

## بررسی ویژگی‌های مغناطیسی خاک اخرا جزیره هرمز

عبدالمحمود داورپناه\*

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۵/۱۷، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۷/۳۰)

**چکیده:** جزیره هرمز در جنوب ایران و در ورودی خلیج فارس با مساحتی حدود چهل و یک کیلومتر مربع در هجده کیلومتری بندرعباس قرار دارد. معدن خاک اخرا جزیره هرمز در ۹ کیلومتری منطقه مسکونی هرمز در جاده کرانه واقع است. در این پژوهش، چند گرم از این خاک به عنوان نمونه برداشت و مواد موجود در آن و ویژگی‌های مغناطیسی آن با آزمون‌های پراش پرتوی ایکس (XRD)، طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR)، میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM)، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس (EDS) و مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی (VSM) بررسی شدند. پراش پرتوی ایکس نمونه خاک اخرا جزیره هرمز اکسیدهای فلزی متفاوتی چون هماتیت، مگنتیت و همچنین کوارتز به عنوان اکسیدهای غالب نمونه شناسایی کرد. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی از نمونه پودری اندازه ذرات را کمتر از ۱۵/۸ نانومتر نشان داد که با تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان همخوانی خوبی دارد. با مشخصه‌یابی مغناطیسی نمونه بر پایه حلقه پسماند، وادارندگی 1458.0 Oe، مغناطش اشباع 0.27 emu/g و مغناطش باقیمانده  $90.360 \times 10^{-3}$  emu/g به دست آمد: بر این اساس، نمونه مورد بررسی ماده‌ای فرومغناطیس است.

**واژه‌های کلیدی:** جزیره هرمز؛ خاک اخرا؛ خاک سرخ هرمز؛ گل سرخ هرمز؛ خواص مغناطیسی؛ آهن اکسید.

### مقدمه

ضروری است. همچنین، خاک قرمز زهکشی خوبی دارد که برای کشاورزی مهم است. خاک قرمز به رشد بهتر گیاهان کمک می‌کند [۱].

رنگ خاک اغلب نخستین چیزی است که جلب توجه می‌کند. خاک سطحی اغلب تیره‌تر از لایه‌های پایین‌تر است، زیرا سطح خاک محل انباشت مواد آلی است. رنگ خاک اغلب به دلیل وجود سه رنگدانه اصلی است: (۱) سیاه از مواد آلی (۲) قرمز از اکسیدهای آهن و آلومینیوم (۳) سفید از سیلیکات و نمک.

رنگ می‌تواند شاخص مفیدی برای برخی از ویژگی‌های کلی خاک و همچنین برخی از فرآیندهای شیمیایی که در زیر سطح رخ می‌دهد باشد [۲]. تجزیه و تحلیل ترکیب‌های معدنی

خاک اخرا خاکی به رنگ قرمز است. خاک قرمز در مناطقی با آب و هوای گرم و مرطوب چون مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری یافت می‌شود. این خام اغلب بارور و برای کشاورزی مفید است. خاک قرمز از هوازدهی سنگ‌های دارای اکسید آهن به وجود می‌آید. رایج‌ترین نوع سنگی که به خاک اخرا کمک می‌کند بازالت است. فرآیند هوازدهی، بازالت را به قطعه‌های کوچک‌تر تجزیه کرده و سپس قطعه‌های کوچک‌تر را به گل و لای و خاک رس تبدیل می‌کند. اکسیدهای آهن موجود در سنگ‌ها رنگ مایل به قرمز را به خاک می‌دهد. حاصلخیزی خاک قرمز به دلیل مقادیر بالای مواد آلی و مواد مغذی چون نیتروژن، فسفر و پتاسیم است. این مواد مغذی برای رشد گیاه

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۴۳۱۱۳۶۳۳۷، پست الکترونیکی: [A.M.DAVARPANAH@phys.usb.ac.ir](mailto:A.M.DAVARPANAH@phys.usb.ac.ir)

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0



International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

#### ۶- تاریخچه فرهنگی

خواص مغناطیسی خاک اخرا جزیره هرمز به چندین عامل بستگی دارد و می‌تواند اطلاعات مهمی درباره ساختار زمین‌شناسی و فرآیندهای ژئومغناطیسی منطقه ارائه دهد. در اینجا به برخی از نکات کلیدی اشاره می‌کنم:

۱- ترکیب معدنی: خاک اخرا معمولاً شامل مقادیر زیادی آهن و دیگر عناصر مغناطیسی است که می‌تواند تأثیر مستقیمی بر خواص مغناطیسی آن داشته باشد.

۲- مغناطیس‌پذیری: این خاک‌ها ممکن است دارای مغناطیس‌پذیری بالا باشند، که به معنای توانایی جذب و نگهداری میدان مغناطیسی است. این خاصیت می‌تواند به شناسایی و تحلیل تغییرات زمین‌شناسی کمک کند.

۳- تأثیر آب و هوا: شرایط آب و هوایی و فرایندهای فرسایش می‌توانند خواص مغناطیسی خاک را تحت تأثیر قرار دهند. به عنوان مثال، رطوبت و دما می‌توانند بر روی ترکیب و ساختار خاک تأثیر بگذارند.

۴- کاربرد در اکتشافات: خواص مغناطیسی خاک اخرا می‌تواند در اکتشافات معدنی و زمین‌شناسی کاربرد داشته باشد. به‌ویژه در شناسایی منابع آهن و دیگر مواد معدنی.

۵- تحلیل‌های ژئوفیزیکی: با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی مانند مغناطیس‌سنجی، می‌توان به اطلاعات دقیق‌تری درباره ساختار زیرسطحی و ویژگی‌های مغناطیسی خاک اخرا دست یافت.

این خواص می‌توانند به محققان کمک کنند تا درک بهتری از تاریخچه زمین‌شناسی و فرآیندهای طبیعی در جزیره هرمز به دست آورند.

#### روش بررسی

جزیره هرمز در جنوب ایران و در ورودی خلیج فارس با مساحتی در حدود چهل و یک کیلومتر مربع در هجده کیلومتری بندرعباس قرار دارد. معدن خاک اخرا جزیره هرمز در ۹ کیلومتری منطقه مسکونی هرمز در جاده کرانه قرار دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی جزیره هرمز را نشان می‌دهد. در این پژوهش نمونه‌ای از خاک اخرای جزیره هرمز برای تعیین تجربی ویژگی‌های مغناطیسی بررسی شد. تا جایی که به اطلاعات مولف مربوط می‌شود تا کنون روی خواص مغناطیسی خاک اخرا هرمز گزارشی ارائه نشده است.

و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سرخ مهم است زیرا کاربردهای آن بر اساس آن ویژگی‌ها است [۳]. ترکیب‌های پیچیده و منعطف باعث ویژگی‌های فیزیکی خاک سرخ می‌شود. چنان که از نام آن پیداست، خاک سرخ یک ماده ریز دانه با درجه‌های مختلف رنگ قرمز است. درجه‌های مختلف رنگ مایل به قرمز خاک سرخ از مقدار زیاد  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ناشی می‌شود [۴].

با توجه به ظرافت بالا، خاک اخرا یک سطح متخلخل و جذب آب بالا ارائه می‌دهد و سطح ویژه (BET) و مقدار آب می‌تواند به ترتیب به ۶۴ الی ۱۸۷ مترمربع در گرم و ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برسد افزون بر این، خاک سرخ شامل بسیاری از فازهای تشکیل دهنده گاز، منیزیت و کلسیت است که می‌تواند به سطح ویژه بالاتری برسد و ساختار متخلخل را پس از عملیات گرمایی تشکیل دهد [۵-۷].

مستقل از فرآیند تولید، ترکیب شیمیایی خاک سرخ شامل شش جزء اصلی است، تجزیه و تحلیل شیمیایی نشان می‌دهد که خاک سرخ دربردارنده سیلیسیم، آلومینیوم، آهن، کلسیم، تیتانیوم، سدیم و همچنین مجموعه‌ای از عناصر جزئی از جمله K, Cr, V, Ba, Cu, Mn, Pb, Zn, P, S, F, As است که به طور طبیعی از نظر شیمیایی به صورت اکسید هستند [۸]. اکسید کلسیم و سیلیس اصلی‌ترین ترکیب‌های گل سرخ ناشی از فرآیند تفجوشی هستند.

از دهه ۱۹۵۰، استفاده از گل اخرا را با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بی‌مانند آن بررسی می‌شود [۹]. گوگردزدایی از گازهای دودکش بیشتر برای کنترل انتشار گوگرد دی اکسید ( $\text{SO}_2$ ) انجام می‌شود که این نیز یکی از موثرترین کارها برای فناوری سوختن پاک است. سازوکار گوگردزدایی خاک سرخ برپایه یون‌های فلزی به عنوان کاتالیزور برای واکنش شیمیایی با گوگرد دی اکسید برای تشکیل سولفات در دمای بالا و استفاده از تثبیت کننده‌ها برای جلوگیری از تجزیه سولفات است [۱۰].

خاک اخرا به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد و کاربردهای گسترده‌اش در صنایع مختلف و همچنین تأثیرات زیست‌محیطی و فرهنگی مورد توجه محققین قرار گرفته است. به برخی از مهم‌ترین دلایل به شرح زیر اشاره می‌شود:

۱- ترکیب معدنی غنی ۲- رنگ و زیبایی ۳- خواص مغناطیسی ۴- کاربرد در کشاورزی ۵- پایداری و دوام



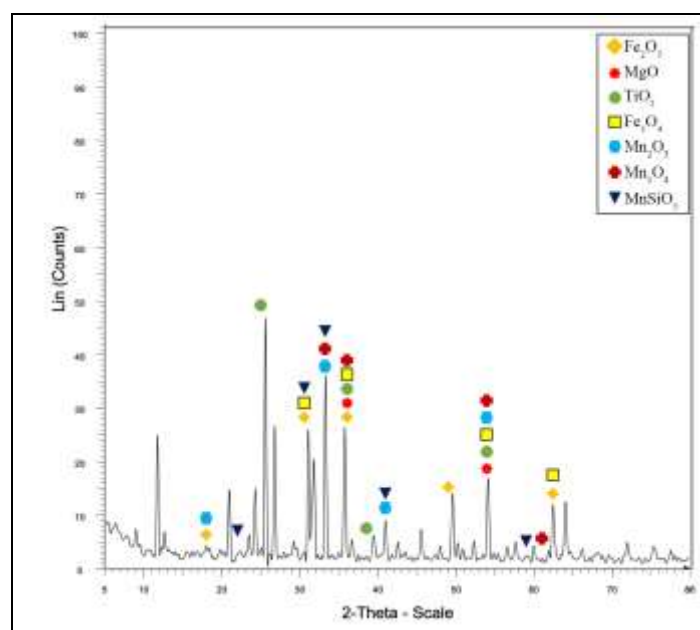
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی جزیره هرمز.

### بحث و بررسی

#### نتایج پراش پرتوی ایکس (XRD)

به منظور بررسی مواد تشکیل دهنده خاک اخرای جزیره هرمز، نمونه‌ای از این خاک به صورت پودر آماده شده و برای آنالیز پراش پرتوی ایکس (XRD) با دستگاه مدل Advance D8 CuK $\alpha$  ساخت آلمان به آزمایشگاه مرکزی تحقیقاتی دانشگاه سیستان و بلوچستان ارسال شد. طیف نمونه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با زمان شمارش یک ثانیه و گام افقی برابر ۰/۰۲ درجه در گستره  $2\theta$  از ۵ تا ۸۰ درجه ثبت شد. الگوی به دست آمده در شکل ۲ ارائه شده است.

با توجه به نبود گزارشی در ارتباط با ویژگی‌های مغناطیسی خاک اخرای جزیره هرمز، در این پژوهش چند گرم از این خاک به عنوان نمونه برداشت (لازم به ذکر است که محدودیت در برداشت از طرف شخص راهنما در منطقه وجود داشت) و مواد موجود در آن و ویژگی‌های مغناطیسی که از اهمیت زیادی برخوردار است شناسایی شدند. به این منظور، از آزمون‌های پراش پرتوی ایکس (XRD)، طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR)، میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM)، میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM)، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس (EDS) و مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی (VSM) انجام شده‌اند.



شکل ۲ قله‌های پراش برای برخی از فازهای نمونه خاک اخرا هرمز

مکعبی  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $a=1.54 \text{ \AA}$ ) هستند و می‌توان آن را به ترتیب به پراش از صفحات (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، و (۴۴۰) بلور نسبت داد. مگنتیت همچنین می‌تواند به عنوان یک فریت آهنی  $[\text{Fe}(\text{Fe}_2\text{O}_4)]$  دیده شود. اغلب تشخیص  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$  از  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  در الگوهای XRD به دلیل ساختار مشابه آنها آسان نیست [۱۱، ۱۲].

شکل ۵ طیف پراش پرتوی ایکس و قله‌های قرمز رنگ فاز کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) را برای نمونه خاک اخرای هرمز نشان می‌دهد که به صورت ششگوشی با ثابت‌های  $a=b=4.90$  و  $c=5.39$  انگسترم است. زوایا و صفحات مربوط به فاز کوارتز در جدول ۳ داده شده است.

فازهای دیگر اکسید آهن و کلسیت و فریریت (نوعی سیلیس، با شبکه بلوری اورتورمبیک) نیز در نمونه مورد پژوهش وجود دارد.

جدول ۱ فازهای مختلف و زوایای همراه سیمبل (نشانه، علامت) مربوطه به نمونه خاک اخرا جزیره هرمز را با استفاده از نتایج پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد.

در شکل‌های ۳ تا ۵ قله‌های فازهای هماتیت، مگنتیت و کوارتز جداگانه نشان داده شده است. شکل ۳ طیف پراش پرتوی ایکس فاز هماتیت ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) را برای نمونه خاک اخرای هرمز نشان می‌دهد که به صورت ششگوشی لوزی رخ با ثابت‌های  $a=b=5.04$  و  $c=13.75$  انگسترم است. زوایا و صفحات مربوطه در جدول ۲ داده شده است.

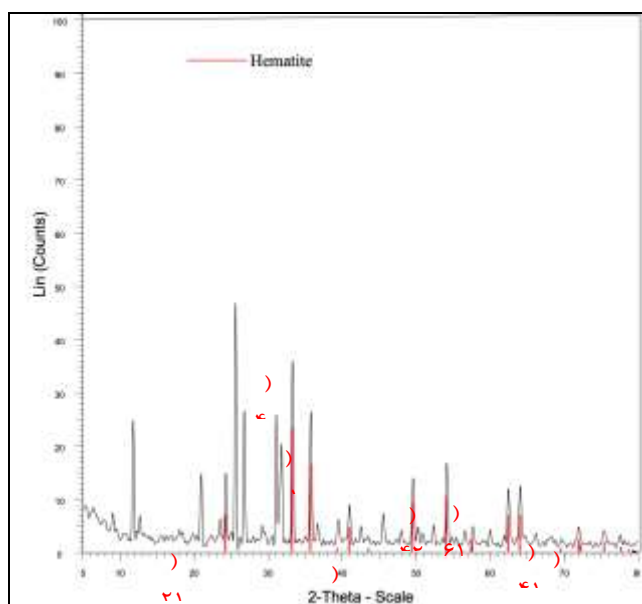
ساختار بلوری  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  با پراش پرتو ایکس پودری (XRD) بررسی شد. شکل ۴ طیف پراش پرتوی ایکس فاز مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) نمونه را نشان می‌دهد. نمونه خاک اخرای هرمز قله‌های پراش را در زوایای  $2\theta$  برابر  $30.1^\circ$ ،  $35.2^\circ$ ،  $43.1^\circ$ ،  $53.5^\circ$  و  $57.4^\circ$  نشان می‌دهد که مربوط به ساختار اسپینل

جدول ۱ فازهای مختلف و زوایای مربوط به نمونه خاک اخرای جزیره هرمز.

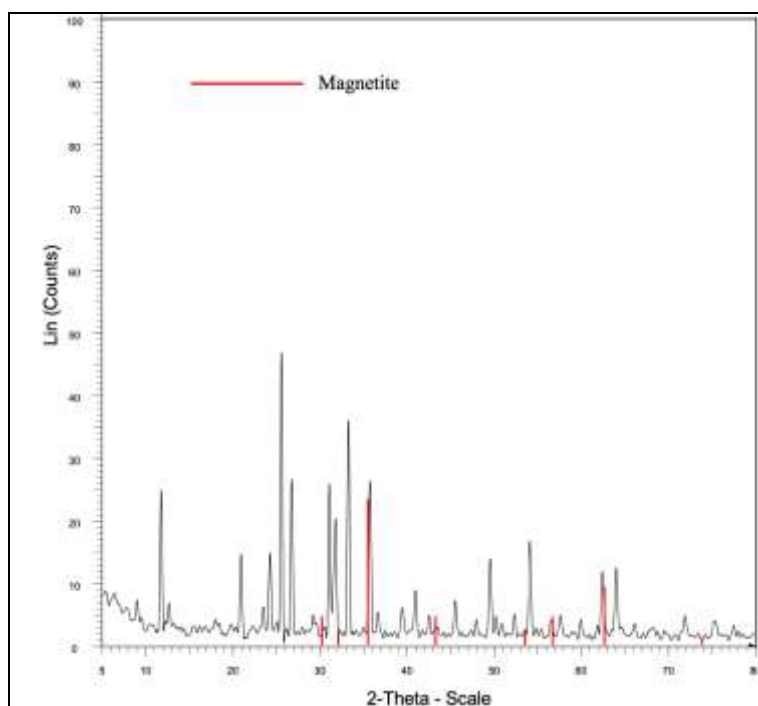
| ترکیب                   | $2\theta^\circ$        |
|-------------------------|------------------------|
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 18, 30.5, 36, 49, 62.5 |
| $\text{MgO}$            | 36, 54                 |
| $\text{TiO}_2$          | 25, 36, 38.5, 54       |
| $\text{Fe}_3\text{O}_4$ | 30.5, 36, 54, 62.5     |
| $\text{Mn}_2\text{O}_3$ | 18, 33.5, 41, 54       |
| $\text{Mn}_3\text{O}_4$ | 33.5, 36, 54, 61       |
| $\text{MnSiO}_3$        | 22, 30.5, 33.5, 41, 59 |

جدول ۲ زوایا و صفحات مربوط به فاز  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  نمونه مورد تحقیق

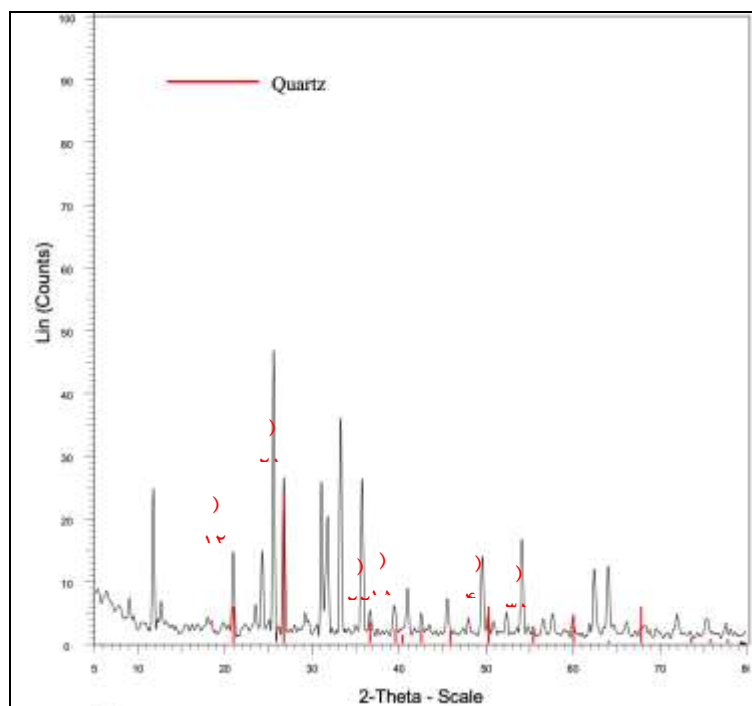
| $2\theta^\circ$ | ۲۴٫۲  | ۳۳٫۲  | ۳۵٫۷  | ۴۱٫۰  | ۴۹٫۵  | ۵۴٫۱  | ۵۷٫۷  | ۶۲٫۵  | ۶۴٫۱  | ۷۲٫۰  | ۷۵٫۵  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| صفحه            | (۲۱۰) | (۴۰۱) | (۰۱۱) | (۳۱۱) | (۴۲۰) | (۶۱۱) | (۸۱۰) | (۴۱۲) | (۰۰۳) | (۹۱۱) | (۰۲۲) |



شکل ۳ طیف پراش پرتوی ایکس نمونه خاک اخرای هرمز، خطوط قرمز رنگ مربوط به هماتیت هستند.



شکل ۴ قله‌های قرمز رنگ مربوط به مگنتیت در نمونه خاک اخرای هرمز.



شکل ۵ قله‌های قرمز رنگ مربوط به کوارتز در نمونه خاک اخرای هرمز.

جدول ۳ زوایا و صفحات مربوط به فاز  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  نمونه مورد پژوهش.

| $2\theta^\circ$ | ۲۴٫۲  | ۳۳٫۲  | ۳۵٫۷  | ۴۱٫۰  | ۴۹٫۵  | ۵۴٫۱  | ۵۷٫۷  | ۶۲٫۵  | ۶۴٫۱  | ۷۲٫۰  | ۷۵٫۵  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| صفحه            | (۲۱۰) | (۴۰۱) | (۰۱۱) | (۳۱۱) | (۴۲۰) | (۶۱۱) | (۸۱۰) | (۴۱۲) | (۰۰۳) | (۹۱۱) | (۰۲۲) |

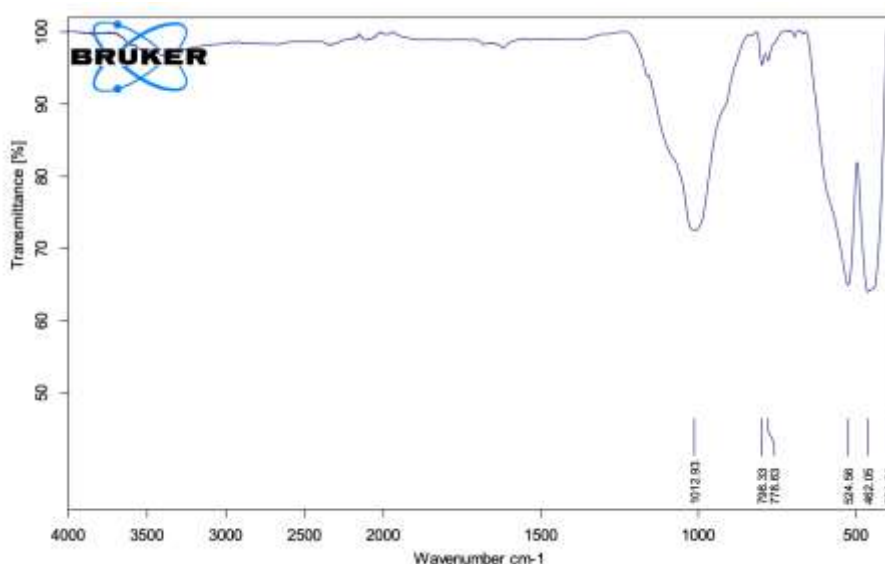
می‌دهد. نوار جذب نزدیک به  $1012/93$  بر سانتی متر مربوط به ارتعاش پیوندهای شیمیایی C-O است.

**نتایج میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM)**  
با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FESEM) مدل KYKY (China) ساخت چین مجهز به آشکارسازهای الکترون‌های پراکنده (SE) و پس پراکنده (BSE) و نیز EDX مدل EM8000F در آزمایشگاه مرکزی تحقیقاتی دانشگاه سیستان و بلوچستان ریختار خاک اخرای هرمز بررسی شد، تصویری با بزرگنمایی  $30000\times$  و مقیاس  $2\mu m$  میکرومتر در شکل ۷ نشان داده شده است.

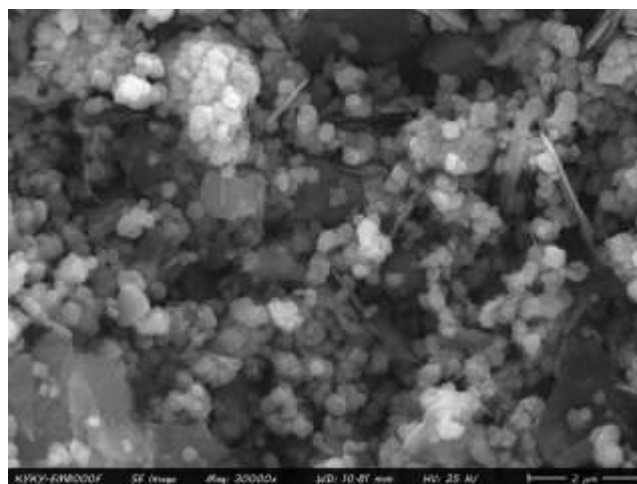
#### نتایج طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR)

با تابش نور فروسرخ به یک مولکول، پیوندهای شیمیایی یا گروه‌های عاملی مولکول می‌توانند انرژی جذب کرده و ارتعاش کنند. طیف‌سنج (FTIR) مدل TENSOR II ساخت شرکت Bruker آلمان در آزمایشگاه مرکزی تحقیقاتی دانشگاه سیستان و بلوچستان برای بررسی و مشخصه‌یابی و شناسایی کیفی ترکیب‌ها و همچنین تعیین نوع گروه عاملی و پیوندهای موجود در مولکول‌های نمونه خاک اخرای هرمز استفاده شد.

شکل ۶ نوارهای جذب در طیف تبدیل فوریه فروسرخ در  $462/05$  و  $524/06$  بر سانتیمتر که می‌توانند به حالت‌های ارتعاش کششی Fe-O در  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  نسبت داده شود را نشان



شکل ۶ طیف تبدیل فوریه فروسرخ نمونه خاک اخرای هرمز.



شکل ۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان از نمونه خاک اخرای جزیره هرمز

معدنی موجود در نمونه خاک اخرا هرمز را نشان می‌دهد. عناصر موجود در نقشه توافق خوبی با نتایج حاصل از طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس دارد.

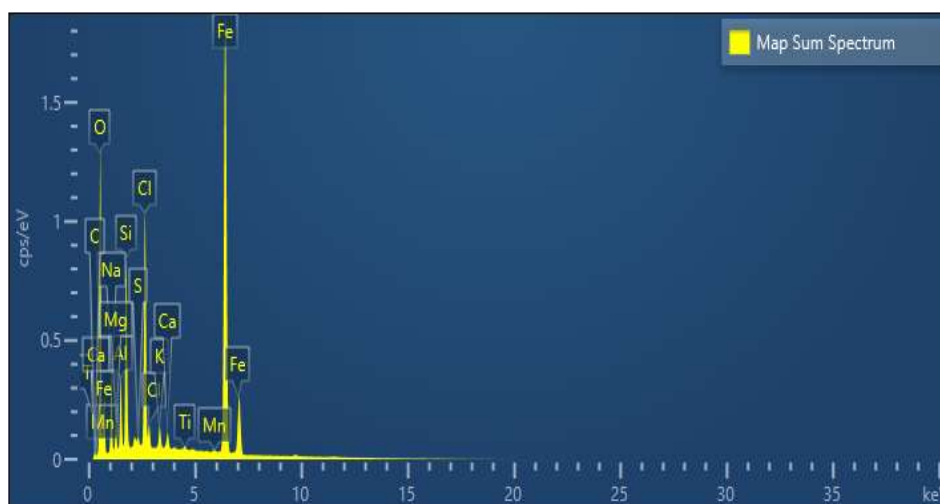
#### نتایج میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM)

تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) از خاک اخرای هرمز با دستگاه Ara-Research مدل Advance 0101/A ساخت ایران در آزمایشگاه مرکزی تحقیقاتی دانشگاه سیستان و بلوچستان گرفته شد. با توجه به شکل ۱۰ اندازه ذرات کمتر از ۱۵/۸ نانومتر است. از این رو، خاک اخرای هرمز را باید از گروهی از مواد با ویژگی‌هایی چون توزیع اندازه ذرات ریز در نظر گرفت.

ترکیب عنصری نمونه به دست آمده با طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس (EDX) در شکل ۸ نشان داده شده و درصد وزنی و درصد اتمی عناصر موجود در نمونه خاک اخرای مورد بررسی در جدول ۴ گزارش شده است، خاک اخرای مورد بررسی به صورت اکسید فلزها و عناصر بوده و بیشتر از آهن و به مقدار ۲۷/۵۷ درصد وزنی و ۱۰/۸۰ درصد اتمی تشکیل شده است. عناصر شناسایی شده به این روش با نتایج پراش پرتوی ایکس همخوانی خوبی دارند.

از نقشه عنصری و نمودار تحلیل عنصری که برای نمونه در شکل ۸ و ۹ نشان داده شده است، می‌توان دید که عناصر موجود در جدول ۲ در نمونه توزیع شده‌اند.

شکل ۹ نقشه تجزیه و تحلیل عنصری خط سری K مواد

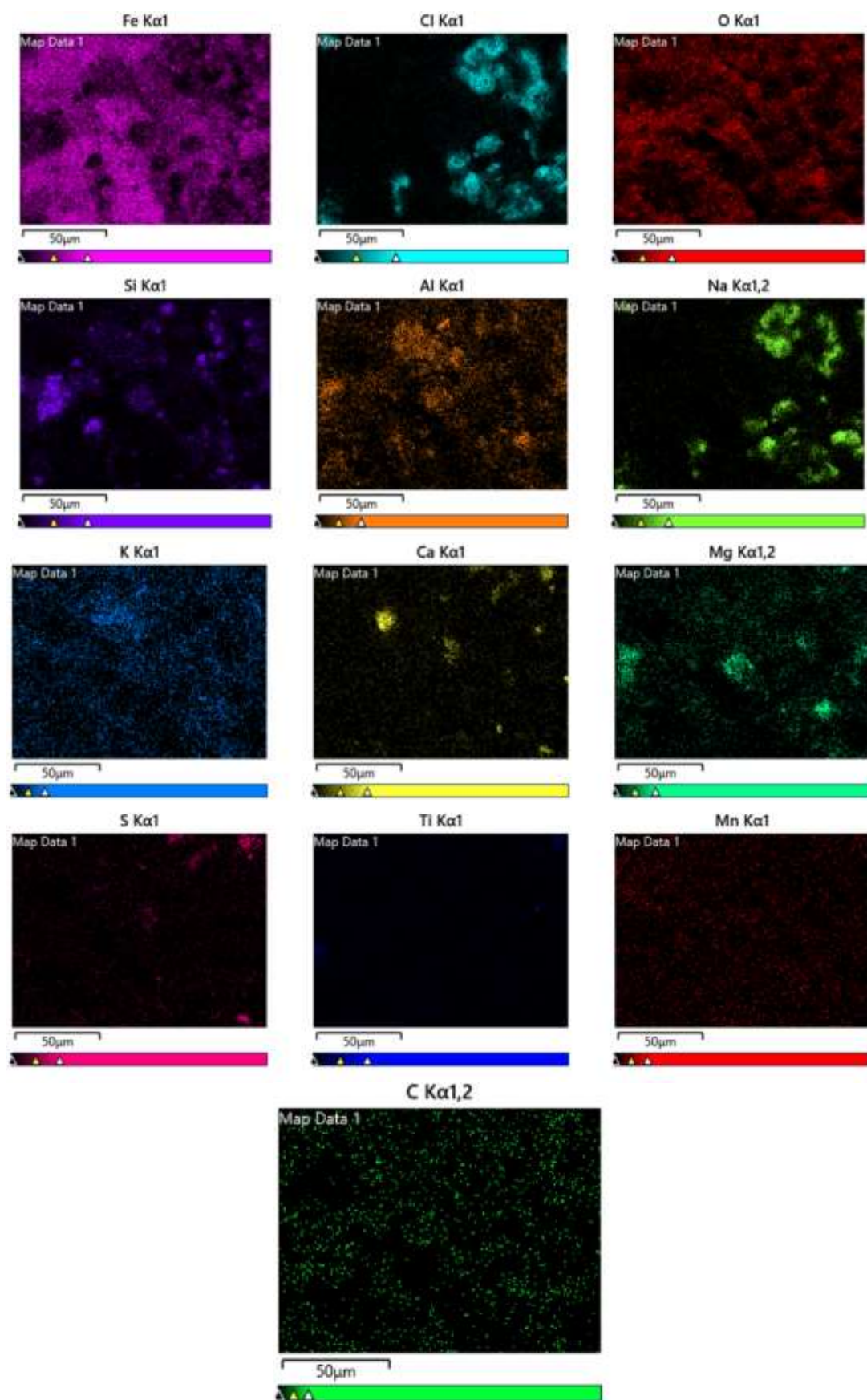


شکل ۸ طیف پراکندگی انرژی پرتوی ایکس از ترکیب عنصری نمونه خاک اخرای جزیره هرمز

جدول ۴ نتایج کمی عناصر تشکیل دهنده نمونه خاک اخرای جزیره هرمز همراه درصد وزنی و درصد اتمی

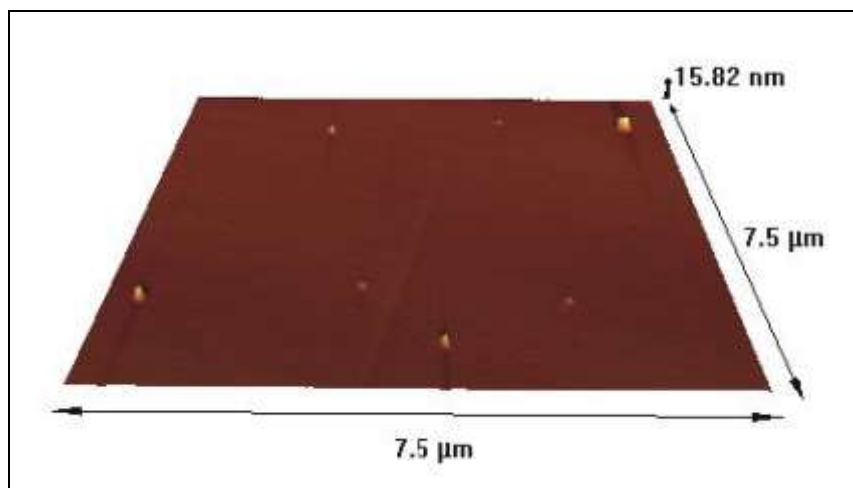
| ردیف | درصد اتمی | درصد وزنی | عنصر  |
|------|-----------|-----------|-------|
| ۱    | ۱۲/۵۵     | ۶/۸۹      | C     |
| ۲    | ۵۹/۴۶     | ۴۳/۴۸     | O     |
| ۳    | ۵/۹۰      | ۶/۲۰      | Na    |
| ۴    | ۱/۱۲      | ۱/۲۵      | Mg    |
| ۵    | ۱/۹۰      | ۲/۳۴      | Al    |
| ۶    | ۳/۷۹      | ۴/۸۷      | Si    |
| ۷    | ۰/۱۸      | ۰/۲۶      | S     |
| ۸    | ۳/۶۴      | ۵/۹۰      | Cl    |
| ۹    | ۰/۳۲      | ۰/۵۸      | K     |
| ۱۰   | ۰/۲۴      | ۰/۴۵      | Ca    |
| ۱۱   | ۰/۰۶      | ۰/۱۲      | Ti    |
| ۱۲   | ۰/۰۴      | ۰/۱۰      | Mn    |
| ۱۳   | ۱۰/۸۰     | ۲۷/۵۷     | Fe    |
|      | ۱۰۰/۰۰    | ۱۰۰/۰۰    | Total |





شکل ۹ نقشه تحلیل عنصری خط سری K عناصر موجود در نمونه.





شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی از نمونه.

توزیع آهن در خاک اخرا گسترده و پیچیده است. خاک اخرا دارای بسیاری از فلزهای ارزشمند چون  $\text{Fe}$ ،  $\text{Al}$ ،  $\text{Ti}$ ،  $\text{Kh}$  و بسیاری از عناصر خاکی نادر است که استخراج فلز از خاک اخرا را امیدوارکننده کرده است، گفتنی است که مواد تشکیل دهنده خاک اخرای نواحی مختلف جغرافیایی متفاوت است. استخراج آهن پرکاربردترین روش استخراج فلزهای صنعتی از خاک اخراست. مواد مغناطیسی پاسخ آشکاری به میدان مغناطیسی خارجی دارند که می‌تواند با حلقه‌های پسماند مشخص شود. ویژگی‌های مغناطیسی نمونه خاک اخرای هرمز با مغناطیس‌سنج نوع ارتعاشی مجهز به آهن‌ربای الکتریکی در گروه فیزیک دانشگاه بیرجند در دمای اتاق در شرایط ایستا بررسی شد. حلقه پسماند مغناطیسی نمونه خاک اخرای هرمز در میدان مغناطیسی اعمالی از ۱۵۰۰۰- تا ۱۵۰۰۰ اورستد در شکل ۱۱ داده شده است. حلقه پسماند نمونه مورد بررسی، رفتار فرومغناطیسی را آشکارا نشان می‌دهد. ویژگی فرومغناطیسی خوب می‌تواند برای تولید مواد محافظ ریزموج و کامپوزیت‌های پاسخگو به میدان مغناطیسی مناسب باشد. ویژگی‌های مغناطیسی به دست آمده برای نمونه شامل وادارندگی مغناطیسی، مغناطش اشباع و مغناطش باقیمانده در جدول ۵ آورده شده است. مقدار نسبت عمودی یا نسبت  $(M_r/M_s)$  نیز در جدول ۵ آمده که یک پارامتر مهم در مورد ناهمسانگردی مغناطیسی است.

ایری و همکاران [۱۵] برای جداسازی یون‌های آهن موجود در نمونه‌های خاک اخرا ایران و ترکیه دماهای ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس را پیشنهاد نمودند.

#### نتایج مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی

ویژگی‌های منحنی پسماند برای خاک اخرای هرمز می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

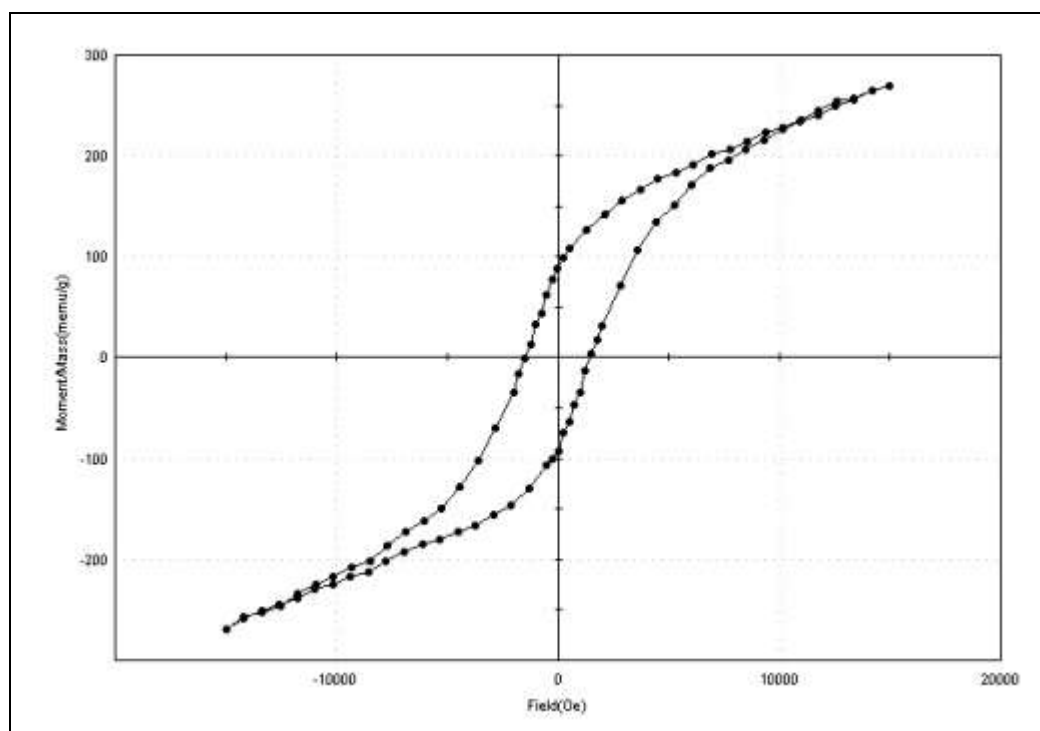
- مقدار مغناطش باقی‌مانده: نشان‌دهنده قدرت مغناطیسی خاک پس از حذف میدان خارجی.

- عرض حلقه پسماند: نشان‌دهنده انرژی لازم برای تغییر وضعیت مغناطیسی خاک و مقاومت آن به تغییرات میدان مغناطیسی است.

- نقاط اشباع: نقاطی که در آن‌ها مغناطش به حداکثر خود می‌رسد و دیگر با افزایش میدان مغناطیسی افزایش نمی‌یابد. بنا به امکانات موجود، در نمونه مورد تحقیق، علی‌رغم اینکه میدان مغناطیسی خارجی تا پانزده هزار اورستد اعمال شده است ولی باز هم نمونه به مغناطش اشباع نرسیده است.

منحنی‌های پسماند مغناطیسی به دانشمندان و مهندسان کمک می‌کند تا رفتار مغناطیسی خاک را در کاربردهای مختلف مانند مهندسی ژئوتکنیک، زمین‌شناسی و علوم محیطی بهتر درک کنند. منحنی پسماند می‌تواند تشخیصی از کانی‌شناسی نمونه باشد.

خاک اخرا حاوی مقدار زیادی  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  بوده و بیشتر به شکل هماتیت است و خاک اخرای هرمز با درصد بالای هماتیت نیز چنین است [۱۳، ۱۴]. هماتیت ویژگی مغناطیسی ضعیف دارد و می‌تواند به طور مستقیم از جداسازی مغناطیسی قوی، غنی و بازیابی شود، و ارزش افزوده ایجاد کند. جدا از برخی از ترکیب‌های آهن مغناطیسی، خاک اخرا همچنین دربردارنده بسیاری از ترکیب‌های آهن غیر مغناطیسی است. افزون بر این،



شکل ۱۱ حلقه پسماند مغناطیسی خاک اخرا هرمز.

جدول ۵ برخی ویژگی‌های مغناطیسی نمونه خاک اخرای هرمز

| نسبت باقیمانده ( $M_r/M_s$ ) | مغناطش باقیمانده $M_r$               | مغناطش اشباع $M_s$ | وادرندگی $H_{ci}$ |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------|
| 0.35                         | $90.36 \times 10^{-3} \text{ emu/g}$ | 0.27 emu/g         | 1458.00 Oe        |

مغناطیسی و ترکیب معدنی خاص خود، دارای کاربردهای متنوعی است. در زیر به چندین کاربرد این خاک اشاره می‌شود:

۱- صنعت رنگ‌سازی: خاک اخرا به عنوان یک رنگدانه طبیعی در تولید رنگ‌ها و پوشش‌ها استفاده می‌شود. رنگ‌های ایجاد شده از خاک اخرا به دلیل پایداری و زیبایی، جالب هستند.

۲- مواد ساختمانی: این خاک می‌تواند به عنوان افزودنی در تولید مصالح ساختمانی مانند آجر و بتن استفاده شود. خواص مغناطیسی آن می‌تواند به بهبود کیفیت و دوام محصولات کمک کند.

۳- کشاورزی: خاک اخرا می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده خاک در کشاورزی به کار رود. این خاک به علت داشتن مواد معدنی نظیر آهن، می‌تواند به بهبود ساختار خاک و افزایش باروری آن کمک کند.

فرآیندهای استخراج فلز از خاک سرخ غیر اقتصادی هستند زیرا آهن (هماتیت) در خاک سرخ ابتدا باید با استفاده از احیاکننده ها در دمای نسبتاً بالای ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس قبل از جداسازی مغناطیسی به مگنتیت تبدیل شود [۱۶].

ضمناً لازم به ذکر است که اعمال دمای بالا به ماده، می‌تواند بر تغییر خواص مغناطیسی تاثیر زیادی داشته باشد. افزایش رسانایی الکتریکی تنها راه برای افزایش اثر محافظتی امواج میکرونی است، و گنجاندن فلزهای مغناطیسی به طور مفیدی بر ویژگی‌های نهایی کامپوزیت اثر می‌گذارد [۱۷]. زکی و همکاران [۱۸] در بررسی اثر افزودن خاک سرخ بر ویژگی‌های الکتریکی و مغناطیسی کامپوزیت های اپوکسی ناشی از کف-بیوپچار نشان دادند که خاک سرخ در حالت بدون هیچ گونه افزودنی، ویژگی فرومغناطیسی دارد که همخوانی خوبی با نتایج این پژوهش دارد. خاک اخرا به دلیل خواص

### قدردانی

مؤلف از آقای دکتر مهدی شفیعی آفرانی استاد تمام دانشکده مهندسی شهید نیکبخت دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر مشاوره های ارزشمند علمی کمال تشکر را دارد. از مدیریت محترم آزمایشگاه مرکزی و همکاران پر تلاش ایشان و همچنین از حوزه معاونت پژوهش دانشگاه سیستان و بلوچستان نیز قدردانی می‌شود.

### مراجع

- [1] <https://www.vedantu.com/geography/red-soil>
- [2] Mukiza, E.; Zhang, L.; Liu, X.; Zhang, N. Utilization of red mud in road base and subgrade materials: A review. *Resour. Conserv. Recycl.* 2019, 141, 187–199.
- [3] *Minerals* 2020, 10, 773; doi:10.3390/min10090773, [www.mdpi.com/journal/minerals](http://www.mdpi.com/journal/minerals), Progress on the Industrial Applications of Red Mud with a Focus on China Hua Zeng, Fei Lyu, Wei Sun, Hai Zhang, Li Wang and Yanxiu Wang
- [4] Liu, X.; Zhang, N.; Sun, H.; Zhang, J.; Li, L. Structural investigation relating to the cementitious activity of bauxite residue—Red mud. *Cem. Concr. Res.* 2011, 41, 847–853.
- [5] Snars, K.; Gilkes, R.J. Evaluation of bauxite residues (red muds) of different origins for environmental applications. *Appl. Clay Sci.* 2009, 46, 13–20.
- [6] Samal, S.; Ray, A. K.; Bandopadhyay, A. Proposal for resources, utilization and processes of red mud in India, A review. *Int. J. Miner. Process.* 2013, 118, 43–55.
- [7] Pérez-Villarejo, L.; Corpas-Iglesias, F.A.; Martínez-Martínez, S.; Artiaga, R.; Pascual-Cosp, J. Manufacturing new ceramic materials from clay and red mud derived from the aluminium industry. *Constr. Build. Mater.* 2012, 35, 656–665.
- [8] Sutar, H.; Mishra, S. C.; Sahoo, S. K.; Chakraverty, A. P.; Maharana, H.S. *Progress of Red Mud Utilization: An Overview*. *Am. Chem. Sci. J.* 2014, 4, 255–279.
- [9] Red mud Project. Available: <http://www.redmud.org/Characteristics.html>.
- [10] Zhu, T. Study on is produced from industrial waste residue of alumina application of solid waste red mud in treatment of sulfur dioxide in industrial waste gas of aluminum plant. *Nonferrous Met. Eng.* 2019, 9, 109–114. (In Chinese)
- [11] Puran Singh Rathore, Rajesh Patidar and Sonal Thakore, *Nanoparticle-supported and*

۴- فیلترها: به دلیل خواص مغناطیسی، خاک اخرا می‌تواند در تولید فیلترهای مغناطیسی برای جداسازی ذرات معلق از مایعات و گازها مورد استفاده قرار گیرد.

۵- تحقیقات زمین‌شناسی: خواص مغناطیسی خاک اخرا می‌تواند در مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی به عنوان یک ابزار برای شناسایی و تحلیل ساختارهای زیرزمینی به کار رود.

۶- محصولات آرایشی: برخی از ترکیبات موجود در خاک اخرا می‌توانند به عنوان ترکیبات طبیعی در تولید محصولات آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار گیرند.

این کاربردها نشان‌دهنده تنوع و اهمیت خاک اخرا در صنایع مختلف است

### برداشت

نمونه‌ای از خاک اخرای جزیره هرمز به روش‌های پراش پرتوی ایکس، طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ، میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدان، میکروسکوپی نیروی اتمی و مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی برای تعیین ساختار، ریختار و ویژگی‌های مغناطیسی، بررسی شد. نتایج پراش پرتوی ایکس نمونه خاک اخرای جزیره هرمز نشان داد که اکسیدهای فلزی متفاوتی چون هماتیت (ششگوشی لوزی رخ با ثابت‌های  $a=b=5.04$  و  $c=13.75$  انگسترم) و مگنتیت (مکعبی  $a=b=4.90$  انگسترم) و کوارتز (ششگوشی با ثابت‌های  $a=b=4.90$  و  $c=5.39$  انگسترم) اکسیدهای غالب نمونه هستند. البته فازهای دیگر اکسید آهن و کلسیت و فریریت (نوعی سیلیس، با شبکه بلوری اورتورمبیک) نیز در نمونه مورد تحقیق وجود دارد. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی نشان داد که اندازه ذرات پودری کمتر از  $15/8$  نانومتر است که با تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان همخوانی خوبی دارد. به نظر می‌رسد که نانو ذرات مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) به عنوان پشتیبان برای کاتالیزور مناسب باشند. عناصر شناسایی شده به روش طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس با نتایج پراش پرتوی ایکس همخوانی خوبی دارند. از مشخصه‌یابی مغناطیسی نمونه بر پایه حلقه پسماند: وادارندگی  $1458.00$  Oe، مغناطش اشباع  $0.27$  emu/g و مغناطش باقیمانده  $90.36 \times 10^{-3}$  emu/g به دست آمد. با توجه به یافته‌های حلقه پسماند، نمونه مورد بررسی، ماده‌ای فرومغناطیس است.

- [15] Eray S., Keskinilic E., Topkaya Y.A., Geveci A., *Reduction behavior of iron in the red mud*, J. Min. Metall. Sect. B-Metall. 57 (3) (2021) 431 – 437
- [16] Harekrushna Sutar, Subash Chandra Mishra, Santosh Kumar Sahoo, Ananta Prasad chakraverty, and Himanshu Sekhar Maharana, *Progress of Red Mud Utilization: An Overview*, American Chemical Science Journal, 4(3): 255-279, 2014
- [17] Che R.C.; Peng L.-M.; Duan X.F.; Chen Q.; Liang X.L., *Microwave Absorption Enhancement and Complex Permittivity and Permeability of Fe Encapsulated within Carbon Nanotubes*. Adv. Mater. 2004, 16, 401–405.
- [18] Zecchi S. Ruscillo F. Cristoforo G. Bartoli M. Loebsack G. Kang K. Piatti E., Torsello D. Ghigo G. Gerbaldo R. et al. *Effect of Red Mud Addition on Electrical and Magnetic Properties of Hemp-Derived-Biochar-Containing Epoxy Composites*. Micromachines 2023,14,429. <https://doi.org/10.3390/mi14020429>.
- magnetically recoverable organic–inorganic hybrid copper (II) nanocatalyst: a selective and sustainable oxidation protocol with a high turnover number*, RSC Adv., 2014, 4, 41111, DOI: 10.1039/c4ra06599a
- [12] Hongtao Cui, Yan Liu, Wanzhong Ren, *Structure switch between  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> during the large scale and low temperature sol–gel synthesis of nearly monodispersed iron oxide nanoparticles*, Advanced Powder Technology 24 (2013) 93–97 <http://dx.doi.org/10.1016/j.apt.2012.03.001>
- [13] Wang, W.; Pranolo, Y.; Cheng, C. Y. *Recovery of scandium from synthetic red mud leach solutions by solvent extraction with d2ehpa*. Sep. Purif. Technol. 2013, 108, 96–102.
- [14] Taghdisi Samira; Rezaei Peyman; Yaghoub Nasiri; Ameri Siahoei, Seddigeh, *Geochemistry of Hormoz Island Red Soil Deposit Using XRF and Their Origin*, 22<sup>nd</sup> Crystallography and Mineralogy Conference of Iran, Shiraz University.