

✓ ۲۸۸۵

TN

۲۷۱

ت۹

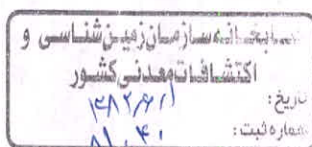
۶۴

۱۳۷۸



جمهوری اسلامی ایران
وزارت معادن و فلزات

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی



گزارش
طرح اکتشاف تفصیلی
قره آغاج ارومیه
فاز ۱



مجری طرح : محمدجواد واعظی بور
مجری پروژه : کمال الدین برمک



مهندسین مشاور کاوشگران

اسفند ماه ۱۳۷۸

ilmenite = $FeTiO_3$ - تیتانیوم

الف

ایلمنیت

$(Ti, Nb, Fe)_2O_6$ - ایلمنیت

به نام خدا

$2TiO_2 = \text{Rutile} = \text{Rutile}$



چکیده:

در چارچوب قرارداد شماره ۲/۱۰۰۸۷ مورخ ۷۷/۱۲/۲۰ بین مجریان محترم طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی و پروژه اکتشاف تفصیلی تیتان (فاز یک) در منطقه قره آغاج ارومیه ، از یک سو و مهندسین مشاور کاوشگران از سوی دیگر ، مجموعه خدمات پیش بینی شده در شرح خدمات ارایه گردید . عملیات صحرایی ، آزمایشگاهی و سایر خدمات ، طی گزارش جداگانه ای جمع بندی و تقدیم شده است . مطالعات و آزمایشهای کانه آرای به عنوان بخشی از خدمات ، پس از فراهم نمودن مقدمات ، به انجام رسید و گزارش حاضر دربرگیرنده نتایجی است که در این مرحله از بررسی ها حاصل شده است .

در بخش نخست این گزارش پس از ذکر تاریخچه ای از تیتانیوم و کانی های مربوط ، به معرفی ترکیبات مختلف ، آلیاژها و مصارف گوناگون صنعتی این مواد پرداخته شده است .

درمیان شما

با انجام مطالعات و بررسی های موردی ، تعدادی نمودار (مورد عمل در صنعت برای آرایش و فرآوری کانی های تیتانیوم عرضه شده است .

در عملیات آزمایشگاهی ، براساس خدمات صحرایی انجام شده ، جمعا چهار نوع نمونه (دو نمونه سطحی از بلوکهای F و G و دو نمونه عمقی از گمانه های BH1 و BH2) پس از خردایش مورد بررسی میکروسکپی قرار گرفت .

فهرست مطالب



عنوان

الف

چکیده

فصل اول: نیتانیوم و ترکیبات آن

- ۱-۱- کلیات
- ۲-۱- فلز تیتانیوم
- ۱-۲-۱- آلیاژهای تیتانیوم
- ۱-۲-۱-۱- مصارف آلیاژهای تیتانیوم
- ۱-۲-۲-۱- ترکیبات تیتانیوم
- ۱-۲-۲-۱-۳- مواد اولیه تیتانیوم
- ۱-۲-۲-۱-۳-۲-۱- کانی های اکسیدی
- ۱-۲-۲-۱-۳-۲-۲-۱- سایر کانی های تیتانیوم
- ۳-۱- تولید اکسید تیتانیوم
- ۱-۳-۱- روشهای آرایش کانیهای تیتانیوم
- ۲-۳-۱- روشهای تولید دی اکسید تیتانیوم
- ۱-۲-۳-۱- روش سولفات
- ۲-۲-۳-۱- فرآیند کلرور
- ۳-۳-۱- رنگدانه های اکسید تیتانیوم
- ۴-۱- تهیه فلز تیتانیوم

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱۹-۲	Mozley ۲-۴-۲ آرایش اولیه ثقلی توسط میز نرمه
۲۱-۲	۳-۴-۲ آرایش اولیه مغناطیسی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم
۲۵-۲	۴-۴-۲ آرایش محصول جداکننده ثقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم
۲۵-۲	۵-۴-۲ آرایش محصول جداکننده مغناطیسی با شدت کم توسط جداکننده مغناطیسی باگرادیان زیاد
۲۷-۲	۶-۴-۲ آرایش ثقلی محصول جدایش مغناطیسی با شدت کم (بخش غیرمغناطیسی)
۳۰-۲	۷-۴-۲ آرایش محصول پرعیار ثقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم

فصل سوم: نتیجه گیری و پیشنهاد

۱-۳	۱-۳- نتیجه گیری
۲-۳	۲-۳- پیشنهادات
۲-۳	۱-۲-۳- سرباره تیتانیوم
۳-۳	۲-۲-۳- فروتیتانیوم

فهرست منابع

فهرست جداول

صفحه

عنوان

فصل اول

- جدول شماره ۱-۱: خواص فیزیکی تیتانیوم ۴-۱
- جدول شماره ۲-۱: مشخصات فیزیکی آلیاژهای تیتانیوم ۷-۱
- جدول شماره ۳-۱: اثر ناخالصی های بین شبکه ای بر خواص مکانیکی آلیاژ ۹-۱
- جدول شماره ۴-۱: خواص فیزیکی اکسیدهای تیتانیوم ۱۶-۱
- جدول شماره ۵-۱: ترکیب نمادین ایلمنیت و روتیل ۱۷-۱
- جدول شماره ۶-۱: خواص برخی از انواع کانی های اکسید تیتانیوم ۱۹-۱
- جدول شماره ۷-۱: مواد مورد نیاز برای فلوتاسیون ایلمنیت به صورت کلی ۲۵-۱
- جدول شماره ۸-۱: مواد اولیه مورد نیاز در روش سولفات ۳۰-۱
- جدول شماره ۹-۱: مواد اولیه مورد نیاز در روش کلرور ۳۳-۱
- جدول شماره ۱۰-۱: مقایسه درصد ناخالصی های $TiCl_4$ مصرفی در رنگدانه و تولید فلز تیتانیوم ۳۵-۱

فصل دوم

- جدول شماره ۱-۲: نتایج آزمایش تجزیه سرنندی نمونه BH1 ۲-۲
- جدول شماره ۲-۲: نتایج آزمایش تجزیه سرنندی نمونه BH2 ۳-۲
- جدول شماره ۳-۲: نتایج آزمایش تجزیه سرنندی نمونه F ۴-۲
- جدول شماره ۴-۲: نتایج آزمایش تجزیه سرنندی نمونه G ۵-۲
- جدول شماره ۵-۲: نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های چهارگانه (نمونه اولیه) ۱۰-۲
- جدول شماره ۶-۲: لیست کل مقاطع تهیه شده جهت آزمایشهای مینرالوگرافی ۱۲-۲
- جدول شماره ۷-۲: نتایج مربوط به سیکلوسایزر ۱۴-۲
- جدول شماره ۸-۲: زمان آسیا کردن برای نمونه های BH1 و BH2 ۱۸-۲
- جدول شماره ۹-۲: زمان آسیا کردن برای نمونه های F و G ۱۸-۲

فهرست جداول

صفحه

عنوان

- ۲۰-۲ جدول شماره ۲-۱۰: نتایج آرایش مقدماتی مغناطیسی برروی بار اولیه با ابعاد کوچکتر از ۶۰۰ میکرون
- ۲۱-۲ جدول شماره ۲-۱۱: نتایج آرایش مقدماتی برروی بار اولیه با ابعاد کوچکتر از ۳۰۰ میکرون
- ۲۲-۲ جدول شماره ۲-۱۲: نتایج آرایش اولیه ثقلی توسط میز نرمه موزلی
- ۲۴-۲ جدول شماره ۲-۱۳: نتایج آرایش اولیه مغناطیسی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم
- ۲۶-۲ جدول شماره ۲-۱۴: نتایج آرایش محصول جداکننده ثقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم
- ۲۸-۲ جدول شماره ۲-۱۵: نتایج آرایش محصول جداکننده مغناطیسی با شدت کم توسط جداکننده مغناطیسی با شدت زیاد
- ۲۹-۲ جدول شماره ۲-۱۶: نتایج آرایش ثقلی محصول جدایش مغناطیسی با شدت کم (بخش غیرمغناطیسی)
- ۳۱-۲ جدول شماره ۲-۱۷: نتایج آرایش محصول پرعیار شده ثقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

فصل اول

- شکل شماره ۱-۱: نمودار ساده شده آرایش ماسه ساحلی ایلمنیت و روتیل
 ۲۴-۱
 شکل شماره ۲-۱: یک روش فلوتاسیون ایلمنیت
 ۲۶-۱
 شکل شماره ۳-۱: ارتباط بین نوع کانسار و روشهای تولید دی اکسید تیتانیوم
 ۲۸-۱
 شکل شماره ۴-۱: نمودار ساده فرآیند سولفات
 ۳۱-۱
 شکل شماره ۵-۱: نمودار ساده فرآیند کلرور
 ۳۴-۱
 شکل شماره ۶-۱: فلوشیت ساخت رنگدانه های دی اکسید تیتانیوم
 ۳۶-۱
 شکل شماره ۷-۱: نمودار تهیه سرباره تیتانیوم مربوط به شرکت آهن و تیتانیوم کبک
 ۴۲-۱

فصل دوم

- شکل شماره ۱-۲: نمودار دانه بندی نمونه BH1
 ۶-۲
 شکل شماره ۲-۲: نمودار دانه بندی نمونه BH2
 ۷-۲
 شکل شماره ۳-۲: نمودار دانه بندی نمونه F
 ۸-۲
 شکل شماره ۴-۲: نمودار دانه بندی نمونه G
 ۹-۲
 شکل شماره ۵-۲: نمودار دانه بندی توسط سیکلوسایزر (نمونه F)
 ۱۵-۲

فهرست پیوست ها

عنوان

فصل دوم

پیوست شماره ۱ : عکسهای مربوط به مطالعات میکروسکوپی از شماره ۱ تا ۲۶



فصل اول

تیتانیوم و ترکیبات آن

فصل اول: تیتانیوم و ترکیبات آن

۱-۱- کلیات:

امروزه عنصر تیتانیوم و ترکیبات آن به علت داشتن برخی خواص ویژه که اهم آنها بالا بودن نسبت استحکام به وزن و پایداری شیمیایی در مقابل خوردگی در دماهای بالا است کاربرد وسیعی پیدا کرده بگونه ای که "فلز عصر فضا" نامیده شده است.

فولاد که سمبل استحکام در میان فلزات است، به علت سنگینی وزن در کاربردهای هوایی و فضایی جایگاه چندان مطلوبی ندارد. آلومینیوم نیز علیرغم سبکی وزن از استحکام مطلوبی برخوردار نیست و لذا جز در موارد معدود مانند ساخت بدنه هواپیماهای معمولی مسافری، کاربرد دیگری در صنایع هوا-فضا ندارد. در این میان تیتانیوم با داشتن استحکام نسبتاً زیاد و بخصوص ثبات این مشخصه در دماهای بالا و کمی وزن مخصوص آن نسبت به فولاد، از همه مهمتر مقاومت آن در برابر خوردگی، در شاسی و موتور موشکها و هواپیماهای جت، به ویژه در انواع جنگی مافوق صوت و نظایر آن مصرف زیادی دارد.

جدای این مصارف در مواردی مانند صنایع ساختمانی، شیمیایی، غذایی، بهداشتی، کشتی سازی، حمل و نقل، ساخت وسایل ورزشی، لوازم جراحی، لوله ها، ریخته گری و کاربرد جدید آن در ذوب فلزات به عنوان اصلاح کننده اندازه بلورها و ساختمان فلز ریخته گری شده نیز کاربرد دارد. مصرف این فلز بجای فولاد ضدزنگ در موتور هواپیما و موشکها باعث کاهش وزن و صرفه جویی در انرژی شد. تیتانیوم ماده اصلی موتور و شاسی هواپیماهای مافوق صوت است کاهش یک کیلوگرم در وزن موتور باعث ۸ تا ۱۰ کیلوگرم کاهش در وزن کل هواپیما خواهد شد. از پرمصرف ترین آلیاژهای تیتانیوم در هواپیما سازی آلیاژ آن با وانادیوم است. از کربور تیتانیوم در ساخت آلیاژهای بسیار سخت و از اکسید آن در ساخت رنگهای سفید و

مقاوم برای صنایع کاغذسازی، چینی سازی و شیشه استفاده می شود. مهمترین ترکیبات تیتانیوم از نظر کاربرد صنعتی اکسیدتیتانیوم به فرمول TiO_2 است. این ماده دارای ضریب شکست نوری بالایی است و به این علت در ساخت رنگدانه ها بکار می رود. از مصارف دیگر آن صنایع کاغذ، لاستیک، پلاستیک و غیره می باشد. از این ماده در روکش الکترودهای جوشکاری نیز استفاده می شود. مصرف اکسیدتیتانیوم را در سال ۱۹۷۳ در ایالات متحده، به میزان ۹۵ درصد در ساخت رنگدانه ها، ۴ درصد در صنایع تولید تیتانیوم فلزی و ۱ درصد در ساخت روکش الکتروود جوشکاری گزارش شده است.

کانیهای رایج این ماده ایلمنیت و روتیل می باشد. تیتانیوم اولین بار به صورت یک اکسید سفید رنگ در سال ۱۷۹۰ توسط Gregor کشف شد. او این ماده را از Menaccanite که خود یکی از انواع مختلف ایلمنیت بود بدست آورد. این ماده به صورت شن تیره رنگی در نزدیکی Falmouth Cornwall وجود داشت. در سال ۱۷۹۵ یک شیمیدان آلمانی به اسم Klaproth نام تیتانیوم را بر آن نهاد. این شخص در این رابطه موفق به کشف یک کانی در مجارستان شد که آن را روتیل نامید. کانی مزبور حاوی اکسید یک عنصر فلزی جدیدی بود که شیمیدان مزبور با الهام از نام * Titan غول افسانه ای یونانی آن را تیتانیوم نامید. در اواسط قرن بیستم به خواص منحصر به فرد ترکیبات و آلیاژهای آن که به صورت زیر خلاصه می شود پی برده شد:

- استحکام مکانیکی و ثبات شیمیایی حتی در درجات حرارت زیاد
- دوام در مقابل سایش و خوردگی، استحکام همانند فولاد ضد زنگ و در عین حال وزن مخصوص به مراتب کمتر از آن

* Titan یکی از خدایان قدیم (در افسانه های یونانی)، پسر "اورانوس" و "گا" است و مظهر قدرت و بزرگی جثه بوده است و در ضمن نام بزرگترین قمر سیاره مشتری است. ظاهراً شخص Klaproth نام تیتانیوم را بخاطر استحکام بالای این عنصر به آن داده است.

- مقاومت در برابر سایش و خوردگی در محیط های دریایی ، خاک و هوا و بهمین جهت برای محفظه های نگهداری زباله های اتمی که بایستی دفن شوند ماده مناسبی می باشد .

۱-۲- فلز تیتانیوم:

عنصر فلزی تیتانیوم با علامت اختصاری Ti دارای عدد اتمی ۲۲ و جرم اتمی ۴۷/۹۰ در گروه IVB جدول تناوبی عناصر قرار گرفته است و مشابهت زیادی با عناصر سیلیسیوم و زیر کونیوم دارد . نقطه ذوب آن حدود ۱۶۶۰ تا ۱۶۷۰ درجه سانتیگراد و نقطه جوش آن بالاتر از ۳۰۰۰ درجه سانتیگراد و وزن مخصوص آن در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود ۴/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب است که از نظر سنگینی بین آهن و آلومینوم قرار می گیرد . این عنصر در حالت خالص نرم و شکل پذیر و به رنگ سفید می باشد . ناخالصی های موجود رنگ آن را متمایل به نقره ای خاکستری می کند که اگر آن را صیقلی نمایند درخشش خاصی پیدا می کند . ناخالصی هایی که معمولاً با آن همراه هستند عبارتند از : کربن ، اکسیژن و ازت و نیز عناصر فلزی نظیر آهن ، منگنز ، کرم و مس که سه مورد اول نقطه ذوب آن را افزایش و بقیه کاهش می دهند .

تیتانیوم دارای دو ساختمان بلوری است و در دمای کمتر از ۸۸۲ درجه سانتیگراد دارای ساختمان هگزاگونال است که به آن "تیتانیوم آلفا" گفته می شود بین این درجه حرارت و نقطه ذوب به "تیتانیوم بتا" تبدیل می شود که دارای ساختمان مکعبی است . تیتانیوم دارای خاصیت پارامغناطیس بوده ، ضریب هدایت حرارتی و الکتریکی آن بسیار کم است . ظرفیت آن ۲ ، ۳ و ۴ است که پایدارترین آن تیتانیوم با ظرفیت ۴ می باشد . این ماده در دمای بالا چکش خوار است و وقتی به دمای سرخ شدن برسد به آسانی به صورت مفتول کشیده می شود . در درجه حرارت ۲۶۰ درجه سانتیگراد و در تماس با آب داغ سطح آن از حالت درخشندگی تغییر کرده و مات می شود ، دلیل آن تشکیل یک لایه نازک اکسید بر سطح فلز است که به رنگی بین آبی - طلایی در می آید . در درجه حرارت بالاتر این لایه ضخیم تر شده و سطح فلز به رنگ زرد - قهوه ای تبدیل می شود . تیتانیوم در درجه حرارت معمولی در برابر اثرات خوردنده اسیدهای نظیر اسید نیتریک ، تیزاب



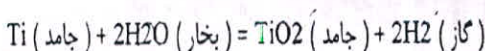
سلطانی، اسیدهای آلی، گاز کربن مرطوب، محلول کرومها، محلول رقیق اسیدهای سولفوریک و کلریدریک و محلول رقیق قلیایی ها کاملاً مقاوم هستند. فلز تیتانیوم میل ترکیبی زیاد با اکسیژن و هیدروژن دارد به همین جهت وجود آن در آلیاژهای فلزی باعث تشکیل یک لایه نازک اکسید و نیترو بر سطح فلزات شده و همانند فولاد ضدزنگ و آلومینیوم مقاومت زیادی در برابر خوردگی از خود نشان می دهد. تیتانیوم در درجه حرارت حدود ۶۱۰ درجه سانتیگراد با اکسیژن هوا ترکیب می شود و اکسید تیتانیوم می سازد، در ۸۰۰ درجه سانتیگراد نیز با ازن تولید نیترو تیتانیوم می کند. خواص فیزیکی تیتانیوم مطابق با جدول شماره ۱-۱ است:

جدول شماره ۱-۱ خواص فیزیکی تیتانیوم

نقطه ذوب	۵ + ۱۶۶۵ درجه سانتیگراد
نقطه جوش	۳۲۶۰ درجه سانتیگراد
دانسیته (فرم آلفا و در ۲۰ درجه سانتیگراد)	۴/۵۰۷ گرم بر سانتیمتر مکعب
دانسیته (فرم بتا و در ۸۸۵ درجه سانتیگراد)	۴/۲۵ گرم بر سانتیمتر مکعب
ضریب هدایت حرارتی در ۲۵ درجه سانتیگراد	۲۱/۹ وات بر متر بر درجه کلوین
مقاومت الکتریکی در ۲۰ درجه سانتیگراد	۴۲۰ اهم - متر
مقاومت کششی	۱۰،۲۰۰ کیلوگرم بر میلیمتر مربع
مقاومت فشاری	۱۰،۵۰۰ کیلوگرم بر میلیمتر مربع
مقاومت برشی	۴،۵۰۰ کیلوگرم بر میلیمتر مربع
گرمای نهان ذوب	حدود ۱۰۵ کیلوکالری بر کیلوگرم
گرمای نهان تبخیر	حدود ۲۲۵۰ کیلوکالری بر کیلوگرم

تیتانیوم با اسید فلوریدریک و محلول های گرم و غلیظ سود، اسید فسفریک و اسید نیتریک قرمز دودکننده

ترکیب می شود. این عنصر بخار آب را مطابق واکنش زیر تجزیه می کند:



2 2

به علت میل ترکیبی شدید این ماده با اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن کلیه عملیاتی که بایستی در درجات حرارت بالا روی آن صورت گیرد (نظیر ذوب و جوشکاری و غیره) در خلا انجام می شود. از ویژگیهای عالی این ماده آن است که خواص مطلوب آن در محدوده درجه حرارت ۱۹۹- تا ۵۵۰+ درجه سانتیگراد تغییر نمی کند. فلز تیتانیوم در اسید سولفوریک سرد و رقیق و نیز گرم و غلیظ به راحتی حل شده و به ترتیب تشکیل سولفاتهای تیتانو و تیتانیک می دهد و در مجاورت گاز کلر و دمای بالا اگر در مجاورت شعله قرار گیرد شعله ور می شود و تولید تراکلور تیتانیوم می کند که امروزه این ماده در ساخت عنصر فلزی تیتانیوم نقش موثری دارد. تیتانیوم با داشتن استحکام کششی، استحکام فشاری و استحکام برشی بسیار بالا به همراه چگالی نسبتاً کم و مقاومت زیاد در برابر خوردگی و ترک خوردگی ناشی از آن، کاربردهای خاصی دارد. تنها عیب آن قیمت بالای آن است که حدود ۴۰ تا ۱۰۰ برابر فولادهای مقاوم بوده و این امر باعث محدودیت مصرف آن در تعدادی صنایع حساس شده است.

این فلز اولین بار در سال ۱۸۶۰ به عنوان یک عنصر آلیاژی ضد اکسیدان در صنعت فولادسازی مورد استفاده قرار گرفت. تا سال ۱۸۸۷ کسی قادر به تهیه این فلز با خلوص بالا نشد و در این سال بود که با روش احیا برای اولین بار فلز تیتانیوم با خلوص ۹۵ درصد ساخته شد. این عنصر دارای پنج ایزوتوپ معمولی به نامهای 46Ti ، 47Ti ، 48Ti ، 48Ti ، 49Ti و 50Ti و سه ایزوتوپ رادیواکتیو به نامهای 44Ti ، 45Ti و 51Ti است که از این میان، دو ایزوتوپ 45Ti و 51Ti دارای نیم عمر کوتاهی در حدود چند دقیقه تا چند ساعت بوده ولی ایزوتوپ 44Ti نیم عمری در حدود ۱۰۰۰ سال دارد. تیتانیوم عنصر نسبتاً فراوانی است. در پوسته جامد زمین از لحاظ فراوانی مقام هشتم تا نهم را دارد و در میان عناصر موجود در آب دریا از این لحاظ در ردیف سی و پنجم قرار می گیرد. در هر کیلومتر مکعب آب دریا حدود ۱۰۸۰ کیلوگرم تیتانیوم تخمین زده می شود. تیتانیوم در محیط های دریایی پایدار است بطوریکه حتی پس از سه سال تماس مداوم آن با آب دریا (حاوی نمکهای مختلف) خوردگی قابل ملاحظه ای در آن مشاهده نمی شود.

۱-۲-۱- آلیاژهای تیتانیوم:

قبل از شناخت ویژگیهای بارز تیتانیوم، آلیاژهای نیکل - کبالت که در محدوده های دمایی ۵۰۰ درجه سانتیگراد تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد استحکام نسبتاً مطلوبی داشتند، در صنایع هواپیمایی مورد مصرف قرار می گرفتند. ویژگیهای بارز تیتانیوم عبارت از استحکام زیاد و وزن نسبتاً کم و نیز مقاومت زیاد در مقابل خوردگی بخصوص در دماهای بالا می باشد. امروزه در صنایع هوا-فضا و صنایع نظامی آلیاژهای مختلف تیتانیوم کاربرد زیادی دارند آلومینیوم، وانادیوم، مولیبدن، منگنز، تنگستن، آهن و کرم از عناصری هستند که معمولاً با تیتانیوم آلیاژ می شوند. آلیاژهای این عنصر حین حرارت دیدن حتی تا درجه حرارت حدود ۵۵۰ درجه سانتیگراد نیز دارای حداکثر استحکام مطلوب می باشند. آلیاژهای تیتانیوم بطور کلی به دو دسته تقسیم می شوند:

الف) نوع آلفا:

آلیاژهای نوع آلفا شامل عناصری هستند که در فازهای هگزاگونال آلفا حل می شوند و تماماً دارای ساختمان آلفا هستند. این آلیاژها دارای استحکام متوسط هستند (۸۵۰۰ تا ۱۰،۵۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) در درجه حرارت بالا استحکام خود را تا حدودی حفظ می کنند قابلیت جوشکاری داشته و برای عملیات آهنگری مناسب هستند. تنها آلیاژ نوع آلفا که از نظر تجارتنی مهم است، دارای ترکیب $5Al-2.5 Sn$ است.

ب) نوع آلفا - بتا:

این نوع آلیاژها حاوی مقادیر محدودی از عناصر هستند که در فرم مکعبی بتا حل می شوند و بعضی ساختمان آلفا و بعضی ساختمان بتا پیدا می کنند. این آلیاژها در حالت ذوب سیالیت خوبی دارند ولی در حین

تنش گیری (Annealing) استحکام متوسطی دارند . استحکام آنها پس از عملیات حرارتی ، بسیار بالا است . این آلیاژها دارای خاصیت شکل پذیری مناسبی بوده و قابلیت تبدیل آنها به ورق و تسمه زیاد است ، ولی معمولاً قابل جوشکاری نیستند .

ج) نوع بتا:

اینگونه آلیاژهای تیتانیوم حاوی مقادیر زیاد از عناصر هستند که در فاز بتا حل شده و همه دارای ساختمان بتا می باشند . آلیاژهای بتا دارای ساختمان چندان محکمی نیستند ولی خاصیت فرم پذیری عالی دارند . یکی از نقاط ضعف این آلیاژها وجود مقادیر زیاد از مواد افزودنی آلیاژی سنگین است که وزن آنها را زیاد می کند . این آلیاژها با عملیات حرارتی به استحکام نسبتاً بالایی می رسند .

در جدول شماره ۱-۲ مشخصات فیزیکی آلیاژهای مختلف تیتانیوم ذکر شده است .

جدول شماره ۱-۲: مشخصات فیزیکی آلیاژهای تیتانیوم

نوع آلیاژ	ترکیب (%)	استحکام کششی kg/cm^2	افزایش طول (%)
آلفا	۵ Al - ۲/۵ Sn	۹۰,۰۰۰	۱۵
آلفا - بتا	۶ Al - ۴ V	۱۰۰,۰۰۰	۱۵
آلفا-بتا (عملیات حرارتی)	۶ Al - ۴ V	۱۲۵,۰۰۰	۷
بتا	۳ V - ۱۱ Cr - ۳ Al	۱۰۵,۰۰۰	۱۵
بتا (عملیات حرارتی)	۱۳ V - ۱۱ Cr - ۳ Al	۱۴۰,۰۰۰	۶

معروف ترین آلیاژ $\text{Ti} - 6\text{Al} - 4\text{V}$ است که یک آلیاژ آلفا - بتا (مطابق جدول شماره ۱-۲) است . این آلیاژ استحکام و فرم پذیری نسبتاً مناسبی دارد و از آن در ساخت تیغه ها و دیسک های کمپرسورها در

موتورهای توربین احتراق aircraft استفاده می گردد. آلیاژ مزبور و آلیاژهای $Ti - 3Al - 2.5V$ ، $Ti - 10V - 2Fe - 3Al$ و $Ti - 6Al - 6V - 2Sn$ از جمله آلیاژهایی هستند که در صنایع هوا-فضا مورد استفاده قرار می گیرند. از آلیاژهای تیتانیوم که در صنایع غیرهوا-فضا مصرف دارند می توان $Ti - 0.2Pd$ و $Ti - 0.8Ni - 0.3Mo$ را نامبرد که از آنها در ساخت مخازن - مبدل های حرارتی، پمپ ها و الکترودها استفاده می شود.

عناصر آلیاژی، درجه حرارت تبدیل ساختمان آلفا به بتا را تغییر می دهند. این عناصر عوامل تثبیت کننده نیز نامیده شده و خود به دو دسته تقسیم می شوند:

الف) تثبیت کننده های آلفا:

عناصری هستند که درجه حرارت تبدیل ساختمان آلفا به بتا را بالا می برند. این تثبیت کننده ها عبارتند از: آلومینیوم، قلع، زیرکونیوم و عناصر بین شبکه ای (Interstitial). عناصر بین شبکه ای شامل: اکسیژن، ازت و کربن هستند که به عنوان ناخالصی محسوب شده و افزایش آنها در آلیاژهای مختلف تیتانیوم باعث تردی آنها می شود. در جدول شماره ۱-۳ اثر عناصر بین شبکه ای برخواص مکانیکی آلیاژهای تیتانیوم نشان داده می شود. مطابق این جدول با افزایش مواد فوق تنش کششی افزایش یافته و ازدیاد طول (Elongation) کاهش می یابد. این دو تغییر باعث تردی و شکننده تر شدن ماده خواهد شد.

جدول شماره ۱-۳: اثر ناخالصی های بین شبکه ای بر خواص مکانیکی آلیاژ

غلظت ناخالصی %	اکسیژن		ازت		کربن	
	تنش کششی MPa	ازدیاد طول %	تنش کششی MPa	ازدیاد طول %	تنش کششی MPa	ازدیاد طول %
۰/۰۲۵	۳۳۰	۳۷	۳۸۰	۳۵	۳۱۰	۴۰
۰/۰۵	۳۶۵	۳۵	۴۶۰	۲۸	۳۳۰	۳۹
۰/۱	۴۴۰	۳۰	۵۵۰	۲۰	۳۷۰	۳۶
۰/۱۵	۴۹۰	۲۷	۶۲۰	۱۵	۴۱۵	۳۲
۰/۲۰	۵۴۵	۲۵	۷۰۰	۱۳	۴۵۰	۲۶
۰/۳	۶۴۰	۲۳	شکست		۵۰۰	۲۱
۰/۵	۷۹۰	۱۸			۵۲۰	۱۸
۰/۷	۹۳۰	۸			۵۲۵	۱۷

ناخالصی های ذکر شده در جدول ۱-۳ همواره وجود داشته و کنترل آنها مشکل است. در این میان ازت بیشترین اثر را دارد. در آلیاژهای تجاری (آلیاژهایی که در غیر از صنایع هوا-فضا به کار می روند) حداکثر میزان ازت ۰/۰۵ درصد و آهن ۰/۰۸ درصد است. در فرآیندهای سرمائزایی * حداکثر میزان مجاز اکسیژن ۱۳۰۰ ppm می باشد.

*: در روش جداسازی قراضه های آهنی از قراضه های غیرآهنی از فرآیند سرمائزایی (Cryohenic Process) استفاده می شود. به عنوان مثال در بازیابی فلز از اتومبیل های قراضه ابتدا این قطعات را فشرده و به صورت عدل هایی در می آورند، آنگاه این عدل ها زیر بارش ازت مایع قرار می گیرند. فلزات آهنی تحت تاثیر سرمای شدید ناشی از ازت مایع شکننده می شوند در حالیکه سایر فلزات همچنان حالت انعطاف پذیری خود را حفظ می کنند، آنگاه عدل ها را خرد کرده که در این عمل ذرات آهنی مانند شیشه ریز ریز می شوند آنگاه با روش جدایش مغناطیسی قطعات ریز آهن از سایر فلزات به سادگی جدا می شود.

ب) تثبیت کننده های بتا:

به آن دسته از عناصر آلیاژی تیتانیوم که درجه حرارت تبدیل آلفا به بتا را ثابت نگهداشته و یا کاهش می دهند، تثبیت کننده های بتا گفته می شود. تثبیت کننده های بتا به دو نوع کلی تقسیم می شوند نوع بتا ایزومرف (Beta - Isomorphous) که شامل عناصری از قبیل وانادیم، مولیبدن، تانتال و نیوبیم هستند و نوع بتایوتکتیک (Beta - Eutectic) که شامل عناصری از قبیل آهن، کرم، نیکل، مس و سیلیسیم می باشند.

از مهمترین عناصر آلیاژی برای تیتانیوم، آلومینیوم است که یک تثبیت کننده آلفا محسوب می گردد. وجود این عنصر که جرم اتمی آن از تیتانیوم کمتر و قیمت آن ارزانتر است در آلیاژ تیتانیوم باعث افزایش استحکام مکانیکی تیتانیوم خواهد شد با افزایش تدریجی آلومینیوم در آلیاژ آلومینیوم - تیتانیوم، استحکام مکانیکی بالا می رود ولی اگر میزان آلومینیوم از ۷/۵ درصد بیشتر باشد به علت کاهش حلالیت آلومینیوم در محلول جامد آلیاژ و افزایش میزان تردی و شکنندگی آلیاژسازی مشکل می شود. بین مقادیر کمی عناصر آلیاژی تیتانیوم برای ساخت یک آلیاژ قابل قبول بایستی رابطه تجربی زیر برقرار باشد. در این رابطه % WT درصد وزنی است:

$$(WT\%)Al + \frac{(WT\%)Sn}{3} + \frac{(WT\%)Zr}{6} + 10(WT\%)O \leq 9$$

۱-۲-۱- مصارف آلیاژهای تیتانیوم:

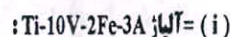
الف) آلیاژهای تیتانیوم و عناصر غیر آهنی:

مصرف عمده آلیاژهای تیتانیوم در صنایع هوافضا است و در این میان سهم صنایع دفاعی نظیر موشکهای دوربرد، انواع راکت ها و جت های جنگنده از همه بیشتر است. طبق آمارهای بدست آمده در سال ۱۹۷۴

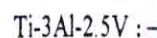
مصرف تیتانیوم حدود ۴۵ درصد در جنگنده های هوایی، ۳۵ درصد برای هواپیماهای تجارتي و حدود ۲۰ درصد در صنایع دیگر بوده است. از کل تیتانیومی که در یک هواپیما بکار می رود، ۷۰ الی ۷۵ درصد مربوط به موتور و ۲۵ الی ۳۰ درصد مربوط به شاسی است. از این نوع آلیاژها در ساخت دیسک و تیغه های کمپرسور و دیگر متعلقات کمپرسور مربوط به موتورهای جت استفاده می گردد. در ساختمان شاسی موتورهای جت، تیتانیوم به منظور کاهش وزن قسمت های مختلف و نیز تحمل در درجات حرارت بالا بکار می رود. سالهای متمادی مصارف تیتانیوم در صناعی بجز صنایع هوا-فضا، فقط ۵ الی ۶ درصد کل تولید این ماده را در برمی گرفت. در سال ۱۹۷۳ سهم این صنایع به ۲۰ درصد کل تولید افزایش یافته و در سال ۱۹۸۰ این عدد به حدود ۵۰ درصد رسید. صنایع مزبور شامل مبذل های حرارتي (به خصوص برای خنک سازی کمر مربوط)، تجهیزات آب شیرین کنی، آند برای فرآیندهای الکتروشیمیایی، پمپ ها، شیرها، مخازن، لوله ها و سایر تجهیزات برای انتقال محلول های خورنده و اخیراً توربین های گازی مولد برق در صنایع نفت و پتروشیمی و نیز صفحات استارتر کاتد در صنایع تصفیه مس می باشد. نیاز بازار اخیراً باعث افزایش کاربرد آلیاژهای تیتانیوم در صنایع دوچرخه و موتورسیکلت سازی، سورتمه های موتوری و تجهیزات موتور قایقهای موتوری شده است.

ب) آلیاژهای فولاد-تیتانیوم:

وجود آهن در آلیاژهای تیتانیوم باعث کاهش نقطه ذوب این آلیاژها می شود، به همین جهت در کاربردهای هوا-فضا آلیاژهای فولاد-تیتانیوم کاربرد زیادی ندارند. آلیاژهایی که در آنها آهن و تیتانیوم وجود دارد دارای انواع زیر است:



آلیاژ مزبور جزو سری آلیاژهای زیر می باشد:





این آلیاژها و آلیاژ ذکر شده در سری آلیاژهای آلفا - بتا قرار دارند . قابلیت شکل پذیری آلیاژ مزبور (تورق پذیری - مفتول شدن و لوله شدن) نسبتاً کم است ولی استحکام خوبی دارد . با افزایش عواملی که دارای ساختمان بتا هستند به این آلیاژ ، قابلیت جوشکاری آن کم می شود و همانطور که قبلاً نیز گفته شد ، ساخت نوار ، فویل ، ورق و لوله از این آلیاژ مشکل می باشد . میزان عنصر آهن در آلیاژ فوق الذکر بین ۱۵ تا ۲۰ درصد وزنی است . امروزه با انجام عملیات بهسازی برروی ساختمان اینس آلیاژ ، چقرمگی آن را افزایش داده اند و به عنوان مثال می توان گفت که عملیات آهنگری برروی آن در دمای کمتری نسبت به آلیاژ Ti-6Al-4V انجام می گردد . برای رسیدن به چنین خاصیتی مقداری از عوامل بتا به فرم قبلی آلیاژ آهن - تیتانیوم مزبور اضافه می گردد . این آلیاژ را می توان با روش ' سخت گردانی زمانی * ' استحکام بخشید .

- خواص آلیاژ Ti-10V-2Fe-2Al :

خواص فیزیکی این آلیاژ به شرح زیر است :

ضریب انبساط حرارتی خطی در محدوده :	بسیار جزیی
۲۱ تا ۱۰۰ و ۵۲۸ تا ۵۳۸ درجه سانتیگراد	
استحکام خمشی در دمای اتاق :	۱۱۲ kg/mm ²
دانسیته در دمای اتاق :	۴/۶ g/cm ³
شرایط ساخت :	انحلال و سخت گردانی زمانی

- کاربرد آلیاژ Ti-10V-2Fe-3Al :

عملیاتی که در سالهای اخیر در جهت بهبود خواص فیزیکی و بخصوص استحکام این آلیاژ شده است کاربرد آنها را در شاسی هواپیماها ممکن ساخته است . همانطور که قبلاً گفته شد از محاسن این آلیاژ امکان انجام عملیات آهنگری برروی آنها در درجه حرارت پایین است بنابراین در ساخت شاسی ادوات پردازش با روش آهنگری قطعات مورد نظر را شکل داده و آنگاه استحکام آن را توسط روش سخت گردانی زمانی بالا می برند .

* : سخت گردانی زمانی یا Age - hardening عبارت از عملیات سخت کاری جسم به وسیله تشکیل محلول فوق اشباع و رسوب مقادیر اضافی محلول در اثر گذشت زمان می باشد . به این عمل ' کهنه سازی زمانی ' نیز گفته می شود که طی آن بر اثر مرور زمان سختی و استحکام جسم بالا می رود .

(ii) = آلیاژ تیتان - آهن نوع مصرفی در سوخت جامد هیدرور :

در ۲۰ سال اخیر به علت اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از سوخت وسایط نقلیه ، یافتن سوخت جایگزین مناسب و ایمن برای محیط زیست به جای سوختهای فسیلی همواره مدنظر و مورد مطالعه متخصصین این فن بوده است .

در این زمینه تفکر استفاده از سوخت هیدروژن که حاصل احتراق آن بخار آب است ، بعضی پژوهشگران را به اقداماتی در این زمینه واداشته است . ذخیره سازی گاز هیدروژن چه به صورت گاز چه به صورت مایع بسیار خطرناک است زیرا ضریب دیفوزیون این عنصر خیلی زیاد است و از اکثر جداره های فلزی می تواند عبور کند ، به همین جهت از نوعی آلیاژ آهن - تیتانیوم استفاده می شود که به عنوان مخزن ذخیره سوخت هیدروژن می باشد . در ساخت این مخزن از ترکیب $FeTiH_2$ استفاده شده که به : Solid - Hydride Automotive - Fuel مشهور است . این ماده در تماس با آب هیدروژن جذب نموده و سپس آزاد می کند . سوخت هیدروژن مزبور باعث حرکت وسیله نقلیه خواهد شد . این سوخت مراحل مطالعات اولیه آزمایشگاهی و نیمه صنعتی خود را طی کرده ولی هنوز به بازار عرضه نشده است . مطالعات اولیه نشان می دهد که هر ۸۰۰ کیلوگرم آن معادل با یک باک ۸۰ لیتری بنزین انرژی تولید می کند .

۱-۲-۲- ترکیبات تیتانیوم :

الف (هیدرورتیتانیوم (تیتانیوم هیدرات) :

این ماده به فرمول $TiH_{1.7}$ است که از ترکیب تیتانیوم و هیدروژن در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد بدست می آید . هیدرورتیتانیوم به عنوان ماده اولیه تولید تیتانیوم بوراید ، تیتانیوم نیتراید و تیتانیوم سیلیساید است . هیدرورتیتانیوم در صنعت شیشه و سرامیک برای اتصال آنها به فلز بکار می رود .

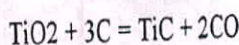
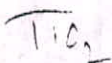


ب) تیتانیوم بوراید:

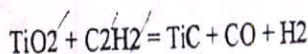
این ماده در صنعت هواپیمایی برای برش و سایش اجسام بکار می رود زیرا سختی آن زیاد است. تیتانیوم بوراید از ترکیب مستقیم تیتانیوم و بور و یا هیدرور تیتانیوم با بور در دمای ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد بدست می آید.

ج) تیتانیوم کارباید:

وجود اجتناب ناپذیر برخی ناخالصی ها مانند اکسیژن و ازت ساخت این ترکیب را با مشکل مواجه می کند. برای ساخت تیتانیوم کارباید دو ماده دی اکسید تیتانیوم و کربن در یک کوره قوس الکتریکی با هم ترکیب شده و مطابق واکنش زیر تیتانیوم کارباید می سازد:



این واکنش در دمای ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ درجه سانتیگراد انجام می شود. روش دیگر ساخت این ترکیب حرارت دادن مخلوط دی اکسید تیتانیوم و گرافیت در یک لوله از جنس تنگستن است. این عمل در اتمسفر هیدروژن انجام شده و یک هیدروکربور به عنوان ترکیب واسطه عمل می کند واکنش مربوطه به شرح زیر است:



تیتانیوم کارباید به رنگ خاکستری کم رنگ است. این ترکیب دارای ساختمان F.C.C و شبیه ساختمان نمک طعام است. TiC بالاترین سختی را در ترکیبات کارباید دارد (۹ تا ۱۰ درجه موس). ماده مزبور هادی

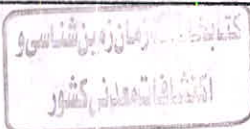
الکتریکی خوبی است و اسیدها و ترکیبات قلیایی قوی بر آن بی اثر است. نقطه ذوب آن حدود ۳۰۶۷ درجه سانتیگراد بوده و بیشترین مصرف را در صنایع ماشین سازی به عنوان ابزار برش دارد.

د) تیتانیوم نیتراید:

این ماده دارای نقطه ذوب حدود ۲۹۵۰ درجه سانتیگراد است. اسیدها بر آن بی اثرند و فقط در تیزاب سلطانی حل می شود. در محلول های جوشان قلیایی های غلیظ و آمونیاک تجزیه می شود. قابلیت هدایت الکتریکی آن از فلزات بیشتر است. این ماده از سنتز مستقیم در ۱۰۰۰ الی ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد، یا از ترکیب دی اکسید ازت بدست می آید. (در حضور کربن در ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد) تیتانیوم نیتراید پودری به رنگ زرد - قهوه ای است و پس از پرس و قالب گیری و زینتر اگر آن را صیقل دهند به رنگ زرد طلایی آینه ای در می آید.

هـ) اکسید تیتانیوم:

ترکیبات زیادی به نام اکسیدهای تیتانیوم وجود دارد. وجود بینظمی در شبکه کریستال باعث اهمیت زیاد این ماده در کاربرد آن به عنوان رنگدانه می شود، به عنوان مثال TiO_2 سفید است ولی $TiO_{1.9995}$ آبی است. دو نوع اکسید دیگر به نامهای منواکسیدتیتانیوم (TiO) و Ti_2O_3 (Titanium - Sesquioxide) از حرارت دادن پودر فشرده شده تیتانیوم و دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) در دمای ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد و در خلا بدست می آید. در جدول شماره ۱-۴ خواص فیزیکی اکسیدهای مختلف تیتانیوم ذکر شده است.



جدول شماره ۱-۴: خواص فیزیکی اکسیدهای تیتانیوم

Ti2O3	TiO2	خواص
بنفش	زرد طلایی	رنگ
۴/۴۸۶	۴/۸۸۸	دانسیته gr/cm3
۱۹۰۰	۱۷۵۰	نقطه ذوب (درجه سانتیگراد)
هگزاگونال	F.C.C *	ساختمان

* Face - Centered - Cubic : شبکه ساختمان مکعبی بلوری است که در آن اتم های گوشه های شبکه مکعبی در وسط شبکه مکعبی دیگر قرار دارد و بالعکس

۱-۲-۳- مواد اولیه تیتانیوم :

بیش از ۷۰ نوع کانی تیتانیوم شناسایی شده است . ذخایر تیتانیوم به دو صورت سنگ و ماسه وجود دارد . گاهی تیتانیوم را از معادن قلع به صورت محصول فرعی بدست می آورند . تا سال ۱۹۴۲ کل روتیل و ایلمنیت مصرفی در صنایع ، از ذخایر ماسه ای تهیه می شد اما امروز سهم این ذخایر از سنگها بیشتر است ولی روتیل کماکان از ذخایر ماسه ای تهیه می شود . امروزه مهمترین ماده اولیه تولید تیتانیوم روتیل و ایلمنیت است که ترکیب نمادین (تیییک) آنها مطابق با جدول شماره ۱-۵ می باشد .

جدول شماره ۱-۵: ترکیب نمادین ایلمنیت و روتیل

روتیل		ایلمنیت	
نام ترکیب	درصد	نام ترکیب	درصد
TiO ₂	۹۶/۰۲	TiO ₂	۴۶/۹۰
ZrO ₂	۰/۴۴	-	-
SiO ₂	۰/۴۲	-	-
Al ₂ O ₃	۰/۲۸	Al ₂ O ₃	۱/۳۰
Fe ₂ O ₃	۰/۲۲	Fe ₂ O ₃	۱۵/۴۷
-	-	FeO	۲۶/۶۰
-	-	Cr ₂ O ₃	۲/۴۰
-	-	MgO	۱/۷۰
-	-	MnO	۱/۴۰
-	-	V ₂ O ₅	۰/۱۵
P ₂ O ₅	۰/۰۱	P ₂ O ₅	۰/۰۳
S	۰/۰۳		

گرچه تیتانیوم در میان عناصر موجود در لیتوسفر از نظر فراوانی در ردیف هشتم تا نهم قرار می گیرد (مقدار تجمعی آن حدود ۰/۶۲ درصد پوسته جامد زمین است) ولی شمار محدودی از کانیهای حاوی تیتانیوم که به عنوان کانسارهای اصلی و اقتصادی این ماده هستند در طبیعت فراوانند، این کانیها عبارتند از:

۱-۲-۳-۱- کانی های اکسیدی :

الف) بی اکسید تیتانیوم (Rutile*) :

این کانی فرم پلی مورف TiO_2 در درجه حرارت و فشار زیاد بوده و فراوان ترین نوع اکسید تیتانیوم در طبیعت می باشد. روتیل غالباً با هورنبلند و آپاتیت همراه است. این ماده به عنوان یک کانی اولیه در بعضی سنگهای آذرین اسیدی (به خصوص آنهایی که از هورنبلند غنی هستند). سنگهای دگرگونی و ماسه های رسوبی به چشم می خورد. همچنین در گنایس و سنگهای آذرینی که دچار دگرگونی شدید شده اند به عنوان مواد همراه وجود دارد. این کانی در سیستم تتراگونال متبلور می شود. درجه سختی آن ۵/۵ تا ۶/۵ موس و وزن مخصوص آن بین ۴/۲ تا ۴/۳ و نقطه ذوب آن ۱۸۳۰ درجه سانتیگراد می باشد. گاهی مقادیر نسبتاً زیادی از تانتال و کلمیم وارد ساختمان کریستالی تیتانیوم می شوند. دلیل این مطلب نزدیکی اندازه شعاع یونی Ti^{+4} با Cb^{+5} و Ta^{+5} است. رنگ ذاتی این ماده قهوه ای مایل به قرمز است ولی به رنگهای سیاه، بنفش، زرد یا سبز نیز دیده شده است. روتیل دارای جلای الماس است. کنسانتره تجارتي روتیل معمولاً حاوی حداقل ۹۵ درصد TiO_2 بوده و بقیه SiO_2 , Cr_2O_3 , V_2O_3 , Al_2O_3 و FeO بوده و در مقابل اسیدها بسیار مقاوم است.

ب) بی اکسید تیتانیوم (Anatase) :

این کانی با فرمول TiO_2 است. در طبیعت از دگرسانی بعضی مواد تیتانیوم دار بدست می آید. رنگ آن قهوه ای، آبی سیر یا سیاه است. سیستم تبلور آن تتراگونال می باشد دارای جلای الماسی و فلزی نیمه شفاف و رنگ گرد آن سفید است. سختی آن حدود ۶ موس و وزن مخصوص آن ۲/۸ الی ۳/۹ می باشد. به سختی ذوب می شود و در مقابل اسیدها بسیار مقاوم است. نوع دما پایین (Low - Temp) آناتاز به Anatas I و نوع دما بالای آن (High - Temp) به Anatas II موسوم است Anatas I در درجه

* : نام روتیل از کلمه یونانی روتیلیوس به معنای قرمز متمایل به زرد رنگ گرفته شده است.

حرارت ۶۲۴ درجه سانتیگراد به Anatas II تبدیل می شود که در حدود ۹۱۵ درجه سانتیگراد به روتیل با ساختمان تراگونال تبدیل می گردد. این شکل خود در ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد به Brookite مبدل می شود، این تغییرات کند می باشند.

ج) بی اکسید تیتانیوم (Brookite):

این کانی به فرمول TiO_2 بوده به رنگ قهوه ای مایل به قرمز و بعضی مواقع به رنگ سیاه ظاهر می شود. بروکیت در سیستم اورتورومبیک متبلور شده و بلورهای پهن آن با آناتاز (Anatase) و گاهی روتیل در شکستگی سنگهای سیلیکانه به صورت پراکنده وجود دارد.

د) بی اکسید تیتانیوم (Arkansite):

کانی دیگری به فرمول TiO_2 است که فرم دیگری از بروکیت بوده و به رنگ سیاه متمایل به خاکستری جلادار یافت می شود. در سیستم هگزاگونال متبلور می شود اولین بار این ماده در ارکانزاس پیدا شد.

در جدول شماره ۱-۶ خواص سه نوع از مواد حاوی تیتانیوم با فرمول TiO_2 که در طبیعت نسبت به بقیه مواد اکسیدی فراوانتر هستند ذکر شده است.

جدول شماره ۱-۶: خواص برخی از انواع کانی های اکسیده تیتانیوم

خواص	Anatase	Brookite	Rutile
ساختمان کریستالی	تراگونال	اورتورومبیک	تراگونال
دانسیته (g/cm^3)	۳/۹	۴	۴/۲۳
سختی (موس)	۵/۵-۶	۵/۵-۶	۷-۷/۵

۱-۲-۳- سایر کانی های تیتانیوم:

الف) ایلمنیت* (Ilmenite):

ایلمنیت معرف ترین و فراوانترین کانی تیتانیوم دار در طبیعت است. فرمول شیمیایی این ماده به صورت نظری $FeTiO_3$ است. Ramdohr در سال ۱۹۵۰ نشان داد که ۶ درصد از Fe_2O_3 احتمالاً در یک محلول جامد حل شده و یک سری محلول جامد از این نوع در درجه حرارت ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد، بین ایلمنیت و هماتیت قرار گرفته است. این کانی عموماً مقادیری از کانی هماتیت را بصورت امولسیون نازک به همراه دارد. گاهی در ترکیب ایلمنیت بجای آهن فرو، منیزیم و منگنز جایگزین می شوند که به ترتیب تولید $MgTiO_3$ (Geikelite) و $MnTiO_3$ (Pyrophanite) می کند. اما دو عنصر منیزیم و منگنز در اینجا به عنوان ناخالصی های جزئی محسوب خواهند شد. ایلمنیت به عنوان یک کانی فرعی در سنگهای آذرین قلیایی نظیر گابرو (Gabbro) و آنورتوزیت (Anorthosite) دیده شده است. منیتیت غالباً جزء همراه با ایلمنیت در سنگهای آذرین و سنگهای دگرگونی می باشد که ناخالصی هایی از قبیل کرم، نیکل و وانادیوم در آن تجمع نموده، حال آنکه منگنز در خود ایلمنیت وجود دارد. عناصر همراه با ایلمنیت وانادیوم، اسکاندیوم، تانتال، نیوبیوم و عناصر مزاحم، کرم، فسفر و گوگرد است. رنگ این کانی خاکستری متمایل به سیاه مات و کدر بوده و سیستم تبلور آن رومبو هدرال است.

ب) ایلمنیت دگرسان شده (Leucoxene):

وجود ایلمنیت در ذخایر ماسه ای غالباً معرف پدیده های دگرسانی است. در این تغییرات بر اثر پدیده اکسیداسیون مقادیر زیادی از ترکیبات آهن از آن جدا می شود و محصول نهایی دارای مقادیر زیادی TiO_2 است. پدیده فوق دارای واکنشی بسیار کند است و در حرارت بالا تسریع می گردد. به همین دلیل است که ماسه هایی که مدت های طولانی در نواحی حاره و تحت تاثیر درجه حرارت بالا قرار داشته اند حاوی

*: این کانی اولین بار در کوهستان ایلمن واقع در جنوب کوه های اورال روسیه یافت شد و به همین جهت به ایلمنیت مشهور است.

ایلمنیت هایی با TiO_2 نسبتاً بالا هستند (نمونه کهنوج). ذخایر جدیدتر، همانند آنهایی که در سواحل تازه ایجاد شده و یا آنهایی که در طول جغرافیایی بیشتر هستند، حاوی ایلمنیت های مرغوبی است که گاه محتوای TiO_2 در آنها حدود ۵۲ درصد، یعنی نزدیک به ایلمنیت خالص است.

ج) Perovskite :

نوعی کانی تیتانیوم به فرمول $CaTiO_3$ است که به رنگهای زرد، قهوه ای یا سیاه متمایل به خاکستری وجود دارد. مقادیری سدیم یا سایر عناصر خاکی نادر نیز در آن پیدا می شود.

د) Sphene :

یک نوع کانی تیتانیوم که در طبیعت معمولاً به رنگ های زرد یا قهوه ای مشاهده می شود. فرمول آن $CaTiSiO_5$ است. این کانی غالباً حاوی مقادیری از عناصر نیوبیم، کرم، فلوتور، سدیم، آهن، منگنز و ایتريوم است. این کانی در سیستم منوکلینیک گوه ای متبلور شده و به عنوان کانی فرعی همراه با سنگهای گرانیتی است.

هـ) Geikielite :

فرمول این کانی $FeTiO_3$ بوده در طبیعت به رنگهای سیاه متمایل به آبی و سیاه متمایل به قهوه ای دیده می شود. این کانی دارای ساختمان کریستالی مشابه با ایلمنیت بوده و غالباً مقدار آهن موجود در آن زیاد است.



۳-۱- تولید اکسید تیتانیوم:

اکسید تیتانیوم مهمترین ماده اولیه تولید تیتانیوم است. کانسارهای حاوی این ماده برای قابل مصرف شدن در فرآیند تولید تیتانیوم باید آرایش داده شوند.

۱-۳-۱- روشهای آرایش کانیهای تیتانیوم:

به منظور تهیه یک کنسانتره مناسب برای فرآیندهای تولید اکسید تیتانیوم، مواد اولیه که اکثراً ایلمنیت و بعضاً روتیل است با روشهای مختلف آرایش داده می شوند. روشهای آرایش با توجه به نوع ذخیره مثلاً ماسه ای یا سنگی متفاوت است. کانی های تیتانیوم دارای وزن مخصوص نسبتاً زیادی بوده و در ردیف کانی های سنگین قرار دارند. ایلمنیت در زمره کانی های پارامیتریک است. به علاوه ایلمنیت و روتیل هر دو جزء کانی های هادی هستند بنابراین روشهای مختلف فرآوری آن به شرح زیر می باشد:

الف) روشهای ثقلی:

(i): جدایش با جیگ

(ii): جدایش با ماریچ همفری

(iii): جدایش توسط میز

(iv): سایر روشهای ثقلی

ب) روش الکتریکی و مغناطیسی:

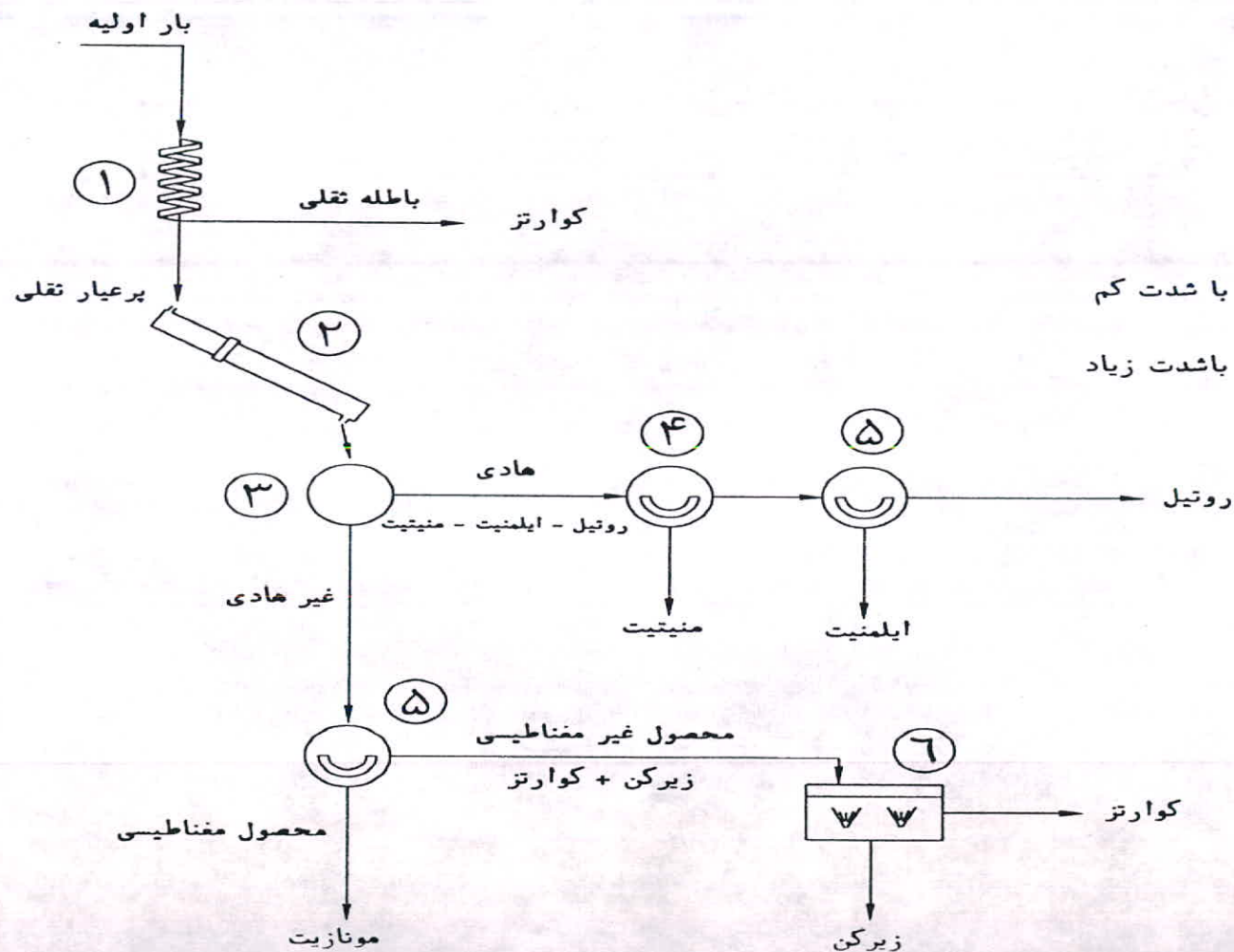
کانی های تیتانیوم به علت داشتن خاصیت پارامغناطیسی و هدایت الکتریکی با روشهای مغناطیسی نیز آرایش داده می شوند. نمودار ساده شده برای ماسه ساحلی حاوی کانسارهای تیتانیوم در شکل شماره ۱-۱ نشان داده شده است.

در این عملیات ماسه استخراج شده پس از آرایش اولیه نقلی خشک می شود و عملیات آرایش الکتریکی و مغناطیسی به طریقه خشک صورت می گیرد. ماده خشک شده ابتدا توسط جداکننده الکتریکی آرایش شده و کانی های رسانا نظیر ایلمنیت، منیتیت و روتیل از کانی های نارسانا شامل کوارتز، زیرکن و مونازیت جدا می شوند. سپس کانیهای رسانا از یک جداکننده مغناطیسی با شدت کم (خشک) عبور داده می شود و محصول پرعیار منیتیت بدست می آید. باقیمانده آن نیز به وسیله جداکننده مغناطیسی با شدت زیاد آرایش می شود و کانی پارامنیٹیک (ایلمنیت) از کانی دیامنیٹیک (روتیل) جدا می شود. کانیهای نارسانا بدست آمده از جداکننده الکتریکی نیز توسط جداکننده مغناطیسی با شدت زیاد آرایش شده و کانی پارامنیٹیک (مونازیت) از کانیهای دیامنیٹیک (زیرکن و کوارتز) جدا می شود. سرانجام کوارتز باقیمانده همراه زیرکن را با میز هوایی از هم جدا می کنند.

ج) فلوتاسیون:

روش فلوتاسیون بیشتر برای آرایش کانسارهای سنگی مورد استفاده قرار می گیرد. گاهی این روش با جدایش مغناطیسی نیز همراه است. مواد شیمیایی که به صورت کلی و نمادین برای فلوتاسیون ایلمنیت بکار می رود مطابق جدول شماره ۱-۷ می باشد.

شکل شماره ۱-۱ : نمودار ساده شده آرایش ماسه ساحلی حاوی ایلمنیت و روتیل



۱- ماریچ همفری

۲- خشک کن

۳- جداکننده الکتریکی

۴- جداکننده مغناطیسی تر با شدت کم

۵- جداکننده مغناطیسی تر با شدت زیاد

۶- میز هوائی

جدول شماره ۱-۷: مواد مورد نیاز برای فلوتاسیون ایلمنیت به صورت کلی

تنظیم کننده pH	بازدارنده	کلکتور	کف ساز	عوامل کمکی کلکتور	مواد کمکی انتخابی
اسید یا باز	نشاسته سود سوزآور (Caustic Soda)	اسیداولئیک الکیل سولفونات	کف ساز (روغن کاج و ...)	گازوئیل	اسید فلوریدریک فلوئورسیدیم

ذخایر سنگی ایلمنیت عموماً به روش فلوتاسیون کانه آرایی می شود. نمودار مراحل مختلف فرآوری یک نوع ایلمنیت در شکل شماره ۱-۲ نشان داده شده است. در این عملیات ابتدا ماده معدنی از معدن حمل شده و پس از طی مراحل اولیه و ثانویه سنگ شکنی (به وسیله سنگ شکن های فکی و مخروطی) توسط سرند دانه بندی می شود. روستندی به یک سیستم جداکننده مغناطیسی با شدت کم (شماره ۹) هدایت شده، بخش غیر آهنی آن پس از طی مرحله سنگ شکنی مجدداً به سرند برگردانده می شود، بخش جذب مغناطیسی آن نیز به ضایعات هدایت می شود. ماده خرد شده عبور کرده از سرند شماره ۸ به یک مخزن ذخیره مواد (شماره ۱۲) منتقل شده و از آنجا به یک سیستم جداکننده مغناطیسی با شدت کم منتقل میگردد. بخش غیرمغناطیسی آن به آسیای میله ای (شماره ۱۴) منتقل شده و با روش تر خرد می شود. خروجی آسیا توسط یک پمپ به مخزن ذخیره پالپ فرستاده می شود. بخش مغناطیسی سیستم مغناطیس خشک به یک سرند (شماره ۱۵) فرستاده می شود. بخش باقیمانده برروی سرند به باطله هدایت می شود و بخش عبور کرده از سرند همراه با آب بصورت پالپ به مخزن شماره ۱۶ انتقال می یابد. این پالپ توسط یک پمپ به هیدروسیکلون (شماره ۱۷) منتقل می گردد. ته ریز این هیدروسیکلون وارد یک آسیای گلوله ای (شماره ۱۸) شده و پس از خرد شدن به یک جداکننده مغناطیسی تر (شماره ۱۹) منتقل می گردد. بخش مغناطیسی آن به یک هیدروسیکلون (شماره ۲۰) و بخش غیرمغناطیسی آن به یک کلاسیفایر مخروطی هدایت میگردد. ته ریز این کلاسیفایر به همراه ته ریز هیدروسیکلون شماره ۲۰ مجدداً به آسیای گلوله ای (شماره ۱۸) برگشت داده می شوند. سرریز هیدروسیکلون شماره ۲۰ به یک جداکننده مغناطیسی تر (شماره ۲۲) انتقال داده می شود.

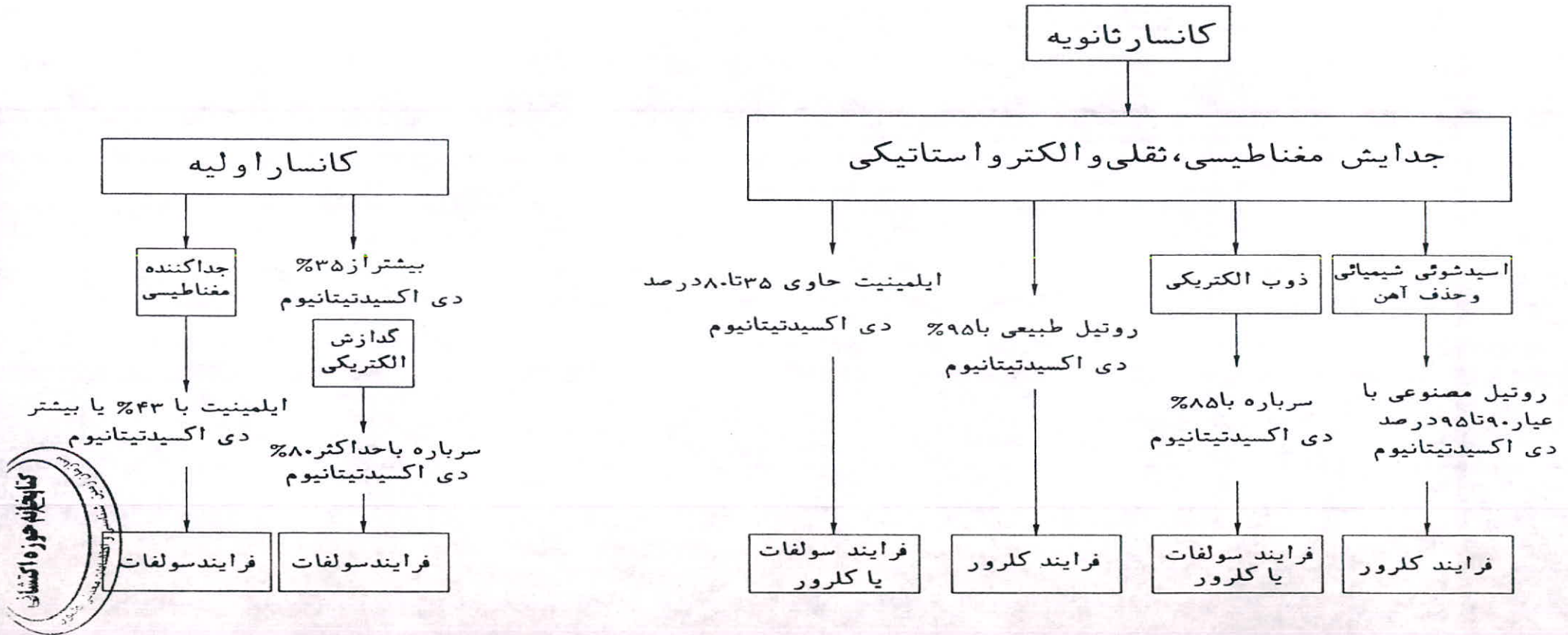
باطله این جداکننده به انبار باطله هدایت شده ، بخش مغناطیسی آن پس از فیلتر شدن در انبار منیتیت ذخیره می شود و بخش غیرمغناطیس آن به یک مخزن پالپ (شماره ۲۶) هدایت می گردد . سرریز کلاسیفایر مخروطی (شماره ۲۱) به هیدروسیکلون شماره ۲۲ پمپ می شود . سرریز این هیدروسیکلون به مخزن پالپ شماره ۲۶ پمپ شده و از آنجا به هیدروسیکلون شماره ۲۷ منتقل می گردد . سرریز این هیدروسیکلون به باطله منتقل شده و ته ریز آن به هیدروسیکلون دیگری (شماره ۲۸) پمپ می شود . سرریز این هیدروسیکلون به مخزن پالپ شماره ۲۶ برگشت داده شده و ته ریز آن به آماده ساز (شماره ۲۹) منتقل می گردد . پالپ از این آماده ساز به سری سلولهای فلوتاسیون (شماره ۳۰) منتقل می شود باطله این سلول به انبار باطله و بخش کنسانتره پس از آهن گیری در جداکننده مغناطیسی تر (شماره ۳۱) فیلتر شده و پس از خشک شدن به انبار کنسانتره منتقل می شود .

در شکل شماره ۱-۳ ارتباط بین نوع کانسار ، روش فرآوری و نوع کنسانتره مورد نیاز برای فرایندهای تولید دی اکسید تیتانیوم نشان داده شده است .

۱-۳-۲- روشهای تولید دی اکسید تیتانیوم :

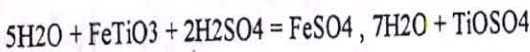
دی اکسید تیتانیوم اصولاً برای تولید انواع رنگدانه های سفید در صنایع مختلف بکار می رود . کنسانتره ای که از فرآوری کانیهای تیتانیوم بدست می آید مستقیماً و به صورت خام قابل استفاده نیستند . بلکه بعد از تهیه کنسانتره ، دی اکسید تیتانیوم با روشهای مختلف از مواد اولیه آنها استحصال شده و از آن متناسب با نیاز بازار یا رنگدانه ساخته شده و یا احیا شده و به فلز تیتانیوم تبدیل می شود . دو روش عمده تولید دی اکسید تیتانیوم فرآیند سولفات و کلرور می باشد .

شکل شماره ۱-۳: ارتباط بین نوع کانسار و روشهای تولید دی اکسیدتیتانیوم

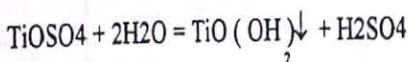


۱-۲-۳-۱- روش سولفات :

روش سولفات اولین روش مناسب از نظر فنی و اقتصادی بود که در سال ۱۹۲۰ برای اولین بار بکار گرفته شد که برای ۴۰ سال تنها روش تولید دی اکسید تیتانیوم بشمار می آمد. ناخالصی هایی نظیر کرم، وانادیوم، کلمبیوم، منگنز و فسفر خواص رنگدانه را تخریب می کنند بنابراین درجه آزادی این عوامل در کانسنگ اولیه عامل مهمی در انتخاب نوع کنسانتره به عنوان خوراک این فرآیند خواهد بود. ابتدا ایلمنیت یا سرباره غنی از تیتانیوم با دانه بندی ریز در اسید سولفوریک غلیظ حل می شود. در درجه حرارت ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد واکنش زیر انجام می شود :



حاصل این واکنش یک کیک جامد متخلخل است. از حل این کیک در اسیدسولفوریک رقیق سولفات تیتانیل ($TiOSO_4$) و سولفات آهن بدست می آید. به این محلول قراضه آهن اضافه می کنند تا ترکیبات فریک احیا شده و به ترکیبات فرو تبدیل شود. علت این امر آن است که ترکیبات فریک حین رسوب گیری اکسیدتیتانیوم به همراه این ماده رسوب کرده و ایجاد مزاحمت می کنند. محلول سولفات تیتانیل و سولفات فرو بدست آمده از واکنش بالا را سرد می کنند تا سولفات متبلور به صورت ذرات بلوری حاصل گردد آنگاه ترکیب مزبور را فیلتر نموده و محلول بدست آمده مطابق واکنش زیر در درجه حرارت ۹۰ درجه سانتیگراد هیدرولیز می گردد :



ماده $TiO(OH)_2$ به نام تیتانیل هیدرواکسید است که در عمل هیدرولیز رسوب می کند. این ماده را فیلتر نموده و پس از شستشوی کیک حاصل با اسید در درجه حرارت ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد تکلیس

می شود و اکسید تیتانیوم بدست می آید . مقدار مواد اولیه مورد نیاز برای تولید یک تن TiO_2 با روش سولفات مطابق جدول شماره ۸-۱ است .

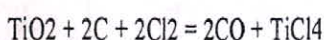
جدول شماره ۸-۱ : مواد اولیه مورد نیاز در روش سولفات

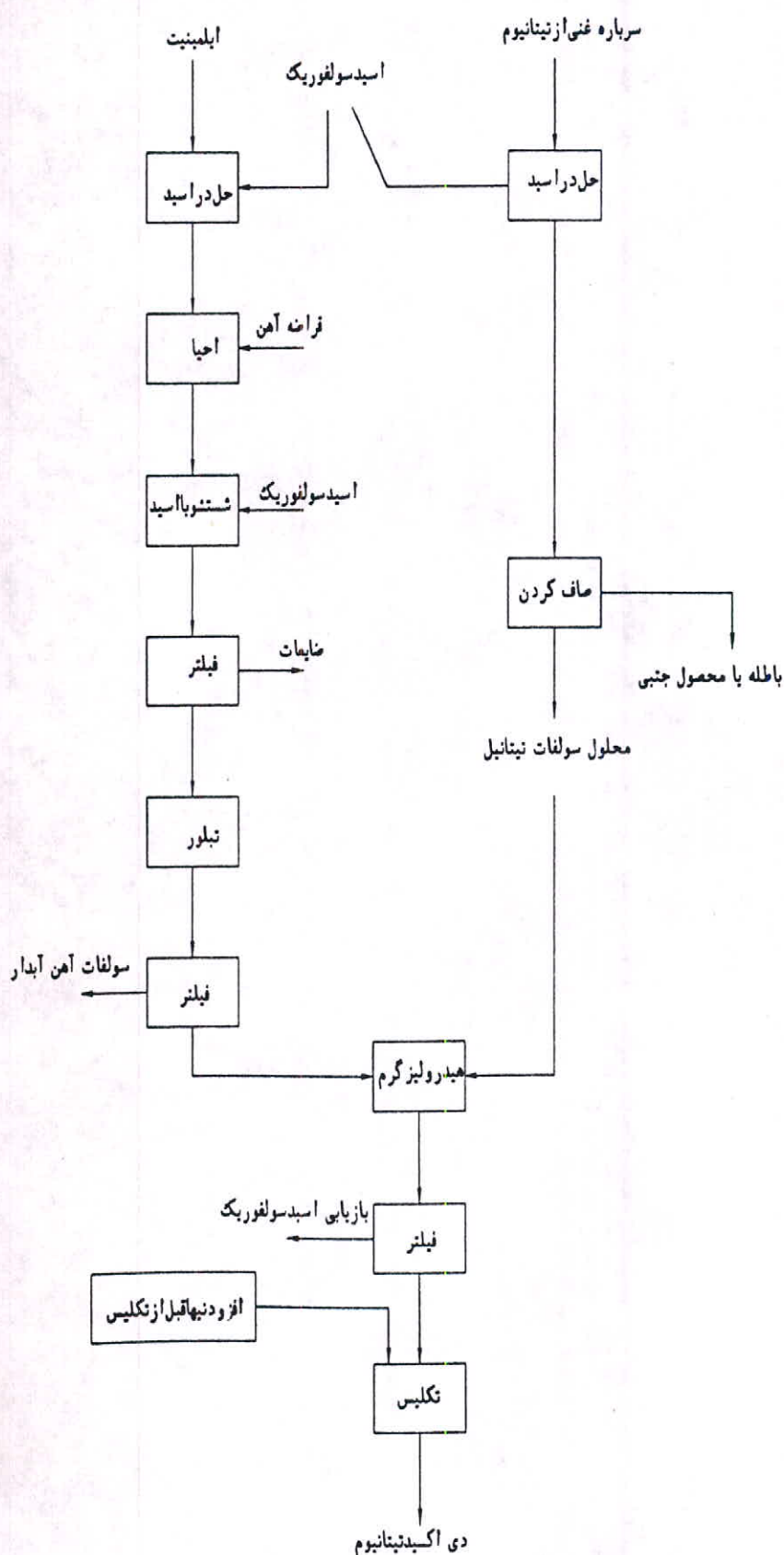
نام ماده اولیه	مقدار ماده مورد نیاز برای تولید یک تن TiO_2 (تن)
ایلمنیت یا سرباره تیتانیوم	۱/۲-۲/۶
اسید سولفوریک (۶۰ درجه بومه)	۳-۴
قراضه آهن	۰/۱-۰/۲

مزایای روش سولفات : هزینه کمتر مواد خام - تکنولوژی ساده تر و ضایعات با میزان خورندگی پایین است . معایب آن ، هزینه سرمایه گذاری زیاد ، نیروی انسانی زیاد و حجم ضایعات زیاد است . در شکل شماره ۴-۱ مراحل مختلف فرآیند سولفات به فرم ساده ای نشان داده شده است .

۱-۳-۲-۲- فرآیند کلرور :

از سال ۱۹۷۰ روش کلرور در اکثر نقاط دنیا جایگزین روش سولفات شده است . خوراک این فرآیند کنسانتره روتیل (طبیعی یا مصنوعی) ، کنسانتره ایلمنیت و لوکوکسن است . در این روش کنسانتره های ذکر شده در یک راکتور با بستر کاتالیستی سیال در مجاورت کک نفتی در دمای حدود ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتیگراد مطابق واکنش زیر با کلر ترکیب شده و تتراکلرورتیتانیوم ($TiCl_4$) ایجاد می گردد :





شکل شماره ۱-۴: نمودار ساده فرآیند سولفات



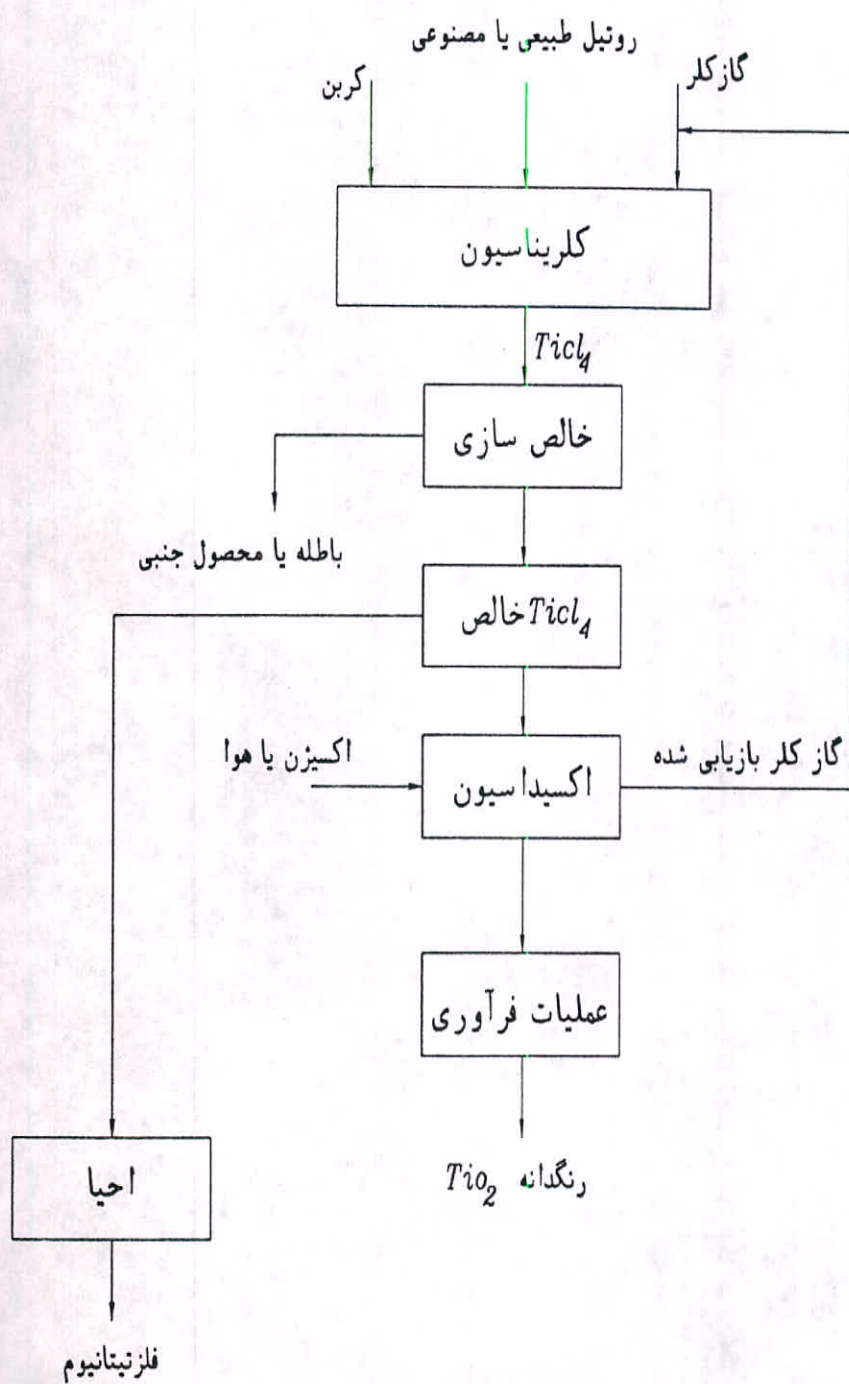
تراکلوروتیتانیوم یک مایع شدیداً فعال (در دمای اتاق) بوده و سریعاً با رطوبت ترکیب می شود. بنابراین حمل و نقل این ماده بایستی در محیطی عاری از اکسیژن و رطوبت باشد. اگر تراکلوروتیتانیوم در تماس مستقیم با هوا یا اکسیژن قرار گیرد اکسید شده و اکسیدتیتانیوم بدست می آید. اکسیدتیتانیوم بدست آمده در درجه حرارت ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد کلسینه می گردد تا هرگونه کلر و یا اسید کلریدریک همراه از آن جدا شود. بعضی اوقات برخی ناخالصی های ذاتی کانسنگ با اکسیدتیتانیوم محلول همراه شده و باعث ایجاد رنگ نامطلوب در رنگدانه می گردد. ناخالصی هایی که پیش از سایرین در رنگدانه ایجاد اختلال می کنند آهن، وانادیوم و سیلیسیوم هستند این ناخالصی ها عموماً به وسیله میعان جزئی جدا می شوند ولی اگر مقدار آن کم باشد با روشهای شیمیایی و یا تقطیر نیز می توان آنها را جدا نمود. ترکیب وانادیوم اکسی کلراید (VOCl_3) دارای نقطه جوشی نزدیک به TiCl_4 است بنابراین نمی توان آن را با روش تقطیر جدا نمود. برای جدا کردن این کانی از محلول کمپلکس روغنی استفاده می گردد. عمل کلسیناسیون بعضی خواص رنگدانه را بهبود می بخشد در انتها، TiCl_4 در درجه حرارت ۹۸۵ درجه سانتیگراد اکسید شده و به TiO_2 و گاز کلر تبدیل می شود. برای حصول اطمینان از تبدیل تمام تیتانیوم به اکسید در فرم کریستال های روتیل، مقادیری کلرور آلومینیوم نیز به تراکلوروتیتانیوم اضافه می شود. از مزایای روش کلرور پیوسته بودن فرایند (به روش سولفات به صورت فرایند ناپیوسته (Batch) است) و نتیجتاً ظرفیت تولید بیشتر، محصولات فرعی کمتر، محصولاتی با کیفیت بالاتر و ضایعات کمتر بوده و از معایب آن می توان گرانی ماده* اولیه، تکنولوژی پیچیده، نیاز به دمای بالا، مشکلات ناشی از خوردگی شیمیایی، سمی بودن تستر تراکلوروتیتانیوم و نیز سمی بودن ضایعات حاصله را نام برد. میزان مواد مورد نیاز برای تولید یک تن دی اکسید تیتانیوم با روش کلرور مطابق جدول شماره ۱-۹ است.

*: کنسانتره های مصرفی در فرایند کلرور دارای عیار تیتانیوم حداقل ۸۵ درصد است حال آنکه در فرایند سولفات با عیارهای پایین تر نیز می توان کار کرد.

جدول شماره ۱-۹: مواد اولیه مورد نیاز در روش کلرور

نام ماده	مقدار مورد نیاز برای تولید یک تن TiO_2 (تن)
کنسانتره روتیل	۱/۱-۱/۲
گاز کلر	۰/۱-۰/۲
کک نفتی	۰/۱-۰/۲
اکسیژن	۰/۴-۰/۵
کلرور آلومینیوم	۰/۰۳

نمودار ساده فرآیند کلرور مطابق شکل ۵-۱ می باشد.



شکل شماره ۵-۱: نمودار ساده فرآیند کلرور

۱-۳-۳- رنگدانه های اکسید تیتانیوم :

همانطور که در بخش اکسید تیتانیوم عنوان شد دی اکسید تیتانیوم به روش سولفات و کلرور تهیه می شود . برای این منظور روش کلرور ترجیح داده می شود . تترا کلرور تیتانیوم ($TiCl_4$) مصرفی برای تهیه فلز تیتانیوم بایستی به مراتب خالص تر از آن باشد که در ساخت رنگدانه بکار می رود . در جدول شماره ۱-۱۰ ترکیب شیمیایی مناسب تتراکلرور تیتانیوم مناسب برای تولید فلز تیتانیوم و رنگدانه مقایسه شده است .

جدول شماره ۱-۱۰ : مقایسه درصد ناخالصی های $TiCl_4$ مصرفی در رنگدانه و تولید فلز تیتانیوم

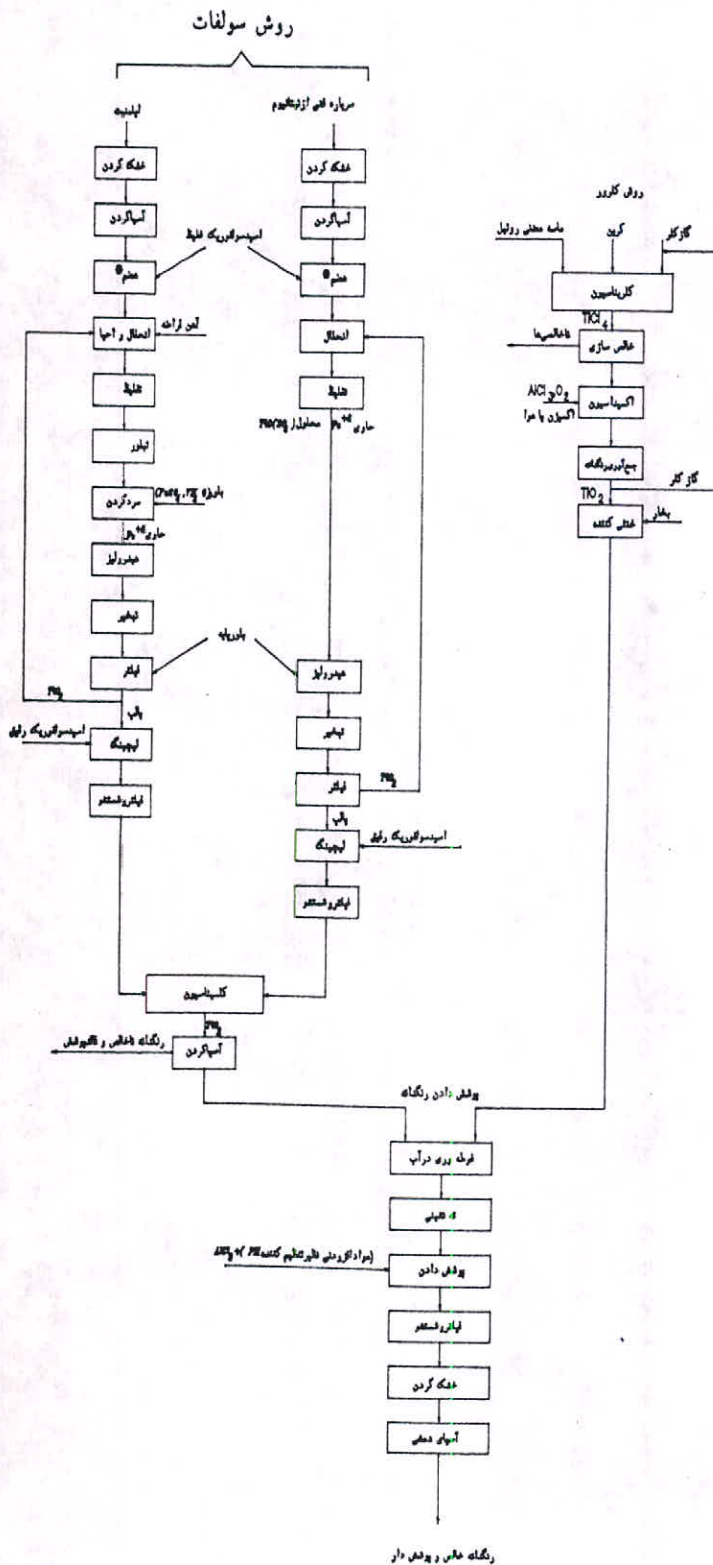
نوع ناخالصی	رنگدانه (%)	تولید فلز (%)
$VOCl_3$	۰/۳۳	۰/۰۰۳۴
$AlCl_3$	۰/۰۲	۰/۰۵

$SiCl_4$	۰/۴	۰/۰۰۶
Si_2OCl_6	۰/۰۴	۰/۰۰۳
$FeCl_3$	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲۹
$C\ Cl_3\ CoCl_3$	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۲
CS_2	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۲
COS	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۰۲
$Si_3O_2Cl_8$	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲
$COCl_2$	۰/۵	۰/۰۰۰۰۲
غیره شامل : اکسی کلراید ، Co_2 ، C_6Cl_6 و $C\ Cl_4$ ، Cl_2	۰/۱۷۵	۰/۰۰۱

مراحل مختلف ساخت رنگدانه های دی اکسید تیتانیوم مطابق شکل شماره ۱-۶ است .



شکل شماره ۱-۶: فلوکسیت ساخت رنگدانه های دی اکسید تیتانیوم

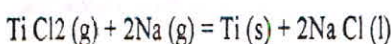
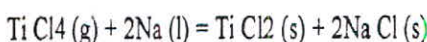


نمونه (Digest) عبارت است از قرار گرفتن یک جامد در یک مایع که در اثر حل فیزیکی یا ترکیب شیمیایی یک
 کوچک جامد متخلخل (پجای محلول) بدست آید در این مورد به خصوص نمک های تیتانیوم در
 اسید سولفوریک غلیظ و گرم مورد نظر است .

۴-۱- تهیه فلز تیتانیوم:

۴-۱-۱- روش احیای کروول (Kroll):

این روش یکی از روشهای معمول تولید فلز تیتانیوم است. در این روش تتراکلور تیتانیوم با فلز منیزیم یا سدیم احیاء می شود. تتراکلور تیتانیومی که برای ساخت فلز تیتانیوم در نظر گرفته می شود محصول فرآیند کلرور است که قبلاً شرح داده شد. مایع $TiCl_4$ خارج شده از کلریناتور با روش شیمیایی و تقطیر تصفیه می شود. در روش کروول گاز $TiCl_4$ وارد یک راکتور حاوی منیزیم مایع می گردد. این راکتور یک کوره با آتمسفر فوق اشباع از آرگون یا هلیوم است. در داخل این کوره مایع $TiCl_4$ در مجاورت فلز منیزیم در یک پاتیل فولادی از فولاد ضدزنگ احیا می شود. درجه حرارت این کوره بالاتر از نقطه ذوب کلرور منیزیم ولی زیر نقطه ذوب فلز تیتانیوم است. در این روش ابتدا $TiCl_4$ احیا شده و به دی کلراید و تری کلراید (در دمای ۳۳۰ درجه سانتیگراد) تبدیل می شود. آنگاه با افزایش سدیم به حمام نمک در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد فلز تیتانیوم به صورت یک توده اسفنجی تولید می شود. تیتانیوم اسفنجی بسیار فعال است و قابلیت جذب مقادیر زیادی از رطوبت هوا را دارد، به همین جهت به محض خروج از راکتور بایستی در یک اتاق با هوای کاملاً خشک خرد شده و منیزیم و کلرور منیزیم باقیمانده از آن خارج شود. کلرور منیزیم که به صورت مذاب از راکتور خارج می شود به واحد منیزیم منتقل شده و در آنجا منیزیم و کلر با روش الکترولیز بازیابی می شوند. قطعات خالص تیتانیوم بدست آمده را به همراه قراضه و مواد آلیاژساز در یک بوته مسی خنک شونده با آب ریخته و آنها را در یک کوره قوس الکتریکی و تحت خلاء ذوب می کنند، که تیتانیوم به شمش تبدیل می شود. هیدروژن، کلرور منیزیم باقیمانده و دیگر ناخالصیهای فرار از محیط خارج می شوند. در روش احیای سدیم که اولین بار توسط شرکت RMI انجام شد از سدیم بجای منیزیم استفاده می شود واکنش های مربوطه به قرار زیر است:



بخش شده اند. ترکیبات آلی تیتانیوم نظیر آلکیل و بوتیل تیتاناتها (از ترکیب الکل ها با تتراکلرور تیتانیوم بدست می آید) و استرهای تیتانیوم به عنوان کاتالیزور در فرایندهای مختلف پلیمریزاسیون، به عنوان عامل هیدرو فوب (آبران) و در صنایع رنگ مورد استفاده قرار می گیرند.

۱-۶-۶-۱- مسائل مربوط به بازیافت ضایعات:

۱-۶-۶-۱-۱- بازیافت ضایعات ناشی از فرآیند سولفات:

از فرآیند سولفات مقادیر زیادی اسید سولفوریک و سولفات آهن ضایعاتی حاصل می شود. بطوریکه بازار ۸ هر کیلوگرم دی اکسید تیتانیوم تولید شده ۴ کیلوگرم ضایعات ایجاد می شود. مقادیری از سولفات آهن کریستالیزه شده که از فرآیند تولید جدا می شود در ساخت رنگدانه اکسید آهن و تصفیه آب و فاضلاب به مصرف می رسد. بقیه را هم می توان پس از تصفیه به همراه اسید سولفوریک بازیابی شده از فرآیند هیدرولیز تیتانیوم به فروش رسانید. اگرچه در عمل مصرف اسید و سولفات حاصل از ضایعات باعث کاهش آهن و گوگرد در محیط می گردد ولی از نظر اقتصادی، فنی و زیست محیطی این عمل امکان پذیر نیست. فروش و مصرف محصولات فرعی نظیر اکسید آهن که از عملیات بازیابی بدست می آید هزینه این عملیات را کاهش می دهد ولی حجم زیاد این محصولات مسئله بازار و قیمت را بفرنج می سازد. اگر این محصولات فرعی که اسیدی هستند فروخته نشده و بخواهند آن را در طبیعت رها کنند احتمالاً هزینه صرف شده برای سالم سازی و مصرف بهینه آنها به مراتب بیشتر از ریختن مستقیم آنها به اقیانوسها خواهد بود زیرا در این رابطه بایستی مقادیر زیادی کربنات کلسیم که برای خنثی سازی اسید سولفوریک و سولفاتها مورد نیاز است ذخیره سازی شود و در ضمن مقادیر زیادی گچ نیز تولید می شود که علاوه بر اکسید آهن موجود بایستی گچ تولید شده نیز فروخته شود. دو روش زیر برای خنثی سازی مایع اسیدی (شامل اسید و سولفات) حاصل از واکنش سولفات وجود دارد:

الف: تغلیظ محلول فوق به وسیله تبخیر آب و سپس برشته سازی آن بطوریکه به SO_2 و اکسید آهن تبدیل شود. آنگاه از SO_2 مجدداً برای ساخت اسید سولفوریک می توان استفاده نمود و اکسید آهن به عنوان رنگدانه یا مواد اولیه برای تولید براده آهن یا فولادسازی مورد استفاده قرار گیرد.

ب: خنثی سازی H_2SO_4 و ترکیب $FeSO_4$ با آهک یا کربنات کلسیم بطوریکه اسید و سولفاتها به گچ و آهن به اکسید آهن تبدیل شود.

در روش (الف) مقدار مواد باقیمانده ای که بایستی به مصرف یا به فروش برسد (فقط اکسید آهن) حداقل است ولی انرژی زیادی برای تبخیر و برشته سازی صرف می گردد. از نظر تجهیزات نیز هزینه بالایی بر سیستم تحمیل خواهد شد. در روش (ب) انرژی بکار رفته به مراتب کمتر خواهد بود ولی محصول جدیدی به نام گچ تولید خواهد شد که بایستی برای آن نیز بازار فروش پیدا نمود. به علاوه اگر از سنگ آهک استفاده شود مقادیر زیادی CO_2 نیز تولید می شود که نمی توان آن را در هوا رها نمود (اثرات گلخانه ای CO_2). البته گچ در ساخت قالب های پلاستر و عملیات ساختمانی مصرف دارد. اما این سوال باقی می ماند که آیا بازار قدرت جذب تمام گچی که از این عملیات حاصل می شود را دارد یا خیر؟

۱-۶-۲- بازیافت ضایعات ناشی از فرآیند کلرور:

در فرآیند کلرور بازار هر کیلوگرم دی اکسید تیتانیوم تولید شده فقط $1/2$ کیلوگرم ضایعات حاصل می گردد. ضایعات چشمگیر در این عملیات کلرورفریک است که معمولاً در اقیانوس رها می شود. شخصی به نام Dupont روشی برای بازیابی کلرورفریک از ضایعات ابداع نمود که از آن برای استفاده در عملیات بهسازی آب فاضلابهای صنعتی و آشامیدنی بهره جست. آزمایشهای مربوطه براساس بازیافت کلر و استفاده مجدد از آن و نیز تولید آهن برای آسیاهای فولادی انجام شد. گرچه بازار خوبی برای این ضایعات ایجاد شد



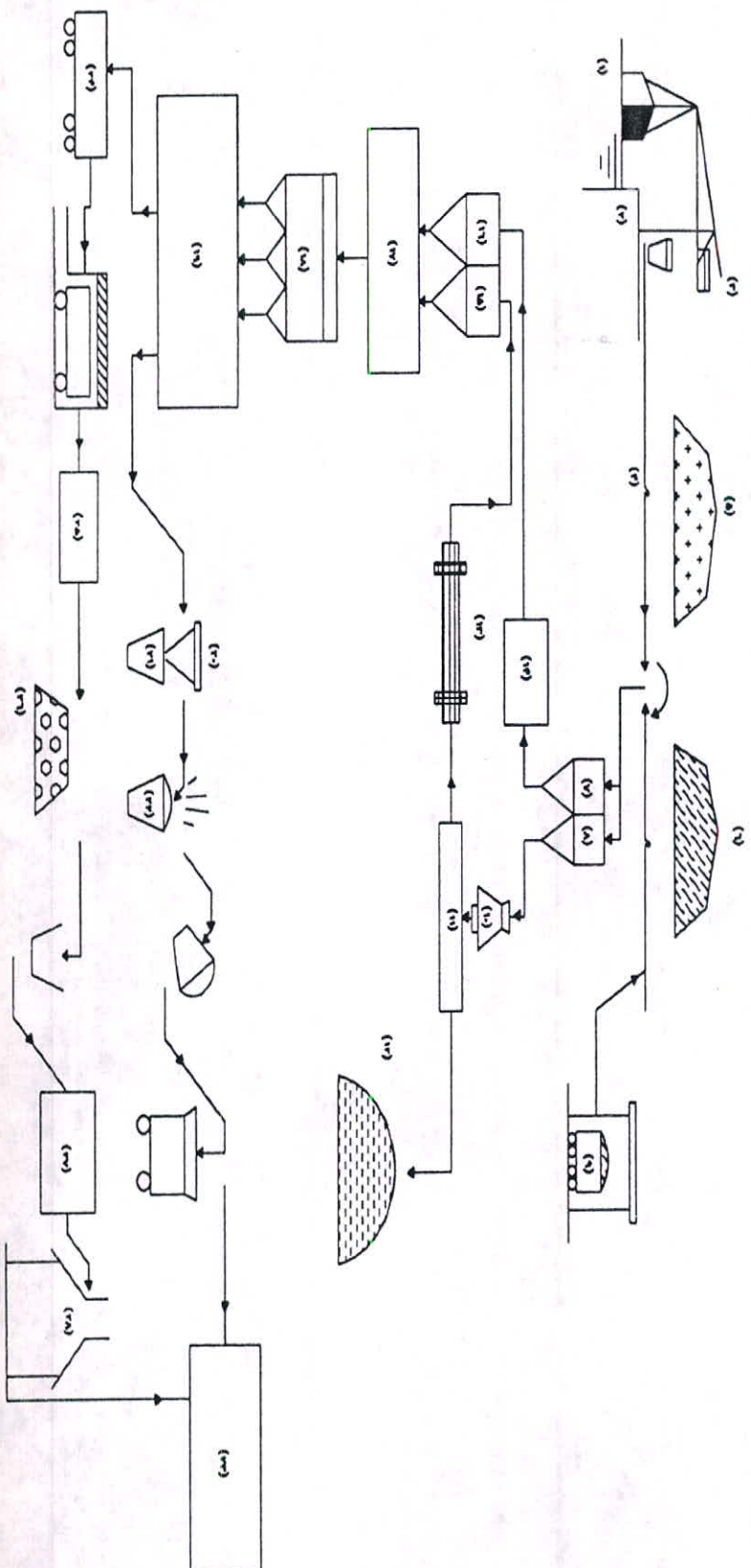
ولی هنوز مصرف کلرورهای مختلف فلزی که حدود ۲۵ درصد کل ضایعات را تشکیل می داد خود معضل بزرگی محسوب می شد.

۱-۷- مسایل زیست محیطی:

تیتانیوم و محصولات آن که از اثرات مواد خورنده بر آن بدست می آید سمی هستند. این مواد و نیز براده های تیتانیوم آتشگیر بوده و بایستی ضایعات اینچنینی را در محیط های در بسته نگهداری نمود. هیچگاه این ضایعات را در سطوح باز نباید دپو کرد. در واحدهای خردایش تیتانیوم کشیدن سیگار ممنوع است و برای اطفای حریق ناشی از ترکیبات آن از اطفاکنده کلاس D استفاده می شود که مختص به فلزات آتشگیر می باشد. کارگاه های این واحدها بایستی فاقد هرگونه وسایل محترقه بوده و دارای تهویه مناسبی باشد. یکی از محصولات ناشی از خوردگی تیتانیوم که فوق العاده آتشگیر است محصول ترکیب این ماده با گاز کلر خشک و اسیدنیتریک قرمز دودکننده می باشد.

۱-۸- تولید سرباره از کنسانتره ایلمنیت:

یکی از موارد مصرف کنسانتره های مختلف ایلمنیت تولید سرباره تیتانیوم است. این سرباره حاوی ۷۰ تا ۷۲ درصد TiO_2 است که به همراه آهن در روش قالدگناری (smelting) بدست می آید. کنسانتره ایلمنیت به همراه هماتیت یا منیتیت را مخلوط با کک در یک کوره تا ۱۵۰۰ الی ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می دهند. در این فرایند آهن به صورت مذاب و سرباره به صورت جامد بر سطح آن شکل می گیرد. کنسانتره هایی که مقادیری منیتیت یا ایلمنیت همراه دارند مواد اولیه مناسبی برای این فرایند محسوب می شوند. نمودار فرایند تهیه سرباره تیتانیوم که مربوط به شرکت آهن، تیتانیوم کبک (Quebec) است در شکل شماره ۱-۷ نشان داده شده است.



- ۱- گفنی حمل
- ۲- بار انداز
- ۳- برج تخیلیه
- ۴- تسمه بغاله اقصی
- ۵- انبار کانه
- ۶- انبار زغال
- ۷- یوبکر زغال
- ۸- یوبکر کانه
- ۹- واگن حمل زغال از انبار

شکل ۱-۷- -نمودار تهیه سرباره تیتانیوم مربوط به شرکت آهن و تیتانیوم کبک

فصل دوم
مطالعات آزمایشگاهی

فصل دوم: مطالعات آزمایشگاهی

۱-۲- مقدمه:

براساس مطالعات اکتشافی که تا این مرحله بر روی ذخیره تیتان قره آغاج انجام گرفته است چهار نمونه جدا از هم که دو نمونه آن عمقی و مربوط به چاههای حفاری (BH1, BH2) و دو نمونه آن سطحی و مربوط به بلوک های G و F می باشند، جهت مطالعات مقدماتی کانه آرای انتخاب گردیده اند.

بطور کلی این مطالعات در دو بخش انجام گرفته است، بخش اول آماده سازی و شناسایی سنگ معدنی از دیدگاه کانه آرای (نوع کانیها، بافت و ساخت، نوع درگیری، درجه آزادی و ...) و بخش دوم انجام آزمایشهای کانه آرای جهت رسیدن به محصول نهایی می باشد. بدیهی است که تعیین نوع آزمایشهای کانه آرای منوط به شناسایی صحیح و دقیق سنگ معدنی می باشد.

۲-۲- آماده سازی نمونه ها:

نمونه های سنگ معدنی شامل BH1, BH2, F و G ابتدا توسط سنگ شکن فکی و سپس سنگ شکن مخروطی در مدار بسته همراه با سرند ۸ مش (۲/۲۸ میلیمتر) خرد شد. هر یک از نمونه ها توسط تقسیم کن به نمونه های حدود یک کیلوگرمی تقسیم شد. این نمونه ها برای انجام آزمایشهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت. دانه بندی نمونه های خرد شده در جدول ۱-۲ تا ۴-۲ و شکلهای ۱-۲ تا ۴-۲ نشان داده شده است.

از هر یک از نمونه های چهارگانه، نمونه متوسطی برای تعیین عیار تیتان و آهن به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج بدست آمده در جدول ۵-۲ آورده شده است.



جدول ۱-۲- نتایج آزمایش تجزیه سرنبدی نمونه BH

شماره سرنبد	دهانه سرنبد	وزن		درصد وزن تجمعی	
		(gr)	(%)	باقی‌مانده	عبور کرده
(Mesh No)	μm				
۸	۲۳۸۰			۰	۱۰۰
۱۲	۱۷۰۰	۲۳۸	۲۳/۹۴	۲۳/۹۴	۷۶/۰۶
۲۰	۸۵۰	۳۲۴	۳۲/۶	۵۶/۵۴	۴۳/۴۶
۳۰	۶۰۰	۹۷	۹/۷۶	۶۶/۳	۳۳/۷
۵۰	۳۰۰	۱۱۸	۱۱/۸۷	۷۸/۱۷	۲۱/۸۳
۷۰	۲۱۲	۳۶	۳/۶۲	۸۱/۷۹	۱۸/۲۱
۱۰۰	۱۵۰	۲۹	۲/۹۲	۸۴/۷۱	۱۵/۲۹
۱۵۰	۱۰۰	۱۹	۱/۹۱	۸۶/۶۲	۱۳/۳۸
۲۰۰	۷۰	۳۱	۳/۱۲	۸۹/۷۴	۱۰/۲۶
۲۷۵	۵۳	۲۲	۲/۲۱	۹۱/۹۵	۸/۰۵
۴۰۰	۳۸	۱۸	۱/۸۱	۹۳/۷۶	۶/۲۴
۴۰۰		۶۲	۶/۲۴		
جمع		۹۹۴	۱۰۰		

جدول ۲-۲ - نتایج آزمایش تجزیه سرندهی نمونه BH۲

شماره سرنده	دقیقه سرنده	وزن (gr)	درصد وزن تجمعی		
			(%)	باقیمانده	عبور کرده
(Mesh No)	μm				
۸	۲۳۸۰			۰	۱۰۰
۱۲	۱۷۰۰	۲۲۰	۲۱/۰۵	۲۱/۰۵	۷۸/۹۵
۲۰	۸۵۰	۳۲۹	۳۱/۴۸	۵۲/۵۳	۴۷/۴۷
۳۰	۶۰۰	۱۰۰	۹/۵۷	۶۲/۱	۳۷/۹
۵۰	۳۰۰	۱۳۱	۱۲/۵۴	۷۴/۶۴	۲۵/۳۶
۷۰	۲۱۲	۴۴	۴/۲۱	۷۸/۸۵	۲۱/۱۵
۱۰۰	۱۵۰	۴۸	۴/۵۹	۸۳/۴۴	۱۶/۵۶
۲۰۰	۷۰	۵۷	۵/۴۵	۸۸/۸۹	۱۱/۱۱
۲۷۵	۵۳	۲۱	۲/۰۱	۹۰/۹	۹/۱
۴۰۰	۳۸	۴۵	۴/۳۱	۹۵/۲۱	۴/۷۹
۴۰۰		۱۳	۱/۲۹		
جمع		۱۰۰۸	۱۰۰		



جدول ۳-۲ - نتایج آزمایش تجزیه سرنندی نمونه F

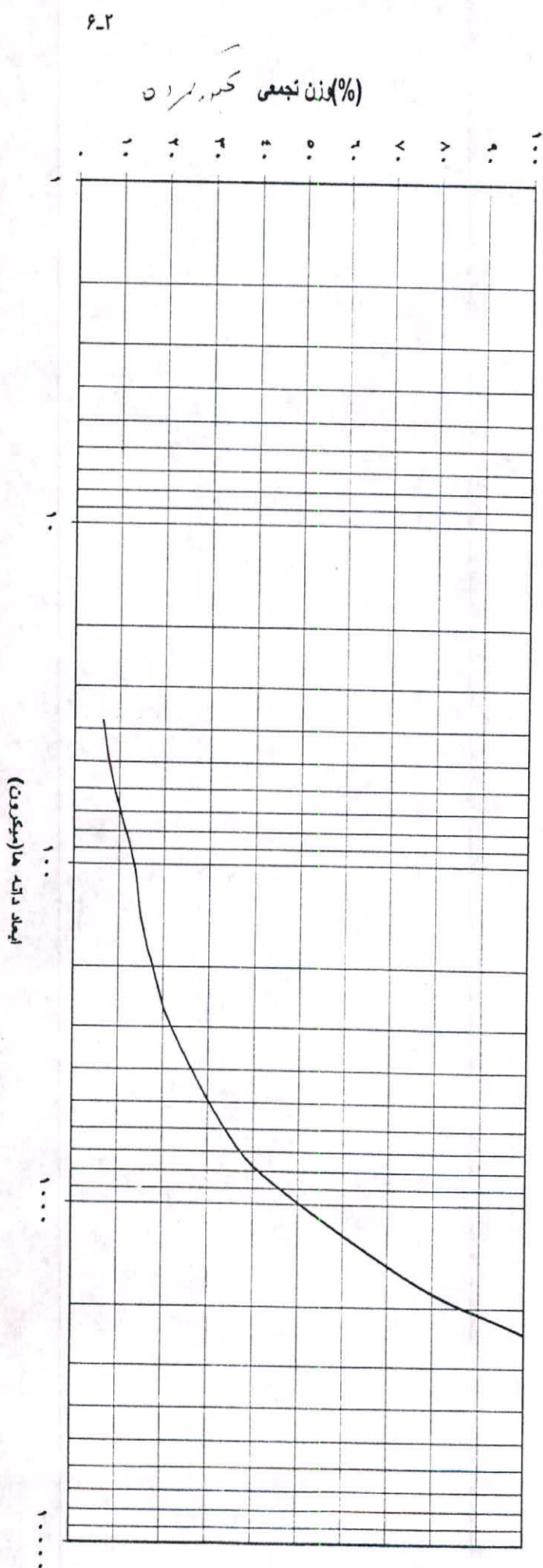
شماره سرنند	دهقه سرنند	وزن	درصد وزن تجمعی		
(Mesh No)	μm	(gr)	(%)	باقی‌مانده	عبور کرده
۸	۲۳۸۰			۰	۱۰۰
۱۲	۱۷۰۰	۱۳۳	۱۳/۲۷	۱۳/۲۷	۸۶/۷۳
۲۰	۸۵۰	۳۳۰	۳۲/۹۳	۴۵/۲	۵۳/۸
۳۰	۶۰۰	۱۱۷	۱۱/۶۸	۵۷/۸۸	۴۲/۱۲
۵۰	۳۰۰	۱۶۱	۱۶/۰۷	۷۳/۹۵	۲۶/۰۵
۷۰	۲۱۲	۵۰	۴/۹۹	۷۸/۹۴	۲۱/۰۶
۱۰۰	۱۵۰	۳۹	۳/۸۹	۸۲/۸۳	۱۷/۱۷
۱۵۰	۱۰۰	۳۵	۳/۴۹	۸۶/۲۲	۱۳/۶۸
۲۰۰	۷۰	۳۰	۲/۹۹	۸۹/۳۲	۱۰/۶۸
۲۷۵	۵۳	۲۳	۲/۳	۹۱/۶۱	۸/۳۹
۴۰۰	۳۸	۲۲	۲/۲۱	۹۳/۸۲	۶/۶۸
۵۰۰		۱۲	۱/۱۸		
جمع		۱۰۰۲	۱۰۰		



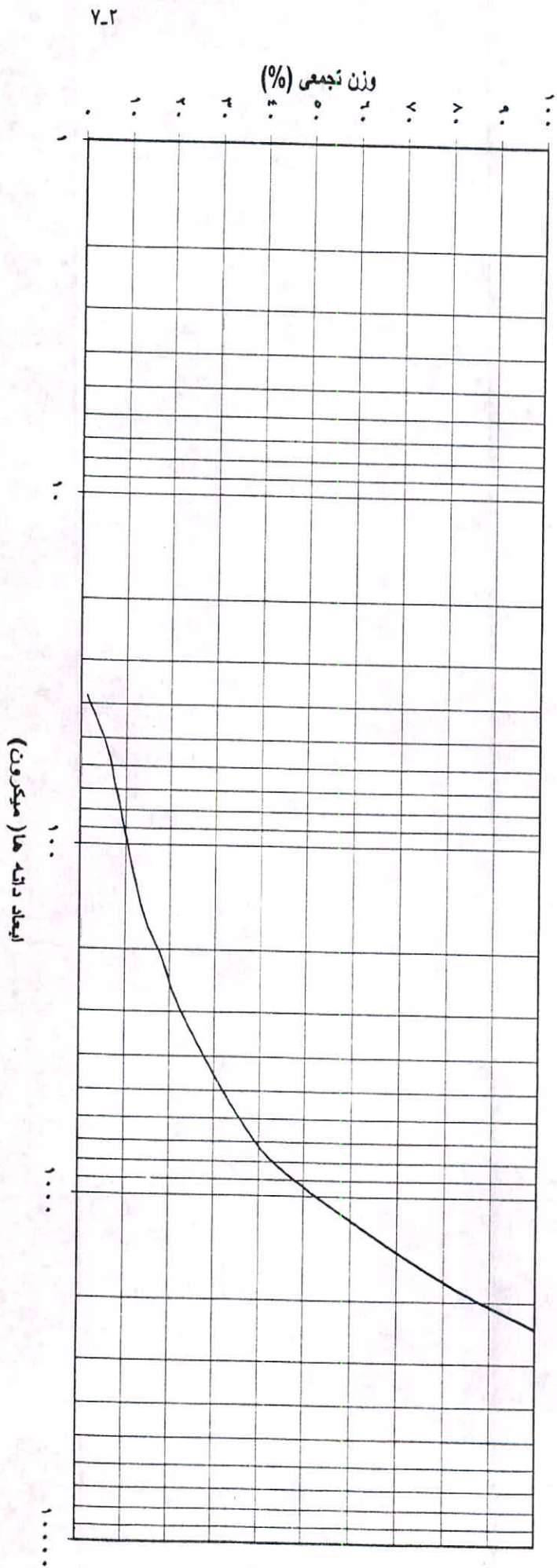
جدول ۴-۲ - نتایج تجزیه سرنندی نمونه G

شماره سرنند	دهقه سرنند	وزن	درصد وزن تجمعی		
			(%)	باقیمده	عبور کرده
(Mesh No)	μm	(gr)			
۸	۲۳۸۰			۰	۱۰۰
۱۲	۱۷۰۰	۱۴۰	۱۴/۹۴	۱۴/۹۴	۸۵/۰۶
۲۰	۸۵۰	۳۱۷	۳۳/۸۲	۴۸/۷۵	۵۱/۲۵
۳۰	۶۰۰	۱۱۰	۱۱/۷۴	۶۰/۴۹	۳۹/۵۱
۵۰	۳۰۰	۱۶۴	۱۷/۵	۷۷/۹۹	۲۲/۰۱
۷۰	۲۱۲	۵۱	۵/۴۴	۸۳/۴۳	۱۶/۵۷
۱۰۰	۱۵۰	۳۶	۳/۸۴	۸۷/۲۷	۱۲/۷۳
۱۵۰	۱۰۰	۴۱	۴/۳۲	۹۱/۵۹	۸/۴۱
۲۰۰	۷۰	۳۵	۳/۷۷	۹۵/۳۶	۴/۶۴
۲۷۵	۵۳	۱۴	۱/۴۶	۹۶/۸۲	۳/۱۸
۴۰۰	۳۸	۹	۰/۹۴	۹۷/۷۶	۲/۲۴
۴۰۰		۲۱	۲/۲۴		
جمع		۹۳۷	۱۰۰		

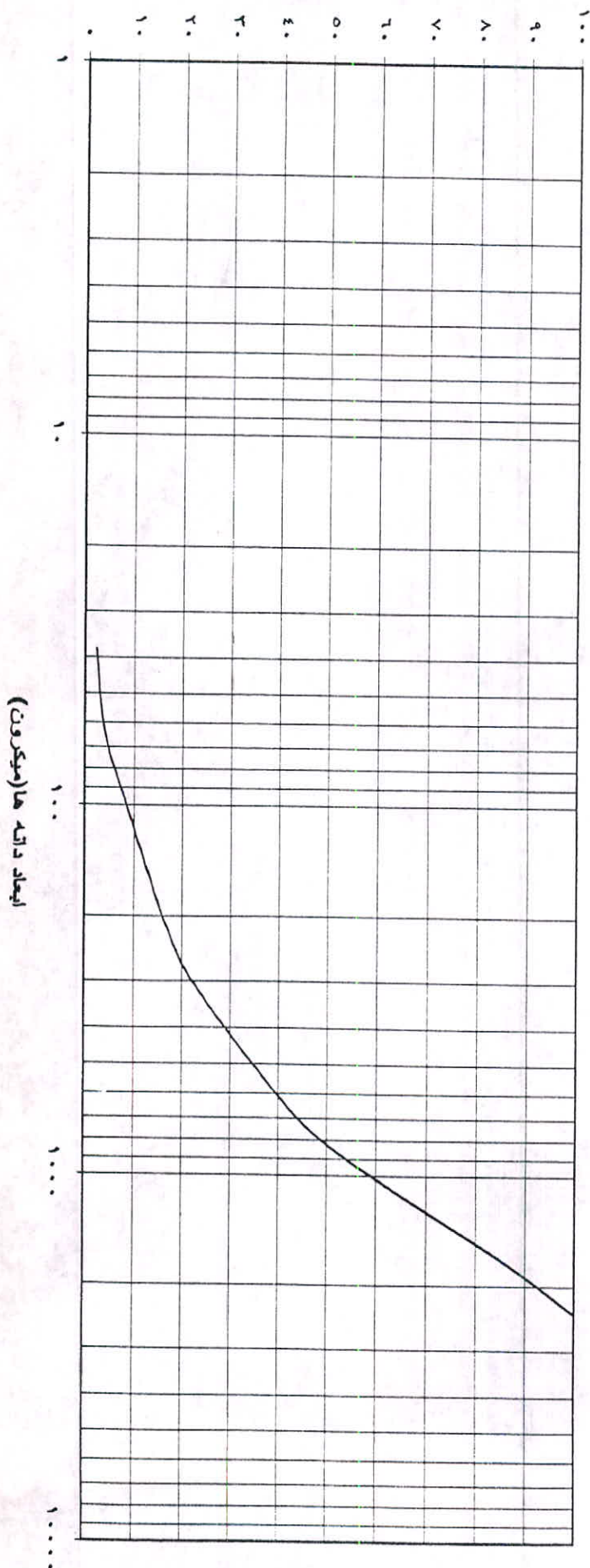
شکل ۲-۱ نمودار دانه بندی نمونه BH۱



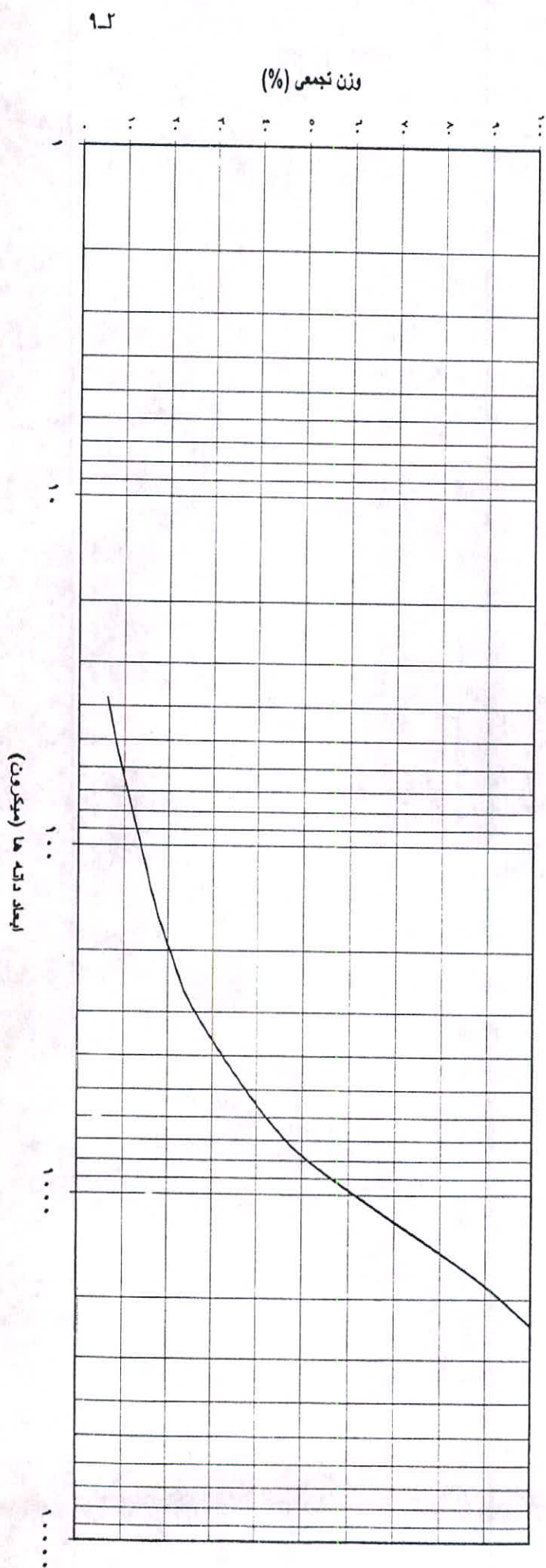
شکل ۲-۲- نمودار دانه بندی نمونه BH۲



شکل ۲-۴ نمودار دانه بندی نمونه G



شکل ۲-۳- نمودار دانه بندی نمونه F



جدول شماره ۲-۵: نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های چهارگانه (نمونه اولیه)

شماره نمونه	% TiO ₂	% Fe ₂ O ₃
BH1	7.60	36.20
BH2	7.30	34.90
F	11.20	39.00
G	10.80	43.70

۲-۳- شناسایی سنگ معدنی:

به منظور تعیین کانیهای تشکیل دهنده سنگ معدنی، ابعاد آنها، نحوه قرار گرفتن آنها در کنار یکدیگر و سرانجام تعیین میزان خرد کردن لازم برای دستیابی به درجه آزادی مناسب، نمونه های بدست آمده در تجزیه سرنندی نمونه های اولیه بصورت مقاطع صیقلی مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفت. پس از مطالعه اولیه مقاطع تهیه شده، لازم شد برای تشخیص بهتر، هر یک از بخشهای تجزیه سرنندی ابتدا توسط مغناطیس دستی به دو بخش مغناطیسی و غیر مغناطیسی تقسیم شود و سپس از هر قسمت مقطع صیقلی تهیه شود و مورد مطالعه قرار گیرد.

تعداد کل مقاطع صیقلی تهیه شده که مورد مطالعات میکروسکوپی قرار گرفته است ۷۳ عدد می باشد که در جدول شماره ۲-۶ به تفکیک آورده شده است.

۲-۳-۱- نتایج مطالعات میکروسکوپی:

نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی انجام شده بر روی چهار نمونه سنگ معدنی نشان می دهد که کانیهای تشکیل دهنده سنگ معدنی به سه بخش تقسیم می شوند:

الف) کانیهای شفاف (تشکیل دهنده سنگ میزبان، پلاژیوکلاز، پرهنیت، سربانتین و ...)

این بخش از فلدسپاتها و کانیه‌های آهن و منیزیم از نوع پیروکسن و آمفیبول تشکیل شده است.

ب (کانیه‌های سولفور (پیروتین ، کالکوپیریت)

این قسمت مجموعه سولفورهای آهن ، مس و احتمالاً نیکل است که بعضی از آنها در ۲ یا ۳ فاز به شکل مختلط وجود دارند ولی عمده آنها را پیروتین تشکیل داده است . کانیه‌های مزبور هم بصورت مستقل از کانیه‌های اکسید در زمینه کانیه‌های شفاف و هم به شکل ادخال در کانیه‌های اکسید حضور دارند .

ج (کانیه‌های اکسید (ایلمنیت ، تیتانومینیت و ...)

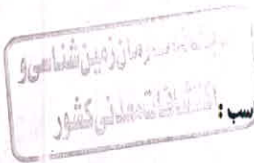
این بخش عمدتاً شامل ایلمنیت و تیتانومینیت است . ایلمنیت عمدتاً بصورت صفحه ای دیده می شود که احتمالاً قابل بازیابی است ولی بخشی از ایلمنیت نیز بصورت تیغه ای نازک در زمینه تیتانومینیت و یا به شکل قطره ای و لکه های کوچک با ابعاد کوچکتر از ۳۰ میکرون پراکنده در کانیه‌های سیلیکاته یافت می شوند .

در نمونه های BH1 و BH2 کانی کالکوپیریت مشاهده می شود که مقدار آن در نمونه BH1 بیشتر از نمونه BH2 است . در این نمونه ها کانیه‌های سولفور با ابعاد کوچکتر از ۱۰ میکرون به شکل پرشدگی در فضای شکستگی های ایلمنیت به چشم می خورد . شدت دگرسانی و خردشدگی کانیه‌ها در این نمونه بیشتر است . در نمونه های F و G مقدار کانیه‌های سولفور کمتر است . در این نمونه ها در داخل کانیه‌های فلزی مقداری آپاتیت وجود دارد . در نمونه F حالت خردشدگی بیشتر مشاهده می شود و همچنین مقدار هیدرواکسیدهای آهن (گوتیت) مشاهده می شود . شایان ذکر است موارد اشاره شده در بالا را می توان در عکسهای ۱ تا ۲۶ (پیوست شماره ۱) مشاهده کرد .

جدول ۲-۶- لیست کل مقاطع صیقلی تهیه شده جهت آزمایشهای مینرالوگرافی

ردیف		BH ^۱	BH ^۲	F	G
۱	تعداد مقاطع صیقلی	۱۱	۱۰	۱۱	۱۱
۲	تعداد مقاطع صیقلی جنب مغناطیسی	۴	۳	۴	۴
۳	تعداد مقاطع صیقلی غیر مغناطیسی	۴	۳	۴	۴
۴	جمع کل مقاطع	۱۹	۱۶	۱۹	۱۹

در تمامی نمونه های مطالعه شده در بین کانیه های تیتان دار، ۲۰ تا ۳۰٪ آن به صورت تیتانومنیست دیده می شود و در نتیجه امکان تهیه محصول پرعیار شده ای با عیار زیاد از تیتان از این بخش وجود ندارد.



۲-۳-۲- تعیین میزان خرد کردن لازم برای دستیابی به درجه آزادی مناسب:

در حین مطالعات میکروسکپی بر روی نمونه های بدست آمده در تجزیه سرندي، به موازات شناسایی کانیه های تشکیل دهنده نمونه ها و همچنین ساخت و بافت آنها، درجه آزادی هر یک نیز با شمارش دانه های آزاد شده و دانه های درگیر تعیین شد.

بر مبنای این مطالعات، برای دستیابی به درجه آزادی حدود ۹۰٪، لازم است نمونه های BH1 و BH2 تا ابعاد کوچکتر از ۷۵ میکرون و نمونه های F و G تا ابعاد کوچکتر از ۱۰۰ میکرون خرد شود.

لازم به یادآوری است که درجه آزادی تعیین شده در بالا، درجه آزادی ظاهری نمونه ها است. در حقیقت بسیاری از دانه های ایلمنیت ظاهراً آزاد شده، دارای بافت سطحی یکنواخت نیستند، بلکه بصورت تیفه های متناوب ایلمنیت در مجاورت تیتانومنیست و یا منیست مشاهده می شود. همچنین در سطح بخشی از دانه های ایلمنیت لکه هایی مشاهده می شود که مشکل از تیتانومنیست است. بدین ترتیب حدود ۴۰ تا ۴۵٪ ایلمنیت هنوز با تیتانومنیست درگیر است.

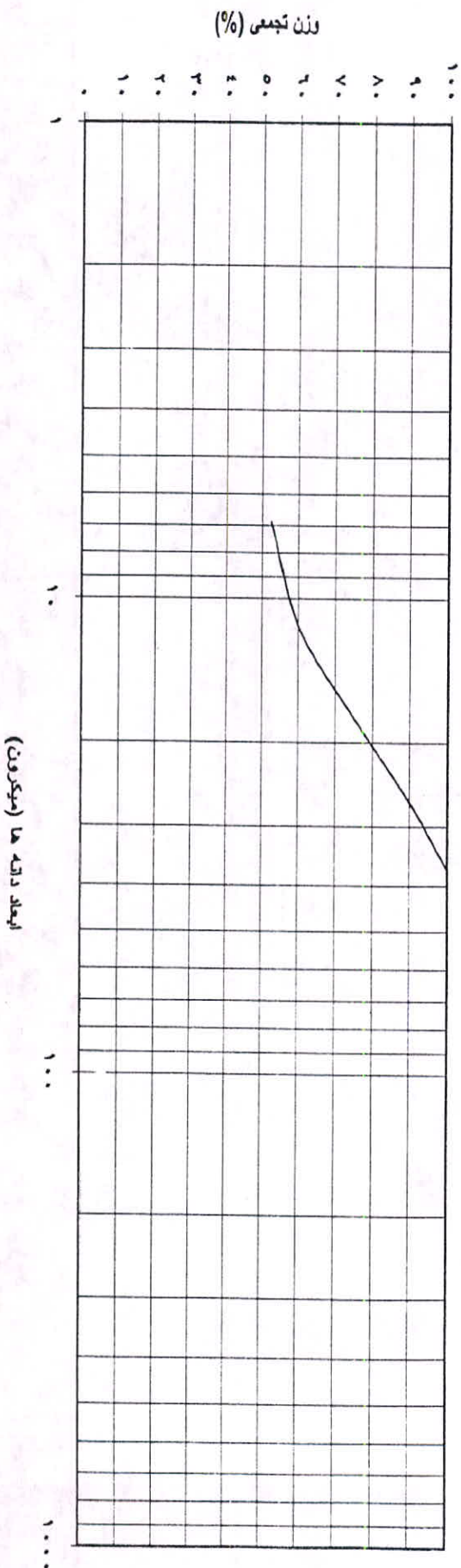
به منظور دستیابی به درجه آزادی حقیقی در حد مناسب، بخش عبور کرده از سرندي ۴۰۰ مش (۳۸ میکرون) در نمونه F، توسط سائیرز طبقه بندی شد که نتایج آن در جدول شماره ۲-۷ و شکل شماره ۲-۵ نشان داده شده است.



جدول ۲-۷- نتایج مربوط به سبکوسایزر

دانه سرنه	وزن		درصد وزن تجمی	
	(gr)	(%)	عور کرده	باقیمده
۳۷	۰	۰	۱۰۰	۰
۳۲/۶	۱/۵۲	۳/۰۴	۹۶/۹۶	۳/۰۴
۲۶/۷	۳/۵	۷	۸۹/۹۶	۱۰/۰۴
۱۷/۶	۷/۶۸	۱۵/۳۶	۷۴/۶	۲۵/۴
۱۱/۵	۷/۲۳	۱۴/۴۶	۶۰/۱۴	۳۹/۸۶
۶/۹	۳/۸	۷/۶	۵۲/۵۴	۴۷/۴۶
-۱/۹	۲۶/۲۷	۵۲/۵۴		
جمع	۵۰	۱۰۰		

شکل ۲-۵- نمودار دانه بندی توسط سیکو سائزرز نمونه F)





هر یک از بخشهای دانه بندی بدست آمده توسط سیکلوسایزر (۵ بخش) توسط مغناطیس دستی به دو بخش مغناطیس و غیرمغناطیس تقسیم شد و هر بخش بصورت مقطع صیقلی مورد مطالعه میکروسکپی قرار گرفت .

در این آزمایشها حدود ۳۰ تا ۳۵٪ ایلمنیت به بخش مغناطیسی منتقل می شود . به عبارت دیگر در این ابعاد هنوز حدود ۳۰ تا ۳۵٪ ایلمنیت با تیتانومنییت درگیر است و همراه آن جذب مغناطیس می شود . مطالعات میکروسکپی نمونه های بدست آمده توسط سیکلوسایزر نیز موید وجود ادخالهای تیتانومنییت است .

عکسهای مربوط به مطالعات میکروسکپی که در متن گزارش فوق به آنها اشاره شده است به همراه شماره و توضیحات مربوطه ، در پیوست شماره ۱ نشان داده شده است .

۴-۲- بررسی آزمایشگاهی آرایش کانه ایلمنیت:

بر مبنای مطالعات انجام شده در بخش قبل، برای دستیابی به درجه آزادی (ظاهری) ۹۰٪ لازم است نمونه های BH1 و BH2 تا ابعاد کوچکتر از ۷۵ میکرون (۲۰۰ مش) و نمونه های F و G تا ابعاد کوچکتر از ۱۵۰ میکرون (۱۰۰ مش) خرد شوند. همچنین با توجه به وجود تیتانومینیت در ماده معدنی، تنها حدود ۷۰ تا ۸۰٪ تیتان موجود در ماده معدنی بصورت ایلمنیت است و با توجه به درگیری ایلمنیت با تیتانومینیت حتی در ابعاد ۱۰ تا ۲۰ میکرون، تنها حدود ۵۰٪ از ایلمنیت قابلیت استحصال را دارد. بنابراین در صورت عملکرد مراحل مختلف کانه آرای در شرایط ایده آل نباید انتظار بازیابی بیشتر از ۳۵ تا ۴۰٪ از تیتان را داشت.

با توجه به مشخصات کانیهای تشکیل دهنده سنگ معدنی، شامل: ایلمنیت، تیتانومینیت و کانیهای سیلیکاته، روشهایی را که می توان برای آرایش این سنگ پیش بینی کرد عبارتند از:

- روشهای ثقی برای جدا کردن تیتانومینیت و ایلمنیت از کانیهای سیلیکاته

- روش مغناطیسی با شدت کم برای جدا کردن تیتانومینیت

- روش مغناطیسی با شدت زیاد (گرادیان زیاد) برای جداکردن ایلمنیت

با توجه به اینکه برای دستیابی به درجه آزادی مناسب لازم است ماده معدنی تا ابعاد کوچکتر از حدود ۰/۱ میلیمتر خرد شود، بنابر این از بین روشهای ثقی تنها میز نرمة قابل استفاده است. همچنین روشهای جدایش مغناطیسی تنها به روش تر می توانند دارای کارایی باشند.

لازم به ذکر است جهت رساندن نمونه به دانه بندی مناسب از آسیای میله ای استفاده شده است و برای جلوگیری از نرمة اضافی، زمان آسیا کردن در یک نوار بسته و حداقل در ۳ مرتبه با استفاده از سرزند مناسب بدست آمده و در جداول شماره ۲-۸ و ۲-۹ ارایه شده است.

جدول ۲-۸- زمان آسیا کردن برای نمونه های BH_۱, BH_۲

ردیف	نمونه	ابعاد (میکرون)	زمان اول (دقیقه)	زمان دوم (دقیقه)	زمان سوم (دقیقه)
۱	BH _۱ , BH _۲	۷۵	۱۱	۱۰	۱۰
۲	"	۳۰۰	۵	۴	۲/۵
۳	"	۶۰۰	۴	۴	-

جدول ۲-۹- زمان آسیا کردن برای نمونه های G, F

ردیف	نمونه	ابعاد (میکرون)	زمان اول (دقیقه)	زمان دوم (دقیقه)	زمان سوم (دقیقه)
۱	F, G	۱۵۰	۵	۴	۴
۲	"	۳۰۰	۳	۳	۱/۵
۳	"	۶۰۰	۲	۲	-

۲-۴-۱- آرایش مقدماتی سنگ معدنی:

با توجه به اینکه بر مبنای مطالعات میکروسکوپی، برای دستیابی به درجه آزادی مناسب لازم است ماده معدنی تا ابعاد کوچکتر از ۷۵ تا ۱۵۰ میکرون (بسته به نوع نمونه) خرد شود، برای صرفه جویی در انرژی مصرفی برای خرد کردن ماده معدنی و احتمالاً ساده تر کردن مراحل بعدی و حذف بخشی از کانیهای بی ارزش و همچنین بر مبنای نتایجی که در تعدادی محدود آزمایش مقدماتی در سال ۱۳۷۷ بدست آمده بود، نمونه های ماده معدنی یک بار تا ابعاد کوچکتر از ۶۰۰ میکرون و بار دیگر تا ابعاد کوچکتر از ۳۰۰ میکرون توسط آسیای میله ای خرد شدند و هر یک از آنها توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم آرایش داده شدند. آزمایشهای انجام شده برای دانه بندی کوچکتر از ۶۰۰ میکرون و دانه بندی کوچکتر از ۳۰۰ میکرون به ترتیب در جداول شماره ۲-۱۰ و ۲-۱۱ نشان داده شده است. بر مبنای نتایج بدست آمده در آزمایشهای مقدماتی (سال ۱۳۷۷) محصول پر عیار شده اولیه ای از تیتان در بخش جذب شده، مغناطیس بدست آمد که عیار تیتان بر مبنای TiO_2 در آن ۳۰٪ و بازیابی آن بیشتر از ۹۰٪ بود. چنین نتیجه ای در مورد هیچیک از چهار نمونه تحت آزمایش بدست نیامد، این امر نشان دهنده اختلاف نمونه های اخیر با نمونه های قبلی است.

۲-۴-۲- آرایش اولیه تثلی توسط میز نرمة Mozley:

دستگاه جداکننده نقلی ساخت Mozley با اعمال نیروی گریز از مرکز بر روی دانه های ماده معدنی قادر است موادی تا ابعاد ۵ میکرون را به روش نقلی آرایش دهد. از این وسیله برای آرایش اولیه نمونه های ایلیمینیت استفاده شد. بدین منظور با تغییر پارامترهای مختلف از قبیل شیب میز، جریان آب ورودی و جریان آب شستشو آزمایشهایی انجام شد. بهترین نتایج بدست آمده در مورد هر یک از نمونه های سنگ معدنی در جدول شماره ۲-۱۲ نشان داده شده است.



فرد

جدول ۱۰-۲- نتایج آرایش مقدماتی مغناطیسی بر روی لار اولیه با ابعاد کوچکتر از ۶۰۰ میکرون

نمونه	بار اولیه		محصول غیر مغناطیسی		محصول غیر مغناطیسی		بازیابی در بخش مغناطیسی	
	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)
BH ₁	۳۶/۲۰	۷/۶۰	۸/۰۲	۴۵/۱۲	۷/۱۸	۲۷/۲۸	۵۲/۷۶	۶۲/۳۲
BH ₂	۳۴/۹۰	۷/۳۰	۸/۰۰	۴۱/۱۵	۶/۲۰	۲۵/۰۷	۶۶/۹۷	۷۲/۰۸
F	۳۹/۰۰	۱۱/۲۰	۱۴/۹۰	۵۲/۷۶	۷/۹۲	۲۶/۸۰	۶۲/۵۲	۶۳/۵۸
G	۴۳/۷۰	۱۰/۸۰	۱۱/۱۹	۶۰/۳۱	۱۰/۶۷	۳۸/۱۶	۲۶/۹۰	۳۴/۵۲

جدول ۲-۱۱- نتایج آرایش مقدماتی مغناطیسی بر روی بار اولیه با ابعاد کوچکتر از ۳۰۰ میکرون

نمونه	بار اولیه		محصول مغناطیسی		محصول غیر مغناطیسی		بازایی در بخش مغناطیسی	
	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)
BH ₁	۷/۶۰	۳۶/۲۰	۸/۱۲	۴۴/۱۷	۶/۸۰	۲۳/۹۳	۶۴/۷۵	۷۳/۹۷
BH _۲	۷/۳۰	۳۴/۹۰	۸/۲۰	۴۳/۰۴	۶/۰۳	۲۳/۴۱	۶۵/۷۴	۷۲/۱۸
F	۱۱/۲۰	۳۹/۰۰	۱۵/۱۲	۵۷/۴۲	۸/۹۰	۲۸/۱۹	۴۹/۵۴	۵۴/۴۵
G	۱۰/۸۰	۴۳/۷۰	۱۰/۷۸	۵۸/۲۷	۱۰/۷۷	۳۷/۴۵	۳۱/۱۱	۴۰/۰۳

جدول ۲-۱۲- نتایج آرایش اولیه ثقلی توسط میز فرمه موزلی

نمونه		بار اولیه		محصول پرعیار شده		باطله		بازیابی	
		Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)
BH1	۷/۶۰	۳۶/۲۰	۱۰/۷۰	۴۳/۱۵	۳/۴۰	۲۶/۷۸	۸۱/۰۰	۶۸/۵۹	
BH2	۷/۳۰	۳۴/۹۰	۹/۶۰	۳۹/۶۵	۳/۱۰	۲۶/۲۳	۸۴/۹۷	۷۳/۴۰	
F	۱۱/۲۰	۳۹/۰۰	۱۷/۴۰	۴۹/۲۶	۴/۶۱	۲۸/۰۹	۸۰/۰۵	۶۵/۰۹	
G	۱۰/۸۰	۴۳/۷۰	۱۳/۱۰	۴۸/۴۰	۷/۴۰	۳۶/۷۵	۷۲/۳۵	۶۶/۰۷	

بطوریکه ملاحظه می شود بازایی تیتان در روش آرایش نقلی توسط میز نرمه در مورد نمونه های مختلف حدود ۷۲ تا ۸۴٪ است لیکن افزایش عیار تیتان تنها در مورد نمونه F نسبتاً خوب است و در مورد بقیه نمونه ها این افزایش عیار جزئی است. در هر صورت با استفاده از این مرحله آرایش اولیه می توان ۴۰ تا ۵۰٪ مواد را به عنوان باطله از مدار خارج کرد که به این ترتیب کلاً ۱۶ تا ۲۸٪ کل تیتان از دست می رود.

۲-۴-۳- آرایش اولیه مغناطیسی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم :

با توجه به اینکه بر مبنای مطالعات میکروسکپی، بخش قابل توجهی از ماده معدنی را کانی تیتانومینیت تشکیل می دهد، این بخش از ماده معدنی را می توان توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم جدا کرد. جداکننده مغناطیسی استفاده شده ساخت Eriez انگلستان است که در آن سرعت دوران روتور، جهت گردش روتور و شدت میدان مغناطیسی قابل تنظیم است. با تغییر پارامترهای مختلف، بهترین نتایج بدست آمده در مورد ۴ نمونه سنگ معدنی در جدول شماره ۲-۱۳ نشان داده شده است.

بطوریکه در جدول ۲-۱۳ مشاهده می شود بخش قابل توجهی از تیتان به محصول مغناطیسی منتقل شده است.

این امر با نتایج حاصل از مطالعات میکروسکپی بخوبی تطابق دارد زیرا بخش قابل توجهی از نمونه ها را کانی تیتانومینیت تشکیل داده است. به علاوه حتی در ابعاد دانه ریز درگیری ایلمنیت با تیتانومینیت مشاهده می شود. ضعیف ترین نتیجه مربوط به نمونه BH1 است که در آن حدود ۵۶٪ تیتان به بخش مغناطیسی منتقل شده است و تنها ۴۴٪ آن برای مراحل بعدی آرایش باقی مانده است. بهترین نتیجه بدست آمده نیز مربوط به نمونه BH2 است که در آن بازایی تیتان در بخش غیرمغناطیسی حدود ۶۲٪ است. در این مرحله از آرایش با توجه به مقدار قابل توجهی از تیتان که به بخش مغناطیسی منتقل می شود، عیار تیتان در محصول غیرمغناطیسی کمی کمتر از بار اولیه هر نمونه می باشد.



جدول ۲-۱۳- نتایج آرایش اولیه مغناطیسی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم

نمونه	بار اولیه		محصول مغناطیسی		محصول غیر مغناطیسی		بازیابی در بخش غیر مغناطیسی	
	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)
BH ₁	۳۶/۲۰	۷/۶۰	۵۲/۱۷	۸/۱۹	۲۵/۳۷	۷/۲۰	۴۱/۷۶	۴۳/۵۴
BH ₂	۳۴/۹۰	۷/۳۰	۴۳/۷۸	۸/۰۴	۲۳/۲۶	۶/۳۳	۲۸/۸۴	۶۲/۴۸
F	۳۹/۰۰	۱۱/۲۰	۵۸/۵۹	۱۴/۳۴	۲۸/۲۷	۹/۴۸	۴۶/۸۳	۴۵/۳۱
G	۴۳/۷۰	۱۰/۸۰	۵۲/۸۳	۱۱/۱۸	۳۲/۸۹	۱۰/۳۵	۳۴/۴۶	۵۶/۱۲

۲-۴-۴- آرایش محصول جداکننده نقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم:

محصول بدست آمده توسط جداکننده نقلی عمدتاً حاوی ایلمنیت و تیتانومینیت است بنابراین برای جدا کردن ایلمنیت، لازم است تیتانومینیت را به روش جدایش مغناطیسی با شدت کم از آن جدا کرد.

نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های BH1، BH2 و F در جدول ۲-۱۴ نشان داده شده است.

بطوریکه ملاحظه می شود در این مرحله از آرایش، عیار تیتان تغییر زیادی نکرده است و حتی در نمونه های BH2 و F کمی کمتر از بار اولیه شده است.

بازیابی های نشان داده شده در جدول شماره ۲-۱۴ بازیابی تیتان (و آهن)، در جدایش مغناطیسی است با در نظر گرفتن بازیابی های بدست آمده در جدایش اولیه نقلی، بازیابی کل (نسبت به بار اولیه) در مورد تیتان برای نمونه BH1 معادل ۳۵/۱۳٪ و برای نمونه BH2 برابر ۶۷/۷۹٪ و برای نمونه F معادل ۳۴/۴۱٪ است.

۲-۴-۵- آرایش محصول جداکننده مغناطیسی با شدت کم توسط جداکننده مغناطیسی باگرادیان زیاد:

بخش عمده تیتانومینیت توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم جدا می شود. باقیمانده مواد عمدتاً شامل ایلمنیت و گانگ سیلیکاته است. برای جدایش ایلمنیت می توان از جداکننده مغناطیسی باگرادیان زیاد استفاده کرد.

جدول ۲-۱۴- نتایج آرایش محصول جداکننده نقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم

نمونه	بار اولیه		محصول مغناطیسی		محصول غیر مغناطیسی		بازیابی در بخش غیر مغناطیسی	
	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)
BH _۱	۴۳/۵۰	۱۰/۷۰	۱۰/۱۰	۵۳/۷۷	۱۱/۶۰	۲۷/۲۱	۴۳/۳۶	۲۴/۱۹
BH _۲	۳۹/۶۵	۹/۶۰	۱۱/۰۰	۶۹/۲۸	۹/۳۰	۳۵/۴۴	۷۹/۷۸	۷۸/۲۸
F	۴۹/۶۵	۱۷/۴۰	۱۸/۱۲	۶۱/۸۴	۱۶/۵۳	۳۴/۰۶	۴۳/۰۲	۳۰/۱۰

جداکننده مغناطیسی که در این بخش مورد استفاده قرار گرفته است از نوع باگرادیان زیاد ساخت شرکت SALA مدل 10-15-20 HGMS می باشد. توسط این دستگاه برای هر نمونه با تغییر شدت میدان مغناطیسی تعدادی آزمایش انجام شد. بهترین نتایج بدست آمده در جدول ۲-۱۵ نشان داده شده است.

در این جدول نیز بازیابی های نشان داده شده مربوط به جدایش مغناطیسی باگرادیان زیاد است. بازیابی واقعی تیتان نسبت به بار اولیه برای نمونه های BH1, BH2 و F به ترتیب برابر است با: ۲۴/۶۸٪، ۵۲/۰۳٪ و ۳۳/۴۵٪.

بطوریکه ملاحظه می شود با استفاده از این روش بهترین نتیجه توسط نمونه F بدست آمده است که در آن عیار تیتان بر مبنای TiO_2 به ۲۶/۱٪ رسیده است و بازیابی آن نیز ۳۳/۴۵٪ است که هیچیک در حد رضایتبخش نیستند. همچنین دیده می شود که در مورد همه نمونه ها عیار آهن نسبت به تیتان در حدی به مراتب بیشتر از مقدار آهنی است که در ترکیب ایلمنیت خالص وجود دارد. این امر نیز موید مطالعات میکروسکوپی است که حتی در ابعاد دانه ریز نیز درگیری ایلمنیت و تیتانومینیت مشاهده شده است.

۲-۴-۶- آرایش ثقلی محصول جدایش مغناطیسی با شدت کم (بخش غیر مغناطیسی):

بر مبنای آزمایشهای انجام شده در بخش ۲-۳-۳ توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم، تیتانومینیت موجود در سنگ معدنی جدا شد. بنابراین بخش با قیمانده شامل ایلمنیت و گانگ سیلیکاته است. با توجه به اختلاف چگالی ایلمنیت با کانیهای گانگ می توان ایلمنیت را بروش ثقلی جدا کرد. نتایج آزمایشهای انجام شده در جدول ۲-۱۶ نشان داده شده است.

در این جدول نیز بازیابی های نشان داده شده مربوط به آرایش ثقلی است. بازیابی تیتان نسبت به بار اولیه برای نمونه های BH1, BH2, F و G به ترتیب برابر است با ۳۲/۴۳٪، ۴۸/۷۶٪، ۲۷/۳۴٪ و ۴۶/۴۴٪.

جدول ۲-۱۵- نتایج آرایش محصول جداکننده مغناطیسی با شدت کم توسط جدا کننده مغناطیسی با شدت زیاد

نمونه	بار اولیه		محصول پرعیار شده		باطله		بازیابی	
	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)
BH _۱	۷/۲۰	۲۵/۳۷	۱۷/۶۰	۳۶/۳۷	۴/۰۶	۲۲/۰۵	۵۶/۶۹	۳۳/۲۴
BH _۲	۶/۳۳	۲۳/۲۶	۱۵/۰۴	۳۳/۴۰	۱/۶۳	۱۷/۷۹	۸۳/۲۷	۵۰/۳۲
F	۹/۴۸	۲۸/۲۷	۲۶/۱۰	۴۱/۴۴	۳/۳۹	۲۳/۴۴	۷۳/۸۳	۳۹/۳۳

جدول ۲-۱۶- نتایج آرایش ثقلی محصول جدایش مغناطیسی با شدت کم / بخش غیر مغناطیسی

نمونه	بار اولیه		محصول پر عیار شده		باطله		بازیابی	
	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)
BH _۱	۷/۲۰	۲۵/۳۷	۱۷/۶۱	۳۴/۷۸	۲/۶۴	۲۱/۲۵	۷۴/۵۰	۴۱/۷۵
BH _۲	۶/۳۳	۲۳/۲۶	۱۰/۵۷	۲۹/۵۷	۲/۶۱	۱۷/۷۲	۷۸/۰۴	۵۹/۴۳
F	۹/۴۸	۲۸/۲۷	۲۶/۳۰	۴۰/۷۹	۵/۷۶	۲۵/۴۹	۶۰/۳۶	۲۶/۲۲
G	۱۰/۳۵	۳۲/۸۹	۱۵/۹۰	۳۵/۸۹	۳/۸۷	۲۹/۳۸	۸۲/۷۵	۵۸/۸۳

بطوریکه ملاحظه می شود بهترین محصول بدست آمده از نظر عیار تیتان مربوط به نمونه F می شود که در آن عیار محصول برمبنای TiO_2 به ۲۶/۳٪ رسیده است .

ولی همانطور که در جدول ۲-۱۶ دیده می شود، بازیابی تیتان در مرحله جدایش ثقلی حدود ۶۰٪ است که نسبت به بار اولیه حدود ۲۷٪ می شود . این بازیابی بسیار کم است .

بطوریکه در جدول مشاهده می شود، در مورد همه محصولهای بدست آمده، عیار آهن بسیار زیاد و به مراتب بیشتر از میزان آهنی است که می تواند در ایلمنیت وجود داشته باشد این امر مجدداً تاییدی بر درگیری شدید کانیهای ایلمنیت و تیتانومینیت است .

۲-۴-۲- آرایشی محصول پرعیار ثقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم:

محصول پرعیار شده ثقلی عمدتاً شامل کانیهای ایلمنیت و تیتانومینیت است . بنابراین با جداکردن تیتانومینیت توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم می توان محصولی از ایلمنیت بدست آورد . نتیجه آزمایشهای انجام شده در جدول ۲-۱۷ نشان داده شده است .

در این جدول نیز بازیابی ها مربوط به جدایش مغناطیسی است . بازیابی تیتان در بخش غیرمغناطیسی نسبت به بار اولیه برای نمونه های BH1 ، BH2 و F به ترتیب برابر است با : ۳۵/۱۲٪ ، ۶۷/۸۶٪ و ۳۴/۵۸٪ .

نتایج حاصل از این روش نیز رضایتبخش نیست و بطوریکه مشاهده می شود عیار تیتان تقریباً در همان حد بار اولیه باقی مانده است .



جدول ۱۷-۲- نتایج آرایش محصول پر عیار شده تقلی توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم

نمونه	بار اولیه		محصول پر عیار شده		باطله		بازایی	
	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)	Fe2O3(%)	TiO2(%)
BH ₁	۴۳/۱۵	۱۰/۷۰	۵۳/۷۷	۱۰/۱۰	۱۱/۶۰	۲۷/۲۱	۴۳/۳۶	۲۵/۲۱
BH ₂	۳۹/۶۵	۹/۶۰	۵۹/۲۹	۱۱/۰۰	۹/۳۰	۳۵/۴۴	۷۹/۷۸	۷۳/۶۰
F	۴۹/۲۶	۱۷/۴۰	۶۱/۸۴	۱۸/۱۲	۱۶/۵۳	۳۴/۰۶	۴۳/۲۰	۳۱/۳۱



فصل سوم

نتیجه گیری و پیشنهاد

فصل سوم: نتیجه گیری و پیشنهاد

۳-۱- نتیجه گیری:

مطالعات میکروسکپی نمونه های سنگ معدنی نشاندهنده درگیری شدید کانیهای ایلمنیت با تیتانومینیت در یکدیگر است. ابعاد بلورهای ایلمنیت در داخل تیتانومینیت تا حدود ۳۰ میکرون مشاهده شده است. ابعاد تیتانومینیت در ایلمنیت از این حد نیز کوچکتر است. بنابراین برای دستیابی به درجه آزادی مناسب (بیشتر از ۸۵ درصد) لازم است ماده معدنی تا ابعاد به مراتب کوچکتر از ۳۰ میکرون خرد شود و بدیهی است که در چنین ابعادی امکان آرایش ماده معدنی وجود ندارد.

آرایش مقدماتی نمونه ها به روش مغناطیسی در ابعاد نسبتاً درشت (۰/۳ تا ۰/۶ میلیمتر) برعکس نشایچی که در مورد نمونه های قبلی در سال ۱۳۷۷ بدست آمد، نتایج خوبی دربرداشت. عیار محصول پرعیار شده تفاوت زیادی با بار اولیه ندارد و بازیابی آن نیز کم است به علاوه بین نمونه ها تفاوت زیاد به چشم می خورد. کمترین بازیابی تیتان مربوط به نمونه G است که حدود ۲۶ درصد و بیشترین بازیابی مربوط به نمونه BH2 است که حدود ۶۷ درصد می باشد.

میزان خرد کردن لازم برای دستیابی به درجه آزادی مناسب ایلمنیت، با صرف نظر کردن از اذخالیهای تیغه ای شکل ایلمنیت در تیتانومینیت و همچنین بخشهای لکه مانند تیتانومینیت در ایلمنیت، برای نمونه های BH1 و BH2، معادل ۷۵ میکرون و برای نمونه های F و G برابر ۱۰۰ میکرون است. آرایش اولیه نقلی در این ابعاد دارای نتایج نسبتاً خوبی بوده است. در این روش عیار تیتان (TiO_2) حدود ۴۰ درصد افزایش یافته است و بازیابی بدست آمده حدود ۸۰ درصد است. برعکس، نتایج بدست آمده در آرایش



اولیه به روش جدایش مغناطیسی با شدت کم از نظر افزایش عیار، ضعیف تر و از نظر بازیابی نیز کمتر بوده است.

برروی هر یک از محصولات پرعیار شده اولیه به روشهای فوق، آزمایشهای متعددی به روشهای ثقلی، مغناطیسی با شدت کم و مغناطیسی باگردیان زیاد انجام شده است ولی در هیچیک از حالات نتایج رضایتبخشی حاصل نشده است. بهترین نتیجه بدست آمده مربوط به نمونه F است که آرایش اولیه آن توسط جداکننده مغناطیسی با شدت کم به منظور جدا کردن تیتانومنییت و آرایش نهایی آن توسط جداکننده مغناطیسی باگردیان زیاد انجام شده است. عیار TiO_2 در محصول نهایی ۲۶/۱۰ درصد و بازیابی آن حدود ۵۰ درصد است.

۲-۳-۲-۳- پیشنهادات:

نتایج بدست آمده از آزمایش های مختلف انجام شده در حقیقت موید و تکمیل کننده مطالعات میکروسکپی است و همانطور که از نتایج مجموعه کارهای انجام شده مشخص می گردد، در حقیقت درگیری شدید کانیهای ایلمنیت و تیتانومنییت مانع از دستیابی به یک کنسانتره با عیار بالایی از ایلمنیت است به همین جهت بایستی خط سیری از مصرف ترکیبات تیتانیوم را دنبال نمود که کنسانتره بدست آمده طی آزمایشهای مزبور در آن خط سیر قابل مصرف باشد بدیهی است که چون کنسانتره حاوی ایلمنیت و تیتانومنییت است می تواند در تولید محصولات زیر به مصرف برسد:

۲-۳-۱-۲-۳- سرباره تیتانیوم:

همانطور که در فصل اول اشاره شد سرباره تیتانیوم ماده اولیه فرایند سولفات است که برای تهیه رنگدانه بکار می رود. برای تولید این سرباره مخلوط ایلمنیت و هماتیت را به همراه زغال کک و آهک در یک کوره

تا دمای ۱۵۰۰ الی ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می دهند حاصل این فرآیند، سرباره تیتانیوم است که بطور معمول حاوی ۷۰ تا ۷۲ درصد TiO_2 بوده و نیز آهن خام (pig-iron) است آهن خام به صورت مذاب بوده و از ته کوره تخلیه شده و سرباره در عمل کف گیری از سطح جدا می شود. در حال حاضر کنسانتره ای که موجود است در حقیقت آمیزه ای از ایلمنیت و هماتیت است و از این نظر می تواند مواد اولیه این فرآیند محسوب گردد.

۳-۲-۲- فروتیتانیوم:

آلیاژهای فروتیتانیوم که با افزایش تیتانیوم خالص به فولادهای مختلف بدست می آید دارای خواص مختلفی هستند تیتانیوم با کربن موجود در فولاد ترکیباتی ایجاد نموده که این ترکیبات بسته به نوع آنها می توانند باعث استحکام یا بالعکس نرمی و سستی آلیاژ شوند یکی از مصارف فروتیتانیوم در ساخت فولادهای مقاوم در برابر حرارت است، تصور می گردد که کنسانتره موجود با توجه به اینکه هم تیتانیوم و هم آهن دارد به همراه کربن بتواند در ساخت بعضی ترکیبات فروتیتانیوم کاربردهایی داشته باشد.

با توجه به مشخصات کنسانتره بدست آمده طی این عملیات پیشنهاد این مهندسین مشاور به کارفرمای محترم آن است که اقدام در جهت پیشنهادات فوق را مورد بررسی قرار دهد چه این کنسانتره حتی در صورت عدم اقدام به احداث واحد تولید سرباره یا فروتیتانیوم به احتمال زیاد می تواند یکی از اقلام مهم صادراتی محسوب شود، در ضمن با توجه به اختلاف نسبتاً زیادی که بین نتایج بدست آمده از ۴ نمونه مختلف موجود است چنانچه نمونه هایی از سایر قسمتهای کانسار تهیه شود به احتمال زیاد با ۴ نمونه حاضر تفاوت خواهد داشت، در چنین صورت می توان برروی نمونه های جدید نیز مطالعات کانه آرای انجام داده شاید بخشهایی از کانسار قابلیت آرایش جهت رسیدن به درجه خلوص نسبتاً قابل قبولی از ایلمنیت را داشته باشد.

منابع



منابع:

- 1- "Industrial Minerals and Rocks" American institute of mining ,
cum engineering inc , 1975.
- 2- S. , " Industrial Ceramics " , Chapman & Hall Ltd ,
L
- 3- " Consise Encyclopedia of Chemical Technology " John
w. , 1985 .
- 4- " Encyclopedia of science and Technology " Mc Graw Hill
Boo , Newyork 1960 .
- 5- V. and Reinhold " Encyclopedia of Chemistry , Douglas , M ,
Consise , " V. and Reinhold , Co , Newyork , U.S.A , 1966-1973 .
- 6- Betel , A , " A Course of Mineralogy " , peace publishers , Moscow , 1967
- 7- Bates , R.L. & Jackson , S.A , " Glossary of Geology " , American Geological
Institute Falls Church , Virginia , 1980 .
- 8- Norman , Weiss " SME MINERAL PROCESSING HANDBOOK " , society
of Mining Engineers of the American Institute of Mining Metallurgical , and
petroleum Engineers , Inc , Newyork , 1985 .
- 9- Mining Chemical staff of : Cyanamid subsidiaries American Cyanamid
Company , U.S.A , 1989 .
- 10- R.L. Timings , " Engineering Materials " , Longman Group Uk Limited
England , 1989 .
- 11- Encyclopedia Britannica , Inc " ENCYCLOPEDIA BRITANICA " , William
Benton , Publishe , Chicago , 1974 .
- 12- Stanley Abkowitz & Jhon J.Burko & Raiph H. Hiltz , JR " Titanium in
industry " , D. VAN NOSTRAND COMPANY , Inc Canada , 1955
- ۱۳- دکتر حسین نعمت الهی - کانه آرایی ، انتشارات دانشگاه تهران - ۱۳۷۵ .
- ۱۴- مهندس سیاوش احمدی - دایره المعارف فشرده شیمی و مهندسی شیمی - شرکت بنیاد استاندارد -
تهران ۱۳۷۲ .
- ۱۵- دفتر نظارت و هماهنگی - حوزه معاونت زمین شناسی و اکتشاف معدنی وزارت معادن و فلزات
'تیتان' وزارت معادن و فلزات تهران - ۱۳۶۴ .

۱۶- مهدی ایران نژاد 'مطالعات کانه آرای ایلمنیت کهنوج مربوط به پایان نامه کارشناسی ارشد' دانشگاه صنعتی امیر کبیر - تهران - ۱۳۶۹.

۱۷- شرکت مشاور تحقیقات ملی خاک خوب، طرح تدوین استراتژی مواد معدنی 'تیتانیوم' - ۱۳۷۴.

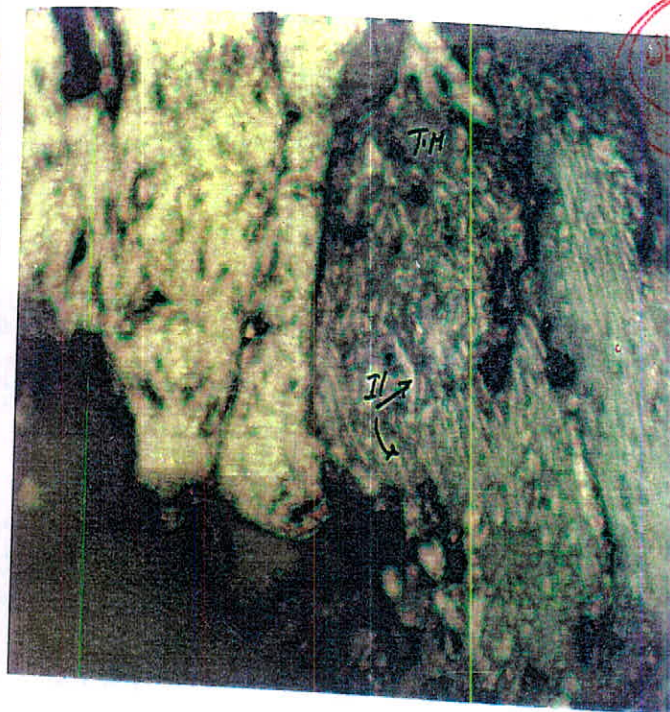
۱۸- گروه مهندسی متالورژی و مواد دانشکده فنی دانشگاه تهران - بررسی و تحقیق در زمینه تولید سرباره با مشخصات قابل قبول از کنسانتره ایلمنیت و مخلوط آن با کنسانتره تیتانومینیت - ۱۳۷۶.

پیوست‌ها

BH2

× 200

ایلمنیت II با اشکال خاص انگشت مانند Finger Like
در زمینه کانی های سیلیکاتی شفاف T.M

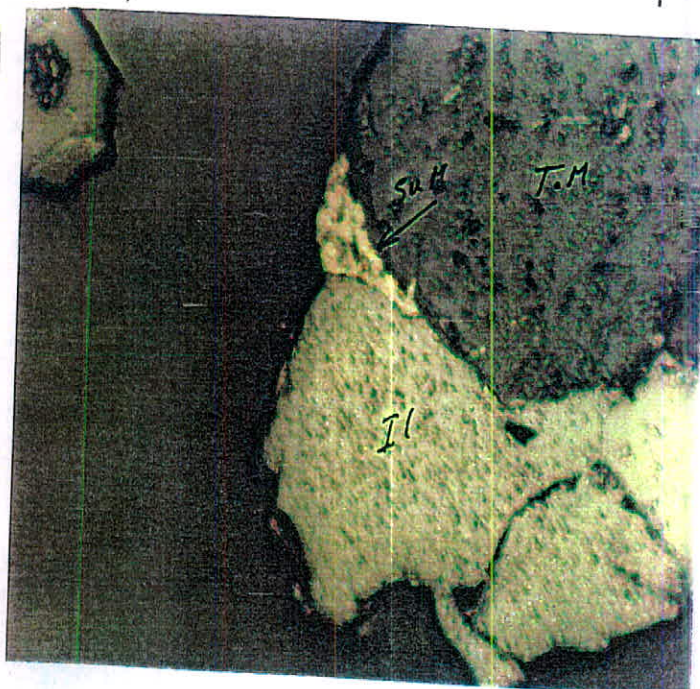


1

BH2

× 200

ایلمنیت II درگیر با کانی های سیلیکات T.M
که در مرز بین این دو کانی های سولفوری Su.m
احتمالا پیروتین حائل شده است.

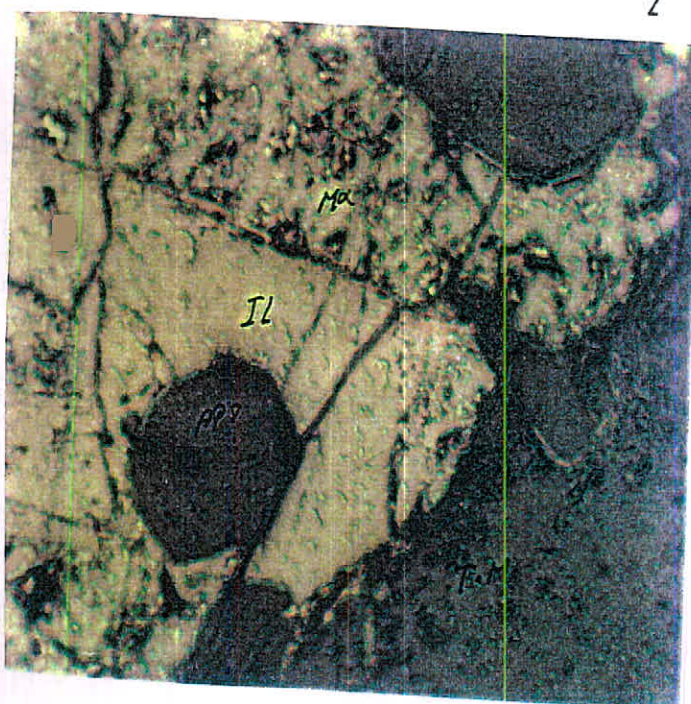


2

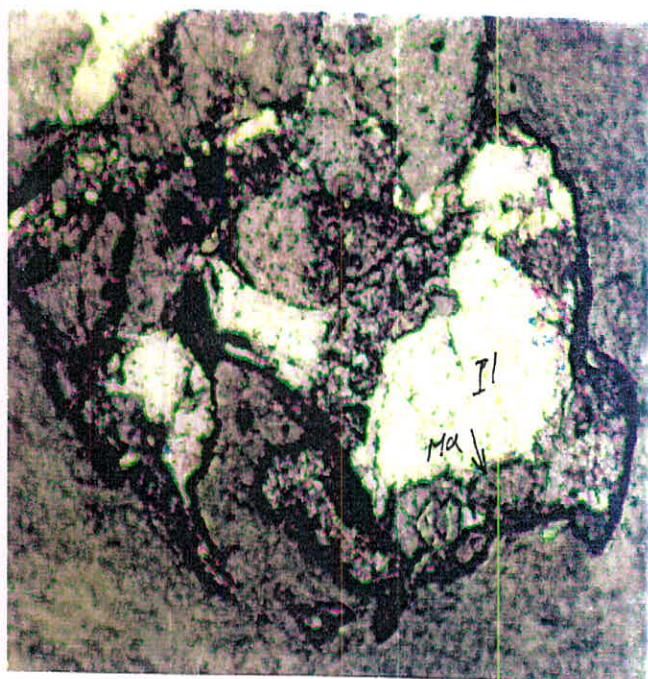
BH2

× 200

قطعات مشکوک به آپاتیت AP در ایلمنیت II درگیر
با منیتیت Ma مجاور کانی های T.M.



3



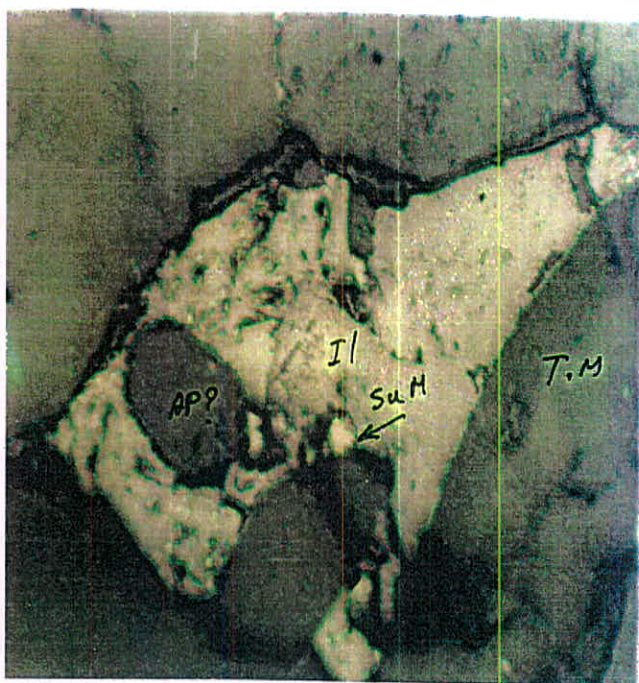
4

پ ۲

BH2

×100

ایلمنیت II محصور در منیتیت Ma که توسط کنده کاری با اسید بخش های منیتیت خورده شده است. کانی های سولفوری در تصویر وجود دارد.

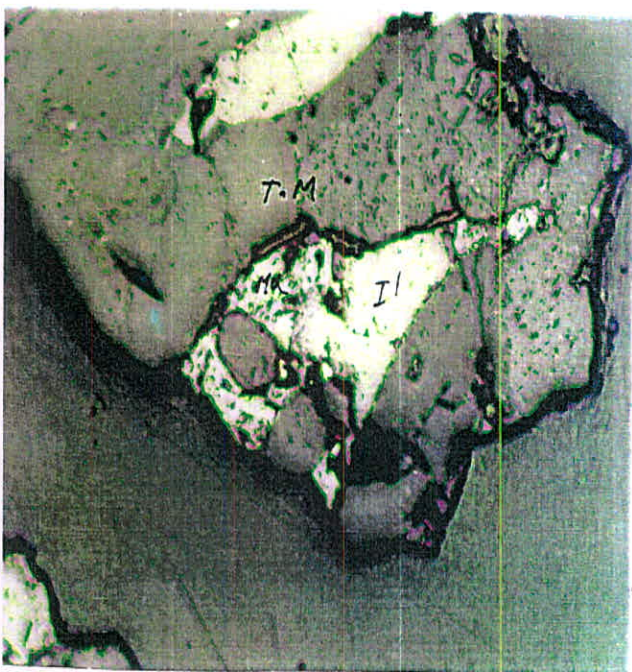


5

BH2

× 200

ایلمنیت II حاوی اذخال های کانی های سولفوری Su.M و احتمالا آپاتیت AP ؟ که مجموعه در زمینه سیلیکات ها T.M محصور گردیده است.

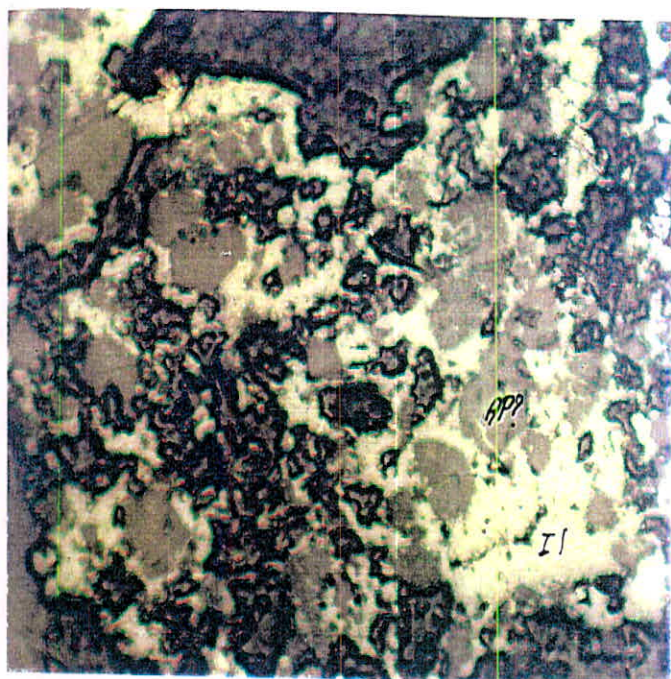


6

BH2

×100

ایلمنیت II بصورت در گیر با منیتیت Ma و مجموعه در زمینه سیلیکات ها T.M مشاهده می شود.



پ ۳

BH2

× 200

ایلمنیت II حاوی اذخال های متعدد از کانی های
شفاف احتمالا آپاتیت AP ؟

7



BH2

× 100

ایلمنیت II در گیر با منیتیت Ma و همراه با کانی های
شفاف سیلیکاتی T.M. قطعات خاکستری داخل منیتیت
و ایلمنیت احتمالا آپاتیت است؟

8



BH2

× 100

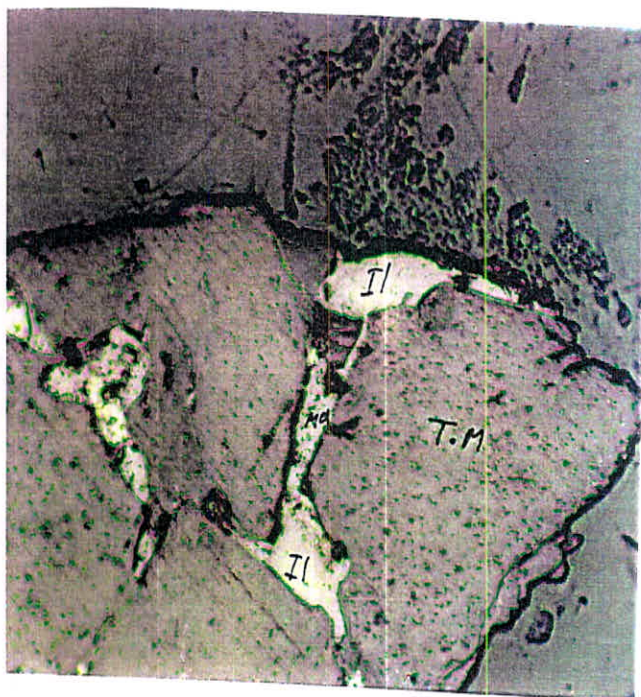
ایلمنیت II در زمینه کانی های شفاف سیلیکاتی T.M.
در اطراف ایلمنیت هاله های ناشی از دگر سانی از سیلیکات
مشهود است.
A.P : هاله ای ناشی از دگر سانی در سیلیکات

۴ پ

BH2

×100

ایلمنیت II و مانیتیت Ma در همراهی نزدیک
و به صورت بین بلوری در فضای بین کانی های
شفاف سیلیکاتی T.M



10

BH2

×100

قطعات II محصور در مانیتیت Ma که خود در
زمینه کانی های سیلیکاتی واقع است T.M

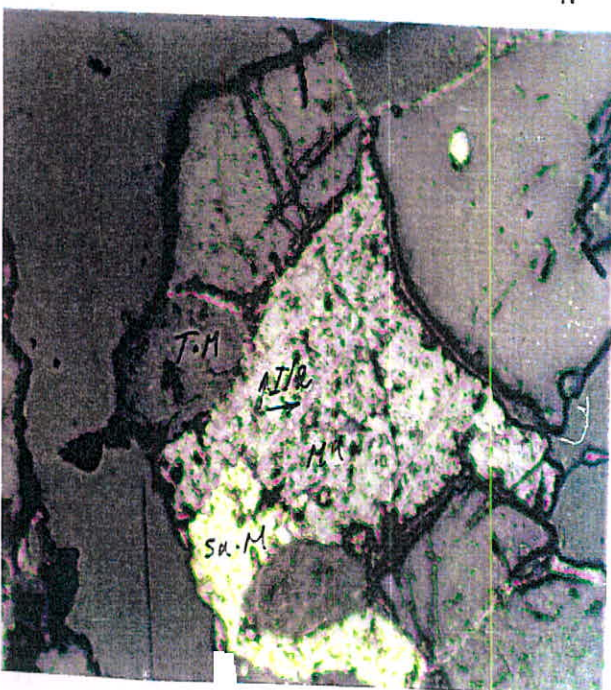


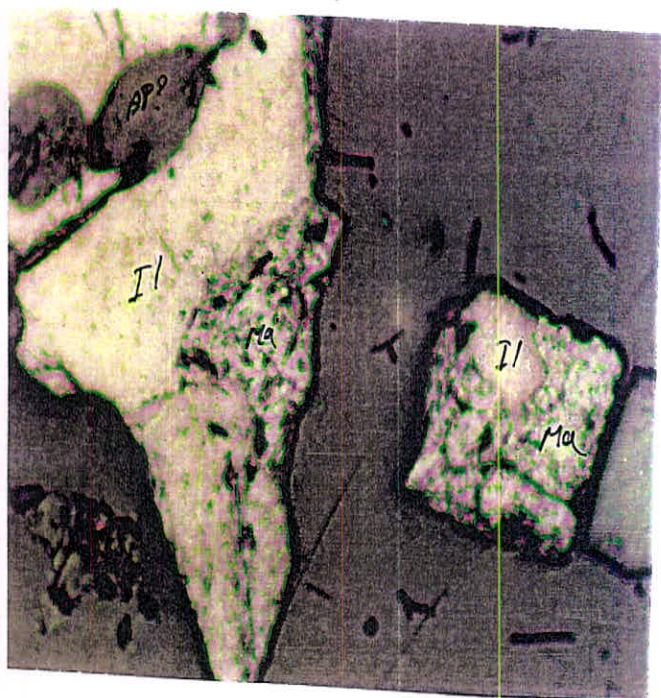
11

BH2

×100

ایلمنیت با اشکال تیغه ای II2 در زمینه مانیتیت
Ma کانی های سولفوری Su.M و کانی های
سیلیکاتی T.M در گیر با آنها





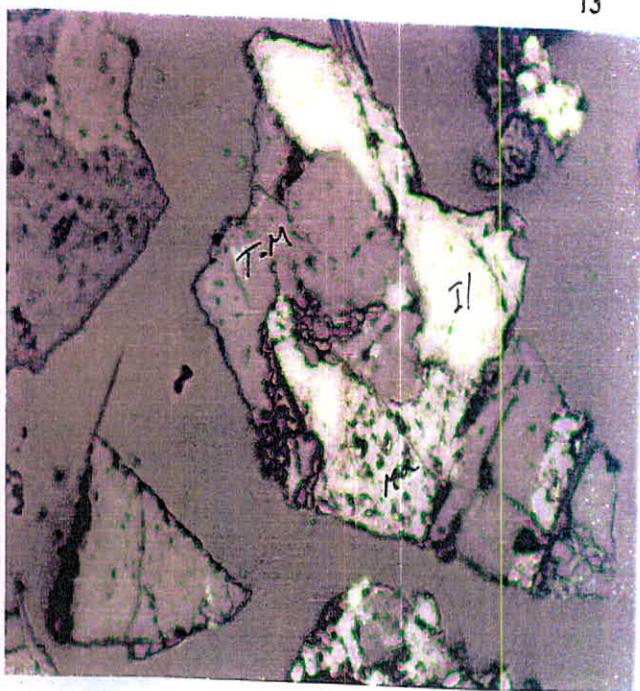
13

پ ۵

BH2

× 100

ایلمنیت II، مانیتیت Ma، آپاتیت AP ؟
در اثر کنده کاری توسط اسید، مانیتیت دارای
سطح خورده شده است.

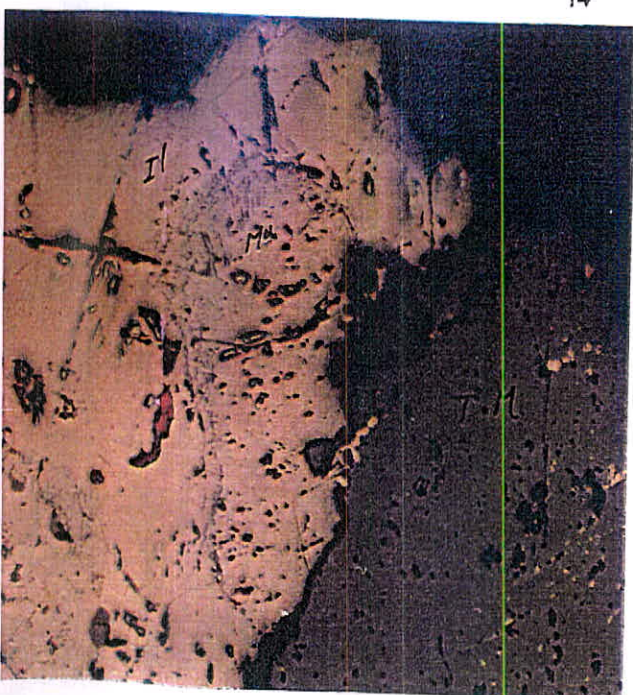


14

BH2

× 100

ایلمنیت II و مانیتیت Ma درگیر با سیلیکات ها T.M

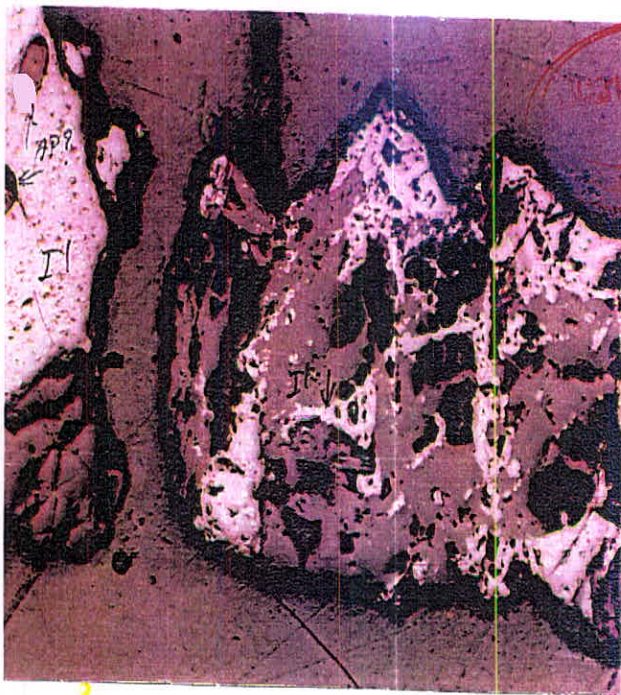


15

+20 G

× 200

ایلمنیت II، مانیتیت Ma، کانی های شفاف
(کانگ) T.M در همراهی نزدیک.
به اذخالیهای بسیار ریز کانیهای شفاف در اکسیدهای
فلزی توجه شود.



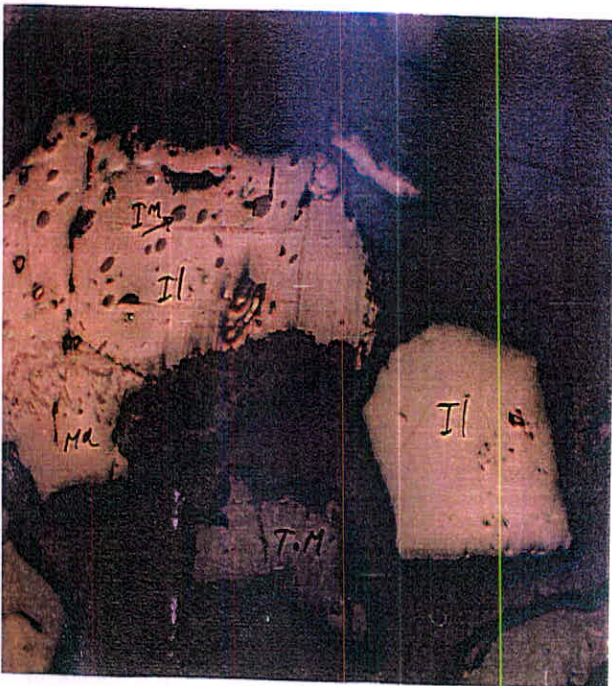
16

پ ۶

+30 G

$\times 100$

ایلمنیت II، بصورت صفحه ای و به صورت رگچه مانند
در زمینه کانی های شفاف T.M



17

+ 150 G

$\times 200$

ایلمنیت II، بصورت آزاد و ایلمنیت به صورت درگیر با
ماینیت Ma ضمناً ادخال های کوچکی Im از کانی های
شفاف در ایلمنیت وجود دارد.

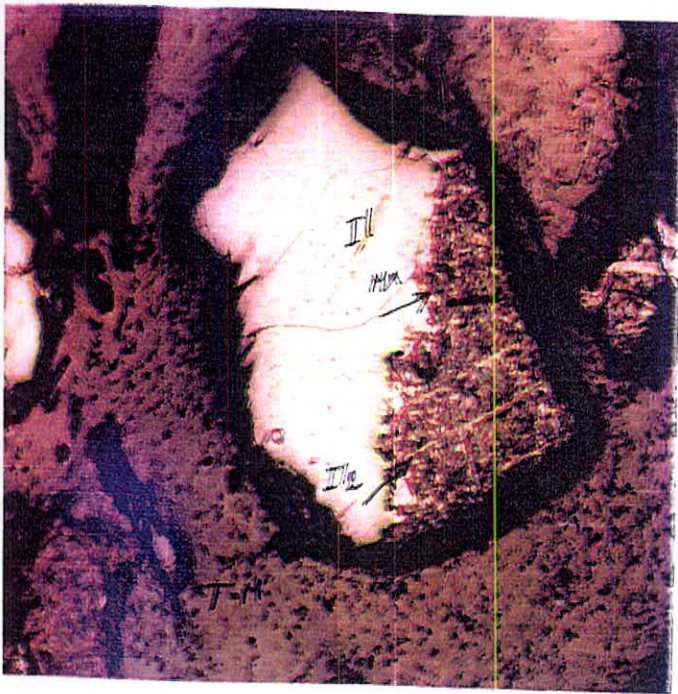


18

+ 50 G

$\times 63$

ایلمنیت II، بصورت قطعات مستقل و نیز به صورت درگیر
با کانی های شفاف TM با الگوهای خاص Finger Like

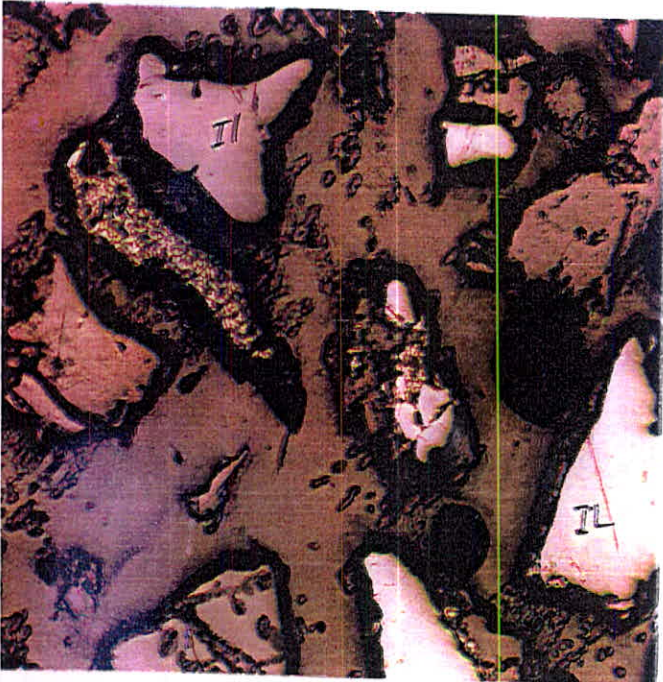


19

+50 F

× 100

مورد مشخص از ایلمنیت II صفحه ای و نوع
تیغه ای II2 درگیر با مانیتیت Ma و هم به صورت
ناآمیختگی در آن.
نمونه کنده کاری شده است.
T.M. کانی های شفاف

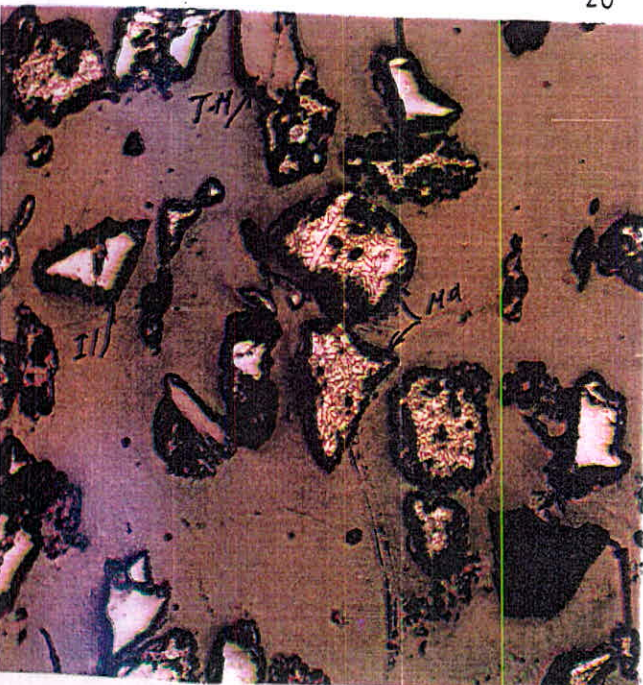


20

+ 70 F

× 100

قطعات مستقل ایلمنیت II، مانیتیت Ma و نیز
قطعات درگیر این دو.
مانیتیت بواسطه کنده کاری با اسید کاملاً متمایز است

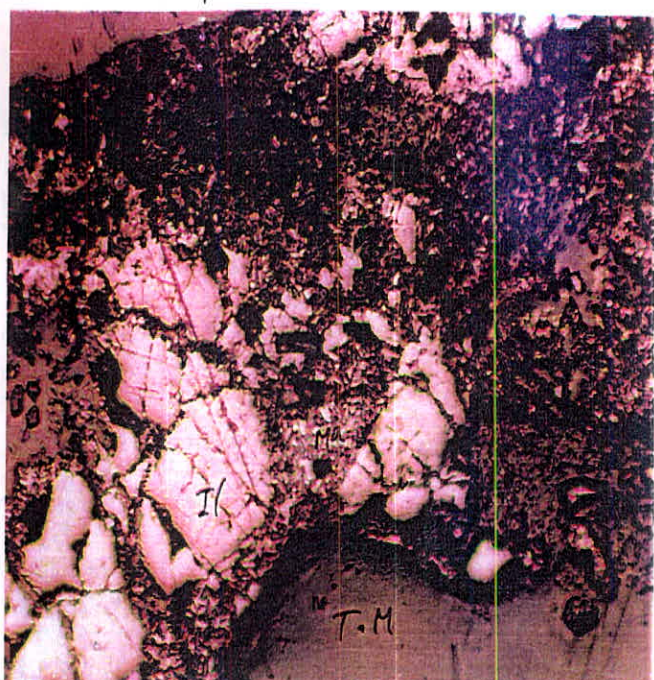


21

+ 150 FMD

× 100

قطعات مستقل ایلمنیت II، مانیتیت Ma و هم
قطعات درگیر این دو و تیغه های ایلمنیت در زمینه
نیست، کانی های شفاف T.M.
کنده کاری سبب مشخص تر شدن قطعات مانیتیت
گردیده است.



22

پ ۸

+12 F

× 100

ایلمنیت Il ، درگیر با مانییت Ma که به واسطه
کنده کاری کاملاً متمایز گردیده است. ضمناً به
یافت شدیداً خرد شده نمونه دقت شود.

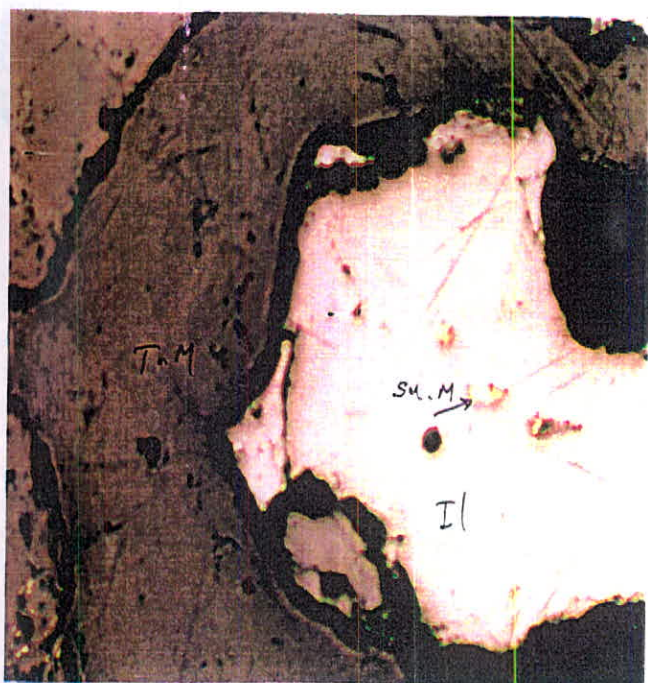


23

+ 30 F

× 200

ادخال های ریز قطره مانند کانی های سولفوری Su.M
و احتمالاً انکلوژیونهای آپاتیت ؟ AP در مانییت Ma که
ضمناً حاوی تینه های ایلمنیت بوده و در مجاورت آن نیز
ایلمنیت بوده و در مجاورت آن نیز ایلمنیت صفحه ای
وجود دارد.

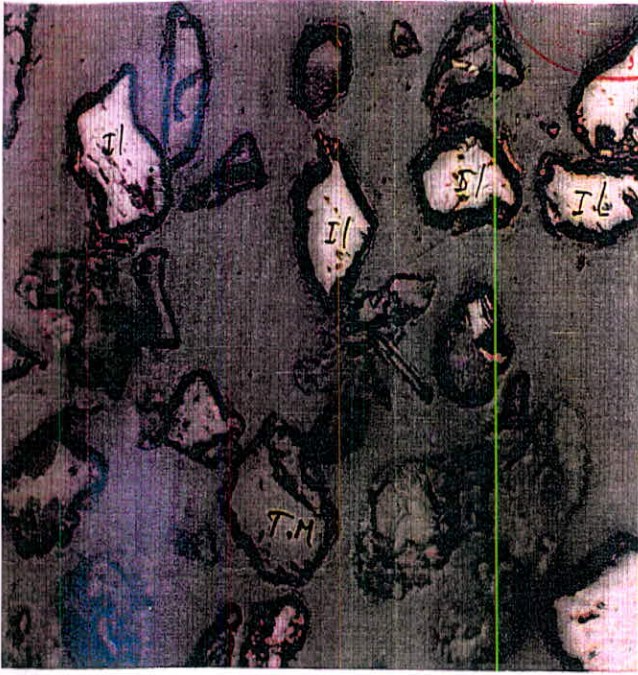


24

+ 50 F

× 100

ادخال های ریز و قطره مانند از کانی های سولفوری
Su.M در زمینه ایلمنیت .



25

+275 F

× 200

قطعات آزاد ایلمنیت II و قطعات مستقل کانی های

شفاف (گانگ) T.M



26

+ 150 F

× 100

قطعات مستقل II ایلمنیت، مانتیت Ma ،

کانی های شفاف T.M

مانتیت به واسطه کنده کاری با اسید کاملاً

متمایز است.

