع آلی، همچنان محدود است. این شکاف دانش، ضرورت بررسی دقیق‌تر ویژگی‌های شیمیایی لئوناردیت‌های بومی ایران را برای ارزیابی پتانسیل آن‌ها در توسعه راهکارهای پایدار کشاورزی و مدیریت خاک برجسته می‌کند. هدف این مطالعه، شناسایی ویژگی‌های شیمیایی لئوناردیت پابدانا ارتقای کشاورزی پایدار است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه‌ها از منطقه پابدانا (زرنند)، واقع در ۷۵ کیلومتری شمال غربی کرمان (مختصات تقریبی: ۳۰، ۸۷° شمالی، ۵۶، ۳۷° شرقی)، در معدن زغال‌سنگ گلوتوت استخراج شدند. این منطقه در ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد و دارای ذخایر غنی زغال‌سنگ و لئوناردیت است.

در این پژوهش سیزده نمونه لئوناردیت با کدهای L1، L2، L3، L4، L5، L6، L7، L8، L9، L10، L11، L12 و (لیچه) L13 از معدن زغال‌سنگ گلوتوت واقع در منطقه پابدانا (زرنند) و سه نمونه باطله زغال‌شویی با کدهای C1 (یک‌ماهه)، C2 (چهارماهه) و C3 (چهارساله) جهت امکان‌سنجی استخراج اسید هیومیک مورد بررسی قرار گرفت.

تمامی ۱۶ نمونه (چه خشک چه مرطوب) ابتدا در شرایط هوای آزاد به طور کامل خشک شدند تا رطوبت آن‌ها به حداقل برسد و برای توزین و مراحل بعدی آزمایش آماده شوند. برای سنجش pH و EC نمونه‌ها، از نسبت ۱:۲۰ استفاده و در نهایت بعد از آماده سازی و فیلتر محلول‌ها با استفاده از دستگاه pH متر و دستگاه هدایت سنج مورد ارزیابی قرار گرفتند (Sparks & al., 2020).

استخراج اسید هیومیک از نمونه‌های مورد آزمایش به روش کالیفرنیا بر اساس پروتکل استاندارد انجمن بین الملل مواد هیومیکی (IHSS) انجام شد (Swift, 1996).

برای بررسی ساختار شیمیایی اسید هیومیک استخراج‌شده، میزان جذب عصاره‌ها در طول موج‌های خاص (۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری UV-Vis اندازه‌گیری شد تا نسبت آلیفاتیک به آروماتیک، اندازه مولکولی، و وزن مولکولی تعیین گردد (Meng et al., 2021). برای تحلیل اسپکتروسکوپی، میزان جذب عصاره‌های اسید هیومیک در طول موج‌های ۲۵۰ نانومتر (E2) و ۳۵۰ نانومتر (E3) با استفاده از لامپ دوتریوم و در طول موج‌های ۴۶۵ نانومتر (E4)، ۵۵۰ نانومتر (E5)، و ۶۶۵ نانومتر (E6) با استفاده از لامپ تنگستن توسط دستگاه اسپکتروفتومتری UV-Vis اندازه‌گیری شد (Stevenson, 1994).

نتایج و بحث

بر اساس داده‌های جدول ۱، نمونه‌های لئوناردیت L1، L2، L10، L11 و به ترتیب با بازده استخراج اسید هیومیک ۶۴، ۶۱، ۶۰، ۰۷ و ۶۲، ۳۵ درصد، بالاترین بازده را در میان نمونه‌های مورد بررسی نشان دادند.

جدول ۱ درصد اسید هیومیک استخراج شده از نمونه‌ها

| نمونه | EC لئوناردیت | pH لئوناردیت | درصد اسید هیومیک |
|-------|--------------|--------------|------------------|
| C3 | ۴۱۳ | ۸/۳۸ | ۲۰/۵۵ |
| C2 | ۶۳۹ | ۷/۴۲ | ۴۷/۱۱ |
| C1 | ۷۳۲ | ۷/۵۸ | ۱۹/۱۱ |
| L1 | ۷۸۴ | ۶/۰۹ | ۶۴/۶۱ |
| L2 | ۵۳۰ | ۳/۴۱ | ۶۰/۰۵ |
| L3 | ۲۴۵ | ۶/۳۲ | ۲۳/۴۳ |
| L4 | ۲۳۳ | ۵/۴۵ | ۵۰/۰۲ |
| L5 | ۳۲۰ | ۲/۵۹ | ۴۵/۲۶ |
| L6 | ۲۳۶ | ۵/۱۱ | ۳۰/۰۲ |
| L7 | ۲۶۱ | ۷/۶۷ | ۱۵/۵۶ |
| L8 | ۱۰۳۱ | ۴/۲۱ | ۳۸/۸۱ |
| L9 | ۵۱۳ | ۷/۱۱ | ۲۸/۴۵ |
| L10 | ۲۲۵ | ۵/۸۱ | ۶۰/۰۷ |
| L11 | ۳۰۴ | ۶/۵۷ | ۶۲/۳۵ |
| L12 | ۳۱۹ | ۷/۳ | ۲۴/۰۳ |
| L13 | ۲۱۵ | ۷/۶۷ | ۴۶/۰۶ |

در نمونه‌های L1، L2، L10، و L11، احتمالاً محتوای پایین کربنات‌ها و سولفات‌ها همراه با استفاده از حلال قلیایی (مانند KOH) امکان آزادسازی مؤثرتر پیوندهای شیمیایی مواد هیومیکی را فراهم کرده است. Souza و Bragança (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که استفاده از حلال‌های قلیایی مانند KOH در غیاب ناخالصی‌های معدنی مزاحم، بازده استخراج اسید هیومیک را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

در مقابل، نمونه L7 با ۱۵/۵۶ درصد اسید هیومیک کمترین بازده استخراج را نشان داد. این مقدار پایین احتمالاً به حضور بالای کربنات‌ها یا سولفات‌ها در این نمونه مربوط است که با اسیدهای هیومیکی کمپلکس‌های غیرقابل حل تشکیل می‌دهند. Piccolo (۲۰۰۱) گزارش کرد که کربنات‌ها می‌توانند با گروه‌های عاملی هیومیکی واکنش داده و ترکیبات نامحلول تولید کنند که استخراج را دشوار می‌کند. علاوه بر این، اکسیداسیون شیمیایی مواد آلی در نمونه L7، احتمالاً به دلیل قرار گرفتن در معرض شرایط محیطی مانند هوازگی یا نفوذ آب‌های زیرزمینی غنی از اکسیژن، می‌تواند محتوای هیومیکی قابل استخراج را کاهش داده باشد. Zaman و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که اکسیداسیون شیمیایی (مانند استفاده از H₂O₂) در برخی زغال‌سنگ‌ها می‌تواند ساختارهای هیومیکی را تخریب کند، به‌ویژه در نمونه‌هایی که در معرض هوازگی طولانی‌مدت قرار گرفته‌اند.

نمونه‌های باطله زغال‌شویی C1 و C3 با مقادیر ۱۹/۱۱ و ۲۰/۵۵ درصد نیز بازده پایینی داشتند. این کاهش به اکسیداسیون شیمیایی شدید مواد آلی در باطله‌ها نسبت داده می‌شود که طی فرآیندهای شستشو و تماس طولانی با اکسیژن و آب رخ می‌دهد. Zaman و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که اکسیداسیون شیمیایی در باطله‌های زغال‌سنگ باعث تخریب گروه‌های عاملی فعال (مانند کربوکسیل) می‌شود که منجر به کاهش بازده استخراج اسید هیومیک می‌گردد. علاوه بر این، حضور ناخالصی‌های معدنی مانند سیلیکات‌ها یا سولفات‌ها در باطله‌ها، همان‌طور که Souza و Bragança (۲۰۱۸) اشاره کردند، می‌تواند با تشکیل پیوندهای شیمیایی با مواد هیومیکی، فرآیند استخراج را مختل کند. Kalaitzidis و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای روی لئوناردیت‌های یونان گزارش کردند که باطله‌های زغال‌شویی به دلیل قرار گرفتن در معرض هوازگی طولانی‌مدت، محتوای هیومیکی کمتری دارند و این موضوع با یافته‌های فعلی هم‌راستا است (Kalaitzidis & al., 2003).

جدول ۲ نسبت‌های اسپکتروسکوپی حاصل از اندازه‌گیری‌های جذبی اسید هیومیک استخراج شده در طول موج‌های مختلف را برای هر نمونه ارائه می‌دهد. این نسبت‌ها برای تحلیل ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی اسید هیومیک به کار گرفته شده‌اند.

جدول ۲ نسبت‌های اسپکتروسکوپی اسید هیومیک استخراج شده

| نمونه‌ها | اندازه مولکولی در اسید هیومیک | |
|----------|--------------------------------------|---------------------|
| | نسبت آلیفاتیک به آروماتیک ۴۶۵/۶۶۵ | استخراجی ۳۵۰/۵۵۰ |
| C3 | ۱/۲۸ | ۱/۱۷ |
| C2 | ۱/۷۰ | ۱/۷۱ |
| C1 | ۰/۱۲ | ۰/۹۹ |
| L1 | ۳/۲۸ | ۲/۷۴ |
| L2 | ۱/۱۴ | ۱/۰۱ |
| L3 | ۳/۹۳ | ۳/۷۸ |
| L4 | ۲/۹۶ | ۴/۵۲ |
| L5 | ۱/۰۱ | ۱/۲۲ |
| L6 | ۳/۸۸ | ۳/۷۲ |
| L7 | ۱/۹۳ | ۰/۹۱ |
| L8 | ۰/۸۵ | ۰/۹۸ |
| L9 | ۰/۷۱ | ۰/۷۸ |
| L10 | ۲/۸۷ | ۲/۶۱ |
| L11 | ۲/۶ | ۵/۰۷ |
| L12 | ۲ | ۰/۸۲ |
| L13 | ۰/۵۸ | ۰/۹۹ |

نسبت جذبی ۴۶۵ به ۶۶۵ نانومتر، که نشان‌دهنده نسبت ساختارهای آلیفاتیک به آروماتیک در اسید هیومیک است، در نمونه‌های L3 و L6 با مقادیر ۳/۹۳ و ۳/۸۸ بالاترین مقدار را نشان داد. این نسبت بالا بیانگر غالبیت زنجیره‌های هیدروکربنی خطی (آلیفاتیک) در ساختار این نمونه‌هاست. Tan (۲۰۱۴) گزارش کرد که بالاتر بودن عدد نسبت جذبی ۴۶۵ به ۶۶۵ نانومتر نشان‌دهنده بیشتر بودن محتوای آلیفاتیک نسبت به محتوای آروماتیستی می‌باشد. وی بالا بودن نسبت جذبی ۴۶۵ به ۶۶۵ در اسید هیومیک را ناشی از فراوانی زنجیره‌های هیدروکربنی خطی و گروه‌های عاملی مانند کربوکسیل و هیدروکسیل ذکر کردند. ساختار آلیفاتیک‌تر در نمونه‌های L3 و L6 احتمالاً به محتوای اولیه بالاتر مواد آلی با زنجیره‌های خطی در این لئوناردیت‌ها مربوط می‌شود. در مقابل، نمونه‌های C1، L13 و L9 با مقادیر پایین‌تر نسبت جذبی ۴۶۵ به ۶۶۵ نانومتر (۰/۱۲، ۰/۵۸، ۰/۷۱) ساختار آروماتیک‌تری دارند، به این معنا که حلقه‌های بنزنی و پیوندهای دوگانه در ساختار آنها غالب است. Tan (۲۰۱۴) توضیح داد که نسبت جذبی ۴۶۵ به ۶۶۵ نانومتر پایین نشان‌دهنده آروماتیستی بالاتر و حضور ساختارهای متراکم‌تر مانند حلقه‌های بنزنی است، که معمولاً با اکسیداسیون پیشرفته‌تر یا حضور مواد اولیه غنی از ترکیبات آروماتیک مرتبط است. در این نمونه‌ها، احتمالاً فرآیندهای اکسیداسیون شیمیایی یا شرایط استخراج (مانند استفاده از حلال‌های قلیایی قوی) باعث حفظ ساختارهای آروماتیک شده است. Zaccone و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که اسیدهای هیومیک با آروماتیسته بالا به دلیل وجود گروه‌های عاملی پایدارتر (مانند فنولی)، مقاومت بیشتری در برابر تجزیه شیمیایی دارند.

نسبت جذبی ۳۵۰ به ۵۵۰ نانومتر، که نشان‌دهنده اندازه مولکولی اسید هیومیک است، در محدوده ۰/۷۸ تا ۵/۰۷ متغیر است. نمونه L11 با مقدار ۵/۰۷ بزرگ‌ترین اندازه مولکولی را نشان داد، که احتمالاً به تجمع مولکول‌های بزرگ‌تر با پیوندهای پیچیده‌تر در این نمونه مرتبط است. Tan (۲۰۱۴) بیان کرد که نسبت جذبی ۳۵۰ به ۵۵۰ نانومتر بالا نشان‌دهنده مولکول‌های بزرگ‌تر با ساختارهای پلیمری پیچیده‌تر است، که اغلب در اسیدهای هیومیک با تجزیه کمتر مشاهده می‌شود. در مقابل، نمونه L9 با مقدار ۰/۷۸ کوچک‌ترین اندازه مولکولی را دارد، که می‌تواند به تجزیه بیشتر مولکول‌ها طی فرآیند استخراج یا محتوای اولیه کمتر مولکول‌های بزرگ مرتبط باشد. Zaccone و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که اسیدهای هیومیک با اندازه مولکولی کوچک‌تر به دلیل تحرک بالاتر، برهم‌کنش سریع‌تری با اجزای شیمیایی خاک دارند.

نسبت جذبی ۲۵۰ به ۳۵۰ نانومتر، که بیانگر وزن مولکولی اسید هیومیک است، بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۸ تغییر می‌کند. نمونه‌های L3 و L6 با مقدار ۰/۰۰۴ کمترین وزن مولکولی را دارند، که احتمالاً به دلیل تجزیه بیشتر مولکول‌ها در فرآیند استخراج یا حضور مواد اولیه با وزن مولکولی پایین‌تر است. Piccolo (۲۰۰۱) گزارش کرد که اسیدهای هیومیک با وزن مولکولی پایین‌تر، به دلیل اندازه کوچک‌تر، تحرک بیشتری در ماتریکس شیمیایی دارند و به راحتی با سایر ترکیبات آلی و معدنی برهم‌کنش می‌کنند. در مقابل، نمونه‌های L2، L7، و L12 با مقدار ۰/۰۸ وزن مولکولی بالاتری دارند، که نشان‌دهنده ساختارهای متراکم‌تر و پایدارتر است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که لئوناردیت‌های معدن زغال‌سنگ گلتوت در منطقه پابدانا (زرنده، کرمان) به دلیل تنوع شیمیایی و بازده بالای استخراج، پتانسیل بالایی برای تولید اسید هیومیک دارند. تیمارهای L1، L2، L10، و L11 با بازده استخراج اسید هیومیک بیش از ۶۰ درصد، به‌عنوان منابع مناسب برای تولید اسید هیومیک با کیفیت بالا شناسایی شدند، در حالی که سایر تیمارها (مانند C1، L3، L6، و L13) نیز به دلیل ویژگی‌های ساختاری متنوع، برای کاربردهای خاص مناسب‌اند. معادن لئوناردیت کرمان، به‌ویژه پابدانا، می‌توانند به‌عنوان منبعی ارزشمند برای تولید اسید هیومیک در راستای کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، کاربرد این مواد در کشاورزی نیازمند آزمایش‌های میدانی برای تأیید اثربخشی آن‌هاست. بر اساس بازده استخراج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری برای بهینه‌سازی فرآیند استخراج و ارزیابی پایداری اسید هیومیک در شرایط واقعی انجام شود.

تشکر و قدردانی

با تشکر از شرکت شهرک‌های صنعتی استان کرمان که از این پژوهش حمایت مالی کردند.

فهرست منابع

- Ampong, K., Thilakarathna, M. S., & Gorim, L. Y. (2020). Humic acid from leonardite: Effects on soil structure and nutrient availability in sandy soils. *Soil Use and Management*, 36(3), 478–489. <https://doi.org/10.1111/sum.12594>
- Arquetopanyo, O., Thongmee, T., & Sooksamiti, P. (2018). Chemical characterization of leonardite and its potential use as soil conditioner and plant growth enhancement. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 22(04), Article APST-22-04-01.
- Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1), Article 3. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Cameren, E., Yılmaz, D., & Özyürek, M. (2018). Investigation of analysis methods for detection of humic substances within leonardite. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 9(1), 50–53.
- Fuentes, M., Baigorri, R., & Garcia-Mina, J. M. (2018). Characterization of humic acids extracted from different sources using FTIR and ¹³C NMR spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, 82(3), 645–652. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.11.0397>
- Kalaitzidis, S., Papazisimou, S., & Christanis, K. (2003). Preliminary comparative analyses of two Greek leonardites. *Fuel*, 82(7), 859–861. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(02\)00373-9](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00373-9)
- Kulikowska, D., Gusiatin, Z. M., & Klik, B. (2019). Chemical composition and agricultural potential of leonardite from Polish deposits. *Journal of Soils and Sediments*, 19(6), 2456–2468. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02269-4>
- Meng, F., Yuan, G., & Wei, J. (2021). Effect of humic acid derived from leonardite on the redistribution of uranium fractions in soil. *Chemosphere*, 280, Article 130915. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130915>
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2021). Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolysates and humic substances. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 671088. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.671088>

- Piccolo, A. (2001). The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*, 166(11), 810–832. <https://doi.org/10.1097/00010694-200111000-00007>
- Souza, F., & Bragança, S. R. (2018). Extraction and characterization of humic acid from coal for the application as dispersant of ceramic powders. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(3), 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.08.008>
- Sparks, D. L., Page, A. L., & Helmke, P. A. (2020). *Methods of soil analysis: Part 3—Chemical methods*. Soil Science Society of America.
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons.
- Swift, R. S. (1996). Organic matter characterization. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3—Chemical methods* (pp. 1011–1069). Soil Science Society of America.
- Tan, K. H. (2014). *Humic matter in soil and the environment: Principles and controversies*. CRC Press.
- Zaman, M., Shahid, S. A., & Heng, L. (2021). Characterization of humic acids from original coal and its oxidization production. *Scientific Reports*, 11, Article 12066. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91338-6>

Investigation of Humic Acid Extracted from Leonardite and Some of Its Chemical Properties

Razieh Ahesteh^{1*}, Majid Hejazi Mehrizi², Naser Boroumand³, Mehdi Sarcheshmehpour⁴, Majid Fekri⁵

1. Student, Department of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman; *

r.ahesteh@agr.uk.ac.ir

2. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

3. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

4. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

5. Professor, Department of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

Abstract

Leonardites have a wide range of structures and chemical properties, and a more detailed understanding of these properties can help to better understand their potential applications in agriculture. This study was conducted to investigate the chemical properties of humic acid extracted from Leonardite in the Pabadana (Zarand) region. In this study, sixteen samples including thirteen leonardite samples from Galtut coal mine in Pabadana area and three samples from coal washing tailings were investigated. In the collected samples, chemical properties including humic acid percentage, aliphatic to aromatic ratio and molecular size and weight were measured. The results showed that the extraction efficiency of humic acid increased with increasing initial humic acid content and was 64.61, 60.05, 60.07 and 62.35% in samples L1, L2, L10 and L11, respectively. Structural analysis showed that samples C1 and L13 with aliphatic to aromatic ratio (E4/E6) of 0.12 and 0.58, respectively, have a more aromatic structure, and samples L3 and L6 with ratios of 3.93 and 3.88 have a more aliphatic structure. The results of this study showed that the Leonardites of the Pabadana region, due to their structural diversity and richness in humic acid, can be considered a suitable source for the extraction of humic acid and its application in agricultural soil improvement.

Keywords: Aromatic, Aliphatic, Humic acid, Leonardite.