**بسمه تعالی**

# دانشکدهٔ فنی‌ومهندسی

# گروه معدن – استخراج

## پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته معدن

## موضوع:

# برنامه ریزی تولید و تعیین تعداد بهینه کارگاه های استخراج معدن تیتانیوم قره آغاج ارومیه

**استاد راهنما:**

**دکتر جعفر عبدالهی شریف**

**اساتید داور:**

**دکتر حسن مومیوند** **دکتر رامین نیکروز**

**تنظیم و نگارش:**

**مهدی مخبردوران**

**زمستان۹۱**

تقدیم به پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی را به نحو احسن به اتمام برسانم.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا  بر منتهای همت خود کامران شدم

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق »بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر جعفر عبدالهی‌شریف که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کار ساز و سازنده بارور ساختند ; تقدیر و تشکر نمایم. (و یزکیهم و یعلمهم الکتاب و الحکمه).

معلا مقامت ز عرش برتر باد  همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

به نکته های دلاویز و گفته های بلند  صحیفه های سخن از تو علم پرور باد

## چکیده

وزن مخصوص کم نسبت به آهن، قابلیت خورندگی کم و مقاومت بالای تیتانیوم این فلز را تبدیل به عنصری مهم و پرکاربرد در صنایع مختلف همچون؛ رنگ‌سازی به عنوان پیگمنت یا رنگ‌دانه(کشورهای اروپایی، چین و اوکراین بزرگ‌ترین تولیدکننده پیگمنت در جهان)، لاستیک سازی ، مرکب و جوهرسازی، آلیاژهای فولادی و صنایع پزشکی کرده و آن را عنوان فلز قرن مطرح ساخته است. تقاضا و گسترش روزافزون این صنایع، سرمایه‌گذاری و توسعه معدنکاری برای ذخایر موجود و بالقوه را توجیه‌پذیر می‌نماید. هم‌اکنون در کشور عزیزمان ایران دو معدن روباز، تیتانیوم‌کهنوج واقع در استان کرمان( فاز بهره‌برداری) و قره‌آقاج ارومیه واقع در استان آذربایجان‌غربی (فاز طراحی) از ذخایر عظیم این مادهٔ معدنی بشمار می‌آیند. در طراحی معادن روباز پس از تعیین حد نهایی، فازهای عملیاتی عمر معدن تعیین می‌شوند. در این پروژه داده‌های مورد نیاز از ۲۸ گمانهٔ اکتشافی و ۱۱ ترانشهٔ حفاری شده در محدودهٔ معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه جمع‌آوری شده و بعد از تهیهٔ ۴ فایل اصلی شامل اطلاعات عیار، عمق، نقشه‌برداری و زمین‌شناسی،کانسار با استفاده از نرم افزار Micromine ۱۱ شبیه‌سازی و مدل بلوکی آن تهیه شد. سپس کد کامپیوتری ویژه‌ایی با زبان برنامه نویسی C++ و براساس الگوریتم مخروط شناور سه بعدی Berlang تدوین شد. این کد که قابلیت تولید و گسترش تک امتدادی و ایزوتروپیک مخروط پایه را دارد، برای تعیین محدودهٔ اقتصادی پیت بهینهٔ کانسار تیتانیوم قره‌آغاج ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. در مرحلهٔ بعدی با استفاده از اطلاعات اقتصادی، هفت مدل بلوکی اقتصادی با عیارهای حد ۲/۴، ۳، ۳/۵،...، ۵/۵ درصد، شبیه‌سازی شد. نهایتاً تعداد کارگاه‌های استخراجی در هر افق عملیاتی برای هر پوش‌بک تعیین شد. براساس یافته‌های حاصل از این پژوهش هفت فاز مجزا برای استخراج کانسار قابل پیش بینی است. ارزش خالص فعلی برای هر فاز به ترتیب اولویت برابر با ۵۳۰، ۴۵۴، ۴۴۴، ۴۳۹، ۴۳۰، ۴۱۸، ۴۰۵ هزار ریال بر تن مادهٔ معدنی می‌باشد.



واژه‌های کلیدی: تیتانیوم، شبیه‌سازی، مدل بلوکی اقتصادی، الگوریتم مخروط شناور سه‌بعدی، پوش‌بک

# فهرست مطالب


**۱- فصل اول کلیات و آشنایی**

۱-۱- تاریخچهٔ تیتانیوم ..... ۱
۱-۲- مشخصات فیزیکی و مکانیکی و شیمیایی تیتانیوم ..... ۱
۱-۳- مصارف عمدهٔ تیتانیوم ..... ۲
۱-۴- انواع کانسارهای تیتانیوم در جهان ..... ۴
۱-۵- انواع کانسارهای تیتانیوم در ایران ..... ۴
۱-۶- میزان واردات اکسیدتیتانیوم به ایران در پنج سال اخیر ..... ۶
۱-۷- میزان صادرات اکسیدتیتانیوم از ایران در پنج سال اخیر ..... ۹

**۲- فصل دوم برنامه‌ریزی تولید**

۲-۱- آشنایی با برنامه‌ریزی تولید ..... ۱۰
۲-۲- ضرورت و اهمیّت برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز ..... ۱۱
۲-۳- افق‌های برنامه‌ریزی ..... ۱۱
۲-۳-۱- برنامه‌ریزی بلند مدت ..... ۱۱
۲-۳-۲- برنامه‌ریزی میان‌مدت ..... ۱۳
۲-۳-۳- برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت ..... ۱۳
۲-۴- اهداف برنامه‌ریزی تولید ..... ۱۴
۲-۵- پارامترهای برنامه‌ریزی تولید ..... ۱۴
۲-۶- شیوه‌نامهٔ اجرایی برنامه‌ریزی تولید ..... ۱۵
۲-۷- بررسی روش‌های ارائه شده برای حل مسئلهٔ برنامه‌ریزی تولید معادن روباز ..... ۱۷
۲-۷-۱- مقدمه ..... ۱۷
۲-۷-۲- فورمولاسیون برنامه‌ریزی خطی (LP) ..... ۱۸
۲-۷-۳- فورمولاسیون برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی(MIP) ..... ۲۰
۲-۷-۴- فورمولاسیون برنامه‌ریزی عدد صحیح(IP) ..... ۲۱
۲-۷-۵- فورمولاسیون برنامه‌ریزی دینامیک یا پویا ..... ۲۷
۲-۷-۶- روش‌های فراابتکاری ..... ۳۵
۲-۷-۷- معایب عمومی الگوریتم‌های مبتی بر قطعیت عیار ..... ۳۶
۲-۸- روش‌های مبتنی بر عدم قطعیت عیار برای برنامه‌ریزی تولید معادن روباز ..... ۳۶

**۳- فصل سوم: شبیه سازی کانسار تیتانیوم قره‌آغاج ارومیه**


۳-۱- موقعیت معدن تیتانیوم قره‌آغاج ..... ۵۴
۳-۲- شرایط آب و هوایی منطقه ..... ۵۵
۳-۳- شرایط زمین‌شناسی منطقه ..... ۵۵
۳-۳-۱- سنگ‌های دگرگونی پر کامبرین ..... ۵۶
۳-۳-۲- شیل و ماسه سنگ‌های میکاسه با میان لایه‌های دولومیتی کامبرین ..... ۵۷
۳-۳-۳- ماسه سنگ‌های درود پرمین ..... ۵۷
۳-۳-۴- سنگ های آهکی روته پرمین ..... ۵۷
۳-۳-۵- واحد ماسه سنگ و میکروکنگلومرا، الیگومیوسن ..... ۵۸
۳-۳-۶- نهشته‌های جوان کواترنری ..... ۵۸
۳-۳-۷- مجموعهٔ آذرین اولترامافیک – مافیک منطقه ..... ۵۹
۳-۳-۸- سنگ‌های اولترامافیک آلکالن با ترکیب ورلیت ..... ۵۹
۳-۴- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه ..... ۵۹
۳-۵- ژئومورفولوژی منطقه ..... ۶۰
۳-۶- ژنز کانسار ..... ۶۱
۳-۷- گسل‌ها ..... ۶۲
۳-۸- چین‌خوردگی ها ..... ۶۲
۳-۹- درزه‌ها ..... ۶۳
۳-۱۰- خلاصهٔ کارهای اکتشافی انجام شده برروی گسترهٔ کانسار ..... ۶۵
۳-۱۱- شبیه‌سازی کانسار تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه برای تهیهٔ مدل بلوکی زمین‌شناسی ..... ۶۶


**۴- فصل چهارم: مدل بلوکی اقتصادی معدن تیتانیوم قره‌آغاج ارومیه**


۴-۱- تهیهٔ مدل بلوکی اقتصادی از مدل بلوکی زمین‌شناسی ..... ۷۴
۴-۱-۱- تعیین هزینهٔ استخراج یک تن مادهٔ معدنی ..... ۷۴
۴-۱-۲- تعیین هزینهٔ استخراج یک تن باطله ..... ۷۵
۴-۱-۳- تعیین هزینهٔ فرآوری یک تن مادهٔمعدنی ..... ۷۵
۴-۱-۴- تعیین هزینهٔ ذوب و تغلیظ یک تن مادهٔ معدنی ..... ۷۵
۴-۲- تعیین قیمت فروش یک تن مادهٔ معدنی ..... ۷۵
۴-۳- تعیین ارزش خالص برای هر بلوک ..... ۷۶
۴-۴- تعیین حد نهایی فازها با استفاده از مدل بلوکی اقتصادی ..... ۷۶
۴-۵- مدل اقتصادی معدن تیتانیوم قره‌آغاج ارومیه ..... ۷۷
۴-۶- تهیهٔ برنامهٔ کامپیوتری مخروط شناورسه بعدی ..... ۸۰
۴-۷- تعیین فازهای عملیاتی معدن در برنامه‌ریزی بلند مدت ..... ۸۱

۴-۸- فازهای عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۵
۴-۸-۱- اولین فاز عمیاتی در برنامه ریزی تولید بلند مدت ..... ۸۵
۴-۸-۲- دومین فاز عملیاتی در برنامه‌ریزی تولید بلند مدت ..... ۸۶
۴-۸-۳- سومین فاز عملیاتی در برنامه‌ریزی بلند مدت ..... ۸۶
۴-۸-۴- چهارمین فاز عملیاتی در برنامه‌ریزی بلندمدت ..... ۸۷
۴-۸-۵- پنجمین فاز عملیاتی دربرنامه‌ریزی بلندمدت ..... ۸۷
۴-۸-۶- ششمین فاز عملیاتی در برنامه‌ریزی بلندمدت ..... ۸۸
۴-۸-۷- فاز آخر عملیاتی در برنامه‌ریزی تولید بلند مدت ..... ۸۸
۴-۹- جمع بندی فازهای عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۹
۴-۱۰- تعیین تعداد بهینهٔ کارگاه‌های استخراجی برای معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۹۰

**۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۹۲**

## فهرست جداول

جدول ۳-۱- مختصات رئوس جغرافیایی معدن..... ۵۵
جدول ۴-۱- سود حاصل از عیارهای متفاوت..... ۷۹
جدول ۴-۲ مشخصات اولین فاز عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۵
جدول ۴-۳- مشخصات دومین فاز عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۶
جدول ۴-۴- مشخصات سومین فاز عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۶
جدول ۴-۵- مشخصات چهارمین فاز عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۷
جدول ۴-۶- مشخصات پنجمین فاز عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۷
جدول ۴-۷- مشخصات ششمین فاز عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۸
جدول ۴-۸- مشخصات آخرین فاز عملیاتی معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۹
جدول ۴-۹- مشخصات کلی پوش‌بک‌های معدن تیتانیوم قره‌آغاج اورمیه ..... ۸۹
جدول ۴-۱۰- تعداد کارگاه‌های استخراجی اصلی و فرعی معدن تیتانیوم قره‌آغاج ارومیه..... ۹۰

## فهرست اشکال

شکل ۱-۱- واردات دی‌اکسیدتیتانیوم در سال ۱۳۹۱ ..... ۶
شکل ۱-۲- واردات دی‌اکسیدتیتانیوم در سال ۱۳۹۰ ..... ۶
شکل ۱-۳- واردات دی‌اکسید تیتانیوم در سال ۱۳۸۹ ..... ۷
شکل ۱-۴- واردات دی‌اکسیدتیتانیوم در سال ۱۳۸۸ ..... ۷

شکل ۱-۵- واردات دی‌اکسیدتیتانیوم در سال ۱۳۸۷ ..... ۸
شکل ۱-۶- واردات دی‌اکسیدتیتانیوم سال ۱۳۸۶ ..... ۸
شکل ۱-۷- میزان صادرات اکسیدتیتانیوم از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۱ ..... ۹
شکل ۲-۱-تعیین قسمت‌های قابل استخراج پیت با تغییر قیمت و یا سایر هزینه‌های تولید ..... ۱۲
شکل ۲-۲- تعیین فاز اول معدن‌کاریدر معادن روباز ..... ۱۲
شکل ۲-۳- الگوریتم حل مسئلهٔ بهینه‌سازی پیت ..... ۱۶
شکل ۲-۴- نمایش شبکه با مدل بلوکی دو بعدی در روش خوشه چینی ..... ۲۵
شکل ۲-۵- سه درخت اصلی برای برنامه‌ریزی تولید در روش خوشه چینی ..... ۲۵
شکل ۲-۶- نمایش گرافیکی از مسئلهٔ برنامه‌ریزی تولید ..... ۲۸
شکل ۲-۷- مثالی برای شناسایی ترتیب استخراج بلوک‌ها در روش برنامه‌ریزی دینامیک ..... ۳۰
شکل ۲-۸- نمایش مفهوم گراف برای یک مدل بلوکی دو بعدی ..... ۳۱
شکل ۲-۹- روند ارزیابی ریسک در معادن روباز ..... ۳۸
شکل ۲-۱۰- راه حل بهینهٔ درون ناحیهٔ راه‌حل عملی ..... ۴۰
شکل ۲-۱۱- پنجرهٔ بیرونی و درونی دور بلوک i در روش‌های مبتنی بر عدم قطعیت عیار ..... ۴۳
شکل ۲-۱۲- چهار مدل شبیه‌سازی شده با احتمال مساوی ..... ۴۸
شکل ۲-۱۳- برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی برروی مدل فرضی ..... ۴۹
شکل ۳-۱- کروکی راه‌های دسترسی به معدن ..... ۵۴
شکل ۳-۲- نمودار رزدیاگرام بر اساس امتداد درزه‌های سنگ‌های مافیک ..... ۶۴
شکل ۳-۳- نمودار رزدیاگرام بر اساس امتداد درزه‌های سنگ‌های مافیک ..... ۶۵
شکل ۳-۴- تصحیح داده‌های ورودی ..... ۶۷
شکل ۳-۵- گمانه‌ها و ترانشه‌های اکتشافی ..... ۶۸
شکل ۳-۶- سطح زمین به‌صورت خطوط تراز توپوگرافی ..... ۶۸
شکل ۳-۷- سطح زمین به صورت سه بعدی ..... ۶۹
شکل ۳-۸- برش‌های مختلف از مادهٔ معدنی در امتداد گمانه‌های اکتشافی ..... ۶۹
شکل ۳-۹- نمایی از شکل سه بعدی مادهٔ معدنی ..... ۷۰
شکل ۳-۱۰- مدل بلوکی بلوکی زمین‌شناسی حاوی عیار مادهٔ معدنی ..... ۷۱
شکل ۴-۱- یک افق از مدل بلوکی اقتصادی شبیه‌سازی شده ..... ۷۸
شکل ۴-۲- بزرگ نمایی افق مورد بحث از مدل بلوکی اقتصادی شبیه‌سازی شده ..... ۷۸
شکل ۴-۳-نمایی از برنامهٔ مخروط شناور سه‌بعدی تهیه شده ..... ۸۰
شکل ۴-۴- مدل بلوکی با عیار ۲/۴ درصد ..... ۸۱
شکل ۴-۵- مدل بلوکی با عیار ۳ درصد ..... ۸۱
شکل ۴-۶- مدل بلوکی با عیار ۳/۵ درصد ..... ۸۲
شکل ۴-۷- مدل بلوکی با عیار ۴ درصد ..... ۸۲

شکل ۴-۸- مدل بلوکی با عیار ۴/۵ درصد ..... ۸۳
شکل ۴-۹- مدل بلوکی با عیار ۵ درصد ..... ۸۳
شکل ۴-۱۰مدل بلوکی با عیار ۵/۵ درصد ..... ۸۴
شکل ۴-۱۱- حد نهایی پیت با عیار ۵/۵ درصد ..... ۸۵
شکل ۴-۱۲- حد نهایی پیت با عیار ۲/۴ درصد ..... ۸۸

## مقدمه

## مقدمه

روش استخراج روباز جزء مهم‌ترین روش‌های استخراج ذخایر سطحی است و بیش از ۷۰٪ مواد معدنی در جهان با این روش استخراج می‌شوند. در این روش استخراج، بعد از مثبت بودن نتیجهٔ مطالعات اقتصادی معدن سعی می‌شود به دو مسالهٔ زیر پاسخ داده شود:

- ✓ طراحی محدودهٔ نهایی
- ✓ مسالهٔ برنامه‌ریزی تولید

در طراحی محدودهٔ نهایی معدن هدف مشخص کردن محدوده‌ای از کاواک بر مبنای عیار حد سربه‌سری است. بعد ازتعیین محدودهٔ نهایی باید برنامه‌ریزی درون این محدوده انجام شود که به آن برنامه‌ریزی تولید گفته می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی تولید معادن روباز عبارت است از پیدا کردن ترتیبی از استخراج بلوک‌های واقع در محدودهٔ نهایی، به‌طوری‌که با در نظر گرفتن تمام محدودیت‌های استخراجی و عملیاتی، بالاترین ارزش اقتصادی عاید معدن شود.

اهمیت مسالهٔ برنامه‌ریزی تولید زمانی مشخص می‌شود که هرگونه خطا و اشتباه در این مرحله تاثیر به سزایی در کاهش کیفیت تولید کانسنگ و در نتیجه اقتصاد معدن خواهد گذاشت. با مشخص شدن برنامه‌ریزی تولید اولیه، باید برنامه‌ریزی برای استخراج کانسنگ در دوره‌های زمانی مختلف صورت گیرد. هریک از این برنامه‌ریزی‌ها از نظر اهداف، محدودیت‌ها و طول دورهٔ برنامه‌ریزی با یکدیگر متفاوت می‌باشند. به‌طور مثال در برنامه‌ریزی تولید بلند مدت هدف بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی پروژهٔ معدنی است. اما یکی از اهداف مهم برنامه‌ریزی، تعیین فازهای عملیاتی یا همان تعیین پوش بک‌های برنامه‌ریزی تولید بلند مدت است.

در این پروژه تلاش شد، فازهای عملیاتی یا همان پوش‌بک‌های استخراجی در برنامه‌ریزی تولید بلند مدت معدن تیتانیوم قره‌آغاج واقع در ۳۶ کیلومتری شمال‌غرب شهرستان اورمیه، تعیین و در مرحلهٔ بعد تعداد کارگاه‌های استخراجی برای تأمین خوراک با عیار ۶٪ کارخانهٔ فرآوری معدن محاسبه شود. بدین منظور این پایان‌نامه در چهار فصل به شرح زیر تنظیم گردید.

فصل یک شامل مفاهیم کلی در رابطه با تیتانیوم، اهمیت تیتانیوم در جهان و ایران و یک سری آمار در رابطه با واردات پیگمنت‌های تیتانیوم به کشور و همچنین آمار صادرات از کشور می‌باشد.

در فصل دوم بررسی جامعی بر مدل‌ها، الگوریتم‌ها و فورمولاسیون که برای حل مساله برنامه‌ریزی تولید توسط محققین مختلف ارائه شده، بعمل آمده‌است.

فصل سوم شامل مطالعهٔ موردی بر روی معدن تیتانیوم قره‌آغاج ارومیه است که در این فصل، مدل‌سازی کانسار و تعیین مدل بلوکی از کانسار مد نظر قرار گرفته‌است.

در فصل چهارم با تهیهٔ برنامهٔ کامپیوتری مخروط شناور سه بعدی توسط نگارنده اقدام به پیاده‌سازی برنامه بر روی مدل بلوکی اقتصادی و تعیین فازهای عملیاتی استخراجی معدن شد. در آخر مطلب هم با استفاده از اطلاعات بدست آمده از مدل‌های بلوکی قابل استخراج اقدام به تعیین تعداد کارگاه‌های استخراجی در هر افق از گسترهٔ مادهٔ معدنی شده است.

فصل پنجم در این پایان‌نامه شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادات در رابطه با معدن تیتانیوم قره‌آغاج ارومیه می‌باشد.

# فصل اول

# ۱- فصل اول کلیات و آشنایی

## ۱-۱- تاریخچهٔ تیتانیوم

تیتانیوم در انگلستان به‌وسیله گریگور[۱] در سال ۱۷۹۱ کشف شد و او این عنصر را به‌عنوان یک عنصر جدید در ایلمنیت شناسایی نمود. این عنصر چندین سال بعد توسط شیمیست آلمانی کلاپروت[۲]در ذخایر روتیل مجدداً کشف شد. تیتانیوم فلزی خالص (۹۹/۹٪) اولین بار در سال ۱۹۱۰ توسط هانتر[۳]به‌وسیله حرارت تتراکلریدتیتانیوم ($TiCl_4$) با سدیم در یک بمب فلزی در ۸۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. در موارد استفاده پودر اکسیدتیتانیوم($TiO_2$) (فرم پالایش یافته روتیل)، محصول نهایی در آبراهه پیوسته‌ای از مذاب مناسب تیتانیوم برای استفاده سریع در تولید آلیاژهای اقتصادی است.[۱]

## ۱-۲- مشخصات فیزیکی و مکانیکی و شیمیایی تیتانیوم

تیتانیوم نهمین عنصر فراوان (از نظر وزنی) در پوستهٔ زمین و کرهٔ ماه است. فراوانی تیتانیوم در پوستهٔ زمین (وزنی) ۰/۶۳٪ است. تیتانیوم عنصری است سبک، مقاوم و دارای جلا به رنگ سفید-نقره‌ای با نماد Ti، عدد اتمی ۲۲، وزن اتمی ۴۷/۸۸، وزن مخصوص ۴/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۶ در مقیاس موس، نرم، نقطه جوش ۳۲۸۷ درجه سانتی‌گراد و نقطهٔ ذوب ۱۶۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تیتانیوم در گروه ۴ جدول تناوبی به عنوان فلز هادی[۴]بوده و در دوره ۴ قرار دارد. فلز تیتانیوم از طریق فرآیندهای شیمیایی بسیار کنترل‌شده تولید می‌گردد و نسبت به دیگر فلزات نظیر آلومینیوم و فولاد بسیار گران است. تیتانیم یک عنصر لیتوفیل می‌باشد که به آسانی با ۸ الکترون در خارجی‌ترین پوستهٔ اتمی خود تشکیل یون می‌دهد و گرمای تشکیل اکسیدتیتانیوم بیشتر از گرمای تشکیل اکسیدآهن(FeO) می‌باشد.[۲]

---

۱ - William Gregor

۲ - Martin Heinrich Klaproth

۳ - Matthew A.Hunter

۴ - Transition Metals

تیتانیم به‌تنهایی در طبیعت یافت نشده و معمولاً به صورت ترکیب با آهن و اکسیژن و به‌شکل کانی‌های مختلف وجود دارد. این فلز ۶۰٪ سنگین‌تر از آلومینیوم است اما مقاومت آن دو برابر آلومینیوم است، در حالی‌که این خاصیت نشان می‌دهد که تیتان بسیار مقاوم است. این فلز زمانی که در معرض هوا قرار می‌گیرد، پوشش اکسیدی غیرفعالی را می‌سازد. اما زمانی که در یک محیط غنی از اکسیژن قرار می‌گیرد، شکل‌پذیر است. این فلز زمانی که در هوا گرم بشود، می سوزد و تنها عنصری است که می تواند در گاز نیتروژن خالص بسوزد. خنثی بودن تیتانیوم آن‌را به یک فلز مناسب برای استفاده در بخش‌هایی از بدن تبدیل کرده‌است.[۳]

## ۱-۳- مصارف عمدهٔ تیتانیوم

عمده‌ترین مصرف تیتانیوم در صنایع به دو صورت فلزی و دی‌اکسیدتیتانیوم می‌باشد. مصرف فلز آن به‌دلیل مشکلات تهیه و خالص‌سازی آن مصرف چندانی ندارد، اما در عوض مصرف اکسید آن بصورت $TiO_2$ در صنعت کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد، به‌طوریکه ۹۰ درصد از صنایع اولیه، مصرف کننده اکسیدتیتانیوم می‌باشد. امروزه فلز تیتانیوم به‌عنوان یک فلز استراتژیک در موتور و ساختمان داخلی هواپیما، تجهیزات حمل و نقل صنایع شیمیایی، واحدهای مولد برق، صنایع آلیاژی، ساخت زیردریایی‌ها، کارخانه‌های ساخت مواد شیمیایی، دستگاه‌های خنک‌کنندهٔ نیروگاه‌های اتمی و حرارتی و ده‌ها مورد دیگر کاربرد دارد. مصرف عمدهٔ دی‌اکسیدتیتانیوم در صنایع رنگ‌سازی به‌عنوان رنگدانه می‌باشد و هم‌چنین این ماده در صنایع سرامیک، پلاستیک، کاغذ و الکترونیک کاربرد دارد. مصرف این ماده در کشورهای پیشرفته تقریبا ۱۰ برابر کشورهای در حال توسعه می‌باشد.[۴]

فلز تیتانیوم در محیط‌های فرسایشی بسیار مقاوم می‌باشد. تیتانیوم خالص و یا آلیاژهای آن با ناخالصی کم در کارخانه‌های سولفورزدایی مشتقات نفتی، در تجهیزات مربوط به چاه‌های نفت و در اتصالات مورد نیاز و همچنین در موارد پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرفی ورق‌های فولادی با پوشش تیتانیوم هم اکنون در جهان تولید شده که به‌علت خاصیت ضد فرسایشی کاربرد وسیعی در صنعت نفت و در مراحل سولفورزدایی مشتقات نفتی در پالایشگاه‌ها پیدا کرده‌اند. دیگر مصرف عمده این فلزدر صنعت هواپیماسازی است.[۴]

سایر مصارف عمدهٔ تیتانیوم را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

ساخت کاربید تیتانیم، سرامیک، فرآیند شیمیایی و الکتروشیمیایی، ساخت ورقه‌های فلزی و بازیافت آن‌ها، صنعت نفت، سولفورزدایی گاز مایع، نمک‌زدایی آب (تصفیه آب)، ساخت پمپ‌های مخصوص مکش آب از دریا، ساختمان سازی، پزشکی (قطعات تعویضی در بدن، دندانها)، صنایع اتومبیل‌سازی، ساخت انباره‌های مخصوص، جهت نگهداری از موادی نظیر ضایعات اتمی و غیره،

الیاف تقویت کننده جهت استفاده در ترکیبات فلزی، ربوت‌های صنعتی، جواهرسازی، ساخت انواع آلیاژها، ذخیره سازی انرژی، بالا بردن قابلیت هدایت حرارتی آلیاژها، پرکننده، سنگ‌های جواهرات مصنوعی و نرم‌افزار.[۵]

ایلمنیت و اکسیدهای تیتان برای تهیهٔ تیتانیم در آلیاژهای مهم و راهبردی استفاده می‌گردد. آلیاژهای تیتانیم در بدنهٔ هواپیماهای جنگی، سفینه‌های فضایی، موشک‌ها، موتور هواپیماها، ادوات رزمی، توربین‌های گازی، دوچرخه و رایانه‌های کیفی[۱] مورد استفاده قرار می‌گیرند. تیتانیوم اغلب با آلومینیوم، آهن، منگنز، مولیبدن و فلزات دیگر تشکیل آلیاژ می‌دهد.[۴]

ایلمنیت همچنین در تهیهٔ اکسیدتیتانیم که در صنایع رنگ‌سازی، کاغذسازی و پلاستیک به‌عنوان مادهٔ رنگی، براق کردن سطح فلزات، لعاب، لاستیک‌سازی، شیشه، فایبرگلاس، سرامیک، الکتروسرامیک و... مصرف می‌شود، کاربرد دارد.[۴]

تنها در حدود ۵ ٪ تولید سالانهٔ جهانی تیتانیوم صرف تولید فلز تیتانیوم شده و ۹۵٪ باقیمانده در تولید مادهٔ رنگ دی‌اکسیدتیتانیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد .این ماده دارای دو شکل آلوتروپی روتیل و آناتاز است که به‌واسطه رنگ سفید، ضریب شکست بالا ( ۲/۴۹- ۲/۹۰ )، درخشندگی عالی، بی‌اثر ( خنثی بودن ) و مقاومت سایشی و حرارتی بالای آن، درجه دیرگدازی بالا و توان زیاد در توزیع و انتشار یکنواخت در ترکیبات دیگر به عنوان عمده‌ترین مادهٔ اولیهٔ رنگ سفید در صنایع رنگ‌سازی، کاغذسازی، پلاستیک، لاستیک و ... شناخته می‌شود.[۶]

مصارف دارویی :

پودر دی‌اکسیدتیتان ( روتیل ) که از آن پراکسیدتیتان، سالسیلات تیتان و تانات تیتان تهیه می‌کنند، تاثیری همانند اکسید روی بر روی پوست بدن ایجاد می‌کند. دی‌اکسیدتیتان برای التیام سوزش‌های پوستی مورد استفاده قرار می گیرد و منعکس کنندهٔ اشعهٔ ماوراء بنفش خورشید است و بدین جهت در ساختن کرم‌ها و لوسیون‌های ضدآفتاب ( ضد سوختگی ) استفاده می‌شود. از پودر دی‌اکسیدتیتان در ساخت قاب کپسول‌های دارویی و پوشش قرص‌ها نیز استفاده می‌شود.[۷]

۱ - Laptop

## ۱–۴– انواع کانسارهای تیتانیوم در جهان

مهم‌ترین ذخایر اقتصادی تیتان در کانسارهای پلاسری، دریایی و نیز کانسارهای اولیه در سنگ‌های آذرین بازیک تا اولترابازیک است. مهم‌ترین ذخایر تیتان پلاسری در استرالیا، افریقای جنوبی، ایالات متحده آمریکا، هندوستان و سریلانکا قراردارد، در حالی‌که مهم‌ترین ذخایر تیتان اولیه در نروژ، کانادا و آفریقای جنوبی است[۸].

کانسارهای اولیهٔ بی‌نظیر تیتانیوم دارای ذخایری در حدود ده‌ها میلیون تن هستند. نهشته‌های بزرگ دارای چندین میلیون‌تن و نهشته‌های کوچک دارای ذخایری از صدها تا هزاران تن دی‌اکسیدتیتانیوم هستند. مقدار این ذخایر برای نهشته‌های پلاسر رقمی معادل نصف این ارقام است. کانسارهای اقتصادی نهشته‌هایی هستند که شامل بیش از ۱۰ درصد $TiO_2$ در مادهٔ معدنی نهشتهٔ اولیه و ۱۰ درصد ایلمنیت یا ۱/۵ درصد روتیل در نهشته‌های پلاسر هستند.

## ۱–۵– انواع کانسارهای تیتانیوم در ایران

در سال‌های پیش از انقلاب، تیتانیوم از مواد وادرداتی بود و به اکتشاف آن توجه نمی‌شد. در سالهای پس از انقلاب با توجه به نیاز کشور به این ماده و قیمت بالای آن، اکتشاف مواد اولیه تیتانیوم در ردیف مواد اکتشافی اولویت‌دار قرار گرفت. از سال ۱۳۶۲ با استفاده از روش‌های ژئوشیمیائی مناطق سواحل دریای مازندران، سواحل مکران، و مناطق ساغند، زنجان، رودخانه بابل و اسفندقه در استان کرمان به زیر پوشش اکتشافی رفت، انباشته‌های ناچیز و کم عیار، که در بیشتر مواقع دشواری‌های کانه‌آرایی و استحصال نیز به‌همراه داشت، ارزش اقتصادی نواحی یاد شده را خدشه‌دار کرد. تا این‌که در سال ۱۳۶۵ نواحی کهنوج که در سال ۱۳۵۴ وجود ایلمنیت ( ماده اولیه تولید دی‌اکسیدتیتان) در آن گزارش شده ولی به بوتهٔ فراموشی سپرده شده بود، مورد بررسی دوباره قرار گرفت. این بررسی‌ها به کشف انباشته‌هایی با عیار ۶ درصد ایلمنیت و حدود ۲/۵ میلیون‌تن ایلمنیت در آبرفت‌های رودخانه‌ای جنوب شهرستان کهنوج انجامید.[۹]

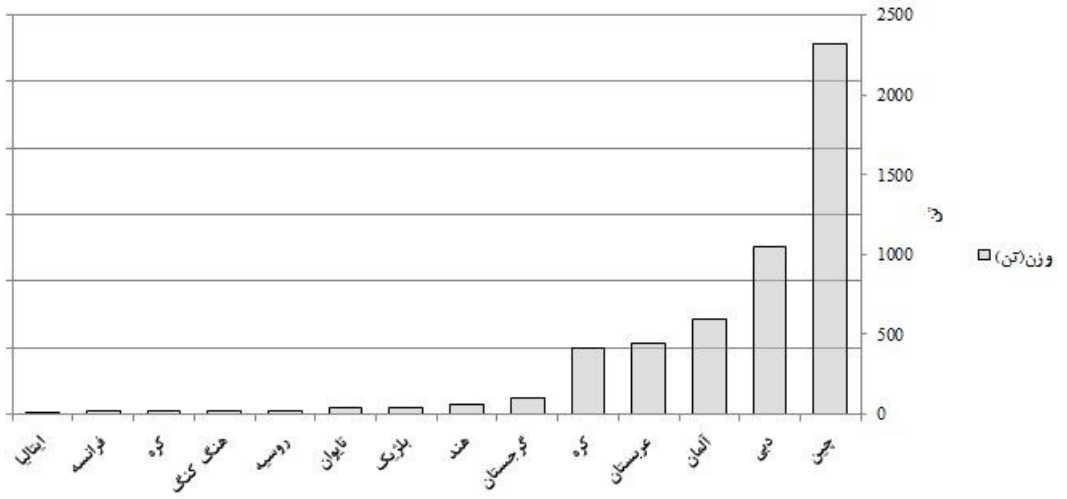
بررسی‌ها و مطالعات تکنولوژی منطقهٔ یاد شده در حال حاضر، در طرحی بنام طرح تجهیز معدن و احداث کارخانهٔ فرآوری تیتانیوم کهنوج ادامه دارد. در این منطقه مجموعهٔ سنگ‌های دگرگونی کوهستان بند زیارت که دارای روند شمالی - جنوبی است، تغذیه کنندهٔ و تأمین کنندهٔ ایلمنیت در ماسه‌های رودخانه‌ای، خاور، باختر و جنوب آن است و مناطق درگز، دشت منوجان، در باغ و رودخانه تیاب را در بر می‌گیرد. به‌جز منطقهٔ درگز، که بالاترین ذخیره و عیار را دارد. مناطق دیگری با ذخایر چند ده میلیونی ایلمنیت با عیارهای مختلف ۲ تا ۴ درصد ایلمنیت یافت شده‌اند که به‌عنوان پتانسیل‌های آیندهٔ کشور می‌توانند مطرح باشند. سنگ اولیهٔ تأمین کنندهٔ آبرفت‌ها، عمدتاً در غرب و جنوب کوهستان بند زیارت گسترش دارد و شامل فروگابروهای ریزدانه و فروگابروهای پگماتیتی درشت دانه درون آن‌ها است، که در پی دگرگونی و تبلور دوباره

فروگابروهای ریزدانه، ایلمنیت به صورت کانی‌های جدا تقریق یافته است. فروگابروها، به‌علت شکننده و جدابودن ایلمنیت ویکنواختی بافت، بهترین شرایط را برای بازیابی ایلمنیت از سنگ اولیه دارند و بخش بزرگی از ایلمنیت آبرفتها را تأمین می‌کنند. لازم به ذکر است که درصد $TiO_2$ در سنگ مادر بین ۳/۱۵ – ۱/۴۴ در نوسان است، و سنگ مادر تیتانیوم ( فروگابروها) در مجموعهٔ کمپلکس زیارت واقع بوده و خود مجموعهٔ زیارت به تشکیلات کمربند افیولتی معتقدند که از اوایل کرتاسه تا اویل پالئوسن در بخش غربی حوضهٔ جازموریان تشکیل شده اند.[۱۰]

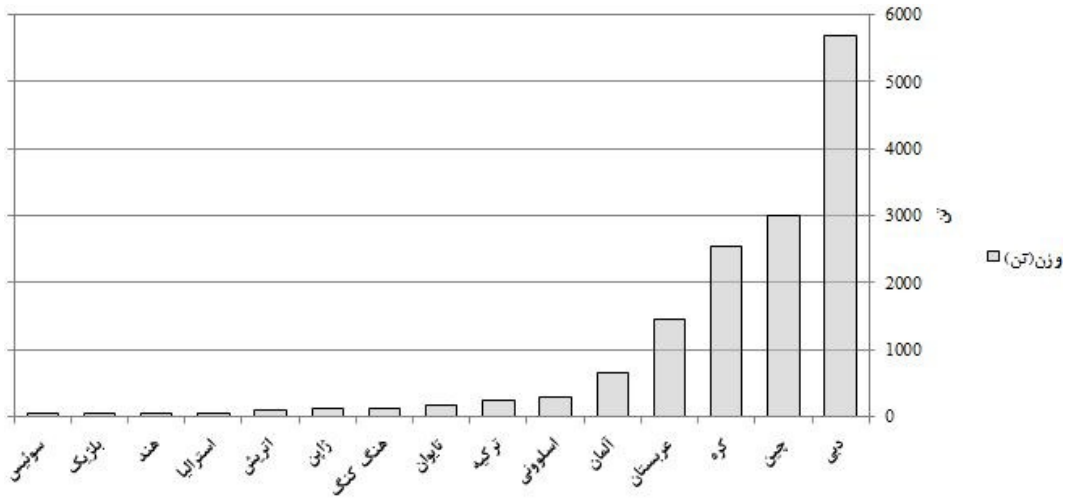
در پی نتایج امید بخش پروژه پتانسیل یابی مواد معدنی در شمال‌غرب شهرستان ارومیه، مبنی برکانی زایی تیتانیوم و فسفات در منطقه قره آغاج سرو، ادامه عملیات اکتشافی در محدوده ای بوسعت ۴ کیلومتر مربع به شرکت مهندسین مشاور کاوشگران، محول گردید. محدودهٔ مورد مطالعه در ۳۶ کیلومتری شمال غرب شهرستان ارومیه واقع شده است. ۲۶ کیلومتر از این مسیر را جاده آسفالته( ارومیه –سرو) و بقیه آن را راه شوسه فرعی تشکیل میدهد. محدوده مورد بررسی از لحاظ ساختار زمین شناسی در زون خوی- مهاباد واقع شده است که خود محل تلاقی زون های ساختمانی ایران مرکزی، سنندج- سیرجان و البرز- آذربایجان می‌باشد. مهمترین مجموعهٔ سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه که کانی زایی تیتان و فسفات نیز در پیوند با آن روی داده است، نفوذیهای آذرین موسوم به مجموعه نفوذی مافیک- اولترامافیک قره آغاج می‌باشد.[۱۱]

## ۱–۶– میزان واردات اکسیدتیتانیوم به ایران در پنج سال اخیر

عدم تولید تیتانیوم و کانسارهای آن در کشور، باعث شده که نیاز داخلی تنها از طریق واردات این محصول تامین گردد. شکل ۱-۱ تا شکل ۱-۶، میزان واردات پیگمان‌ها و فراورده‌ها براساس دی‌اکسیدتیتان ازلحاظ وزنی ۸۰درصد یا بیشتر اکسیدتیتانیوم محاسبه شده برحسب ماده خشک می‌باشد.




**شکل ۱-۱- واردات دی‌اکسیدتیتانیوم در سال ۱۳۹۱**




**شکل ۱-۲- واردات دی‌اکسیدتیتانیوم در سال ۱۳۹۰**