

## بررسی زمین شناسی اقتصادی رسوبات سیاه‌رنگ حاشیه رودخانه سفیدرود

مژگان صلواتی\*<sup>۱</sup>، هامون سهامانی<sup>۲</sup>، علی درویش‌زاده<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۳- استاد گروه معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

(# عهده دار مکاتبات - Salavati\_m@yahoo.com)

### چکیده

در حاشیه و در دهانه رودخانه سفیدرود تجمعاتی از رسوبات ماسه‌ای سیاه‌رنگ حاوی کانی‌های سنگین قابل رویت است. مطالعات و نمونه‌برداری‌های صحرایی نشان می‌دهند که میزان این رسوبات از دهانه به سمت بالادست رودخانه به تدریج کاهش می‌یابد تا جایی که دیگر اثری از آن‌ها دیده نمی‌شود به طوری که در دهانه رودخانه، در حاشیه دریای خزر (دلتای سفیدرود در کیاشهر) حداکثر فراوانی و در رودبار به حداقل میزان خود می‌رسند. بر اساس مطالعات استریومیکروسکوپ اجزای اصلی تشکیل دهنده این رسوبات عبارتند از: کانی‌های تیره سنگین اساساً تیتانومنیویت، هماتیت و ایلمنیت‌های سیاه براق به همراه کوارتز، بیوتیت، پیروکسن، آمفیبول، کلسیت و فلدسپات. آنالیز شیمیایی این رسوبات مبین مقادیر بالای اکسید تیتانیم، سریم، لاتانیم، گالیم و هافنیم در آن‌ها است که از این لحاظ شباهت شیمیایی زیادی با توده‌های گابروهای آلکانن منطقه دارند، لذا به نظر می‌رسد که توده‌های گابرویی مذکور منشأ رسوبات ماسه‌های سیاه‌رنگ رودخانه سفید رود باشند. با توجه به ترکیب نورماتیو نمونه مورد آنالیز و دیاگرام مثلی  $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ترکیب آن با سری هماتیت-ایلمنیت مشابهت دارد که در آن بخشی از تیتانیم در ساختمان منیویت وارد شده است که در این حالت به آن منیویت تیتان دار می‌توان اطلاق نمود. با توجه به مطالعات تجربی کانی‌های مزبور از یک ماگمای حاوی ۰ تا ۱۲ درصد اکسید تیتانیم و در ۱۹۵۴ درجه سانتی‌گراد و همزمان با تشکیل کانی‌های سیلیکاته تشکیل شده‌اند. اکسیدهای تیتان دار در ماسه‌های سیاه‌رنگ مورد مطالعه بیشتر به صورت اکسولوشنی (exclusion) از منیویت و ایلمنیت است که قابل جدایش با هیچ یک از وسایل امروزی نمی‌باشند.

**واژگان کلیدی:** تیتانیوم، رسوبات ساحلی، گابرو آلکانن.

### ۱- مقدمه

در حاشیه جنوبی دریای خزر و در شرق استان گیلان، رسوبات ماسه‌ای غنی از کانی‌های سنگین و عموماً کانی‌های حاوی تیتانیم و به وفور مشاهده می‌گردد (کوثری، ۱۳۶۳) که در سواحل شرقی استان به صورت عدسی‌های بزرگ و طولی از رسوبات و ماسه‌های سیاه‌رنگ و در رودخانه سفیدرود به صورت تجمعات وسیعی در دلتا و دهانه رودخانه و تجمعات لایه‌ای در حاشیه‌های آن رخنمون دارند. متأسفانه درباره ماسه‌های ساحلی و پلاسره‌های تیتانیوم‌دار دریای خزر و حاشیه رودخانه سفیدرود کارهای تحقیقاتی قابل توجهی صورت نگرفته است. تنها کوثری در ۱۳۶۳ و ۱۳۷۰ گزارشاتی را درباره اکتشاف منابع تیتانیوم‌دار در دشت ساحلی گیلان در سازمان زمین شناسی کشور ارائه داده‌اند. پلاسره‌های آهن-تیتانیوم‌دار مذکور امکان وجود منابع ماگمایی حاوی کانی‌های اکسید تیتانیم را در مناطق مجاور مطرح می‌نماید. امروزه به دنبال مصارف روزافزون عنصر تیتانیوم در صنایع داخلی و افزایش قیمت جهانی کانی‌های تیتانیوم‌دار و کمبود منابع پلاستیکی کانی‌های مزبور و عدم جایگزینی آن‌ها با رسوبات پلاستیکی دیگر، زمین‌شناسی اقتصادی کانی‌های تیتانیوم‌دار اهمیت فراوان پیدا کرده است.

ردیابی رسوبات سیاه‌رنگ حاشیه جنوبی دریای خزر مبین حمل و نقل و انتقال آن‌ها توسط رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در این منطقه است. با توجه به اینکه رودخانه سفیدرود بزرگترین و پرآب‌ترین رودخانه استان گیلان در این منطقه است احتمال آورده شدن این رسوبات توسط این رودخانه بسیار زیاد است. به همین جهت در این تحقیق

سعی شده تا به بررسی زمین‌شناسی اقتصادی رسوبات سیاه‌رنگ تیتانیم‌دار مورد ذکر در حاشیه رودخانه سفیدرود پرداخته شود.

## ۲- روش کار

به منظور بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات تیتان‌دار سیاه‌رنگ حاشیه رودخانه سفیدرود پس از انجام مطالعات صحرایی در طول رودخانه سفیدرود از دهانه تا منجیل به طور سیستماتیک نمونه‌برداری انجام پذیرفت و تعداد ۲۰ نمونه رسوب از بخش‌های مختلف رودخانه برداشت گردید. در مرحله بعد کانی‌های مغناطیسی به کمک روش جدایش مغناطیسی تفکیک گردیدند. برای این کار ابتدا از آهن‌ربای دستی سپس جدایش میکروسکوپی توسط استریومیکروسکوپ استفاده گردید. در انتها نمونه‌های جدا شده از دستگاه جدایش مغناطیسی فرانترز (Frantz) در دانشگاه تهران عبور داده شد. در پایان رسوب جدا شده به جهت انجام آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه ALS Chemex کانادا ارسال گردیده و به روش طیف‌سنجی جرمی نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) با ذوب لیتیوم جهت تعیین درصد اکسیدهای عناصر اصلی، میزان عناصر فرعی و عناصر نادر خاکی مورد آنالیز قرار گرفت.

## ۳- موقعیت جغرافیایی و جایگاه زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شمال ایران در استان گیلان واقع است. در این پژوهش بخشی از رودخانه سفیدرود که در حاشیه شمالی دشت گیلان قرار دارد مورد مطالعه قرار گرفته است. دشت گیلان با وسعتی حدود ۳۰۰۰ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۴۵°، ۴۸° تا ۵۱°، ۵۰° طول شرقی و ۳۶°، ۵۰° تا ۳۸°، ۰۰° عرض شمالی واقع است. عریض‌ترین بخش این دشت در سمت جنوب به طول ۴۰ کیلومتر و بین فومن و بندر انزلی قرار دارد. رسوبات این دشت اساساً از فرسایش و تخریب ارتفاعات کوهستانی حاصل شده که با پسروری آب دریا مخلوطی از رسوبات آبرفتی، دلتایی، مردابی و ساحلی با ضخامتی بسیار متفاوت را تشکیل داده است (شکل ۱).

رودخانه سفیدرود طول‌ترین و پر آب‌ترین رود گیلان است که از بهم پیوستن شاهرود و قزل اوزن به وجود می‌آید. سرچشمه این رود عظیم کوه‌های طالقان و کردستان است و نقطه پایان آن در کیاشهر واقع است که دلتای سفید رود را تشکیل می‌دهد. این دلتا، بزرگترین دلتای ایرانی دریای خزر و به وسعت تقریبی ۱۷۰۰ کیلومتر مربع است. قسمت اعظم رسوبات این دلتا مربوط به عهد حاضر می‌باشد که اساساً از رسوب‌های ساحلی، دلتائی و رودخانه‌ای تشکیل شده‌اند. همانند سایر دلتاها به کرات مسیر جریان آب در اثنای طغیان‌های دوره‌ای تغییر نموده و آثار این تغییرات هنوز بر سطح دلتا به صورت شیارهای متعدد قابل شناسایی است. جابه‌جایی‌ها و تغییر مسیرهای متعدد سفیدرود در زمان‌های مختلف سبب پهنای قابل توجه دلتا از تالاب انزلی تا شمال چمخاله شده است.



شکل ۱: عکس هوایی از دلتای سفیدرود بر گرفته از سایت گوگل. فلش روی عکس مسیر رودخانه را از بالادست به سمت مصب نشان می‌دهد

سنگ‌های تشکیل دهنده ارتفاعات مشرف به حاشیه‌های رودخانه سفیدرود در محدوده مورد مطالعه عموماً از سازند شمشک با سن ژوراسیک و آهک‌های کرتاسه تحتانی می‌باشند. این سنگ‌ها عمدتاً از نوع آهکی هستند و در بین آن‌ها سنگ‌های آذرین با ترکیبات متفاوت دیده می‌شود. سنگ‌های آذرین مزبور از نوع گابرو، دایک‌های دیابازی، توده‌های مونزونیتی و معادل‌های خروجی آن‌ها به خصوص بازالت‌ها و آندزیت‌ها می‌باشند و تماماً دارای ماهیت آلکالن تا کالک آلکالن هستند.

گابروها به صورت توده‌های کم حجم عموماً در حاشیه غربی رودخانه در اطراف روستای امامزاده هاشم تا حوالی جواهردشت رخنمون دارند. بافت این گابروها گرانولار یا پورفیرتیک با زمینه اینترگرانولار و به طور محلی پوئی کیلیتیک است. پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و به طور محلی الیوین کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها هستند. پلاژیوکلازها دارای ترکیب آندزین- لابرادوریت و پیروکسن‌ها تماماً از نوع اوژیت تیتانیفر با ادخال‌هایی از کانی‌های کدر، الیوین و فلوگوپیت است. کانی‌های کدر (عموماً از نوع منیتیت و ایلمنیت) و آپاتیت به مقدار کم و به صورت کانی‌های فرعی در سنگ وجود دارند (خبازنیا و صادقی، ۲۰۰۴). در اطراف این توده‌های گابرویی تجمعاتی از رسوبات سیاه رنگ دیده می‌شود. دایک‌ها با راستایی شمال باختری- جنوب خاوری در سنگ‌های ماسه‌ای واحد شمشک ژوراسیک و ولکانیک‌های کرتاسه رخنمون یافته‌اند. بافت این سنگ‌های دیابازی اینترسرتال ساب افیتیک یا پورفیرتیک است. نظیر توده‌های گابرویی منطقه این سنگ‌ها نیز از پلاژیوکلازهای لابرادوریت، پیروکسن‌های تیتان اوژیت و الیوین به عنوان کانی‌های اصلی همراه با کان‌های کدر زمینه و آپاتیت به عنوان کانی‌های فرعی تشکیل شده‌اند (خبازنیا و صادقی، ۲۰۰۴).

علاوه بر توده‌های گابرویی، توده‌های کوچک دیگری از جنس مونزونیت نیز در اطراف روستای مژدهی رخنمون یافته‌اند. بافت این سنگ‌ها گرانولار یا پورفیرتیک و به طور محلی پوئی کیلیتیک است. فلدسپات (پلاژیوکلاز با ترکیب الیگوکلاز تا آندزین و فلدسپات‌های آلکالی با ترکیب ارتوز و کمی آلبیت)، کلینوپیروکسن (از نوع تیتان اوژیت)، آمفیبول سبز و بیوتیت کانی‌های اصلی این سنگ‌ها است. کانی‌های آپاتیت، اسفن، زئولیت و کانی‌های کدر ریز دانه به همراه کوارتز به مقدار کم به صورت کانی‌های فرعی در سنگ یافت می‌شوند. این سنگ‌ها دارای ماهیت کالکوالکالن هستند (خبازنیا و صادقی، ۲۰۰۴).

#### ۴- بحث

سفیدرود در حال حاضر در یک مسیر ماریپچی مئاندری و در دشت سیلابی که حاصل چندین دوره رسوبگذاری و تخریب این رودخانه است جریان دارد. بررسی‌های صحرائی از دهانه رودخانه به سمت جنوب نشان می‌دهد که هرچه به دهانه سفیدرود نزدیک‌تر شویم به میزان کانی‌های تیره و جور شدگی رسوبات افزوده می‌گردد. در دهانه سفیدرود (در حاشیه دریای خزر) و در زیر پل کیشهر تجمعات نسبتاً فراوانی از رسوبات ماسه‌ای سیاه‌رنگ به صورت لایه‌لایه دیده می‌شود. با حرکت به سمت جنوب از میزان آن‌ها کاسته می‌شود به طوری که در زیر پل آستانه و مناطق دورتر از دهانه به تدریج از میزان آن‌ها کم می‌شود. این مسأله را می‌توان به ابعاد دانه‌های ماسه مانند و نیروی آب سفیدرود مربوط دانست که آن‌ها را تا حوالی پل کیشهر حمل کرده و در آن‌جا به علت کندی جریان آب دانه‌های ماسه‌ای سیاه‌رنگ رسوب نموده‌اند.

در دهانه سفیدرود برخورد مستقیم امواج دریا و جریان آب رودخانه سبب توقف و نهشته شدن رسوبات انتقالی توسط رودخانه گردیده و با توجه به پسروری آب دریا باعث گسترش دلتای رودخانه به طرف دریا شده است. ضمناً با شستشو و حمل رسوبات سبک‌تر به داخل دریا، دهانه رودخانه سفیدرود یکی از نقاط مناسب جهت پی‌جویی کانی‌های سنگین اقتصادی موجود در رسوبات سیاه‌رنگ است.

گسترش ماسه‌های سیاه رنگ محتوی کانی‌های تیره سنگین در تمام سطح دهانه بویژه در مناطقی که باندهای ماسه‌ای ساحلی قرار دارند، بیشتر دیده می‌شوند. مناطق اشاره شده به علت اینکه در محدوده مزارع کشاورزی قرار دارند شدیداً دستخوش تغییر گردیده‌اند. ضخامت و تعداد لایه‌های محتوی کانی‌های تیره سنگین در سمت شرقی دلتا بیشتر از سمت غربی آن است. کانی‌های تیره سیاه رنگ در بخش فوقانی رسوبات (حداکثر تا ۱/۵ متری سطح) تجمع یافته‌اند و با افزایش عمق از میزان درصد کانی‌های سیاه رنگ کاسته می‌شود (شکل ۲).

همان‌طور که گفته شد با دور شدن از دهانه به سمت جنوب از تجمع کانی‌های تیره در رسوبات کاسته می‌شود تا جایی که در مناطق منجیل و رودبار تقریباً اثری از افق‌های سیاه رنگ وجود ندارد. این امر را می‌توان علاوه بر انرژی رودخانه و سرعت زیاد آب در این مناطق، به عدم وجود سنگ‌های میزبان این کانی‌ها در مناطق فوق (منجیل و رودبار) مربوط دانست. با توجه به آنکه در حاشیه رودخانه (یعنی جایی که آب رودخانه دارای کمترین انرژی است) و یا در پناه سنگ‌های درشت‌تر مسیر رودخانه در نواحی جنوبی در مناطق منجیل و رودبار، کانه سیاه رنگ ته نشین نشده است لذا با قطعیت می‌توان بیان داشت که سنگ مادر کانه‌های سنگین تیره، در این ترازها وجود ندارد. همچنین بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی موجود (آنلز و دیگران ۱۹۷۵) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رشت، سنگ‌های این مناطق عمدتاً آندزیتی و داسیتی با ماهیت کالکوالکالن می‌باشند و عموماً فاقد کانی‌های تیره هستند.

#### ۵- مطالعات استریو میکروسکوپی

جهت تعیین نوع کانی‌های ماسه‌های سیاه‌رنگ از استریو میکروسکوپ استفاده گردید. ضمناً با بررسی نمونه‌ها در زیر استریو میکروسکوپ دو چشمی توانسته‌ایم فراوانی نسبی کانی‌های موجود در مسیر رودخانه سفیدرود تا ساحل دریا ارزیابی نمائیم.

#### ۵-۱- دلتای سفید رود

با توجه به پیشروی رسوبات رودخانه سفیدرود در داخل دریا و گسترش رسوبات دلتایی ماسه‌های سیاه‌رنگ حاوی کانی‌های تیره در این ناحیه زیادتر است. با ورود آب رودخانه به دریا، گل‌های معلق و سبک آن در آب دریا پخش می‌شود و آن چه که در ساحل به جا می‌ماند قطعه سنگ‌های درشت‌تر تیره رنگ و کانی‌های سنگین حاوی آهن و تیتان است. در حاشیه بستر رودخانه نیز (در ضلع شرقی و غربی) می‌توان این نوع رسوبات را مشاهده کرد. دانه‌های ماسه بر حسب فراوانی در زیر استریو میکروسکوپ دو چشمی (شکل ۳) در این ناحیه عبارتند از:

کانی‌های تیره سنگین اساساً ایلمنیت‌های سیاه براق و ریز دانه و مانیتیت و هماتیت بیش از ۵۰ درصد، کوارتز شفاف و خاکستری و بیرنگ، بیوتیت به صورت ورقه‌های زرد طلایی، پیروکسن سبز روشن و تیره، آمفیبول سوزنی سبز رنگ، کلسیت سفید رنگ شفاف که با اسید می‌جوشد، پلاژیوکلازهای سفید و شفاف به همراه قطعات ریز صدف نرم تنان.

#### ۵-۲- حد فاصل دهانه سفید رود و پل کباشهر

فاصله این منطقه تا دهانه سفیدرود در حدود ۲ کیلومتر است. جنس دانه‌های ماسه بر حسب فراوانی در زیر استریو میکروسکوپ دو چشمی عبارتند از: کوارتز شفاف و خاکستری و بیرنگ، قطعه سنگ‌های تیره رنگ، پیروکسن سبز تیره و روشن، آمفیبول سبز سوزنی شکل، بیوتیت به صورت ورقه‌های زرد طلایی، کانی‌های تیره سنگین از جمله مانیتیت و ایلمنیت حدود ۶ الی ۷ درصد، پلاژیوکلاز تیغه‌ای شفاف و به مقدار جزئی.



شکل ۳: تصویر استریوسکوپي دلتای سفیدرود با بزرگنمایی ۴ برابر



شکل ۲: تجمع کانی‌های تیره در حاشیه رودخانه سفیدرود. در هنگام کم‌آبی کانی‌های سنگین تیره به صورت نوارهای موازی هم‌برجای مانده‌اند (فلش‌های روی عکس) و حاکی از حمل کانی‌های سنگین مزبور از ارتفاعات به طرف دریا است

### ۵-۳- پل کیشهر

فاصله محل نمونه‌برداری تا دهانه سفیدرود در حدود ۶ کیلومتر است و نمونه در فاصله ۴ متری آب رودخانه برداشت شده است.

دانه‌های ماسه بر حسب فراوانی در زیر استریومیکروسکوپ دو چشمی به ترتیب عبارتند از: کوارتز شفاف و خاکستری و بیرنگ، قطعه سنگ‌های تیره رنگ، پیروکسن سبز تیره و روشن، آمفیبول سبز سوزنی شکل، بیوتیت به صورت پولک‌های زرد طلایی، فلدسپات‌های سفید رنگ و زرد رنگ، کانی‌های سنگین تیره اساساً مانیتیت و ایلمنیت‌های براق سیاه ریز دانه ۴ الی ۵ درصد، کلسیت سفید رنگ شفاف و پلاژیوکلاز شفاف به مقدار جزئی.

### ۵-۴- حد فاصل آستانه و کیشهر

سرعت و انرژی زیاد رودخانه مانع از تجمع کانی‌های تیره سنگین در محل نمونه‌برداری شده است. در این ناحیه جنس دانه‌های ماسه از نظر فراوانی در زیر استریومیکروسکوپ دوچشمی به ترتیب عبارتند از: کوارتز شفاف و خاکستری و بیرنگ، قطعه سنگ‌های تیره رنگ، پیروکسن سبز تیره و روشن، آمفیبول سبز سوزنی شکل، بیوتیت به صورت پولکی و کلریتی شده، فلدسپات شفاف و زرد رنگ، کلسیت شفاف که با اسید می‌جوشد، کانی‌های تیره سنگین از نوع ایلمنیت‌های سیاه براق ریز دانه و مانیتیت ۱ الی ۲ درصد.

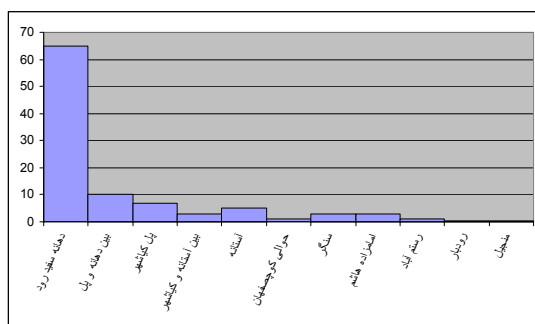
### ۵-۵- پل آستانه

در نمونه برداشت شده در این منطقه ابعاد قطعات دانه درشت است. به این دلیل که محل برداشت نمونه محیطی مئاندری بوده است. در حاشیه محدب مقدار کانی‌های تیره سنگین به مراتب بیشتر از حاشیه مقعر است. از نظر درصد فراوانی و تنوع، کانی‌های ماسه‌ای تفاوت قابل توجهی با ناحیه پل کیشهر ندارند ولی اساساً با گل آغشته شده‌اند. تنها پس از شستشوی چندباره و عبور از الک‌های ۱۰۰ مش می‌توان ماسه‌های درشت‌تر را ارزیابی نمود.

### ۵-۶- از سد سنگر تا حوالی رستم‌آباد و رودبار

وجود سد سنگر در فاصله ۴۰ کیلومتری از دهانه سفیدرود، رسوبات پشت سد دانه درشت‌تر و غالباً در حد قلوه سنگ و شن ولی با رسوبات دانه ریزتر به ویژه رس مخلوط می‌باشند. در محل ورود رودخانه به پشت سد، به خصوص

در حاشیه رودخانه، می‌توان پس از شستشو به درصد فراوانی کانی‌ها پی برد. در مجموع نوع دانه‌های ماسه فرق چندانی با رسوبات پایین دست رودخانه ندارد ولی همان‌طور که گفته شد اساساً دانه درشت‌تر بوده ولی در آن قطعات سنگی در ابعاد ماسه زیادتر است. ضمناً ماسه‌های تیره آهن و تیتان در آن‌ها یافت می‌شود ولی تدریجاً از مقدار آن‌ها کاسته می‌گردد و در رودبار و منجیل تقریباً ناپدید می‌شود و اگر وجود داشته باشد حالت اتفاقی دارد. در شکل ۴ درصد فراوانی نسبی کانی‌های تیره سنگین (شامل تیتانومینیتیت، هماتیت و ایلمنیت) در رسوبات حاشیه رودخانه سفیدرود از منجیل تا مصب آن در دریای خزر نمایش داده شده است.



شکل ۴: نحوه پراکندگی کانی‌های تیره سنگین در دلتای سفیدرود و در طول رودخانه سفیدرود از شمال به جنوب در حد فاصل دهانه سفیدرود تا منجیل

#### ۶- ژئوشیمی ماسه‌های ایلمنیت‌دار خزر

جهت انجام آنالیز شیمی ابتدا حدود ۱۰۰ گرم از ماسه‌های حاوی کانی‌های تیره سنگین با کمک آهن‌ربای مغناطیسی با شدت کم از انواع غیر مغناطیس جدا گردید. سپس قسمت جدا شده به کمک استریو میکروسکوپ دوچشمی با دقت مورد بررسی قرار گرفت و به کمک سوزن مخصوص کانی‌های تیغه‌ای شکل و براق (کانی‌های تیتان‌دار) جدا گردید. سپس نمونه‌های جدا شده از دستگاه مغناطیسی فرانتز عبور داده شد و در نهایت مورد نظر، مورد آزمایش طیف سنجی جرمی نشری پلاسما جفت شده القایی قرار گرفت. نتیجه حاصل از آنالیز شیمی یک نمونه از ماسه‌های ایلمنیت‌دار سواحل خزر در جدول ۱ ارائه شده است. علیرغم دقت‌های لازم در جدایش کانی‌های تیتان‌دار، در نتایج آنالیز شیمی درصد اندکی از سیلیسیوم، آلومینیوم، کلسیم، سدیم و... یافت می‌شود که باید آن‌ها را کانی‌های سیلیکاته‌ای تصور نمود که یا به صورت بین ذره‌ای و یا در شاخه‌های آنتن مانند کانی‌های ایلمنیت وجود دارد.

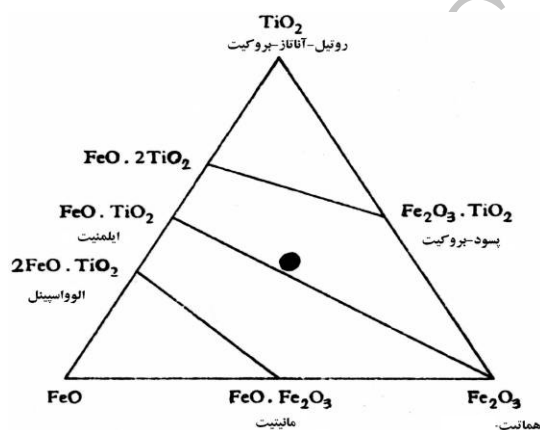
مقادیر اکسیدهای  $\text{SiO}_2$  (۶/۰۴ درصد وزنی)،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (۲/۸۱ درصد وزنی)،  $\text{Na}_2\text{O}$  (۰/۴۱ درصد وزنی)،  $\text{K}_2\text{O}$  (۰/۱۵ درصد وزنی) و  $\text{P}_2\text{O}_5$  (۰/۲۰ درصد وزنی) به میزان اندک در این رسوبات وجود دارند. حضور مقادیر ناچیز این اکسیدها در نمونه مورد آنالیز با ناخالصی‌های همراه با کانی ایلمنیت قابل توجیه است. با توجه به دلیل شکل آنتن مانند و به اصطلاح شاخه شاخه کانی ایلمنیت در مقیاس میکروسکوپی، این امکان وجود دارد ریز بلورهای پلاژیوکلاز یا پیروکسن در بین شاخه‌های میکروسکوپی آنها تبلور یافته باشند که جدا کردن آن‌ها با امکانات آزمایشگاهی موجود عملاً غیر ممکن است.

حضور اکسید منیزیم و منگنز در آنالیز شیمی نمونه مورد مطالعه را می‌توان به جانشینی یون منیزیم دو ظرفیتی و منگنز دو ظرفیتی به جای آهن دو ظرفیتی در هنگام تشکیل ایلمنیت نسبت داد (دیر و همکاران، ۱۹۹۱). از آنجائی که از نظر ژئوشیمیایی این سه عنصر هم خانواده هستند می‌توانند در ساختمان اتمی کانی‌ها جانشین همدیگر شوند. در مورد عنصر کمیاب وانادیوم مقدار بالای آن در حدود ۷۵۵ ppm بسیار قابل توجه است. به نظر می‌رسد که حضور غیر عادی این عنصر در آنالیز شیمی (۷۵۵ ppm) می‌تواند به جانشینی وانادیوم به جای آهن سه ظرفیتی در

هنگام تبلور مذاب ماگمایی و در ساختمان تبلور مانیتیت و به ویژه تیتانومانیتیت مرتبط باشد. مقادیر نسبتاً بالای سه عنصر کمیاب لانتانیم (با مقدار ۲۶/۶ پی‌پی‌ام)، سریم (با مقدار ۴۹ پی‌پی‌ام)، گالیم (با مقدار ۲۰ پی‌پی‌ام) و هافنیم (با مقدار ۱۳/۷ پی‌پی‌ام) مشابهت بسیار زیادی به مقادیر این عناصر در گابروهای آلکان موجود در منطقه دارد. در گابروهای یاد شده مقادیر بالای این عناصر سبب ایجاد آنومالی‌های مثبت آن‌ها در طرح‌های نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه شده است (حاجی کریمی، ۱۳۸۹). بنابراین حضور این عناصر و وابستگی آن‌ها به سنگ‌های گابرویی منطقه قابل توجه است.

برای تعیین نوع نمونه‌ها و محل آن‌ها در سری محلول‌های جامد آهن و تیتان از نمودار سه‌تایی  $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (دیر و همکاران، ۱۹۹۱) (شکل ۵) استفاده شده است. همان‌طور که در شکل مذکور دیده می‌شود محل آن به سری محلول جامد ایلمنیت - هماتیت تطبیق می‌کند.

در سری هماتیت - ایلمنیت، بخشی از Ti می‌تواند در ساختمان مانیتیت وارد شود که در این حالت به آن مانیتیت تیتان‌دار می‌گویند. بنابراین نمونه‌های تیتان‌دار در ماسه‌های ساحلی خزر را باید به سری محلول جامد ایلمنیت - هماتیت مربوط دانست و آن را مانیتیت تیتان‌دار نامید (دیر و همکاران، ۱۹۹۱).



شکل ۵: نمودار سه‌تایی  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  از (دیر و همکاران، ۱۹۹۱)

ثابت شده است که اگر در ماگما بین ۰ تا ۱۲ درصد اکسید تیتانیم وجود داشته باشد با کاهش درجه حرارت و در ۱۹۵۴ درجه سانتی‌گراد و همزمان با کانی‌های سیلیکاته ابتدا مانیتیت ایلمنیت‌دار متبلور می‌شود سپس سیستم به سولیدوس مینیمم ۱۴۹۳ سانتی‌گراد کشیده می‌شود که در آن پسود و بروکیت که خود محلول جامد است، متبلور می‌شود. در دماهای پایین‌تر از سولوس هماتیت و ایلمنیت از هم تفکیک می‌شوند. ضمناً نتایج دیفراکتومتري اشعه ایکس و مطالعات مینرالوگرافی همین نتایج را نشان داده است (سهمانی، ۱۳۸۸) هر قدر بلورهای مزبور درشت‌تر باشند ترکیبات تیتان بیشتری در آن‌ها وجود خواهد داشت (دیر و همکاران، ۱۹۹۱).

با توضیحات فوق می‌توان نتیجه گرفت که اکسیدهای تیتان‌دار در ماسه‌های ساحلی خزر بیشتر به صورت اکسولوسیونی (exclusion) از مانیتیت و ایلمنیت هستند و قابل جدایش با هیچ یک از وسایلی که امروز در اختیار می‌باشد نبوده است (سهمانی، ۱۳۸۸).

#### ۷- منشأ ماسه‌های سیاه‌رنگ ایلمنیت‌دار

نتایج آنالیز ماسه‌های سیاه‌رنگ نشان می‌دهد که مقدار اکسید تیتانیم در ماسه مورد آنالیز زیاد و حدود ۱۰ درصد وزنی است.

جدول ۱: نتایج حاصل از آنالیز و به روش طیف سنجی جرمی نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) ماسه های تیتانیوم دار ساحل خزر ( $Fe_2O_3^*$  مبین آهن کل است)

Ba	۶۰
Ce	۴۹
Co	۹
Cr	۱۰
Cs	۰/۴۱
Cu	۴۵
Dy	۳/۴۶
Er	۲/۰۷
Eu	۰/۸۲
Ga	۲۰/۱
Gd	۴/۰۵
Hf	۱۳/۷
Ho	۰/۶۶
La	۲۶/۶
Lu	۰/۳۲
Nb	۲۰/۱
Nd	۱۹/۲
Ni	۵
Pb	۶۸
Pr	۵/۲۸
Rb	۵/۱
Sm	۳/۵۶
Sn	۳
Sr	۶۷/۰۶
Ta	۰/۳
Tb	۰/۵۴
Th	۵/۶۹
Tm	۰/۲۸
U	۴/۱۳
V	۷۵۵
W	۶
Y	۱۷/۴
Yb	۲/۲۵
Zn	۳۱۷
Zr	۵۵۶

Sample No.	S11
SiO <sub>2</sub>	۶/۰۴
TiO <sub>2</sub>	۹/۷۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲/۸۱
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷۲/۹
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۳۳
MnO	۰/۷۸
MgO	۱/۷۰
CaO	۱/۹۷
Na <sub>2</sub> O	۰/۴۱
K <sub>2</sub> O	۰/۱۵
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۳۰
LOI	۱/۹۰
SrO	۰/۰۱
BaO	۰/۰۱
TOTAL	۹۸/۲
مقادیر نورم محاسباتی (CIPW)	
Q	۰/۰
Or	۱/۱
Ab	۳/۱
An	۴/۸
Di	۴/۵
Ap	۰/۶
Il	۱۸.۶
Ma	۶۷/۰۲
Total	۱۰۰

در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های مافیک تنها به صورت توده‌های گابرویی و دایک‌های دیابازی آلکالن حاوی کانی‌های مانیتیت و ایلمنیت حضور دارند (خبازنیا و صادقی، ۲۰۰۴). این توده‌های گابرویی از نظر شیمیایی و کانی‌شناسی شباهت بسیار زیادی با توده‌های گابرویی ایلمنیت‌دار با ماهیت آلکالن در ارتفاعات جنوبی مشرف به دریای خزر در جنوب املش، دارند (صلواتی، ۱۳۸۷ و خبازنیا و صادقی، ۲۰۰۴). به طور متوسط میزان اکسید تیتانیوم در این



توده‌ها حدود ۳/۵ درصد وزنی می‌باشد که بالاترین میزان را در سنگ‌های منطقه دارا می‌باشند. بررسی ترکیب شیمیایی نمونه ماسه سیاهرنگ مورد مطالعه نیز شباهت مشخصی با توده‌های گابرویی ذکر شده در منطقه امامزاده هاشم دارند، لذا با توجه به مطالب یاد شده و با توجه به حضور رسوبات مشابه در اطراف توده‌های یاد شده، به نظر می‌رسد که منشأ این رسوبات با توده‌های مزبور در ارتباط باشد.

## ۸- نتیجه گیری

مطالعات انجام شده نشانگر نتایج زیر می‌باشند:

- رسوبات ساحلی سیاهرنگ حاوی کانی‌های تیره در امتداد رودخانه سفیدرود قابل رویت هستند.
- فراوانی این رسوبات از دهانه به سمت بالادست رودخانه به تدریج کم می‌شود به طوری که در دلتای سفیدرود (کیاشهر) دارای حداکثر فراوانی بوده و با حرکت به سمت جنوب با کاهش تدریجی آن مواجهیم به نحوی که حاشیه همین رودخانه در ناحیه منجیل و رودبار اثری از آن‌ها دیده نمی‌شود که حاکی از عدم حضور این سنگ‌ها در مناطق اخیر است.
- رسوبات سیاهرنگ حاوی کانی‌های سنگین بیشتر سطحی بوده و هر چه به عمق رسوبات افزوده می‌شود از میزان و درصد آن‌ها کم می‌شود. تمرکز کانی‌های سنگین بیشتر در ۱ الی ۱/۵ متر بالایی رسوبات اصلی قرار دارند.
- آنالیز شیمیایی این رسوبات مبین مقادیر بالای اکسید تیتانیم در آن‌ها است (حدود ۱۰ درصد وزنی) که از این نظر مشابه با توده‌های گابرویی آلکالی است که در ارتفاعات حاشیه غربی رودخانه سفیدرود در حوالی امامزاده هاشم- رستم‌آباد بیرون زدگی دارند.
- میزان عناصر کمیاب سریم، گالیم، لانتانیم و هافنیم مشابهت بسیاری با این عناصر در توده‌های گابرویی آلکالن منطقه فوق دارند.
- مقادیر بالای وانادیم در این رسوبات به جانشینی آن به جای یون آهن سه ظرفیتی در ساختمان مانیتیت مرتبط است.
- در نمودار مثلثی  $FeO-TiO_2-Fe_2O_3$  (دیر و همکاران، ۱۹۹۱)، ترکیب این نمونه‌های مورد مطالعه در وسط خط اتصال سری محلول جامد ایلمنیت - هماتیت قرار می‌گیرد و نشانه آنست که در سری هماتیت - ایلمنیت، بخشی از تیتانیم می‌تواند در ساختمان مانیتیت وارد شود که در این حالت به آن مانیتیت تیتان دار گویند.
- بررسی‌های دیفرانکتومتری اشعه ایکس و مینرالوگرافی حاکی از آنست که اکسیدهای تیتان دار در ماسه‌های سیاهرنگ مورد مطالعه بیشتر به صورت اکسولوشنی (exclusion) از مانیتیت و ایلمنیت است که قابل جدایش با هیچ یک از وسایلی که امروزه در اختیار است نمی‌باشند.
- با توجه به شباهت ژئوشیمیایی رسوبات مورد مطالعه با توده‌های گابرویی آلکالن حاشیه شرقی رودخانه سفیدرود و بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی می‌توان سنگ‌های گابرویی فوق را منشأ اصلی رسوبات ماسه‌ای حاوی کانی‌های سنگین در منطقه دانست.

## ۹- سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از طرح پژوهشی "بررسی پتروژنتیکی و اقتصادی رسوبات تیتانیم‌دار شرق گیلان" می‌باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان انجام شده است، لذا بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

## ۱۰ - منابع

۱. حاجی کریمی، ه.، ۱۳۸۹، بررسی زمین‌شناسی اقتصادی سنگ‌های مافیک ارتفاعات املش- لاهیجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد لاهیجان، ۱۵۰ صفحه.
۲. خبازنیا، ا. و صادقی، ا.، ۲۰۰۴، گزارش حاشیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰، ارشد، سازمان زمین‌شناسی ایران.
۳. سهمانی، ه.، ۱۳۸۸، بررسی پتروژنتیکی و زمین‌شناسی اقتصادی رسوبات تیتانیوم‌دار حاشیه سفیدرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد لاهیجان، ۱۴۷ صفحه.
۴. صلواتی، م.، ۱۳۸۷، پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه افیولیتی شرق گیلان، رساله دکتری، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، ۲۴۱ صفحه.
۵. کوثری، س.، ۱۳۷۰، اکتشافات نیمه تفصیلی تیتانیوم در سواحل گیلان، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور، ۸۰ صفحه.
۶. کوثری، س.، ۱۳۶۳، شناسایی منابع تیتانیوم در دشت ساحلی گیلان، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور، ۳۳ صفحه.
7. Deer, W.A, Howie, R.A and Zussman, J., 1991, An introduction to rock forming mineral, second ed, Longman, p-787.

Archive of SID