





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن-معدن و محیط زیست

ارزیابی ریسک‌های زیست محیطی معدن طلای زرشوران با به کارگیری مجموعه‌های فازی توسعه یافته

نگارنده: سید کامران حسینی

اساتید راهنما:

دکتر کیومرث سیف پناهی شعبانی

دکتر محمد عطایی

شهریور ۱۴۰۳

پیشکش بہ روح پاک پدر و مادر م؛
پدری کہ راہ راستی را برایم نمایان ساخت،
و مادری کہ نیک زیستن را بہ من آموخت؛
و نیز بہ عشق جاودانشان و رہروان راہشان.

شکر و قدردانی

"...کای شکر و سپاس مرخدارا"

جرقه اولیه ورود به موضوع این پایان نامه با مطالعه آثار ارزشمند و تدریس بسیار عالی استاد گران قدر جناب آقای دکتر عطایی در کلاس درس مدیریت ریسک ایجاد شد. ضمن سپاس فراوان از ایشان، اعلام می دارم که دانشجو بودنشان مایه افتخارم است. از جناب آقای دکتر سیف پناهی به پاس راهنمایی های همیشگی و دوستانه اش و درک مشکلات عدیده ای که در طول تهیه این پایان نامه برای اینجانب ایجاد شد و ایشان با صبوری در این مدت دوستی استوار و راهنمایی راستین بوده اند بسیار سپاسگزارم. قدرانم از اساتید گرامی دانشکده در دوران تحصیلم، به ویژه سرکار خانم دکتر عابدی و استاد بزرگ دانشکده جناب آقای دکتر کاکائی که علاوه بر تدریس و راهنمایی های آموزنده، زحمت مطالعه و داوری این پژوهش را تقبل فرمودند. محیط دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی شاهرود همواره دلگرمانه و موقرانه بوده و از همه اساتید و کارکنان دانشکده بخصوص جناب آقای دکتر سرشکی مدیر محترم دانشکده، جناب آقای دکتر عزیزی مدیر محترم گروه استخراج و جناب آقای شاه حسینی تشکر می نمایم.

همکاری مدیران و مهندسان محترم مقیم در معدن طلای زرشوران شایسته تقدیر است چرا که علاوه بر کسب تجربیات حرفه ای از ایشان در این دو سال نیز، دوستانی زلال و ارزشمند یافتم و در اینجا از ایشان به پاس همکاری در اجرای پژوهش بسیار ممنونم. از آقای مهندس رشیدی نیا مدیر استخراج و همکاران ایشان در بخش استخراج معدن آقایان مهندس آهنگری، مهندس معصوم زاده و مهندس کریمی و همچنین مهندسین مشاور معدن زمین آقایان مهندس سلیمی، دکتر اروجی، دکتر مدنی و مهندس فرامرزی به پاس راهنمای هایشان سپاس ویژه دارم. همچنین لازم است از آقای مهندس شیر، مدیر R&D و مهندس کریم زاده مدیر تولید و همکارانشان در واحد فرآوری آقایان مهندس حمدی، مهندس زمانی و مهندس کامرانی، که در مراحل بازدید از کارخانه و بررسی فرآیندهای تولید، همراهم بودند سپاس ویژه خود را اعلام دارم. کارشناسان واحد فرآوری گاهی بنا بر اصرار من بر بازدید تجهیزات الوشن، بالاتر از حد کاری شان HCN و بخارات آرسنیک دار استنشاق نمودند. اطلاعات زیست محیطی این پایان نامه بدون همکاری بسیار دوستانه همکاران خوبم در واحد HSE مقدور نمی شد که در اینجا به طور ویژه از آقای مهندس سلاطین مدیر HSE، خانم مهندس عیسی نیا مسئول واحد محیط زیست، خانم مهندس دانشور مسئول واحد بهداشت حرفه ای و آقای مهندس صفائی مسئول واحد ایمنی و آقای مهندس لطفی مدیر بخش سدهای باطله قدردانی نمایم.

تشویق های برادرانم دکتر وفا، دکتر هیوا و دکتر رزگار و ایجاد قوت به اتمام این پایان نامه و پشتیبانی در رفع مشکلاتم در این مدت رمق و قدرتی فراوان به من بخشید و مثل همیشه قربانشان می شوم. زمانی که متعلق به همسرم نهوین و پسران عزیزتر از جانم، راسان و رابین، بود صرف پژوهش و حضور در معدن و دوری از ایشان و نگرارش این پایان نامه شد که امیدوارم برایشان جبران نمایم و مثل همیشه قدردانشانم و مایه مباهاتم هستند.

چکیده

مجتمع طلای زرشوران شامل واحدهای، معدن طلا-آرسینک، کارخانه فرآوری و سد باطله فرآوری یکی از معادن فلزی ایران است که با توجه به حضور کانی‌های سولفیدی در این کنسار و استفاده از سیانور جهت استحصال طلای آن، نیازمند مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی به صورت مستمر است. شیوه‌های فازی توسعه‌یافته، با توجه به به کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، امروزه به طور وسیعی برای تعیین اولویت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مجموعه اعداد فازی فیثاغورثی با توجه به فضای جستجوی وسیع‌تر آن‌ها در این پژوهش برای تعیین فهرست اولویت‌بندی شده ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران استفاده شده است. برای پیاده‌سازی مراحل مدیریت ریسک‌ها از گام‌های روش PFVIKOR استفاده شده و مراحل شناسایی، تحلیل و ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی در آن مطابق گام‌های VIKOR عملیاتی شده است تا بتوان علاوه بر شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی، با مشارکت متخصصین آن‌ها را اولویت‌بندی نموده و برای اقدامات واکنشی لازم، دسته‌بندی نمود تا به گونه‌ای مستمر این ریسک‌ها مدیریت شده و سطح آلاینده‌های محیطی و انتشار آن‌ها کاهش یابد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات بصری، ژئومورفولوژیکی، از بین رفتن تعادل طبیعی سیستم آب، گسترش محیطی آرسینک و دیگر عناصر سنگین و تشکیل زهاب اسیدی در سطح اول واکنش هستند که نیاز معدن به اجرای برنامه جامع بازسازی و گیاه‌پالایی همزمان با معدن‌کاری را می‌رساند. در سطح دوم برنامه‌ای واکنشی با نیاز به اقدامات اصلاحی ریسک‌های آلودگی صوتی، انتشار گردوغبار حاوی عناصر سنگین، کاهش خاک نباتی و تنوع گیاهی و در سطح سوم این دسته‌بندی ریسک‌ها، ایجاد آلاینده‌گی ناشی از ماشین‌آلات معدنی و کاهش تنوع زیستی قرار دارند.

کلمات کلیدی: ریسک‌های زیست‌محیطی، مجتمع طلای زرشوران، ارزیابی ریسک‌ها، اولویت‌بندی ریسک‌ها، فازی فیثاغورثی، PFVIKOR

فهرست مطالب

ل	فهرست جداول
ن	فهرست اشکال
ع	فهرست علائم
۱	فصل ۱: کلیات و مقدمه تحقیق
۲	۱-۱ مقدمه..... ۲
۳	۲-۱ طلا و معدن کاری آن..... ۳
۳	۱-۲-۱ معدن کاری کانسنگ فلزی..... ۳
۴	۲-۲-۱ کانسنگ طلا در زمین و ذخایر جهانی آن..... ۴
۶	۳-۲-۱ کانسارهای طلای ایران و ذخایر کشور..... ۶
۸	۴-۲-۱ روش‌های استحصال طلا از معادن طلا..... ۸
۱۱	۳-۱ محیط‌زیست معدنی و تأثیرات منفی معدن کاری..... ۱۱
۱۳	۴-۱ مجتمع طلای زرشوران..... ۱۳
۱۳	۱-۴-۱ تاریخچه مختصر معدن طلای زرشوران..... ۱۳
۱۵	۲-۴-۱ موقعیت جغرافیایی معدن طلای زرشوران..... ۱۵
۱۷	۳-۴-۱ زمین‌شناسی کانسار زرشوران..... ۱۷
۱۹	۴-۴-۱ موقعیت مجتمع زرشوران از نظر زیست‌محیطی..... ۱۹
۲۳	۵-۱ تعریف مسئله..... ۲۳
۲۳	۶-۱ سابقه تحقیق..... ۲۳

۷-۱. طرح تحقیق ۲۷

۱-۷-۱. اهداف تحقیق ۲۷

۲-۷-۱. ضرورت انجام تحقیق ۲۷

۳-۷-۱. روش تحقیق ۲۸

۴-۷-۱. فرضیه‌های تحقیق ۲۸

۵-۷-۱. مراحل انجام پایان نامه ۲۹

۶-۷-۱. ساختار پایان نامه ۲۹

فصل ۲: مبانی نظری و پیشینه تحقیق ۳۱

۱-۲. مقدمه ۳۲

۲-۲. دیدگاه‌ها، فرآیندها و روش‌های مدیریت ریسک ۳۲

۱-۲-۲. تعاریف ۳۲

۲-۲-۲. دیدگاه مدیریت ریسک پروژه محور ۳۵

۳-۲-۲. دیدگاه مدیریت ریسک سازمانی ۳۶

۴-۲-۲. روش‌های شناسایی ریسک ۳۸

۵-۲-۲. روش‌های ارزیابی کیفی و کمی ریسک ۳۹

۶-۲-۲. روش‌های واکنش و مقابله با ریسک ۴۱

۳-۲. کمی‌سازی ریسک با ابزارهای توسعه‌یافته ۴۱

۱-۳-۲. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ۴۱

۲-۳-۲. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ۴۳

۳-۳-۲. مجموعه‌های فازی و نسل‌های توسعه‌یافته آن ۴۴

۴-۲. مفاهیم اساسی و عملگرهای مجموعه‌های فازی فیناگورثی ۴۶

۱-۴-۲. مفهوم اصلی مجموعه‌های فازی فیناگورثی ۴۶

۴۸.....	۲-۴-۲. عملیات اصلی روی اعداد فازی فیثاغورثی
۴۸.....	۲-۴-۳. توابع امتیاز و دقت برای اعداد فازی فیثاغورثی
۴۹.....	۲-۴-۴. عملگرهای اجماع فازی فیثاغورثی
۵۰.....	۲-۵. روش ویکور فازی فیثاغورثی
۵۱.....	۲-۵-۱. مراحل روش ویکور (VIKOR)
۵۳.....	۲-۵-۲. مراحل روش ویکور فازی فیثاغورثی (PFVIKOR)
۵۷.....	۲-۵-۳. خصوصیات روش ویکور فازی فیثاغورثی
۵۷.....	۲-۶. ریسک‌های زیست‌محیطی معادن طلا
۵۷.....	۲-۶-۱. تقسیم‌بندی بر حسب حوزه تأثیر محیطی
۶۱.....	۲-۶-۲. تقسیم‌بندی بر حسب تأثیرات ریسک‌های زیست‌محیطی
۶۷.....	۲-۶-۳. سلامت و بهداشت طلا

فصل ۳: معدن‌کاری واستحصال طلای زرشوران ۶۷

۶۹.....	۳-۱. مقدمه.....
۶۹.....	۳-۲. معدن‌کاری در معدن طلای زرشوران.....
۶۹.....	۳-۲-۱. عملیات اکتشافی.....
۷۲.....	۳-۲-۲. عملیات استخراجی.....
۷۸.....	۳-۲-۳. دیوهای باطله.....
۸۰.....	۳-۲-۴. دیوهای ماده معدنی.....
۸۱.....	۳-۳. کارخانه استحصال طلای زرشوران.....
۸۲.....	۳-۳-۱. دپارتمان خردایش و همگن‌سازی.....
۸۳.....	۳-۳-۲. دپارتمان آسیاب.....

۳-۳-۳.	دپارتمان هیدرومیتالورژی (اکسیداسیون و لچینگ).....	۸۴
۳-۳-۴.	دپارتمان الوشن و ادتیو.....	۸۶
۳-۳-۵.	دپارتمان اتاق طلا.....	۸۷
۳-۳-۶.	دپارتمان فیلتراسیون.....	۸۸
۳-۳-۷.	دپارتمان‌های جانبی.....	۸۸
۳-۴.	مجموعه سد باطله فرآوری و حوضچه‌های تبخیر.....	۸۹
۳-۴-۱.	تصویر هوایی مجموعه.....	۸۹
۳-۴-۲.	سد باطله فرآوری.....	۹۰
۳-۴-۳.	سد جمع‌آوری آب‌های سطحی.....	۹۴
۳-۴-۴.	حوضچه‌های تبخیر.....	۹۵
۳-۵.	مدیریت HSEE مجتمع طلای زرشوران.....	۹۶
۳-۵-۱.	بخش‌های ایمنی، آتش‌نشانی و بهداشت حرفه‌ای.....	۹۷
۳-۵-۲.	بخش محیط‌زیست.....	۹۸

فصل ۴: ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی در مجتمع طلای زرشوران ۱۰۰

۴-۱.	مقدمه.....	۱۰۱
۴-۲.	روش شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران.....	۱۰۲
۴-۳.	شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی واحدهای مجتمع.....	۱۰۵
۴-۳-۱.	ریسک‌های زیست‌محیطی واحد معدن.....	۱۰۵
۴-۳-۲.	ریسک‌های زیست‌محیطی واحد کارخانه فرآوری.....	۱۱۰
۴-۳-۳.	ریسک‌های زیست‌محیطی واحد سد و باطله‌های فرآوری.....	۱۱۴
۴-۴.	فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران.....	۱۱۹
۴-۵.	آنالیز ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده.....	۱۲۱

۱۲۱.....	۴-۵-۱. تجزیه و تحلیل کیفی
۱۲۴.....	۴-۵-۲. تجزیه و تحلیل کمی
۱۲۷.....	۴-۶. ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی و برنامه واکنشی
۱۳۰.....	۴-۷. نتایج ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران
۱۳۱	فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۱۳۲.....	۵-۱. مقدمه.....
۱۳۲.....	۵-۲. نتیجه‌گیری
۱۳۳.....	۵-۳. پیشنهادها
۱۳۳.....	۵-۳-۱. پیشنهاداتی برای بهبود وضعیت موجود
۱۳۶.....	۵-۳-۲. پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آتی
۱۳۷	مراجع
۱۴۴	پیوست
۱۴۵.....	پیوست: فرم‌های ارزیابی اولیه ریسک با مشارکت متخصصین

فهرست جداول

- جدول ۱-۱. ده معدن بزرگ طلا در جهان بر حسب میزان ذخیره ۶
- جدول ۲-۱. کانساهای بزرگ طلای ایران بر حسب حجم ذخیره و عیار ۸
- جدول ۳-۱. فناوری‌های مختلف برای استحصال طلا از ذخایر سولفوری ۱۱
- جدول ۴-۱. مهم‌ترین تیپ‌های گیاهی پوشش مرتعی محدوده زرشوران ۲۲
- جدول ۱-۲. روابط پایه و جبری اعداد فازی فیثاغورثی ۴۸
- جدول ۲-۲. میزان مجاز عناصر سنگین در خاک ۵۸
- جدول ۳-۲. آلودگی‌های آب در اثر فعالیت‌های معدن‌کاری و فرآوری ۵۹
- جدول ۴-۲. طبقه‌بندی آسیب‌های زیست‌محیطی فعالیت‌های معادن و کارخانه طلا به نوع تخریب ۶۰
- جدول ۵-۲. مقایسه محیط و نوع تأثیر آلودگی ۶۱
- جدول ۶-۲. تأثیرات زیست‌محیطی آرسنیک ۶۱
- جدول ۱-۳. تناژ ماده معدنی زرشوران مطابق آخرین داده‌های اکتشافی تا اسفند ۱۳۹۹ ۷۱
- جدول ۲-۳. احجام کلی ماده معدنی در پیت نهایی معدن زرشوران ۷۱
- جدول ۳-۳. منابع عملیات اکتشافی در آنومالی‌های معدن طلای زرشوران ۷۲
- جدول ۴-۳. مؤلفه‌های هندسی طرح استخراج پیت نهایی ۷۴
- جدول ۵-۳. عیاربندی بلوک‌های استخراجی جهت تعیین مقصد دیو ۷۴
- جدول ۶-۳. ماشین‌آلات اصلی و جانبی مورد نیاز پیمانکار استخراج معدن زرشوران ۷۶
- جدول ۷-۳. فهرست دیوهای باطله و ماده معدنی کم عیار در معدن زرشوران ۷۹
- جدول ۸-۳. فهرست دیوهای ماده معنی با عیار متوسط به بالا در معدن زرشوران ۸۱
- جدول ۹-۳. مشخصات عمومی سد باطله فرآوری مجتمع طلای زرشوران ۹۴
- جدول ۱-۴. ساختار شکست ریسک‌های زیست‌محیطی مورد استفاده در این پژوهش ۱۰۲
- جدول ۲-۴. عمده منابع آلاینده در واحد فرآوری طلای زرشوران ۱۱۰
- جدول ۳-۴. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در معدن طلای زرشوران ۱۱۷
- جدول ۴-۴. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در محیط کارخانه طلای زرشوران ۱۱۸
- جدول ۵-۴. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در محیط سد باطله فرآوری ۱۱۹
- جدول ۶-۴. فهرست ریسک‌های تجمع شده جهت کمی‌سازی آن‌ها ۱۲۰
- جدول ۷-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP1 توسط متخصصین ۱۲۲
- جدول ۸-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP2 توسط متخصصین ۱۲۲

جدول ۹-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP3 توسط متخصصین.....	۱۲۲
جدول ۱۰-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP4 توسط متخصصین.....	۱۲۲
جدول ۱۱-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP5 توسط متخصصین.....	۱۲۲
جدول ۱۲-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP6 توسط متخصصین.....	۱۲۳
جدول ۱۳-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP7 توسط متخصصین.....	۱۲۳
جدول ۱۴-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP8 توسط متخصصین.....	۱۲۳
جدول ۱۵-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP9 توسط متخصصین.....	۱۲۳
جدول ۱۶-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP10 توسط متخصصین.....	۱۲۳
جدول ۱۷-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP11 توسط متخصصین.....	۱۲۳
جدول ۱۸-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP12 توسط متخصصین.....	۱۲۴
جدول ۱۹-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP13 توسط متخصصین.....	۱۲۴
جدول ۲۰-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP14 توسط متخصصین.....	۱۲۴
جدول ۲۱-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP15 توسط متخصصین.....	۱۲۴
جدول ۲۲-۴. ارزیابی کیفی ریسک RP16 توسط متخصصین.....	۱۲۴
جدول ۲۳-۴. فهرست متخصصین شرکت کننده در فرآیند آنالیز ریسک با سنوات سابقه آن‌ها.....	۱۲۵
جدول ۲۴-۴. تبدیل کمی عبارات زبانی ارزیابی کیفی ریسک به اعداد فازی فیثاغورثی متناظر.....	۱۲۵
جدول ۲۵-۴. ارزیابی کمی ریسک‌های PR_1 با استفاده از اعداد PFN.....	۱۲۶
جدول ۲۶-۴. ماتریس تصمیم فازی فیثاغورثی اجماع شده ریسک PR_1	۱۲۶
جدول ۲۷-۴. شاخص‌های ویکور برای ریسک‌های PR_1 جهت اولویت‌بندی.....	۱۲۷
جدول ۲۸-۴. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع زرشوران برحسب اولویت واکنش.....	۱۲۹

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. فرآیندهای اصلی استحصال طلا از کانسارهای مقاوم و غیر مقاوم..... ۱۰
- شکل ۱-۲. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده معدن طلای زرشوران..... ۱۶
- شکل ۱-۳. موقعیت محدوده زرشوران در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان..... ۱۸
- شکل ۱-۴. مقطع شماتیک از کمربند کوهزایی زاگرس..... ۱۸
- شکل ۱-۵. نمایی از واحد شیست و آهک معدن جاری زرشوران در سال ۱۳۹۳..... ۱۸
- شکل ۱-۶. نمونه‌ای از معدن متروکه تروارتن در مسیر رودخانه ساروق چای..... ۱۹
- شکل ۱-۷. یک نمونه از ده‌ها معدن سنگ تزئینی متروکه در مسیر شاهین‌دژ-تکاب..... ۱۹
- شکل ۱-۸. وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی محدوده تکاب..... ۲۱
- شکل ۱-۹. نقشه ماهواره‌ای اتصال حوزه‌های آبریز رودخانه ساروق چای به سد زرینه‌رود..... ۲۱
- شکل ۱-۱۰. مناطق چهارگانه و شکارممنوع سازمان حفاظت محیط‌زیست تا شعاع 100km زرشوران... ۲۱
- شکل ۱-۱۱. موقعیت کارخانه فرآوری طلای زرشوران و روستاهای اطراف آن..... ۲۲
- شکل ۱-۱۲. مراحل انجام پایان‌نامه..... ۲۹
- شکل ۲-۱. حوزه ارتباط دانش مدیریت ریسک پروژه در استاندارد PMBOK..... ۳۷
- شکل ۲-۲. ارتباط بین اصول، چهارچوب و فرآیند مدیریت ریسک در استاندارد ISO 31000..... ۳۷
- شکل ۲-۳. توسعه PFS ها و مجموعه‌های فازی کلاسیک..... ۴۶
- شکل ۲-۴. مقایسه فضاهای درجات عضویت فیثاغورثی و شهودی..... ۴۶
- شکل ۲-۵. فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره در یک مسئله رتبه‌بندی..... ۵۰
- شکل ۲-۶. فرآیندهای ارزیابی ریسک با رویکرد فازی فیثاغورثی..... ۵۶
- شکل ۲-۷. سیکل خودکار تجزیه پیریت به‌عنوان موتور زهاب اسیدی معدن..... ۵۹
- شکل ۲-۸. تأثیر میزان شیب در فرسایش و برگرداندن پوشش گیاهی..... ۶۰
- شکل ۳-۱. مراحل نمودار تفکیک تناژ ماده معدنی به تفکیک گوگرد..... ۷۱
- شکل ۳-۲. اجرای عملیات اکتشافی در یکی از محدوده‌های طلادار معدن زرشوران..... ۷۱
- شکل ۳-۳. موقعیت پیت جاری، آنومالی‌ها، و دیوهای اصلی در محدوده معدن طلای زرشوران..... ۷۲
- شکل ۳-۴. نمای نهایی پیت معدن زرشوران با در نظر گرفتن محدوده ایمن..... ۷۴
- شکل ۳-۵. نمایی از محدوده معدن طلای زرشوران، قبل از شروع عملیات استخراج در سال ۱۳۹۲..... ۷۵
- شکل ۳-۶. نمایی از وضعیت محدوده استخراجی معدن طلای زرشوران، سال ۱۴۰۱..... ۷۶
- شکل ۳-۷. حفاری بلوک آماده آتش‌باری و استخراج..... ۷۶
- شکل ۳-۸. حمل ماده معدنی از بلوک استخراج شده به محل دپوی ماده معدنی..... ۷۷
- شکل ۳-۹. رفت و برگشت دام‌تراک‌ها در معدن زرشوران..... ۷۷
- شکل ۳-۱۰. دید به سمت شمال در پیت نهایی در مرداد ۱۴۰۳ و استقرار ماشین‌آلات پیمانکار..... ۷۷

- شکل ۳-۱۱. دید به سمت شمال شرقی پیت جاری در بهار ۱۴۰۲..... ۷۷
- شکل ۳-۱۲. دورنمای واحدهای اصلی مجتمع طلای زرشوران و تغییر بصری دمپ باطله WD2..... ۷۷
- شکل ۳-۱۳. موقعیت دامپ‌های باطله و ماده معدنی کم عیار در محدوده پروانه معدن طلای زرشوران ۷۹
- شکل ۳-۱۴. محل‌های پیشنهادی جهت احداث دامپ‌های جدید باطله معدن طلای زرشوران..... ۷۹
- شکل ۳-۱۵. محل‌های دیوی ماده معدنی در جنب کارخانه فرآوری طلای زرشوران ۸۰
- شکل ۳-۱۶. نمودار فرآیند عملیات استحصال طلا در مجتمع طلای زرشوران ۸۲
- شکل ۳-۱۷. تخلیه پالپ فرآوری فیلتر شده و تخلیه آن در دیوی موقت باطله ۸۸
- شکل ۳-۱۸. تصویر هوایی مجموعه سد باطله فرآوری ۹۰
- شکل ۳-۱۹. لایه‌بندی بستر سد باطله فرآوری مجتمع طلای زرشوران جهت نفوذناپذیری آن ۹۳
- شکل ۳-۲۰. نیم‌رخ سد باطله فرآوری برای نمایش عملکرد اجزاء اصلی آن ۹۳
- شکل ۳-۲۱. دورنمایی از واحد فیلتراسیون و سد باطله فرآوری طلای زرشوران ۹۴
- شکل ۳-۲۲. اجرای اورلب لایه ژئوممبران بر روی سه لایه رس کمپاکت شده ۹۴
- شکل ۳-۲۳. دورنمایی از سد باطله فرآوری طلای زرشوران از بالای دیوار سد و با دید به شمال ۹۴
- شکل ۳-۲۴. دورنمایی از سد جمع‌آوری آب‌های سطحی. دید به شمال. ۹۵
- شکل ۳-۲۵. تصویری از مراحل ساخت سد جمع‌آوری آب‌های سطحی ۹۵
- شکل ۳-۲۶. تصویری از حوضچه تبخیری شماره ۱ ۹۶
- شکل ۳-۲۷. تصویری از حوضچه تبخیری شماره ۲ ۹۶
- شکل ۳-۲۸. نمودار سازمانی مجتمع طلای زرشوران (بالا) و نمودار سازمانی واحد HSEE..... ۹۷
- شکل ۳-۲۹. بخشی از فعالیت‌های زیست‌محیطی در معدن طلای زرشوران ۹۹
- شکل ۴-۱. تصویر pH متر مدل Az8686 مورد استفاده در بازدید صحرایی ۱۰۵
- شکل ۴-۲. نمونه‌ای از لغزش زمین ناشی از حجم بالای باطله (دامپ PR) ۱۰۷
- شکل ۴-۳. سرچشمه چشمه دامپ PD3، عکس بالای دامپ PD3 ۱۰۹
- شکل ۴-۴. نشانه‌های صحرایی تولید زهاب اسیدی در بخش شمال غربی پیت جاری ۱۰۹
- شکل ۴-۵. مماس بودن باغات روستا با سد باطله مجامع طلای زرشوران ۱۱۵
- شکل ۴-۶. همجواری روستای ینگ‌کند با محدوده سد باطله فرآوری مجتمع طلای زرشوران ۱۱۵

فهرست علائم

Fuzzy Sets	FSs	مجموعه‌های فازی
Intuitionistic Fuzzy Sets	IFSs	مجموعه‌های فازی شهودی
Pythagorean Fuzzy sets	PFSs	مجموعه‌های فازی فیثاغورثی
Intuitionistic Fuzzy Numbers	IFNs	اعداد فازی شهودی
Pythagorean Fuzzy Numbers	PFNs	اعداد فازی فیثاغورثی
Membership degree	α	درجه عضویت
Non-membership degree	β	درجه عدم عضویت
Hesitancy Degree	γ	درجه تردید
Intuitionistic fuzzy reference set (IFRS)	$\hat{X}$	مجموعه مرجع فازی شهودی
An element of the IFRS	$\hat{x}_i$	عنصری از مجموعه مرجع فازی شهودی
An Intuitionistic Fuzzy Set	F	یک مجموعه فازی شهودی
Membership degree of $\hat{x}$ in F	$\alpha_F(\hat{x})$	درجه عضویت $\hat{x}$ در F
Non-membership degree of $\hat{x}$ in F	$\beta_F(\hat{x})$	درجه عدم عضویت $\hat{x}$ در F
An Intuitionistic Fuzzy Number	$\hat{\theta} = (\alpha_{\hat{\theta}}, \beta_{\hat{\theta}})$	یک عدد فازی شهودی
An Intuitionistic Fuzzy Set	$\hat{P}$	یک مجموعه فازی فیثاغورثی
Membership degree of $\hat{x}$ in $\hat{P}$	$\alpha_{\hat{P}}(\hat{x})$	درجه عضویت $\hat{x}$ در $\hat{P}$
Non-membership degree of $\hat{x}$ in $\hat{P}$	$\beta_{\hat{P}}(\hat{x})$	درجه عدم عضویت $\hat{x}$ در $\hat{P}$
A Pythagorean Fuzzy Number	$\hat{\delta} = (\alpha_{\hat{\delta}}, \beta_{\hat{\delta}})$	یک عدد فازی فیثاغورثی
Complement of the PFN in the $\hat{P}$	$\hat{\delta}^n$	متکم PFN در مجموعه $\hat{P}$
Pythagorean addition (Circled plus)	$\oplus$	اضافه فیثاغورثی (اوپلاس)
Pythagorean tensor product	$\otimes$	حاصل ضرب تانسور فیثاغورثی
The score functions of $\hat{\delta}$	$Score(\hat{\delta})$	تابع امتیاز عدد $\hat{\delta}$
The accuracy functions of $\hat{\delta}$	$Accuracy(\hat{\delta})$	تابع دقت عدد $\hat{\delta}$
The weight vector of $\hat{P}_i$	ω	بردار وزن $\hat{P}_i$
Criterion j	C_j	معیار j
Pythagorean fuzzy weighted averaging	PFWA	عملگر میانگین وزنی فازی فیثاغورثی
Generalized Pythagorean fuzzy ordered weighted standardized distance operator	GPFOWSD	عملگر فاصله استاندارد وزنی با مرتبه
the Pythagorean fuzzy ordered weighted	PFOHSD	فازی فیثاغورث تعمیم یافته
		عملگر فازی فاصله استاندارد وزنی

Hamming standardized distance		همینگ مرتب فازی فیثاغورثی
The transpose of a matrix	$\square^T$	ترانهاده یک ماتریس
The product of a sequence of factors	$\prod_{i=1}^m$	حاصل ضرب یک دنباله از عوامل
Expert no. m	E_m	متخصص شماره m
Risk no. a	H_a	ریسک شماره a
risk parameters z	RP_z	مؤلفه ریسک z
Pythagorean fuzzy positive ideal solution (PFPIS)	$\hat{p}_z^* = (\alpha_z^*, \beta_z^*)$	راه حل ایده آل فازی فیثاغورثی
Pythagorean fuzzy negative ideal solution (PFNIS)	$\hat{p}_z^- = (\alpha_z^-, \beta_z^-)$	راه حل ایده آل منفی فازی فیثاغورثی
Utility measure	S_a	مقدار سودمندی a
Regret measure	R_a	مقدار تاسف a
VIKOR-specific indexes	Q_a	شاخص ویژه ویکور

فصل ۱: کلیات و مقدمه تحقیق

۱-۱. مقدمه

شد/دی^۱ و فعالیت‌های اولیه معدن‌کاری^۲ حتی از کشاورزی هم قدیمی‌تر است [۱]. با مطالعه متون تاریخی می‌توان به تأثیرات مستقیم و متقابل زمین بر انسان و انسان بر محیط‌زیست در ابعاد مختلف تولیدی، اجتماعی، فرهنگی، هنری و حتی روانی و مذهبی در ادوار تاریخی پی‌برد [۲]. معدن‌کاری باستانی نسبت به معدن‌کاری پیشرفته امروزی از نظر حجمی بسیار کوچک‌تر بوده و فارغ از تأثیرات مثبت آن‌ها در آثار هنری بجا مانده، تأثیرات منفی آن‌ها در پیامدهای ناشی از تغییرات زیست‌محیطی حتی تا به امروز نیز ماندگار است؛ که می‌توان به نمونه‌ی کانسار قدیمی مس در منطقه وادی فاینان^۳ کشور امروزی اردن (از قلمروهای مغلوب در زمان امپراطوری رم باستان) اشاره داشت که در آن آثار منفی معدن‌کاری از ۷۰۰۰ تا ۱۵۰۰ سال پیش هنوز بر ترکیبات خاک، آب و جانداران این منطقه پابرجاست [۳]. در موردی دیگر می‌توان به سرخی رودخانه ریوتینتو^۴ ناشی از اضافه‌شدن تأثیرات زهاب اسیدی فعالیت‌های هزاران ساله معادن فلزی بالادست رودخانه اشاره نمود. همچنین برآورد شده است که تولید زهاب اسیدی معدن مس مونت لیل^۵ در استرالیا تا ۶۰۰ سال دیگر با میزان برداشت کنونی (دو تن در روز) ادامه خواهد داشت [۴].

رومیان باستان از تأثیرات منفی معدن‌کاری بر محیط‌زیست آگاه بودند و می‌دانستند که انباشتگی سنگ‌های باطله ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری، که در معرض هوازدگی قرار می‌گیرند، منبع ترکیبات خطرناک و سمی در محیط می‌شوند و به همین دلیل سعی داشتند در قلمروهای مغلوب خود به انجام امور معدن‌کاری بپردازند نه در سرزمین‌های اصلی [۳]. بدیهی است که امروزه با توجه به حجم و عملیات متنوع معدنی، تأثیرات منفی معدن‌کاری بر محیط‌زیست بسیار بیشتر از ادوار گذشته است و انسان و دیگر جانداران در معرض تهدیدات شدیدتر و گسترده‌تری نسبت به قبل قرار دارند.

این پژوهش با هدف شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی و ارائه راهکارهای علمی در کاهش آثار منفی زیست‌محیطی در یکی از معادن فلزی کشور (مجمع طلای زرشوران شامل معدن، کارخانه فرآوری و سد باطله فرآوری) انجام گرفته است تا به کمک آن بتوان علاوه بر بهبود وضعیت زیست‌محیطی این مجموعه، شاهد بهبود وضعیت‌های اجتماعی و اقتصادی در راستای اهداف توسعه پایدار^۶ بود و انتقال ریسک و آلاینده‌ها را به نسل‌های آینده تا حدودی کاهش داد.

¹ Quarrying

² Mining

³ Wadi Faynan, a major wadi (seasonal river valley) and region in southern Jordan

⁴ Rio Tinto, a highly toxic river in southwestern Spain

⁵ Mt. Lyell, copper mine, Queenstown, Australia.

⁶ Sustainable Development

۱-۲. طلا و معدن کاری آن

۱-۲-۱. معدن کاری کانسنگ فلزی

کانی‌ها^۱ مواد طبیعی غیرآلی با ترکیبات شیمیایی، خواص فیزیکی و شکل کریستالی مشخص می‌باشند که از تجمع دو یا چند نمونه از آن‌ها سنگ^۲ تشکیل می‌شود. در سنگ‌ها به موادی که استحصال آن‌ها اقتصادی نباشد باطله^۳ گفته می‌شود. به‌طور کلی اگر یک نوع کانی دارای کاربرد و ارزش اقتصادی باشد به آن کانه^۴ گویند و کانی غیراقتصادی را کنگ^۵ نامند. در صورت تشکیل کانی‌ها در شرایط زمین‌شناختی خاص به‌صورت نسبتاً غنی‌شده، با کانسار کانی^۶ (نهشته) مواجه می‌شویم و اگر استخراج این کانسار سودآور باشد، آن را کانسار کانه^۷ (کانسنگ) گویند [۴].

معدن کاری چرخه‌ای است که لازم است با ارزیابی زیست‌محیطی^۸ شروع شود و با احیای محیط‌زیست پایان یابد. در ابتدای این چرخه با شروع عملیات پی‌جویی^۹ و کشف کانسارها^{۱۰} به کمک مطالعات زمین‌شناسی و ارزیابی‌های اقتصادی ذخیره‌ها، آماده/استخراج ماده معدنی^{۱۱} کانسار به یکی از روش‌های روباز (با طراحی پیت) و زیرزمینی (با طراحی حفاریات) می‌شویم. پس از استخراج کانسنگ به کمک عملیات حفاری و معمولاً آتش‌باری و حمل آن، برای استحصال (تصفیه) فلز معدنی، ابتدا عملیات کانه/رای^{۱۲} (فرآوری مواد معدنی یا متالورژی استخراج)^{۱۳} مواد استخراجی را به یکی از سه روش متالورژی^{۱۴} (شامل هیدرومتالورژی^{۱۵}، پیرومتالورژی^{۱۶} و الکترومتالورژی^{۱۷}) انجام می‌دهند تا تصفیه ماده از نظر فنی (عیار، رطوبت و ...) و صرفه اقتصادی، شرایط محصول با ارزش را داشته باشد [۵]. برای این کار در ابتدا ماده استخراجی را به‌وسیله سنگ‌شکن‌ها و آسیاب‌ها تا حد مطلوبی خرد نموده و سپس به‌وسیله عملیات پرعیارسازی به روش‌های ثقلی، الکترومغناطیسی، فلوتاسیون، و ... کانه

¹ Minerals

² Rock

³ Waste

⁴ Ore

⁵ Gangue

⁶ Mineral Deposit

⁷ Ore Deposit

⁸ Environmental Assessment

⁹ Prospecting Operations

¹⁰ Mineral Exploration

¹¹ Mineral Development and Exploitation

¹² Mineral Processing

^{۱۳} مهندسان فرآوری مواد معدنی، کانسارها را با روش‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی تغلیظ می‌کنند در حالی که متالورژیست استخراجی فلزات را با روش‌های شیمیایی استخراج می‌کند [۹۹].

^{۱۴} Metallurgy: شاخه‌ای از علم مواد است که به شناخت و استخراج فلزات و فناوری‌های تولید و کار با فلزات می‌پردازد.

^{۱۵} Hydrometallurgy: استفاده از شیمی آلی برای بازیافت فلزات از سنگ‌های معدنی، کنسانتره‌ها، مواد بازیافتی و باطله‌ها.

^{۱۶} Pyrometallurgy: عملیات حرارتی مواد معدنی با تمرکز بر تحولات فیزیکی و شیمیایی مواد برای بازیافت فلزات با ارزش.

^{۱۷} Electrometallurgy: استخراج و تصفیه فلزات، معمولاً از حالت مذاب، با تکیه بر جریان‌های الکتریکی و با نقش اصلی الکترولیز.

و کانگ از هم جدا شده و در نهایت محصول را آماده ذوب می کنند [۶]. در همه مراحل این چرخه‌ی معدن‌کاری، باید ملاحظات زیست‌محیطی در نظر گرفته شده و در ارزیابی‌ها و طراحی‌ها لحاظ و پیاده‌سازی شوند.

۲-۲-۱. کانسنگ طلا در زمین و ذخایر جهانی آن

طلا یا زر در گذر زمان به دلیل رنگ، جلای زیبا، براقیت، مقاومت بالا در برابر اکسیداسیون و دیگر عوامل شیمیایی، شکل‌پذیری خوب و نادر بودنش، همواره مورد توجه بشر بوده و همچنان دارای اهمیت ویژه است. طلا اغلب از کانسنگ‌های حاوی طلا استخراج می‌شود.

طلا عنصری است فلزی با عدد اتمی ۷۹، جرم اتمی ۱۹۷ و با نماد Au در جدول تناوبی. با توجه به عدم تمایل این فلز در ترکیب با عناصر دیگر، طلا اغلب در طبیعت به صورت خالص یافت می‌شود [۷]. طلا در حالت توده‌ای زرد رنگ است و زمانی که خرد می‌شود ممکن است به رنگ‌های سیاه، یاقوتی یا بنفش تبدیل شود [۸]. سختی طلا ۲.۵ تا ۳ در مقیاس موس است. خواص چکش‌خواری، تورق و مفتول شدن طلا از تمام فلزات بیشتر است به گونه‌ای که با یک انس طلا (۸ گرم) می‌توان صفحه‌ای با مساحت ۳۰۰ فوت مربع را پوشاند [۸] و یا اینکه به وسیله الکترولیز می‌توان صفحاتی از طلا به ضخامت ۰.۰۰۰۰۱ میلی‌متر به وجود آورد و با کشش می‌توان مفتولی به طول سه کیلومتر از یک گرم طلا ساخت [۷]. طلا سنگین‌ترین فلز معمولی بوده و وزن مخصوص آن ۱۹.۳ کیلوگرم بر لیتر است. طلا در 1603°C گداخته و در 2950°C به جوش می‌آید و خاصیت الکتریسیته و گرمایی آن خوب است. از نظر شیمیایی طلا یک فلز خنثی و پایدارترین فلز است؛ به گونه‌ای که عوامل جوی و قوی‌ترین محلول‌های قلیایی بر طلا بی‌اثر است [۷]. با توجه به این خواص، طلا در صنایع الکترونیک و جواهرسازی کاربرد دارد؛ طوری که ۷۵٪ از کل طلای تولیدی جهان در صنعت جواهرسازی مصرف می‌شود در این صنعت، جهت استحکام بیشتر، طلا را به صورت آلیاژ به کار می‌برند [۸]. طلا در طبیعت به صورت آلیاژ با عناصر دیگر به ویژه نقره، پلاتین، مس، آهن، سرب، بیسموت، آنتیموان و پلادیوم دیده می‌شود.

غلظت متوسط طلا در دنیا حدود ۰.۰۰۵ گرم در تن (5ppm) است. یعنی برای تبدیل شدن کانه طلا به کانسار طلا، حدود ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مرتبه پرعیارسازی^۱ لازم است تا به عنوان یک ماده معدنی استحصال آن ارزش اقتصادی داشته باشد [۷]. مقدار طلا در گوشه بالایی و پوسته زمین متفاوت بوده و معمولاً مقدار این فلز در سنگ‌های مافیک بیشتر از سنگ‌های فلسیک^۲ است [۹].

^۱ Enrichment

^۲ Mafic and Felsic

تاکنون ۴۳ کانی طلادار شناخته شده است که مهم‌ترین آن‌ها شامل طلای طبیعی، آلیاژهای طلا-نقره مثل الکتروم، آروستیویت، تلوریدهای طلا (شامل کالاوریت)، تلوریدهای طلا-نقره (شامل کرنریت، سیلوانیت و پتزیت)^۱ است. از جمله کانی‌های سولفیدی طلادار هم می‌توان پیریت، پیروئتیت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، آسفالریت، و گالن^۲ را نام برد [۱۰].

گرچه طلا و ذخایر آن در تمام دوران‌های زمین‌شناسی تشکیل شده اما سه برهه زمانی عمده برای کانی‌سازی طلا وجود دارد: آرکئن^۳، پروتروزوئیک^۴ و فائروزوئیک^۵. ذخایر طلا را می‌توان بر اساس جایگاه زمین‌ساخت به سه دسته زیر تقسیم‌بندی نمود: [۹]

۱. **ذخایر کوهزایی**^۶ شامل ذخایر با میزبان گرین ستون، ذخایر با میزبان توریدیت و کانسارهای با میزبانی سازنده‌های آهن نواری؛

۲. **ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی**^۷ شامل مزوزونال، تپی زونال و ذخایر با میزبانی رسوبی؛

۳. **ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی اکسیدی**^۸ شامل پورفیری‌های غنی از طلا و اپی‌ترمالها.

همان‌گونه که سنگ‌ها را به سه دسته آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم‌بندی می‌کنند، کانسارها نیز به سه گروه آذرین، رسوبی و هیدروترمال (گرمایی)^۹ دسته‌بندی می‌شوند؛ فلذا بر اساس کانی‌شناسی، کانسارهای معدنی را می‌توان به سه دسته درون‌زاد^{۱۰} (ماگمایی، اسکارن، هیدروترمال و ...)، برون‌زاد^{۱۱} (فرسایشی و پلاستی) و دگرگونی‌زاد^{۱۲} (رسوبی و دگرگون شده) تقسیم نمود [۱۰]. بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی و تکنیک‌های فرآوری مواد معدنی مورد نیاز، کانسارهای طلا را می‌توان به ۱۱ نوع طبقه‌بندی کرد: پلاستی، کوارتز رگه‌ای، اکسیدی، غنی از نقره، مس سولفیدی، آهن سولفیدی، آرسنیک سولفیدی، آنتیموان سولفیدی، بیسموت سولفیدی، تلورایدی و بالاخره کانسارهای کربن‌دار سولفیدی [۵].

^۱ Electrum, Aurostibite, Calaverite, Krennerite, Sylvanite, Petzite

^۲ Pyrite, Pyrrhotite, Arsenopyrite, Chalcopyrite, Sphalerite, Galena,

^۳ Archean, یا نخست زیستی دومین دوره پرکامبرین (از ۴ تا ۲.۵ میلیارد سال پیش)

^۴ Proterozoic یا پیشین زیستی، آخرین دوره پرکامبرین (از ۲۵۰۰ میلیون سال پیش تا حدود ۵۴۲ میلیون سال پیش)

^۵ Phanerozoic یا دوران پیدازیستی که پس از دوره پروتروزوئیک آغاز می‌شود.

^۶ Orogenic

^۷ Reduced Intrusion-related

^۸ Oxidized Intrusion-related

^۹ کانسارهای گرمایی (هیدروترمال) بر حسب عمق خود بر سه دسته تقسیم می‌شوند: اپی‌ترمال (عمق کمتر از ۱۵۰۰ متر) مزوترمال (عمق ۴۵۰۰-۱۵۰۰ متر) و هیپوترمال (عمق بیش از ۴۵۰۰ متر) [۱۰۰]

^{۱۰} Endogen deposits (magmatic, skarn, hydrothermal, etc.)

^{۱۱} exogenous deposits (erosive and placer)

^{۱۲} Metamorphic deposits (metamorphosis: sedimentary and metamorphosed)

بر اساس داده‌های سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده^۱ (USGS)، در سال ۲۰۲۱، میزان کل فلز طلا موجود در ذخایر معدنی جهان در سال ۲۰۲۰ برابر با ۵۳ هزار تن بوده و استرالیا با ذخیره حدود ۱۰,۰۰۰ تن طلا (معادل با ۱۸/۹ درصد از کل ذخیره جهان) در رتبه اول قرار داشته است. روسیه، ایالات متحده، پرو و آفریقای جنوبی به ترتیب با ۷/۵، ۳/۰ و ۲/۷ هزار تن طلا در رتبه‌های بعدی قرار دارند [۱۱]. مقدار ذخایر رسمی طلا جهان که به صورت شمش و نظایر آن در بانک مرکزی کشورها نگهداری می‌شود در انتهای سال ۲۰۱۹ برابر با ۳۴/۹ هزار تن بوده است. ایالات متحده آمریکا با داشتن ۸/۱ هزار تن طلا در رتبه اول این فهرست قرار دارد [۱۱].

یک معدن طلا در مقیاس جهانی باید حداقل ۱۰۰ تن فلز طلا داشته باشد. ۱۰ معدن بزرگ طلای دنیا در جدول ۱-۱ بر حسب میزان ذخیره آورده شده است [۱۱]. در سال ۲۰۲۰ میزان تولیدات جهانی فلز طلا در حدود ۳,۲۱۳ تن بود. چین در یک دهه اخیر، بزرگ‌ترین تولیدکننده طلا بوده و با تولید ۳۶۵ تن طلا در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۱/۴ درصد از کل تولید جهانی طلا را به خود اختصاص داده است. استرالیا، روسیه و آمریکا پس از چین مهم‌ترین تولیدکنندگان طلا در دنیا هستند [۱۱].

جدول ۱-۱. ده معدن بزرگ طلا در جهان بر حسب میزان ذخیره [۱۱]

رتبه	نام معدن	کشور	مالک یا مالکین	ذخیره (میلیون تن)
۱	گراسبرگ	اندونزی	بی. تی. فری پورت ایندوتزیا (PTPT)، ریوتینتو	۳۰۱۱.۵
۲	سوئت دیپ	آفریقای جنوبی	گلد فیلد	۲۳۰۷.۶
۳	لپهیر	پاپوا گینه نو	نیوکرسٹ ماینینگ	۱۸۱۷.۲
۴	موریونتاو	ازبکستان	دولت جمهوری ازبکستان	۱۴۱۷.۴
۵	الیمپیدا	روسیه	پولیوس گلد	۱۳۴۶.۶
۶	اوبو تولگوی	مغولستان	تورکوز هیل و دولت مغولستان	۱۳۱۲.۵
۷	پونبلو ویوجو	جمهوری دومینیک	بریک گلد (۶۰٪) و گلد کورپ (۴۰٪)	۱۱۳۶.۸
۸	امپونگ	آفریقای جنوبی	آنگلو گلد آشانتی	۱۱۲۲.۶
۹	کادیا ایست	استرالیا	نیوکرسٹ ماینینگ	۱۰۶۵.۹
۱۰	اوبواسی	غنا	آنگلو گلد آشانتی	۸۴۴.۸

۱-۲-۳. کانسارهای طلای ایران و ذخایر کشور

فعالیت‌های ماگمایی قوسی و پشت قوسی که در اغلب نقاط دنیا به عنوان پتانسیل‌های مهم طلا معرفی شده‌اند در ایران نیز گستردگی زیادی داشته و این موقعیت تکتونوماگمایی، ایران را در قلمرو مناطق پتانسیل‌دار برای کانی‌سازی طلای هیدروترمال قرار می‌دهد. به علاوه عبور کمربند فیولییتی^۲ (مارسنگی) آلپ-هیمالیا از شمال غرب تا جنوب شرق، ایران را در ردیف پتانسیل‌های

^۱ United States Geological Survey (USGS)

^۲ Ophiolite layer

کانی‌سازی طلا از نوع لیسونیتی نیز قرار داده است. زایش طلا در ایران، همانند دیگر عناصر، شرایط مطلوبی دارد به گونه‌ای که در ایران حدود ۷۴ کانسار و اندیس طلا شناخته شده است دارد [۸].

از نظر محیط زمین‌شناسی و ژئودینامیکی، می‌توان ذخایر ایران را به تیپ‌های /پی ترمال، کارلین، کوهزایی، پورفیری و کانسارهای سولفید توده‌ای غنی از طلا و مرتبط با توده‌های نفوذی تقسیم‌بندی نمود [۹]. این ذخایر، مطابق اطلس ملی نقشه‌های پتانسیل مواد معدنی ایران، عبارتند از:

۱. کانسارهای ماگمایی-گرمابی^۱: در تیپ‌های پورفیری و اسکارن؛

۲. کانسارهای گرمابی-ماگمایی^۲: در تیپ‌های اپی ترمال، سولفید توده‌ای و طلای پلی متال؛

۳. کانسارهای گرمابی-دگرگونی در تیپ کوهزایی (رگه‌ای) [۱۲].

میزان ذخایر طلا در ایران در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۲۹ میلیون تن گزارش شده است که بیشترین آن مربوط به استان‌های کردستان، خراسان جنوبی و آذربایجان شرقی به ترتیب با ۳۲، ۳۶ و ۲۸ میلیون تن است. استان آذربایجان غربی با ۱۷ میلیون تن طلا در رده بعدی جای دارد. میزان تولیدات طلا در ایران در سال‌های اخیر رشد نسبتاً خوبی داشته و از ۳۵۰ کیلوگرم در سال ۲۰۱۰ به ۶،۹۱۹ کیلوگرم در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است (نرخ رشد ۳۵ درصد). سهم ایران از تولیدات طلا در جهان نیز روند افزایشی داشته و از ۰/۰۱ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۰/۲۳ درصد در سال ۲۰۲۰ ارتقاء یافته است. ایران حدود ۰/۲ درصد از تولید جهانی طلا در سال ۲۰۲۰ را در اختیار داشته و در سال ۲۰۲۰ در رتبه ۴۸ بین کشورهای تولیدکننده طلا در جهان قرار گرفته است [۱۱].

معادن طلای زرشوران و آق‌دره در استان آذربایجان غربی، ساری‌گونی قروه و کرویان سقز در کردستان، موه در اصفهان و کوه زر در خراسان رضوی مهم‌ترین کانسارهای در حال برداشت طلای ایران می‌باشند. معدن طلای آرسنیک سولفیدی زرشوران در ایران با ۱۰۵ تن ذخیره تنها معدن طلای ایران در مقیاس جهانی است^۴ و از این نظر عنوان بزرگ‌ترین معدن طلای خاورمیانه را دارد. همایندی کانی‌شناسی^۵ (پاراژنز) کانسار زرشوران غالباً عبارتند از کوارتز، پیریت، آسفالریت و اورپیمان [۷]. در جدول ۱-۲ کانسارهای بزرگ طلای ایران بر حسب حجم ذخیره و عیار فهرست شده است [۱۱].

در دوره ده ساله ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میزان اشتغال افراد در معادن طلای کشور روند رو به رشدی داشته و از ۳۴۲ نفر در سال ۲۰۱۰ به ۱۹۲۶ نفر در سال ۲۰۲۰ رسیده است (نرخ رشد ۱۹ درصد). سهم شاغلین معادن طلا از کل شاغلین معادن در کشور در این دوره از ۰/۴ درصد در ابتدای دوره به

¹ Magmatic-Hydrothermal Deposits: (porphyry, skarn and Iron-Oxide Apatite)

² Hydrothermal-Magmatic Deposit (Epithermal, Massive Sulfide, Polymetallic Gold)

³ Hydrothermal-Metaorfic Deposites (Orogenic Gold Tpes)

^۴ آخرین برآوردها مشاورین از معدن حاضر، شامل ۴۲۷ میلیون تن ذخیره کانسنگ طلا و ۱۵۵ تن فلز طلا می‌باشد.

⁵ Paragenesis

۱/۶ درصد در انتهای دوره ارتقاء یافته است. از میان ۱۱ استان تولیدکننده طلا در کشور بیشترین میزان اشتغال با ۶۸۳ نفر و سهم ۳۶ درصدی مربوط به استان آذربایجان غربی بوده و پس از آن استان‌های آذربایجان شرقی، کردستان، مرکزی و خراسان رضوی به ترتیب با ۳۵۰، ۳۱۰، ۲۱۳ و ۱۱۳ نفر در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند [۱۱].

جدول ۱-۲. کانسارهای بزرگ طلای ایران بر حسب حجم ذخیره و عیار [۱۱]

ردیف	نام معدن/کانسار	موقعیت	عیار (ppm)	ذخیره (تن)	تیپ کانسار
۱	معدن زرشوران	تکاب	۳/۵	۱۰۵	کارلین
۲	معدن آق دره	تکاب	۴/۶۸	۲۲	ابی ترمال
۳	معدن موته	گلپایگان	۳	۹	کوهزایی (شیرزون)
۴	معدن ساری گونای	قروه	۱.۲	۶۰	ابی ترمال
۵	کانسار باریکا	سردشت	۰/۰۲ تا ۱۰۰	-	مسیو سولفاید
۶	کانسار کرویان	سقز	۱/۲	-	کوهزایی (شیرزون)
۷	کانسار دارستان	باغو	۱/۱ تا ۳۳/۸	-	ابی ترمال
۸	کانسار گندی	دامغان	۵/۲	-	ابی ترمال
۹	کانسار طرقله	مشهد	۵	-	کوهزایی (شیرزون)
۱۰	کانسار کوه زر	تربت حیدریه	۳	-	ابی ترمال
۱۱	کانسار ارغش	نیشابور	۰/۷	-	ابی ترمال

۱-۲-۴. روش‌های استحصال طلا از معادن طلا

روش‌های فرآوری طلا از کانسنگ طلا دار بر حسب نوع پیچیدگی روش‌های استحصال به دو دسته مقاوم^۱ و غیرمقاوم^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند. استحصال طلا از کانسنگ‌های مقاوم به فرآوری، به علت حضور کانی‌های سولفیدی مثل آرسنیک، نسبت به کانی‌های غیرمقاوم پیچیده‌تر است چرا که در کانی‌های سولفیدی ابتدا نیازمند اکسیده نمودن (خنثی‌سازی) آن‌ها در مراحل فرآوری هستیم. در شکل ۱-۱ مراحل اصلی فرآوری کانسنگ‌های مقاوم و غیرمقاوم طلا آمده است [۱۳].

ملغمه کردن (آمالگاماسیون)^۳، فلوتاسیون^۴، تیواوره^۵، پرعیارسازی ثقلی^۶ و سیانوریزاسیون^۷ از جمله روش‌های کانه‌آرایی فلز طلا از کانسنگ آن هستند. متداول‌ترین روش‌های فرآوری طلا در

^۱ Refractory gold ores

^۲ Non-refractory gold ore

^۳ Amalgamation

^۴ Froth flotation

^۵ Thiourea

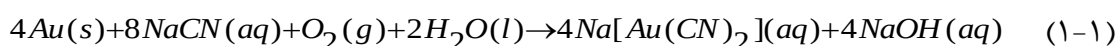
^۶ Gravity Concentration

^۷ Cyaniding

کانسنگ‌های مقاوم عبارتند از: تشویه^۱، اکسیداسیون تحت فشار^۲، اکسیداسیون بیولوژیکی^۳، میکرونیزه کردن^۴ و اکسیداسیون شیمیایی^۵ [۱۳].

مرحله لیچینگ^۶ (فروشویی) با حلال یکی از مهم‌ترین فرآیندهای فرآوری طلا است که خود به چهار روش عمده انجام می‌گیرد^۷: لیچینگ توده‌ای، لیچینگ تانک با مخلوط‌کن تحریکی، لیچینگ VAT و لیچینگ درجا [۱۰]. امروزه با به‌کارگیری میکروآرگانیزم‌های خاصی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و پلاکت‌ها در فرآیند بیواکسیداسیون کانسنگ‌های مقاوم طلا، می‌توان از شیوه‌های مدرن بیولیچینگ (فروشویی زیستی) نیز استفاده نمود که نسبت به دیگر روش‌های لیچینگ بیشتر طرفدار محیط‌زیست است [۱۴].

روش هیدرومتالورژیک سیانوردهی (سیانوریزاسیون) یکی از روش‌های متداول انحلال طلا در یون سیانور به همراه اکسیژن در فرآیند لیچینگ است. سیانوریزاسیون بهترین روش برای استحصال طلای ریزدانه است [۷]. در روش سیانوردهی، طلا در یک محیط بازی به‌صورت یک محلول کمپلکس کوردینانسی^۸ مطابق رابطه استوکیومتری (۱-۱)، مشهور به معادله //، السنر^۹ در می‌آید [۷][۴][۱۵]:



با توجه به این رابطه، بهتر است غلظت یون سیانور در حداقل ممکن باشد و جهت پایین نگه‌داشتن انتشار گاز سمی اسید سیانیدریک (HCN) با استفاده از قلیایی کننده‌ای مثل آهک یا سود، باید pH محیط را بالا برد (بین ۹.۵ تا ۱۱). همچنین جهت انحلال بهتر طلا لازم است از هوادهی و گاهی اکسیدکننده‌های مناسب (مثل سولفات سدیم، آب‌اکسیژنه و ...) در خمیر (پالپ)^{۱۰} استفاده شود [۷]. به‌علاوه جهت جلوگیری از حل نشدن طلا در لیچ و ممانعت از انتقال لیچ سیانوره طلا دار به سد باطله لازم است به روش‌های ثقیلی از ورود طلاهای درشت‌دانه (بالای ۷۵ μm) و مواد شیمیایی به کار رفته در فلوتاسیون (مثل کلکتورهای تیول) به پالپ جلوگیری شود [۷][۱۶][۱۳].

¹ Roasting

² Pressure oxidation

³ Biological oxidation

⁴ Ultrafine grinding

⁵ Chemical Oxidation

⁶ Leaching

⁷ 1. heap leaching, 2. Tank (Ractor) Leaching, 3. Vat leaching, 4. In situ leaching

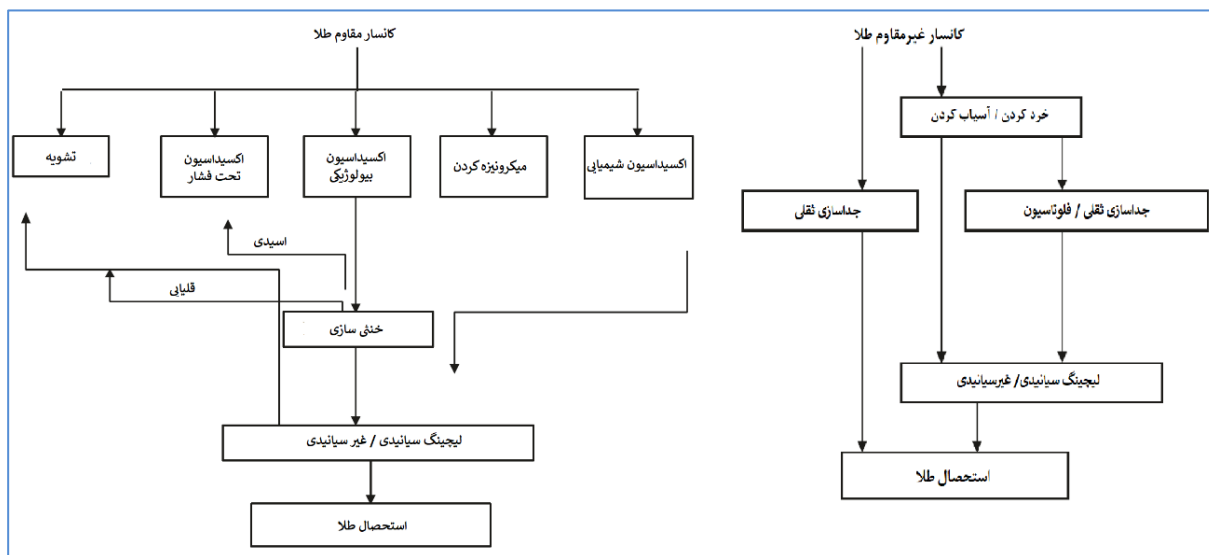
⁸ Coordination Complex

⁹ Elsner, L

¹⁰ Pulp

پس از انحلال طلا در فرآیند سیانوریزاسیون، به روش‌های مختلفی مانند جذب سطحی بر روی کربن فعال^۱، فرآیند مرریل کرو^۲، الکترولیز^۳، تبادل کننده یونی^۴ و استخراج با حلال آلی^۵ می‌توان طلا را از پالپ جدا کرد [۱۳]. روش جذب سطحی روی زغال چوب فعال شده عمدتاً برای تغلیظ طلا و نقره از محلول لیچ با سیانور به کار می‌رود. این روش، ارزان قیمت‌تر و برای محلول‌های رقیق مناسب‌تر است؛ اما مکانیزم جذب کمپلکس سیانید طلا بر روی کربن فعال نسبت به استخراج با حلال آلی کند است. یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از کربن فعال نسبت به پودر روی در این است که کربن فعال برای ترسیب^۶ هم می‌تواند در محلول شفاف و هم در پالپ مورد استفاده قرار گیرد اما پودر روی برای ترسیب لازم است که حتماً محلول شفاف باشد. لذا برای جلوگیری از مرحله پرهزینه فیلتراسیون در کانسنگ‌هایی که مشکل فیلتراسیون دارند روش جذب بر روی کربن فعال مناسب‌ترین روش است [۷].

پس از فرآیندهای لیچینگ و تصفیه طلا، محصول آماده ذوب و قالب‌گیری می‌شود. همه این فرآیندها به صورت جزئی‌تر در فصل سوم برای کانسنگ مقاوم معدن زرشوران و کارخانه فرآوری آن آمده است. کانسار زرشوران از گروه کانی‌های سولفور است که به علت درگیر بودن طلا در شبکه کانی‌های سولفوری و به‌ویژه همراهی کانی‌های آرسنیک با آن‌ها، در شمار ذخایر مقاوم به فرآوری است با در نظر گرفتن فاکتورهای انتخاب (جدول ۱-۳) روش اکسیداسیون قلیایی خاک و لیچینگ سیانوری^۷ برای فرآوری طلای زرشوران انتخاب شده است.



شکل ۱-۱. فرآیندهای اصلی استحصال طلا از کانسارهای مقاوم و غیر مقاوم [۱۳]

¹ Carbon adsorption

² Merrill- Crowe process

³ Electrowinning

⁴ Ion-exchange

⁵ Solvent extraction

^۶ Chemical precipitation: اضافه نمودن برخی مواد شیمیایی خاص جهت ایجاد تغییرات فیزیکی در مواد جامد جهت ته‌نشینی آنها.

⁷ Alkaline soil oxidation and cyanide leaching

جدول ۱-۳. فناوری‌های مختلف برای استحصال طلا از ذخایر سولفوری [۱۷]

امکان استفاده فنی	مشکل محیط‌زیست	مشکل کنترل و اجرای بعدی	طولانی بودن دوره اجرا	دسترسی به فناوری	هزینه بهره‌برداری	روش
بد	ناسازگار	متوسط	کوتاه‌مدت	سخت	بسیار بالا	میکرونیزه کردن
خوب	سازگار	متوسط	کوتاه‌مدت	سخت	بالا	اکسیداسیون تحت فشار
متوسط	ناسازگار	سخت	بلندمدت	بسیار سخت	بالا	بیولیچینگ
متوسط	ناسازگار	متوسط	کوتاه‌مدت	بسیار سخت	بالا	تشویه
خوب	سازگار	آسان	کوتاه‌مدت	آسان	کم	اکسیداسیون قلیایی

۳-۱. محیط‌زیست معدنی و تأثیرات منفی معدن‌کاری

با تعریف محیط‌زیست به عنوان "محیطی شامل هوا، آب، خاک، منابع طبیعی، گیاهان، جانوران، انسان و روابط متقابل بین آن‌ها"، مهندسی محیط‌زیست را به "کاربرد علوم و اصول مهندسی در جهت بهبود محیط‌زیست با هدف ایجاد یک محیط‌زیست امن و سالم برای انسان و تمامی ارگان‌های زنده" تعریف نموده [۱۸] و مطابق این تعاریف مهندسی محیط‌زیست معدنی به این شرح تعریف می‌شود:

"مهندسی محیط‌زیست معدنی شامل دانش به‌کارگیری داده‌های علوم زمین (ژئوشیمی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، میتئورولوژی) و علوم مرتبط با مهندسی معدن و مهندسی محیط‌زیست است تا به کمک آن‌ها تغییرات ایجاد شده در محیط و آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری را در محیط‌زیست معدن با شیوه‌های مهندسی و مدیریتی به حداقل ممکن رساند." [۱۹]

با توجه به اینکه معدن‌کاری و استحصال مواد معدنی همواره با پیامدهای منفی زیست‌محیطی همراه است^۲؛ مهندسی محیط‌زیست معدنی در تلاش است تا راه‌های ممکن را برای به‌سازی^۳ مناطق آلوده طراحی و پیاده‌سازی نماید تا به کمک آن‌ها پساب‌ها و فاضلاب‌های سمی، تصفیه شده و آلاینده‌های آب و خاک نیز کنترل شود؛ به‌گونه‌ای که پس از تصفیه و بهبود کیفیت آب، خاک و هوای محیط‌زیست معدن، پاک‌سازی^۴ مناطق آلوده در طول عمر سیستم معدن نیز ادامه یابد [۲۰]. معدن‌کاری در جهان باید به نحو فزاینده‌ای مسئولیت احیای طبیعت را پس از پایان کار معدن در نظر داشته باشد تا با بازسازی معدن^۵، عوامل تخریب زیست‌محیطی را پس از معدن‌کاری به حداقل رساند و با تعریف

^۱ Environment، محیط در این تعریف از درون یک سازمان تا سیستم جهانی را شامل می‌شود.

^۲ مطابق تعریف ریسک، که در فصل دوم بررسی می‌شود، در مبحث محیط‌زیست معدنی، همواره جنبه منفی ریسک مد نظر است چرا که تأثیرات مثبت معدن‌کاری بر محیط زیست نادر است؛ مگر اینکه از ابتدای معدن‌کاری، عملیات استاندارد بازسازی انجام گیرد.

^۳ Remediation

^۴ Clean up

^۵ Reclamation

کاربری دوباره زمین و همچنین با گیاه‌پالایی و توان‌بخشی^۱ محدوده و بازگشت حداکثری اکوسیستم به حالت طبیعی، معدن‌کاری را در راستای برنامه‌های توسعه پایدار حرکت داد[۲۱].

در بحث محیط‌زیست به‌طور کلی، هر نوع تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل‌دهنده محیط، به‌طوری‌که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آن‌ها مختل شود و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط‌زیست گفته می‌شود [۲۲] و در بحث محیط‌زیست معدنی آلاینده^۲ شامل هر نوع ماده‌ای می‌شود که ممکن است در اثر فعالیت‌های معدن‌کاری با غلظتی بیشتر از حد نرمال و طبیعی خود ظاهر و سبب ایجاد اثرات مخرب زیست‌محیطی و آلودگی آن گردد. از این منظر یک برنامه جامع مدیریت زیست‌محیطی^۳ باید بر کنترل آلودگی^۴ (با هدف کاهش یا حذف مسیرهای انتشار آلاینده)، بازداشتن آلودگی^۵ (با هدف حذف منبع و جایگزینی روش‌های دوستدار محیط‌زیست) و توسعه پایدار^۶ (با هدف پاسخگویی به نیازهای جامعه با حفظ محیط‌زیست و در نظر داشتن نیازهای نسل آینده) استوار باشد[۲۳]. در یک سیستم ایده‌آل زیست‌محیطی، معدن زمانی پایدار خواهد بود که عاری از هر نوع باطله بوده و در فرآیندهای فرآوری ماده مستحضر، از مواد دوست‌دار محیط‌زیست استفاده شود و این موضوع اهمیت حرکت در راستای توسعه پایدار با ارزیابی مستمر تأثیرات معدن بر محیط‌زیست و به‌کارگیری شیوه‌های کنترل مهندسی و مدیریتی آن را نشان می‌دهد.

مهم‌ترین پیامدهای ریسک‌های زیست‌محیطی معادن را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد[۲۰]:

- تأثیر فعالیت‌های معدنی (از اکتشاف تا تولید) بر گرمایش زمین^۷ و تغییرات اقلیمی^۸؛
- تغییر چشم‌انداز طبیعی محیط ناشی از تغییرات ژئومورفولوژی و توپوگرافی^۹ حاصل از حجم عملیات سنگین معدن‌کاری و ایجاد دیوهای باطله^{۱۰}؛
- کاهش تنوع گیاهی و زیستی در محیط‌زیست منطقه؛
- فرونشینی سطح ایستایی و یا انحراف مسیر آب و فرونشست ناشی از آن؛
- تأثیر عملیات معدن‌کاری روی پارامترهای هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و کیفیت آب؛

¹ Rehabilitation

² Pollutant

³ Total Environment Plan

⁴ Pollution Control

⁵ Pollution Prevention

⁶ Sustainable Development

⁷ Global warming

⁸ climate change

⁹ Geomorphology and topography

¹⁰ waste depots

- تولید زهاب اسیدی معادن^۱ فلزی و ایجاد تغییرات در محیط‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در منطقه؛
- سرعت بخشیدن به فرسایش خاک توسط عوامل فرسایش و تشکیل رسوبات؛
- رهاسازی حلال‌های استحصال (بخصوص سیانیدها) و سایر مواد شیمیایی فرآوری؛
- آلودگی با فلزات سنگین.

فلزات سنگین از قبیل کروم، نیکل، وانادیم، سرب، روی، مس و آهن در صورت ورود به محیط موجب مرگ‌ومیر آبزیان شده و از انجام عمل تصفیه آب توسط میکروارگانیسم‌های هوازی ممانعت به عمل می‌آورند. در صورت انتقال فاضلاب‌های معدنی به منابع آب، تیرگی، تغییر کیفیت، خفگی آبزیان و به هم خوردن اکوسیستم آبی منطقه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود [۲۴].

به‌طور خلاصه می‌توان این مشکلات را در واژه تغییرات/انسان‌زد یا آنتروپوژنیک^۲ خلاصه کرد. یعنی تغییراتی که به دست انسان در طبیعت انجام می‌شوند و شامل تغییرات در محیط‌زیست، در تنوع زیستی یا منابع دیگر می‌شوند. به همین ترتیب می‌توان مواد شیمیایی آنتروپوژنیک را به‌عنوان موادی که از طریق فعالیت‌های بشری وارد محیط‌زیست می‌شوند، تعریف نمود. گزارش‌های سازمان ملل جملگی بیانگر تأثیرات مواد آنتروپوژنیک بر گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی حاصل از آن است. عملیات معدنی (فلزی و غیرفلزی) از اکتشاف تا تولید فرآورده‌هایی مثل آهک و دیگر مصالح ساخت و مصرف آن در تولید سیمان و یا مصرف ذغالسنگ در تولید انرژی، نقش بالایی در انتشار گازهای گلخانه‌ای/جهانی^۳ (مثلاً انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از عملیات آتش‌باری، مصرف سوخت‌های فسیلی در حمل و ذوب مواد و نیز انتشار آلاینده‌های هوا، آب‌و‌خاک در مراحل فرآوری) دارند و در نتیجه به نوعی در گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی حاصل از آن مؤثرند. لذا مدیریت صحیح زیست‌محیطی معادن تأثیر بسزایی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای و کنترل گرمایش زمین خواهد داشت.

۴-۱. مجتمع طلای زرشوران

۴-۱-۱. تاریخچه مختصر معدن طلای زرشوران

معدن طلای زرشوران در نزدیکی میراث جهانی تخت سلیمان^۴ واقع شده است. آثار باستانی زرشویی در کنسارهای این محدوده بیانگر بهره‌برداری باستانی از طلای این معدن در گذر زمان است؛

^۱ Acidic mine drainage (AMD)

^۲ Anthropogenic

^۳ Global greenhouse gas (GHG)

^۴ میراث جهانی تخت سلیمان و یا آتشکده/آذرگشسپ، مکانی مقدس برای پرستش آب و آتش، مجموعه‌ای تاریخی است در بخش تخت سلیمان شهرستان تکاب که شامل آتشکده، معبد آناهیتا، کاخ تاج‌گذاری، ایوان خسرو، دریاچه اسرارآمیز فیروزه فام یا چشمه آرترین همیشه جوشان (با)

چنانچه بر اساس شواهد تاریخی استخراج طلا و زرنیخ^۱ (اورپیمنت) زرشوران در زمان ساسانیان رواج داشته و از قرن چهارم هجری نیز اسنادی تاریخی در خصوص معدن زرنیخ زرشوران وجود دارد. نخستین مطالعات زمین‌شناسی این ناحیه در سال ۱۸۴۰ توسط ریتر انجام پذیرفت. دکتر یعقوب ادوارد پولاک^۲، پزشک دربار قاجار در سال‌های ۱۸۶۰-۱۸۵۱، در مورد زرنیخ زرشوران چنین می‌نویسد: "...آرسنیک به صورت زرنیخ و زرنیخ قرمز به مقدار زیاد در گردستان و حوالی قزوین یافته می‌شود و صادرات آن به قسطنطنیه چندان اندک نیست." در سال ۱۸۸۱ شیندلر^۳، محقق آلمانی، شرح مفصلی از کانی‌های این منطقه نوشت و در سال ۱۹۶۴ د.م، زمین‌شناس آلمانی، مطالعاتی در جنوب شرقی کوه بلقیس و زندان سلیمان انجام داد.

امتیاز بهره‌برداری از معدن زرشوران قبل از ۱۳۵۷ به شرکت کاوه و پس از آن به جهاد سازندگی و در سال ۱۳۶۴ به شرکت خدمات/اکتشافی اعطا گردید. محدوده معدنی زرشوران تا قبل از سال ۱۳۷۰ به عنوان معدن زرنیخ مورد بهره‌برداری بود؛ اما از ۱۳۷۰ این کانسار به عنوان یک پتانسیل طلا دار مورد توجه قرار گرفته و در این سال برنامه اکتشافات سراسری طلای کشور و استخراج آن در زرشوران آغاز گردید. در سال ۱۳۷۵ شرکت‌های مینرال/اکسپرت و ماینرکو از کشور آفریقای جنوبی عملیات اکتشافی معدن را ادامه و شرکت کالسیمین به عنوان مشاور با آن‌ها همکاری داشت. امتیاز اکتشاف تفصیلی کانسار در سال ۱۳۷۸ به شرکت آنگلو/آمریکن واگذار شد. بعدتر شرکت توسعه و نوسازی معادن/ایران، امتیاز را گرفت و ابتدا این امتیاز را به شرکت اوج پژوهش صنعت و معدن خراسان اجاره داد و در سال ۱۳۸۶ از طرق مناقصه آن را به شرکت تحقیق و گسترش صنایع معدنی پارس کانی تحویل نمود.

در حال حاضر شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلای زرشوران از شرکت‌های تابعه سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی/ایران (ایمیدرو)^۴ امتیازات بهره‌برداری و اکتشافات معدن را به عنوان کارفرمای مجتمع (مجموعه کانسارهای طلا و دیگر مواد معدنی زرشوران، معدن طلا، کارخانه فرآوری و سدهای باطله آن) بر عهده دارد و شرکت معدن زمین مشاور معدنی زرشوران است. مساحت محدوده معدن طلای زرشوران، طبق پروانه صادره شده برابر 39 km^2 است. در سال ۱۳۸۹ شرکت ایمیدرو جهت استحصال طلای زرشوران، با هدف تولید سالانه سه تن طلا و یک تن نقره، احداث کارخانه فرآوری خود را در پایین دست معدن و در فاصله ۵ کیلومتری آن و در زمینی به

رسوبات و املاحی چون آرسنیک و با عمقی بیش از ۷۸ متر) و دیگر بناهایی از ادوار گذشته (از دوره مادها تا زمان ایلخانیان مغول) می‌باشد. علاوه بر این مجموعه، در اطراف معدن زرشوران کوه و فله بلقیس، زندان سلیمان، چمن متحرک و چشمه‌های آب گرم متعددی وجود دارد.

¹ Orpiment, yellow arsenic blende, As_2S_3

² Jakob Eduard Polak (1818-1891) یکی از هفت استادی که به دعوت امیرکبیر برای تاسیس دارالفنون استخدام شد.

³ Albert Houtum-Schindler (1846-1916)

⁴ IMIDRO (Iranian Mines and Mining Industries Development and Renovation Organization)

مساحت ۱۳۹ هکتار آغاز و در سال ۱۳۹۳ آن را به بهره‌برداری رساند. در حال حاضر فعالیت در معدن و کارخانه آن در سه شیفت و هفت روز هفته با اشتغال مستقیم ۱۲۰۰ نفر است.

۱-۴-۲. موقعیت جغرافیایی معدن طلای زرشوران

معدن طلای زرشوران در شمال غربی ایران و جنوب شرقی استان آذربایجان غربی و در قلمرو شهرستان تکاب قرار دارد. مطابق شکل ۱-۲، شهرستان تکاب با استان‌های آذربایجان شرقی در شمال، زنجان در شرق، گردستان در جنوب و شهرستان شاهین‌دژ در غرب همسایه است. مجتمع زرشوران در شمال شهرستان تکاب و شمال دهستان احمدآباد و ۵ کیلومتری شرق روستای زرشوران (به گردی زهره‌شوران) قرار دارد و فاصله هوایی و زمینی آن به ترتیب ۵ و ۳۵ کیلومتر با مرکز شهر تکاب است. محدوده معدنی زرشوران در ارتفاعات طاق‌دیس ایمان‌خان قرار داد که ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد حدود ۲۳۵۰ متر است؛ حداقل ارتفاع در محل تلاقی دو آبراهه معدن زرشوران و بخیربولاغی ۲۲۰۰ متر است و حداکثر ارتفاع در قله کوه چالداغ برابر ۲۷۹۶ متر است. بلندترین ارتفاع منطقه تکاب کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۵۰ متر، هم‌مرز با استان زنجان هست که حدود ۱۵ کیلومتری جنوب شرق زرشوران واقع شده است [۲۵].

مساحت محدوده شهرستان تکاب حدود ۲۴۰۸ کیلومترمربع است که ۹۵٪ آن را ارتفاعات و ۵٪ دیگر را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. با وجود این ارتفاعات، اقلیم شهرستان تکاب در محدوده اقلیم مدیترانه‌ای سرد واقع است. سردترین ماه سال بهمن ماه با حداقل $^{\circ}\text{C}$ ۳۲- و گرم‌ترین ماه آن هم تیرماه با حداکثر $^{\circ}\text{C}$ ۴۴ است. میانگین درجه حرارت سالیانه در این منطقه $^{\circ}\text{C}$ ۹.۴ است [۲۵].

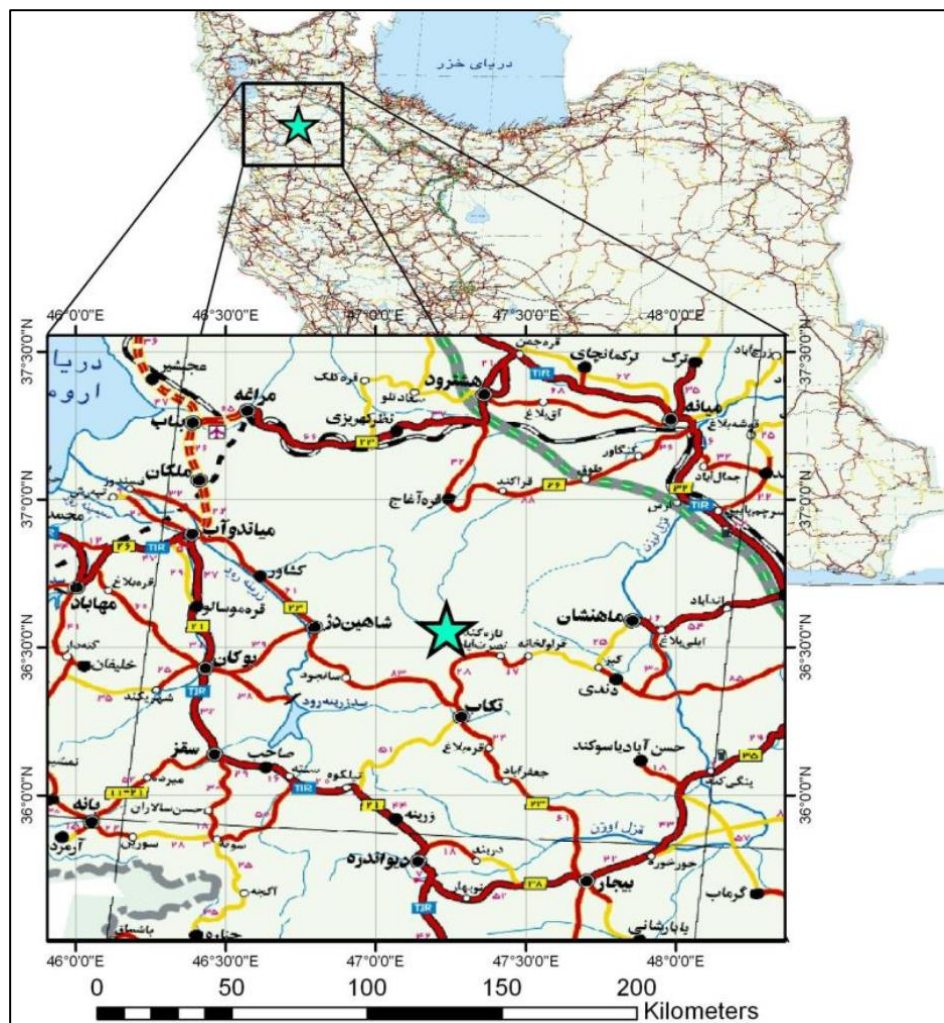
در این منطقه ریزش برف از اواخر آبان تا اوایل فروردین ادامه دارد. میانگین رطوبت نسبی سالیانه آن ۵۱/۵ درصد بوده و ۹۵٪ بارندگی سالانه در این ناحیه از آبان تا تیرماه است. میانگین این بارش سالیانه ۴۳۴ میلی‌لیتر و ایام یخبندان آن ۱۲۰ روز است به گونه‌ای که عملیات معدن‌کاری در چهار ماه از سال در آن به دلیل سردی هوا و یخبندان با دشواری همراه است [۲۵].

جهت باد غالب از جنوب غربی به شمال شرقی است. بیشترین سرعت باد غالب در شهریورماه به میزان ۱/۱ نات و بیشترین سرعت متوسط باد در ایستگاه تکاب در ۳/۷ نات در تیرماه مشاهده شده است. مطابق داده‌های ایستگاه هیدرومتری صفاخانه، بیشترین میزان آب‌دهی در این منطقه مربوط به سال ۱۳۷۲ برابر $20\text{ m}^3/\text{s}$ و کمترین میزان آب‌دهی مربوط به سال ۱۳۷۷ برابر $5\text{ m}^3/\text{s}$ است [۱۷].

در خصوص تیپ فلات‌های این منطقه و ویژگی‌های آن می‌توان تبخیر زیاد منطقه، محدودیت و فقر پوشش گیاهی و فرسایش شدید در بسیاری از قسمت‌ها و در پی آن پوشش بسیار پراکنده گیاهی را عنوان نمود. کوه‌های این منطقه مرتفع، آتش‌فشانی و دگرگونی می‌باشند طوری که دارای خاک

کم‌عمق تا نیمه عمیق با بافت سنگین بر روی سنگ‌ها و مواد آهکی هستند. کاربری رایج در اراضی منطقه، چرای فصلی دام و زراعت‌های آبی و دیم و در بعضی قسمت‌ها باغات و پوشش پراکنده جنگلی است [۱۷].

چشمه‌های تراورتن ساز منطقه، نهشته‌های گنبدی شکل و مخروط‌های آتشفشانی زیبایی مانند زندان سلیمان، زندان برنجه و زندان نبی‌کندی و دیگر اشکال طبیعی دیدنی مثل تخت سلیمان، اژدهای سلیمان، قلعه بردینه و ... را در منطقه ایجاد نموده طوری که این آثار در گذر زمان مورد توجه بوده و مجموعه میراث جهانی تخت سلیمان و آثار شهر باستانی شیز از گذشته پر رونق منطقه حکایت دارد. علاوه بر آثار باستانی متعدد در منطقه، چشمه‌های آبگرم فراوانی مثل چشمه‌های آبگرم/احمد/باد و چشمه آبگرم قینرجه و چشم‌انداز کوه بلقیس و تنوع زیستی آن، سالانه توریست‌های فراوانی را به خود جلب می‌کنند؛ اما امروزه به علت تنوع بیش از حد فعالیت‌های معدن کاری در حوزه شهرستان‌های تکاب و ماه‌نشان، محیط زیست منطقه در معرض خطرات جدی قرار دارند.



شکل ۱-۲. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده معدن طلای زرشوران [۲۶]

۱-۴-۳. زمین‌شناسی کانسار زرشوران

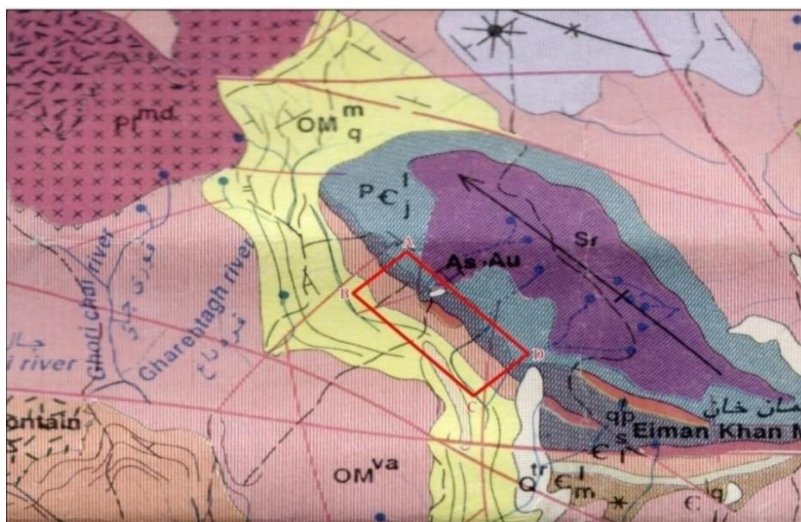
از نظر زمین‌شناسی ساختاری، منطقه مورد مطالعه متعلق به کمربند آتشفشانی سندج-سیرجان با روند شمال غربی-جنوب شرقی است (شکل‌های ۱-۳ و ۱-۴). قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در این منطقه متشکل از سنگ‌های دگرگونی پروتروزوییک پسین-مزوزوئیک، مانند رسوبات کربنات‌ها، شیل، گنیس و آمفیبولیت است. تشکلهای زمین‌شناسی نیز شامل آتشفشان‌های دوره سوم و رسوبات کواترن هستند. کربنات‌های پالئوزوئیک پسین و ترشیری شامل سنگ‌های آهک و دولومیت نیز در این منطقه به چشم می‌خورند (شکل ۱-۵). واحدهای شیل‌های سیاه، کربنات‌ها و آندزیت‌ها میزبان کانی‌سازی As-Au هستند که دچار دگرسانی گرمابی شده‌اند. چشمه‌های آب گرم متعددی ناشی از فعالیت‌های هیدروترمال در منطقه نیز مشاهده می‌شود [۲۷].

این کانسار شباهت‌های زیادی با کانسارهای اپی‌ترمال در سنگ‌های رسوبی دارد. اورپیمنت (As_2S_3) کانی غالب کانسار زرشوران است و علاوه بر اورپیمنت، آرسنیک این کانسار در کانی‌های رالگار (AsS) نیز وجود دارد. طلای خالص به‌ندرت در این معدن قابل مشاهده است اما به‌صورت نامرئی در آرسنوپیریت و آسفالریت وجود دارد [۲۷].

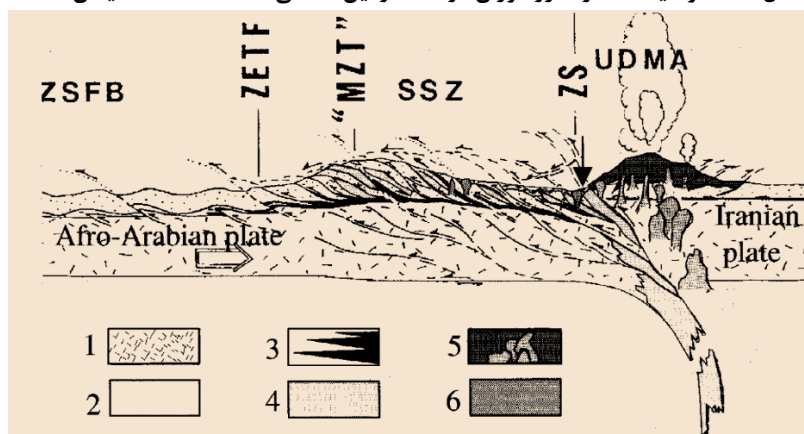
در محدوده پیت جاری، بیشترین غلظت طلا در شیل غنی از کربن و شیل سیلیسی شده وجود دارد. کانی‌های آرسنیک‌دار معدن با پیریت و کانی‌های آرسنیک-دار شناسایی شده‌اند که شامل زرنیخ (اورپیمنت)، سینابر (HgS)، کانی‌های تالیم، باریت، پیریت حاوی طلا، سولفیدهای فلزی (گالن و آسفالریت)، کالکوپیریت ($CuFeS_2$) و آرسنوپیریت ($FeAsS$) می‌شوند [۲۷].

کانسار زرشوران یک کانسار آرسنیک-طلای افشان با تیپ اپی‌ترمال با میزبانی شیل سیاه کربنات دوره پرکامبرین است که شباهت زیادی به کانسارهای تیپ طلای کارلین غرب ایالات متحده دارد [۳۰] و از نظر ژئومتری به شکل عدسی، رگه‌ای و غلاف‌های مرتبط به هم هستند [۲۶] و از نظر پاراژنز با کانی‌های رالگار، اورپیمنت، پیریت، گالن، آسفالریت، فلوتوریت، بولانثریت، کربن، کوارتز و طلا همایندی دارند [۳۱].

کانسار زرشوران یک کانسار آرسنیک-طلای افشان با تیپ اپی‌ترمال با میزبانی شیل سیاه کربنات دوره پرکامبرین است که شباهت زیادی به کانسارهای تیپ طلای کارلین غرب ایالات متحده دارد [۳۰] و از نظر ژئومتری به شکل عدسی، رگه‌ای و غلاف‌های مرتبط به هم هستند [۲۶] و از نظر پاراژنز با کانی‌های رالگار، اورپیمنت، پیریت، گالن، آسفالریت، فلوتوریت، بولانثریت، کربن، کوارتز و طلا همایندی دارند [۳۱].



شکل ۱-۳. موقعیت محدوده زرشوران در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان [۲۵]



شکل ۱-۴. مقطع شماتیک از کمربند کوهزایی زاگرس [۲۸]

۱- پوسه قاره‌ای ۲- رسوبات فانروزوئیک ۳- رسوبات تبخیری ۴- پوسه اقیانوسی ۵- توده‌های نفوذی ارومیه دختر ۶- سنگ‌های آذرین سنندج - سیرجان (جهت فلش موقعیت کانسار زرشوران را نشان می‌دهد).



شکل ۱-۵. نمای از واحد شیست و آهک معدن جاری زرشوران در سال ۱۳۹۳ [۲۹]

واحد شیست ایمان‌خان P€shs، واحدهای آهک کریستالین چالداغ (مرمرچالداغ) شامل آهک کریستالین آگ دار و لامینه P€1a و واحد آهک روشن P€1b و واحد زرشوران P€shzr به همراه تراورتن‌های کواترنر Qtr که زون کانی‌زایی Mz بر روی آهک چالداغ و شیست تأثیر داشته است. (دید به سمت شرق-محل عکس‌برداری در موقعیت کمپ مهندسی واحد استخراج)

۴-۴-۱. موقعیت مجتمع زرشوران از نظر زیست محیطی

ظرفیت معدنی غنی شهرستان تکاب، ناشی از دوره‌های زمین‌شناسی کانی‌ساز متعدد، سبب گسترش معدن‌کاری و فعالیت معادن مختلفی در این شهرستان شده است به گونه‌ای که اخیراً معادن سنگ‌های تزئینی متروکه در منطقه مشاهده می‌شود که متأسفانه چشم‌انداز طبیعی دشت زیبای افشار را به دلیل برداشت‌های فراوان و ایجاد سینه‌کارهای رها شده از بین برده‌اند. در مسیرهای تردد حوزه شهرستان تکاب، عدم رعایت حداقل استانداردهای زیست محیطی در معادن این شهرستان برای هر بیننده‌ای حس می‌شود. (شکل ۶-۱ و شکل ۷-۱)



شکل ۶-۱. نمونه‌ای از معدن تروراتن در مسیر رودخانه ساروق چای که در سال‌های قبل محل چرا و استراحت دام‌های منطقه بود.



شکل ۷-۱. یک نمونه از ده‌ها معدن سنگ تزئینی متروکه در مسیر شاهین‌دژ-تکاب با تخریب چشم‌انداز طبیعی منطقه

بیشتر مطالعات زیست محیطی در این منطقه بیانگر میزان بیش از حد مجاز آرسنیک، جیوه و دیگر فلزات سنگین در رسوبات و آب‌های منطقه است؛ چرا که پیریت‌های آرسنیک‌دار، آرسنوپیریت، اسکروdit و ملنیکوویت کانی‌های اصلی منشأ آرسنیک منطقه را تشکیل داده و حجم بالایی از کانی‌های پیریت و آرسنوپیریت در کانسار زرشوران و محتوای آرسنیک در ترکیب شیمیایی این کانی‌ها در منطقه اکسایش محدوده معدن مشاهده می‌شود [۳۲] احتمال آلودگی آب‌های منطقه به جیوه به دلیل منشأ سینابر در کانی‌های محدوده کانسار طلای آق‌دره نیز وجود دارد که عمدتاً در سنگ‌های آهکی توده‌ای کانی‌سازی شده است [۳۳].

آب‌های زیرزمینی منطقه زرشوران قادرند در دو نوع مخزن متفاوت نهشته‌های کوارترنری و سازندهای سنگی سخت ذخیره شوند. بر اساس آمار سال ۱۳۸۵ منابع آب زیرزمینی محدوده تکاب شامل ۴۴ حلقه چاه، ۱۳۳ دهنه چشمه و ۲ رشته قنات است به گونه‌ای که کل میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی محدوده تکاب مطابق شکل ۸-۱ برابر ۳/۶ میلیون مترمکعب است. این بالا بودن میزان تخلیه آب چشمه نسبت به چاه در تکاب، برخلاف آمار بیشتر شهرها، می‌تواند به علت وجود چشمه‌های

متعدد معدنی و آب گرم و بخصوص چشمه مرکزی محدوده میراث باستانی تخت سلیمان (با تخلیه ۱۰۰ لیتر در ثانیه) در این شهرستان باشد.

آبراهه‌های این منطقه جزئی از حوزه آبریز زرينه‌رود محسوب می‌شوند. در فاصله ۲۵۰ متری حوضچه‌های کارخانه فرآوری طلای زرشوران، سرشاخه‌های رودخانه زرشوران قرار دارد که مطابق شکل ۹-۱ به رودخانه ساروق‌چای می‌ریزند. شاخه‌های فرعی رودخانه ساروق‌چای به همراه رودخانه‌های سقز، زرينه‌رود و خورخوره به سد زرينه‌رود (سد شهید کاظمی بوکان) می‌ریزند. مطابق شکل ۱-۹، آب سد زرينه‌رود پیش از رسیدن به دریاچه ارومیه، برای مصارف کشاورزی و آب شرب بخشی از سقز و چندین شهر در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و حتی بخشی از شهر تبریز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

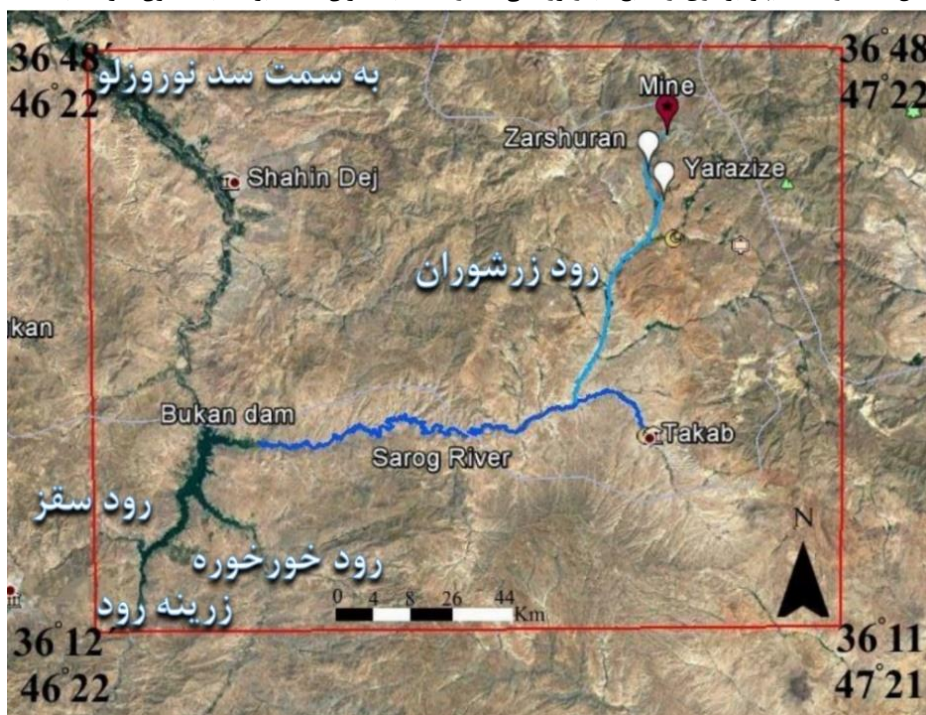
علاوه بر کارخانه فرآوری زرشوران، کارخانه‌های فرآوری طلای آق‌دره و کارخانه فرآوری استحصال مواد معدنی شرکت کانی‌کاران در بالادست رودخانه ساروق‌چای قرار دارند. همچنین در حال حاضر در بالادست رودخانه سقز کارخانه فرآوری معادن طلای سقز نیز در حال احداث است. مشکل عمده زیست‌محیطی اینجاست که جریان آب‌های آلوده احتمالی چهار کارخانه فوق‌الشاره به سرشاخه های رودهای اصلی این سد می‌ریزند و شدت ریسک نفوذ ترکیبات سیانید و فلزات سنگین از این محدوده‌ها به سد زرينه‌رود، بالا خواهد بود و با توجه به وجود کارخانه‌های متعدد فرآوری طلا در حوزه این سد، به نظر می‌رسد ملاحظات ملی زیست‌محیطی در اینجا لحاظ نشده است. علاوه بر این معادن، فقط در حوزه شهرستان تکاب بالغ بر ۶۰ معدن سنگ تزئینی و چندین معدن فلزی در حال استخراج‌اند. با توجه به زمین‌شناسی منطقه و وجود کانی‌های اقتصادی متعدد در آن از طرفی و همچنین تنوع مناطق چهارگانه، میراث جهانی، مناطق باستانی، مناطق مسکونی و فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری روستائیان این منطقه از طرف دیگر، هر نوع فعالیت معدنی در این منطقه می‌تواند عاملی برای ایجاد تأثیرات مخرب زیست‌محیطی با پیامدهایی گسترده بر هر یک از حوزه‌های منطقه باشد.

بر اساس تعاریف مناطق چهارگانه تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران در قوانین کشوری، و آخرین داده‌های وب‌سایت سازمان حفاظت محیط‌زیست و همچنین نقشه پراکنش مناطق چهارگانه و شکارممنوع، تا شعاع هوایی صد کیلومتری معدن طلای زرشوران، مطابق شکل ۱-۱۰، دو پناه‌گاه حیات‌وحش، پنج منطقه حفاظت شده و چهار منطقه شکارممنوع وجود دارند.

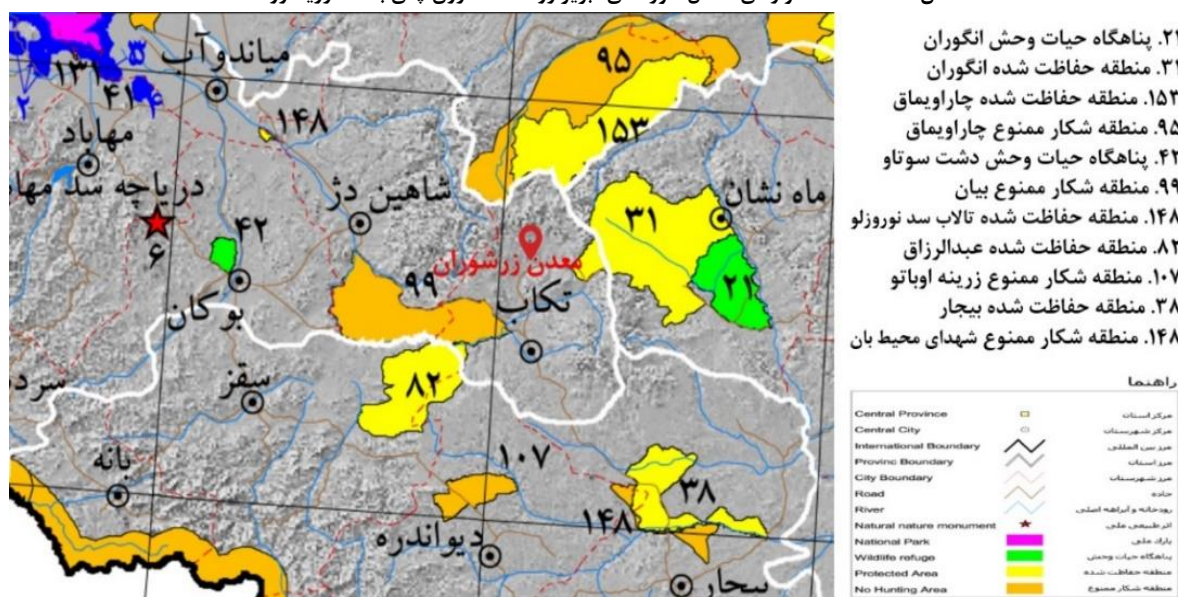
پوشش گیاهی منطقه زرشوان به دلیل وضعیت زمین‌شناسی آن و اقلیم سرد منطقه و همچنین تغییرات انسان‌زاد مختلف، امروزه به تیپ‌های مرتعی و علف‌زاری محدود شده است [۱۷] مهم‌ترین تیپ‌های مرتعی این منطقه مطابق جدول ۱-۴، است. بخش‌های غنی خاک منطقه معدن زرشوران قبل از عملیات معدنی، کاربری دیم و گاهی ایجاد باغ‌ها بخصوص باغ سیب داشته‌اند.



شکل ۸-۱. وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی محدوده تکاب (میزان تخلیه بر حسب میلیون مترمکعب) [۳۴]



شکل ۹-۱. نقشه ماهواره‌ای اتصال حوزه‌های آبریز رودخانه ساروق چای به سد زرينه رود [۲۹]

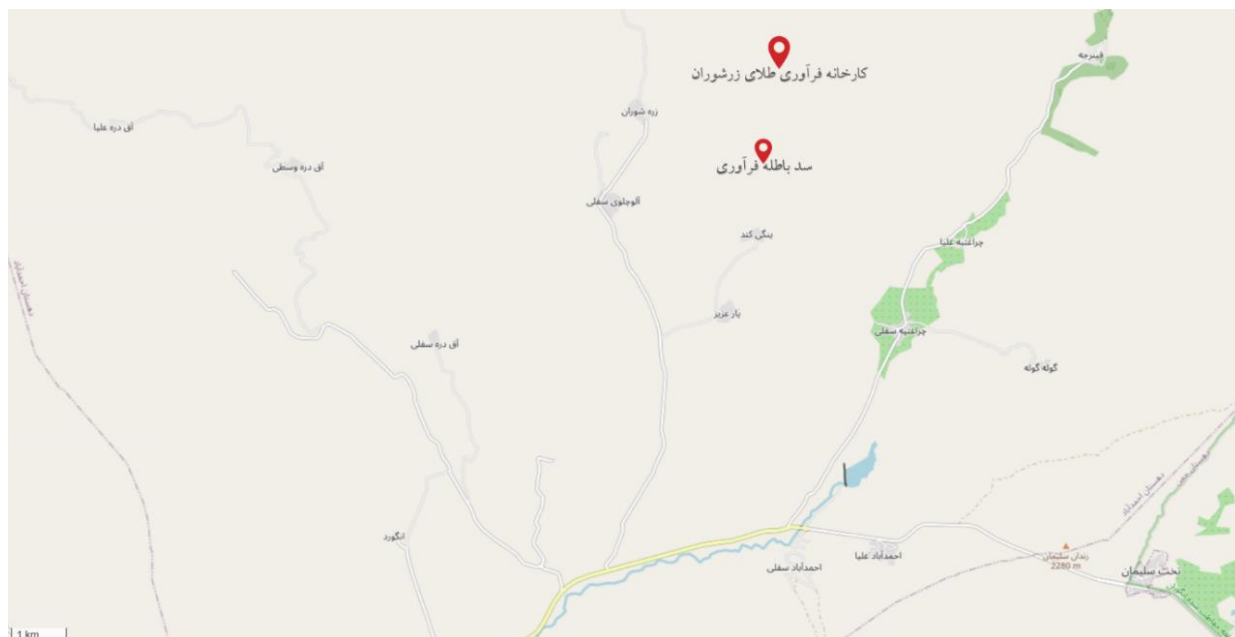


شکل ۱۰-۱. مناطق چهارگانه و شکارممنوع سازمان حفاظت محیط زیست تا شعاع 100km معدن طلای زرشوران [۳۵]

جدول ۱-۴. مهم‌ترین تیپ‌های گیاهی پوشش مرتعی محدوده زرشوران [۱۷]

نام فارسی تیپ گیاهی	نام لاتینی تیپ گیاهی
گون - اسپرس	Astragalus – Onobrychis
گون - علف‌های چندساله	Astragalus – Perennial grasses
درمنه - رز ایرانی	Artemisia - Rosa persica

منطقه زرشوران با توجه به موقعیت ویژه آن، از تنوع جانوری بالایی برخوردار است به گونه‌ای که از ۲۰ راسته شناخته شده در ایران، گونه‌هایی از ۱۰ راسته در این محدوده گزارش شده و بیش از یک‌سوم گونه‌های پستانداران کشور نیز در آن مشاهده شده است [۱۷]. قوش و میش ارمنی از مهم‌ترین پستانداران منطقه می‌باشند. همچنین منطقه از تنوع بالایی در گونه‌های پرند نیز برخوردار است. یکی از خزندگان منطقه که در خطر انقراض است، لاک‌پشت مهمیزدار است [۱۷]. در ترازهای بالای معدن زرشوران، معمولاً در فصل زمستان خرس و بزکوهی گاهی توسط پرسنل معدن مشاهده شده است. مطابق شکل ۱-۱۱ در جوار محدوده این مجتمع ۱۲ روستا قرار دارند که طبق آمار سال ۱۳۹۱ جمعیتی بالغ بر ۶۲۹۸ نفر دارد. نزدیک‌ترین مناطق مسکونی شامل روستاهای ینگ‌کند (با ۴۱ خانوار و ۱۸۴ نفر جمعیت) در فاصله ۱۵۰۰ متری کارخانه، روستای زرشوران (با ۸۹ خانوار و ۳۱۳ نفر جمعیت) در فاصله ۱۹۰۰ متری و روستاهای آلوچای علیا (۲۶ خانوار و ۱۱۸ نفر جمعیت) و آلوچای سفلی (۱۰۳ خانوار و ۴۲۷ نفر جمعیت) در فاصله تقریبی دو کیلومتری از کارخانه فرآوری زرشوران، سکونت دارند [۱۷].



شکل ۱-۱۱. موقعیت کارخانه فرآوری طلای زرشوران و روستاهای اطراف آن

۱-۵. تعریف مسئله

مجتمع طلای زرشوران شامل معدن، کارخانه فرآوری و سدهای باطله فرآوری آن به عنوان مطالعه موردی این پایان نامه انتخاب شده است. این مجموعه و فرآیندهای آن در فصل سوم معرفی می شود تا با توجه به تأثیرات مخرب زیست محیطی معادن طلا، ریسک های زیست محیطی موجود در این مجتمع تا حد امکان شناسایی و دسته بندی و با مشارکت کارشناسان مقیم در این مجتمع ارزیابی و سطح واکنش به آن ها را رتبه بندی شود. لذا مهم ترین مسائل این تحقیق عبارتند از:

- چه نوع ریسک های زیست محیطی در مجتمع طلای زرشوران وجود دارد؟
 - چگونه می توان فهرست جامعی از ریسک های زیست محیطی این مجموعه تهیه نمود؟
 - چگونه می توان فهرست مذکور را ارزیابی و رتبه بندی کرد؟
 - ریسک های زیست محیطی این مجموعه، چه تأثیراتی بر محیط زیست و جانداران منطقه دارد؟
 - چه برنامه های واکنشی لازم برای مقابله با این خطرات وجود دارد؟
- با توجه به اینکه قوانین و استانداردهای پیشنهاد شده جهت مدیریت زیست محیطی معادن ایران، معمولاً کلی نگر بوده و حداقل الزامات را بیان می کنند [۳۶] لذا نیاز است برای هر معدن مدیریت ریسک های زیست محیطی خاص آن معدن پیاده شود [۳۷]. در این پژوهش در مرحله شناسایی ریسک، برنامه های مدیریت زیست محیطی مجتمع جهت رسیدن به پاسخ سؤالات زیر بررسی می شود:
- چه برنامه های برای مدیریت ریسک های زیست محیطی در مجتمع زرشوران وجود دارد؟
 - تا چه میزان برنامه های مدیریت ریسک های زیست محیطی، کارآ و مؤثر هستند؟
 - چه پیشنهادهایی برای بهبود فرآیندهای سازمانی در خصوص مدیریت ریسک های زیست محیطی این مجموعه، به صورت مستمر، می توان ارائه نمود؟

۱-۶. سابقه تحقیق

مطالعات مفیدی جهت بررسی عواملی که ممکن است تأثیرات زیست محیطی منفی در معدن طلای زرشوران داشته باشند انجام گرفته است. با توجه به اینکه مجموعه کارخانه فرآوری و سدهای باطله معدن زرشوران در حال توسعه است، مطالعه جامعی توسط دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران در سال ۱۴۰۰ تحت عنوان "ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح توسعه کارخانه و سد باطله طلای زرشوران" انجام گرفته است [۱۷]. این گزارش تا حدودی ریسک های زیست محیطی واحدهای مختلف مجتمع طلای زرشوران را با بررسی فرآیندهای فاز توسعه، شناسایی و به روش FMEA ارزیابی و راهکارهای پیشنهادی در خصوص مدیریت این ریسک ها را ارائه نموده است.

در سال ۱۳۹۷ معصومی‌فر، اثرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های نوین معدن‌کاری در روستاهای محدوده معدن را ارزیابی نمود؛ وی در این پژوهش نشان داد که عنصر آرسنیک در نمونه‌های آب و رسوب در اکثر نقاط نمونه‌برداری از غلظت بالایی برخوردار است [۲۹]. در پژوهشی دیگر به سال ۱۳۹۶، عباسی و همکارانشان، تأثیر معدن‌کاری و استخراج طلا بر میزان آلودگی آب‌ها به آرسنیک و جیوه در منطقه زرشوران تکاب را بررسی نمودند. نتایج پژوهش ایشان نیز نشان داد که مقدار آرسنیک در زرشوران از مقدار استاندارد سازمان بهداشت جهانی بالاتر است [۳۲].

آقای کرباسی و همکارانشان در سال ۲۰۱۴ با نمونه‌برداری از خاک‌های سطحی اطراف معدن زرشوران نتیجه گرفتند که آن‌ها به‌شدت به جیوه، سرب آرسنیک و روی آلوده‌اند و این آلودگی در پایین دست با توجه به طغیان فصلی رودخانه‌ها بیشتر است [۳۸]. همچنین در سال ۲۰۱۸ آقای غضبان و همکارانشان با نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل خاک‌های اطراف معدن زرشوران نتیجه گرفتند که میانگین غلظت Pb و $f As, Cu, Zn, Cd$ (به صورت mg/kg) بسیار بالاتر از میانگین جهانی است [۲۷]. در سال ۱۳۹۴، سازوکار انتقال آلاینده‌های فلزی از کانسار آرسنیک طلای زرشوران در پژوهشی توسط آقای فرید و همکارانشان انجام گرفت. در این پژوهش غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب رودخانه زرشوران در ۱۱ ایستگاه اندازه‌گیری شد تا شیوه انتقال آلاینده‌های آزاد شده از کانسار زرشوران و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها بررسی شود. ایشان نتیجه گرفتند که آلاینده‌ها، بیشتر در فازهای کلوییدی و آواری انتقال می‌یابند و تنها حدود ۱۳ درصد آرسنیک با فازهای حل شده همراه است و قسمت اعظم آرسنیک به صورت گونه‌های حل شده انتقال می‌یابد [۳۰]. آن‌ها در مطالعه‌ای نتیجه گرفته بودند که فعالیت معدنی، قرار گرفتن حجم زیادی از باطله‌های معدنی در معرض هوازدگی و پس‌زمینه بالای غیرعادی فلزات کمیاب در منطقه معدن از منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین محسوب می‌شوند [۳۹].

آلودگی زیست‌محیطی رسوبات آبراهه‌های آلوده به عناصر سنگین در منطقه شمال تکاب توسط موسوی و همکارانشان در سال ۱۳۹۶ بررسی شد. در این پژوهش، توزیع آلودگی عناصر سنگین آرسنیک، آنتیموان، نیکل، مس، کادمیم، کبالت، بیسموت، سرب و روی در محیط رسوبات آبراهه‌های منطقه زرشوران- آق‌دره با استفاده از تکنیک‌های آماری و تلفیق هندسی حوزه آبریز هر نمونه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، میزان آلودگی عناصر در ۱۵۴ نمونه رسوب آبراهه‌ها تحلیل شده و نتایج نشان دادند که بیشترین غنی‌شدگی مربوط به فلزات آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، کادمیم و سرب است، همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت فلزهای روی، مس، سرب، آرسنیک، آنتیموان، کادمیم و بیسموت در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای در مقایسه با میانگین جهانی بیشتر است [۴۰].

ارزبایی آلودگی فلز سنگین جیوه در رسوبات معدن طلای زرشوران توسط حسینی‌نژاد و رزم‌آرا در سال ۲۰۱۹ انجام شد و با ۱۲ مورد نمونه‌برداری از رسوبات محدوده معدن و آنالیز آن‌ها، نتیجه گرفتند که در رسوبات رودخانه‌های اطراف منطقه معدنی زرشوران غلظت بیش‌ازحد مجاز جیوه وجود داشته و نشان دادند که عمده‌ترین فرآیندهای کمپلکسی که تحرک و جابجایی جیوه را کنترل می‌کنند، مرتبط با سنگ منشأ، نوع رسوبات، پدیده‌های جذب-واجذب، تبدیلات ژئوشیمیایی، انحلال فازهای جامد، تشکیل کمپلکس با مواد آلی (DOM)، فرآیند انتشار و برهم‌کنش‌های اکسایش-کاهش می‌باشند. طبق این مطالعه، عمده مقدار جیوه موجود در رسوبات حاصل فرآیند حمل و انتشار حاصل از کانی‌های منشأ جیوه (همچون رآلگار، اریپمنت و سینابر) موجود در سنگ‌های در برگیرنده و کانسار است [۴۱].

بررسی فرآیند حذف سیانید از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران با استفاده از ذغالسنگ در سال ۱۳۹۷ توسط بهرامی و همکاران انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از ذغالسنگ محدوده قوزلوی شاهین‌دژ، که در چند کیلومتری سد باطله زرشوران قرار دارد، (با دانه‌بندی یک تا دو میلی‌متر و به‌صورت خام در بستر و کف سد باطله) می‌تواند از آلودگی منابع آب زیرزمینی به سیانور به مقدار قابل توجهی بکاهد [۴۲].

در پژوهشی دیگر به سال ۲۰۱۹ خانم خلیل‌زاده و آقای میرباقری کیفیت آب زیرنه‌رود را با شاخص آلودگی به فلزات سنگین بررسی نموده و این آلودگی را در نتیجه فعالیت‌های انسانی و معدنی نتیجه گرفتند [۴۳]. در سال ۲۰۱۴ آقای شریفی و همکاران با بررسی خطرات بالقوه آرسنیک، آنتیموان و جیوه برای سلامتی در میدان زمین‌گرمایی تکاب، پیشنهاد دادند که خطرات سلامتی ناشی از مصرف طولانی‌مدت گندم و سایر مواد غذایی غنی از As را باید با نظارت بر آلودگی در مسیر آب-خاک-گیاه منطقه مدیریت کرد [۴۴].

اصلاح فلزات سنگین توسط گونه‌های گیاهی بومی کشت شده در غنی‌ترین معدن طلای ایران

و بررسی راهکارهای تحمل آلودگی گیاهان، پژوهشی است که در سال ۲۰۲۴ توسط خانم تربتی و همکاران ایشان انجام شد و سه گونه گیاهی ممکن برای تمیز کردن فلزات سنگین از خاک منطقه در مکان‌های آلوده را پیشنهاد دادند [۴۵].

آقای اس. لیزاک و همکاران در سال ۲۰۲۳ نشان دادند که استخراج طلا علی‌رغم آسیب‌های اجتماعی و مشکلات زیست‌محیطی عمده‌ای که ایجاد می‌کند، کمک چندانی به رفاه اولیه انسان نمی‌کند و استدلال می‌کنند که طلا باید در کنار زغال‌سنگ و عاج به‌عنوان ماده‌ای قرار گیرد که مزایای آن هزینه‌های گزاف اجتماعی و زیست‌محیطی آن را توجیه نمی‌کند و بشر امروزی نیازمند تغییر نگرش به سرمایه‌گذاری در حوزه طلا است [۴۶].

جهت بررسی ریسک‌های معدن زرشوران از دیدگاه ارزیابی ریسک پروژه، مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۳ توسط آقای صیادی و همکارانشان با استفاده از شیوه‌های FAHP و Fuzzy TOPSIS انجام پذیرفت. با توجه به اینکه این پژوهش دیدگاه مدیریت پروژه داشته و از ساختار شکست ریسک بهره جسته است، همه ریسک‌های شناسایی شده در پروژه، به صورت کلی بررسی شده و منحصراً به ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی نپرداخته است. مطالعات این پژوهش نشان داد که در معدن زرشوران، ریسک‌های بازار، ژئوتکنیکی، اقتصادی و سیاسی به ترتیب مهم‌ترین ریسک‌های معدن زرشوران از دیدگاه مدیریت پروژه می‌باشند [۴۷].

در سال ۱۴۰۱، م. مقصودی حاصل تجربیات و گزارش‌های عملی خود را در کتابی تحت عنوان “مطالعات اجتماعی در معدن طلا” انتشار داد. این کتاب نتیجه اقدامات پژوهش اجتماعی ایشان در معدن طلای ساریگونی کردستان به کارفرمایی شرکت بین‌المللی ریوتینتو^۱ به شیوه “روش ارزیابی مشارکتی روستایی”^۲ (PRA) است [۴۸]. در فصل هشتم این کتاب نتیجه مطالعات زیست‌محیطی معدن به شیوه PRA ذکر شده و در آن اهمیت مشارکت ذی‌نفعان اصلی محدوده معدن در ارزیابی‌های زیست‌محیطی و مشارکت سودمند اجتماعی در حل تعارضات معدنی نشان داده شده است.

مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با همکاری معاونت درمان وزارت بهداشت، بر پایه پراکندگی کانسارهای معدنی و مرگ‌ومیر سرطان‌ها در کشور، اطلس ملی زمین‌شناسی پزشکی را در خردادماه ۱۳۸۳ منتشر نمود [۸]. در این اطلس مجموعه‌ای از نقشه‌های موضوعی زمین‌شناسی و اکتشافی به همراه آمار مرگ‌ومیر سرطان در سال ۱۳۸۳ برای عناصری چون مس، آرسنیک، طلا، نقره و ... گردآوری شده و پس از معرفی عناصر و کانی‌های غالب همراه آن‌ها و همچنین نقشه پراکنش آن‌ها در ایران به تأثیرات آن‌ها بر سلامت انسان و نقشه‌های پراکنش بر حسب نوع سرطان تدوین شده است. متأسفانه این اطلس از سال ۱۳۸۳ به بعد بروز رسانی نشده است.

آیین‌نامه ارزیابی زیست‌محیطی طرح‌ها [۲۳]، راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های اکتشافی [۴۹]، فعالیت‌های استخراجی [۵۰] و فعالیت‌های کانه‌آرایی [۵۱] و همچنین راهنمای ارزیابی سیستم/یمنی، بهداشت و محیط‌زیست در معادن [۵۲] از جمله الزامات و راهنماهای دولتی ایران برای مدیریت زیست‌محیطی معادن می‌باشند. به علاوه و به صورت تخصصی‌تر، سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران، “دستورالعمل تخصصی مطالعات ارزیابی آثار و پیامدهای زیست‌محیطی معدن‌کاری و فرآوری طلا” [۳۶] جهت تهیه گزارش‌های ارزیابی آثار و پیامدهای زیست‌محیطی این معادن را تدوین نموده است. این مستندات به عنوان راهنماهایی کلی در تهیه برنامه ارزیابی ریسک این پژوهش مورد استفاده

¹Rio Tinto Mining Corporation

²Participatory Rural Appraisal (PRA) Method

قرار گرفته‌اند. از دیگر دستورالعمل‌های تهیه شده در برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن که در این پایان‌نامه به آن ارجاع شده است، "دستورالعمل کنترل و خنثی‌سازی آرسنیک، سولفید و ، سیانید در آزمایشگاه‌های فرآوری" [۵۳] است.

۷-۱. طرح تحقیق

۷-۱-۱. اهداف تحقیق

در این پژوهش با مطالعه نتایج پژوهش‌های معرفی شده در پیشینه تحقیق، مصاحبه با افراد بومی و کارشناسان مقیم در معدن و نیز بازدید صحرایی از معدن و بررسی کارخانه فرآوری، می‌خواهیم منحصراً ریسک‌های زیست‌محیطی در مجتمع طلای زرشوران را ارزیابی کنیم. لذا اهداف انجام این پژوهش عبارتند از:

- به‌کارگیری شیوه‌های معرفی شده در استانداردهای مدیریت ریسک (پروژه محور و سازمان محور) با انتخاب مدل فازی توسعه‌یافته برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع؛
- مشارکت گروهی جهت سنجش ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع زرشوران؛
- اولویت‌بندی واکنش‌های لازم به ریسک‌های شناسایی شده و ارائه راهکارهای کوتاه و بلندمدت؛

۷-۲. ضرورت انجام تحقیق

معدن و کارخانه طلای زرشوران مثل هر معدن فلزی و کارخانه فرآوری طلای دیگری بر محیط‌زیست تأثیرات مخرب و گسترده دارد. علاوه بر اهمیت مدیریت مستمر و جامع ریسک‌های زیست‌محیطی در معادن طلا، اهمیت این موضوع در زرشوران به سه دلیل بیشتر است. اولاً این معدن و کارخانه فرآوری آن در محدوده‌ای قرار دارد که روستاهای مسکونی متعددی در اطراف آن قرار دارند که از طریق دامداری و کشاورزی در زمین‌های محدوده معدن ارتزاق می‌کنند و به طور مستقیم این جمعیت روستایی با آلاینده‌ها و آلودگی‌های ناشی از معدن‌کاری زرشوران در ارتباطند. دوماً رودهای اطراف این معدن و دو معدن دیگر طلا، آق‌دره و سقز، به سد زرينه‌رود می‌ریزد و این سد آب شرب و کشاورزی بخش‌هایی از سه استان کردستان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی را تأمین می‌کند. لذا جمعیتی که از تأثیرات منفی زیست‌محیطی این معدن اثر می‌پذیرند بسیار گسترده است. سوماً مناطق حفاظت شده /نگوران، چار/ویماق و عبدالرزاق از فعالیت‌های این معدن تأثیر مستقیم می‌گیرند و لذا جمعیت تأثیرپذیر از این ریسک‌ها علاوه بر انسان در دیگر جانداران منطقه نیز گسترده است.

با مصاحبه با مردم بومی منطقه، متوجه شکایات و اعتراضات متعدد مردم علیه فعالیت‌های این معدن می‌شویم. بومیان منطقه ادعای گسترش سرطان در افراد خانواده خود را به علت مصرف آب آلوده به فلزات سنگین دارند. همچنین تعارضات گوناگونی بین فعالیت‌های این معدن با کشاورزان و دامداران منطقه رخ می‌دهد. هر چند تعداد بالای مسئولین انتظاماتی در معدن و کارخانه محرز است و مجموعه همواره آماده کنترل مردم محلی است، اما آمار و مطالعه مشخصی در خصوص ارتباط فعالیت‌های این معدن با گسترش سرطان بین افراد منطقه و اثبات منشاء این بیماری‌های با معدن وجود ندارد.

از آنجا که ورود به بحث آلاینده‌ها و ریسک‌های زیست‌محیطی معادن، بخصوص کانسنگی چون طلا، همواره با مقاومت مسئولین معدن و محافظه‌کاری کارشناسان مقیم در معدن همراه است و سازمان محیط‌زیست هم جهت ایجاد توازن بین برنامه‌های توسعه دولت و حفاظت از محیط‌زیست، با ارگان‌های صنعتی تا حد فراوانی تعامل دارد و برای مدیریت ریسک‌های محیط‌زیست کشور با محدودیت منابع مواجه است و همچنین کارفرمای شرکت‌های پالایش زیست‌محیطی زرشوران، خود کارفرمای مجتمع است، دسترسی به فهرست جامعی از ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی و ارزیابی شده در مجتمع طلای زرشوران ممکن نیست؛ لذا در این پژوهش به شیوه معرفی شده در روش تحقیق، فهرستی از ای ارن ریسک‌ها تهیه و ارزیابی شده است.

۱-۷-۳. روش تحقیق

در شیوه اجرای مطالعه حاضر، ابتدا پژوهش‌های مربوطه از سامانه‌های ایرانی و بین‌المللی انتخاب، بارگذاری و دسته‌بندی شده و پس از مطالعه، نتایج حاصل از آن‌ها به‌عنوان مرحله اولیه شناسایی ریسک‌ها انجام پذیرفت. این ریسک‌ها با حضور در معدن، بازدید واحدهای مختلف، بررسی تجهیزات و جلسات طوفان مغزی با کارشناسان مقیم و اجرای گام‌های روش دلفی بررسی و بروز شدند. با دسترسی به مستندات معدن از جمله نتایج حاصل از پایش‌ها، این فهرست کنترل شده و پس از آن با به‌کارگیری جدیدترین روش‌های فازی توسعه‌یافته، ریسک‌های شناسایی شده با مشارکت کارشناسان، کمی‌سازی و اولویت‌بندی شدند. روش‌های نوین فازی جهت تصمیم‌گیری و قضاوت کارشناسانه، با توجه به وجود مفاهیم کیفی نادقیق و مبهم و نیاز به کمی‌سازی آن‌ها در مرحله ارزیابی ریسک، انتخاب و پس از نتایج حاصل از کمی‌سازی، راهکارهای مقابله با ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی، پیشنهاد و ارائه شده‌اند.

۱-۷-۴. فرضیه‌های تحقیق

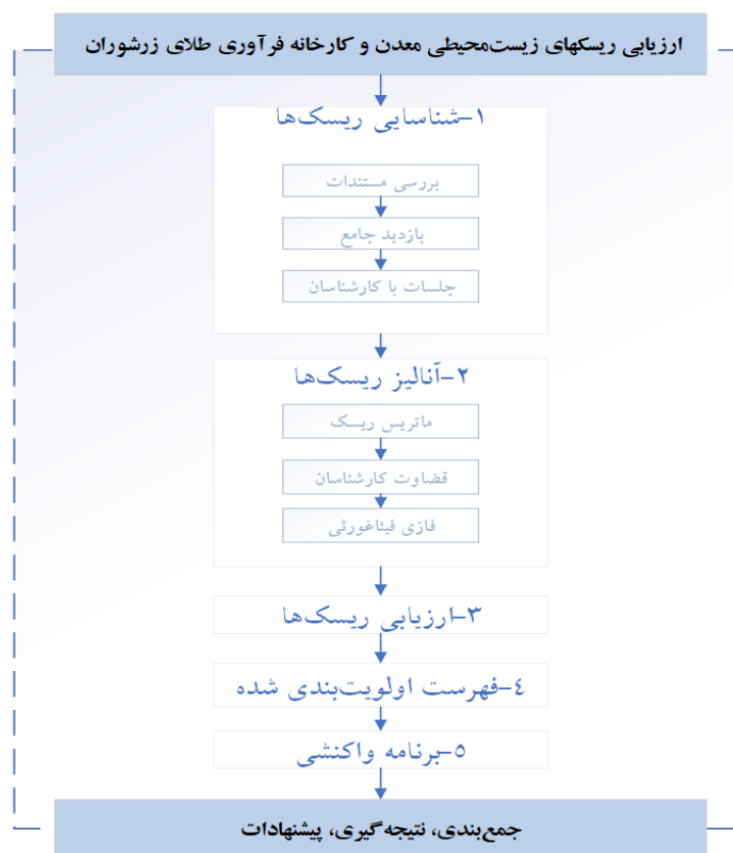
در بخش عملی این پژوهش، فرض شده است که اصلی‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران در مستندات علمی و اسناد برنامه‌های زیست‌محیطی شرکت شناسایی شده‌اند و با این

فرض فهرست اولیه ریسک‌ها تهیه و با حضور در معدن و روش‌های شناسایی ریسک، فهرست جهت ارزیابی کمی به‌روزرسانی شده است.

در مرحله ارزیابی ریسک‌ها نیز فرض شده است که کارشناسان مقیم در واحدهای مختلف معدن و کارخانه فرآوری طلای زرشوران، قضاوت کارشناسانه‌ای نسبت به کمی‌سازی ریسک‌ها بر حسب تخصص و سال‌های تجربه کاری خود در این معدن دارند.

۱-۷-۵. مراحل انجام پایان‌نامه

مراحل انجام این پایان‌نامه در شکل ۱-۱۲ آمده است.



شکل ۱-۱۲. مراحل انجام پایان‌نامه

۱-۷-۶. ساختار پایان‌نامه

مطابق مراحل پایان‌نامه، این پایان‌نامه جمعاً در پنج فصل گردآوری شده است. جهت درک مسائل پژوهش، در فصل اول، ابتدا مقدمه‌ای بر کانسنگ طلا (معدن کاری، ذخایر و روش‌های استحصال آن) نگاشته شده است. همچنین مقدمه‌ای از محیط‌زیست معدنی و تأثیرات معدن کاری کانسنگ فلزی طلا بر آن آمده است. سپس مسائل تحقیق، که این پژوهش در پی جواب آن‌ها است، آمده است. پس از بررسی مختصری از سوابق پژوهش، پایان‌بخش این فصل طرح تحقیق است با اشاراتی به ضرورت انجام تحقیق، روش تحقیق و مراحل انجام آن.

فصل دوم با عنوان مروری بر مبانی نظری و پیشینه تحقیق، تعاریف و ابزارهای علمی را که جهت انجام پژوهش لازم است در خود دارد. در این فصل پس از تعاریفی، بیان روش‌های مدیریت و سنجش ریسک، کمی‌سازی ریسک با تصمیم‌گیری چند معیاره و ابزارهای فازی توسعه‌یافته، مفاهیم فازی فیثاغورثی و در پایان روش ویکور و مراحل روش ویکور فازی فیثاغورثی و بررسی آن آمده است. در پایان این فصل ریسک‌های زیست‌محیطی معادن طلا معرفی و دسته‌بندی شده‌اند.

معرفی مکان پژوهش، موضوع فصل سوم است. معدن طلای زرشوران، کارخانه فرآوری و سد باطله فرآوری آن جهت شناسایی فرایندها و بخش‌های آن برای شروع فرآیند شناسایی ریسک، با استناد به بررسی حضوری فرایندها و توضیحات کارشناسان مقیم، در این فصل معرفی شده است.

فصل چهارم به نحوه شناسایی ریسک‌های مجتمع طلای زرشوران (با پوشش واحدهای مجتمع و بررسی تأثیرات هر یک بر محیط‌زیست معدن و منطقه)، کمی‌سازی ریسک‌های محدوده مورد مطالعه و ارزیابی آن‌ها اختصاص دارد و نتایج آن در فصل پنجم با بیان پیشنهادهای لازم ارائه شده است.

فصل ۲: مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱. مقدمه

با توجه به پیچیدگی سیستم‌های تولیدی و خدماتی و وجود عدم قطعیت در فرآیندهای مهندسی، شناسایی و ارزیابی این عدم قطعیتها جهت ممانعت از خروج برنامه از اهداف، ضروری است. امروزه از درس‌های آموخته‌ی مختلفی برای شناسایی و کنترل عدم قطعیتها استفاده می‌شود. درس‌های آموخته حاصل از مدیریت پروژه و استانداردهای مدیریت سازمانی از این جمله‌اند.

در این فصل ابتدا دو استاندارد مدیریت ریسک در پروژه‌ها و سازمان‌ها جهت ورود به بحث مدیریت ریسک معرفی می‌شوند. همچنین از آنجا که امروزه بسیاری از الزامات ملی و بین‌المللی مدیریت ریسک در بخشی از برنامه مدیریت HSE گنجانده شده و در ایران نیز از دهه ۹۰ شمسی این رویه در بیشتر معادن کشور در حال گسترش است [۵۲]، ابتدا پاره‌ای از تعاریف ضروری HSE آمده و در پی آن گام‌های سیستم‌های مدیریت ریسک معرفی شده است. در ادامه روی بحث کمی‌سازی ریسک‌ها بیشتر تمرکز شده و انواع ابزارهای توسعه‌یافته جهت کمی‌سازی سودمند ریسک‌ها و استخراج ریسک‌های اولویت‌بندی شده و برنامه‌های واکنشی مناسب مدیریت ریسک‌های ارزیابی شده معرفی شده‌اند.

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مجموعه‌های فازی و نسل‌های توسعه‌یافته آن از جمله ابزارهای سودمند در کمی‌سازی ریسک‌ها می‌باشند. در منطق فازی می‌توان نتایج دقیق را با استفاده از مجموعه‌ای از معلومات نادقیق که با الفاظ و مقادیر کمی تعریف شده‌اند، استخراج کرد [۵۴]. پس از معرفی اجمالی هر یک از این ابزارها و عملگرهای قدرتمند آنها، در پایان مدلی سودمند جهت کمی‌سازی و استخراج فهرست اولویت‌بندی شده ریسک‌های معرفی می‌شود که از آن در فصل چهارم جهت شناسایی، تحلیل و ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی و تهیه فهرست ریسک‌های اولویت‌بندی شده مجتمع طلای زرشوران استفاده شده است. بخش پایانی فصل به بررسی ریسک‌های زیست‌محیطی در معادن طلا و دسته‌بندی آنها اختصاص دارد.

۲-۲. دیدگاه‌ها، فرآیندها و روش‌های مدیریت ریسک

۲-۲-۱. تعاریف

با تعریف سیستم (نظام)^۱ به عنوان تلفیقی از عناصر متعامل که برای دستیابی به یک یا چند هدف مشخص سازمان‌دهی شده‌اند، می‌توان فرآیند^۲ را به مجموعه‌ای از فعالیت‌های مرتبط و متعامل که ورودی‌ها را به خروجی‌ها تبدیل می‌کنند، تعریف و معنی واژگان زیر را بیان نمود [۵۵]:

^۱ System

^۲ Process

- **سازمان**^۱: گروهی است از افراد سازمان‌دهی شده برای اجرای انواع خاصی از کار در بنگاه^۲.
- **پروژه**^۳: تلاشی است موقت برای تولید محصول، خدمات یا نتیجه‌ای منحصربه‌فرد.
- **مدیریت پروژه**^۴: رسیدن به **اهداف/پروژه**^۵ با به‌کارگیری دانش، مهارت‌ها، ابزارها و روش‌ها.
- **ریسک**^۶: از تعامل بین اهداف (مواردی که بایستی به وقوع به‌پیوندند) و **عدم قطعیت‌ها**^۷ (مواردی که ممکن است به وقوع به‌پیوندند) ناشی می‌شود. به عبارتی دیگر ریسک "تقریباً هر چیز غیرقطعی همراه با کار" است. به بیان دیگر "ریسک اثر عدم قطعیت بر اهداف و مقاصد است." هر ریسک یک یا چند عامل^۸ (منشاء) وقوع دارد و در صورت وقوع، یک یا چند حوزه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تأثیر ریسک‌ها می‌تواند مطلوب^۹ (مثبت) یا نامطلوب^{۱۰} (منفی) باشد. گاهی به ریسک‌هایی که اثر مطلوب دارند، فرصت^{۱۱} و به ریسک‌هایی که اثر نامطلوب دارند تهدید^{۱۲} گفته می‌شود^{۱۳}. ریسک را می‌توان به روش‌های متنوعی توصیف کرد که ساده‌ترین آن از صنعت بیمه گرفته شده و ریسک را به صورت حاصل ضرب دو عامل شانس وقوع^{۱۴} در زیان^{۱۵} بیان می‌کند و به همین ترتیب ریسک پروژه^{۱۶} ترکیبی است از احتمال رخ دادن یک رویداد و پیامدهای^{۱۷} آن بر اهداف پروژه.
- **خطر بالقوه**^{۱۸}: ریسک به عنوان منبع خطرات بالقوه است و خطر بالقوه یعنی شرایطی که در اثر محرک مناسب می‌تواند سبب ایجاد موارد ناخواسته و یا حادثه شود.
- **خطر بالفعل یا مخاطره**^{۱۹}: قرار گرفتن در شرایطی است که در آن خطر بالقوه وجود دارد.
- **ایمنی** هر چیز حفاظت شده در برابر هرگونه خطر است و **ایمنی**^{۲۰} درجه دور بودن از خطرات.

¹ Organization

² Bنگاه یا تشکیلات اقتصادی، Enterpris

³ فعالیت‌های با مدت معین در سازمانها، Project

⁴ Project Management

⁵ Project Objectives

⁶ Risk

⁷ Uncertainty

⁸ Agent

⁹ Positive Events

¹⁰ Negative Events

¹¹ Opportunity

¹² Threat

^{۱۳} پیش از سال ۱۹۹۷، استانداردها تعریف منفی از ریسک داشتند؛ اما پس از آن تعاریف استانداردها هر دو حالت فرصت/تهدید را برای تعریف ریسک پذیرفتند [۵۵]. ریسک‌های مثبت در معدن‌کاری نادرنند مگر اینکه الزامات زیست‌محیطی و بازسازی به صورت شایسته اجرا شده باشند.

^{۱۴} Likelihood، در مباحث آماری شانس وقوع عموماً احتمال، Probability، نامیده می‌شود [۵۵].

¹⁵ Loss

¹⁶ Project Risk

¹⁷ Consequence، در اینجا واژه‌های پیامد، تأثیر و عواقب مترادف هستند

¹⁸ Hazard

¹⁹ Danger

²⁰ Safety

• **مدیریت ریسک**^۱: شامل مجموعه فعالیت‌هایی در جهت پرداختن به ریسک است و بر حسب حوزه بررسی ریسک تعریف می‌شود [۵۵]. مثلاً ریسک زیست‌محیطی هر نوع عدم قطعیتی است که در صورت وقوع یک یا چند حوزه زیست‌محیطی را تحت تأثیر قرار دهد و هدف از آن کاهش آلاینده‌ها و برقراری درجه مناسبی از دوری از منشأ آلوده‌کننده است.

• **مدیریت ریسک پروژه / سازمان**: فرآیند سامانمند برنامه‌ریزی، شناسایی^۲، تجزیه و تحلیل^۳ و پاسخ^۴ به ریسک‌های پروژه / سازمان به منظور حداکثر کردن نتایج و وقایع مثبت و حداقل کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه / سازمان است [۵۶].

با توجه به این تعاریف، مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی، بر مدیریت آلاینده‌ها تمرکز دارد و برای این کار ابتدا به عوامل ایجاد آلودگی توجه می‌شود. بعضی از این عوامل ریسک تأثیر آبی دارند. به‌گونه‌ای که پیامدهای آن‌ها خیلی زود قابل شناسایی است. مانند بیهوشی و یا حوادثی چون تصادف ماشین‌آلات، انفجارها، سقوط از ارتفاع و دیگر مواردی که سبب آسیب فیزیکی به افراد و خسارت به اموال می‌شوند. تأثیرات گروه دوم با مرور زمان بروز می‌کنند. مانند بیماری‌ها و مسمومیت‌های ناشی از کار و فرسوده شدن تجهیزات. پیشگیری از حوادث، موضوع/ایمنی^۵ است. حوادث آبی که با افراد سروکار دارد، یعنی بیماری‌ها، موضوع شاخه‌های علم سلامت^۶ است. حوادثی که بر محیط‌زیست^۷ تأثیرات نامطلوبی گذاشته و سبب ایجاد آلودگی هوا، خاک و آب محیطی می‌شوند و یا از محیط نامطلوب بر انسان، جانداران و تجهیزات تأثیرات نامطلوب می‌گذارند (با مدت‌زمان تأثیرات آبی تا هزاران ساله) در حوزه محیط‌زیست بررسی می‌شوند؛ لذا امروزه جهت مدیریت ریسک‌های معادن، از دانسته‌های "سلامت، ایمنی و محیط‌زیست" (HSE)^۸ توأماً استفاده می‌شود.

سلامت حرفه‌ای^۹ (H)، تندرستی و ارتباط آن با کار و محیط کار را با هدف پیشگیری از بیماری‌ها و آسیب‌های ناشی از کار و همچنین ارتقاء سلامت جسمی، روانی و اجتماعی کارکنان و حفاظت از ایشان در برابر عوامل زیان‌آور محیط کار را بررسی می‌کند؛ حوادث ناشی از کار و پیشگیری از آن در حوزه ایمنی (S) و اثرات زیست‌محیطی نیز در حوزه محیط‌زیست (E) بررسی می‌شوند. این

¹ Risk Management

² Identification

³ Analysis

⁴ Response

⁵ Safety

⁶ Health

⁷ Environment

⁸ Health, Safety and Environment (HSE)

⁹ Occupational Health

اثرات، شامل اثرات مستقیم یا غیرمستقیم ناشی از فعالیت‌ها، محصولات و خدمات سازمان/پروژه بر محیط‌زیست، می‌شود. گاهی مدیریت انرژی نیز بخشی از واحد سازمانی HSEE¹ را تشکیل می‌دهد.

- سیستم مدیریت سلامت، ایمنی و محیط‌زیست^۲ (HSEMS) بخشی استراتژیک از کل سیستم مدیریت سازمان برای تدوین و پیاده کردن و بهبود خط‌مشی سلامت، ایمنی و محیط‌زیست و مدیریت ریسک‌های سلامت، ایمنی و زیست‌محیطی سازمان [۵۲].
- مدیریت ریسک زیست‌محیطی^۳ (ERM) کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که ریسک زیست‌محیطی تا سطوح قابل قبولی محدود شده است. در حالت ایده‌آل باید تمام جنبه‌های یک عملیات (معدنی) در یک فرآیند ساختاریافته اعمال شود تا اطمینان حاصل شود که تمام مسائل مربوطه بررسی می‌شوند. ERM کل پروژه (معدن) را در برمی‌گیرد [۵۷].
- ارزیابی ریسک زیست‌محیطی^۴ (ERA): فرآیندی است سامانمند که برای ارزیابی اثرات بالقوه یک پروژه یا فعالیت پیشنهادی بر محیط‌زیست استفاده می‌شود که شامل شناسایی و ارزیابی خطرات بالقوه برای محیط‌زیست، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات در مورد اثرات زیست‌محیطی بالقوه سیستم مورد مطالعه، ارزیابی احتمال و شدت آن‌ها و اتخاذ تدابیری برای کاهش یا اجتناب از آن خطرات است [۵۸].

۲-۲-۲. دیدگاه مدیریت ریسک پروژه محور

استاندارد PMBOK^۵ مدیریت ریسک پروژه را در شش فرآیند جهت افزایش تأثیر ریسک‌های مطلوب و کاهش تأثیر ریسک‌های نامطلوب معرفی می‌کند. این شش فرآیند عبارتند از [۵۶]:

۱. فرآیند برنامه‌ریزی مدیریت ریسک^۶: انجام فعالیت‌های مدیریت ریسک را تعریف می‌کند؛
۲. فرآیند شناسایی ریسک‌ها^۷: با هدف شناسایی تمام رویدادها و شرایط احتمالی که وقوعشان تأثیری مثبت یا منفی روی پروژه می‌گذارند و نیز با تعیین مشخصات آن‌ها انجام می‌شود.
۳. فرآیند تحلیل کیفی ریسک‌ها^۸: ریسک‌ها را برای تحلیل‌های بعدی، بر اساس احتمال وقوع و شدت تأثیر، اولویت‌بندی می‌کند و مبنای این اولویت‌بندی ترکیبی از احتمال وقوع و میزان

¹ Health, Safety, Environmental and Energy

² Health, Safety and Environmental Management System, HSEMS

³ Environmental risk management (ERM)

⁴ Environmental risk assessment (ERA)

⁵ Project Management of Body of Knowledge

⁶ Plan Risk Management

⁷ Identify Risk

⁸ Perform Qualitative Risk Analysis

تأثیر بر اهداف پروژه است. این نوع تحلیل فرآیندی سریع و کم‌هزینه است و در صورت نیاز به تحلیل کمی، مبنای آن به شمار خواهد رفت.

۴. **فرآیند تحلیل کمی ریسک‌ها**^۱: فرآیند تحلیل عددی^۲ (کمی) تأثیر ریسک‌ها بر اهداف پروژه است. این تحلیل، تأثیر ترکیبی ریسک‌ها را بر پروژه نشان می‌دهد و امکان بهتری برای تصمیم‌گیری در خصوص عدم قطعیت‌ها فراهم می‌کند.

۵. **برنامه‌ریزی واکنش به ریسک**^۳: فرایند انتخاب واکنش‌های ریسک است و منظور از واکنش، اقدامی است که ترکیب تأثیر و احتمال ریسک‌های نامطلوب را کاهش و ریسک‌های مطلوب را افزایش می‌دهد.

۶. **فرآیند نظارت و کنترل ریسک**^۴: به‌کارگیری برنامه‌های واکنش به ریسک، پایش ریسک‌ها، نظارت بر ریسک‌های باقی‌مانده، شناسایی ریسک‌های جدید و ارزیابی عملکرد مدیریت ریسک. ورودی‌ها، ابزارها/روش‌ها و خروجی‌های این فرآیندها مطابق شکل ۱-۲ است.

۲-۲-۳. دیدگاه مدیریت ریسک سازمانی

مطابق شکل ۲-۲ استاندارد ایزو ۳۱۰۰۰ از سه جزء اصلی تشکیل شده است [۵۹]:

۱. **اصول مدیریت ریسک**^۵؛

۲. **چارچوب مدیریت ریسک**^۶؛

۳. **فرآیند مدیریت ریسک**^۷.

اصول مدیریت ریسک نشان می‌دهند که چرا و چگونه مدیریت ریسک باید انجام شود تا اهداف مورد نظر تأمین گردند. هرگونه عدول از این اصول می‌تواند خدشه‌ای جدی به مدیریت ریسک و نتایج آن وارد نماید. *چارچوب مدیریت ریسک* در این استاندارد مجموعه‌ای از عوامل و عناصر زیر بنایی و ترتیبات سازمانی است که برای طراحی، اجرا، نظارت، بررسی و بهبود مستمر مدیریت ریسک در تمامی سازمان به کار گرفته می‌شود. عوامل و عناصر زیر بنایی شامل سیاست‌ها، اهداف، مأموریت‌ها و تعهدات لازم برای مدیریت کردن ریسک در سازمان است. همچنین ترتیبات سازمانی شامل برنامه‌ها، ارتباطات و روابط سازمانی، مکانیسم‌های پاسخگویی، منابع، فرآیندها و فعالیت‌ها می‌شوند (شکل ۲-۲). *چارچوب مدیریت ریسک* در حقیقت درون استراتژی‌ها، سیاست‌ها و رویه‌های کلی سازمان قرار دارند.

¹ Perform Quantitative Risk Analysis

² Numerical Analyzing

³ Plan Risk Response

⁴ Monitor and Control Risk

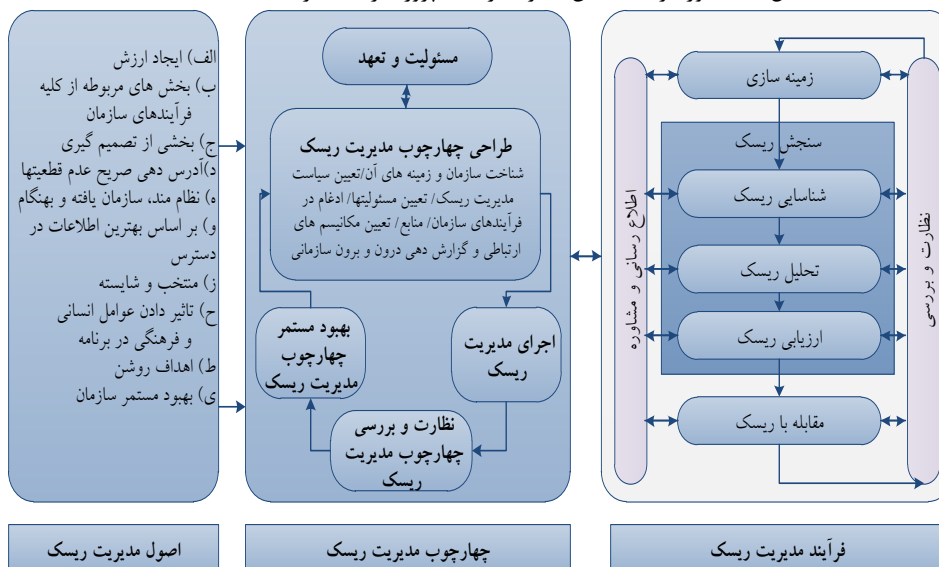
⁵ Principles for Managing Risk

⁶ Framework for Managing Risk

⁷ Process for Managing Risk



شکل ۲-۱. حوزه ارتباط دانش مدیریت ریسک پروژه در استاندارد PMBOK [۵۶]



شکل ۲-۲. ارتباط بین اصول، چهارچوب و فرآیند مدیریت ریسک در استاندارد ISO 31000 [۵۹]

چهارچوب مدیریت ریسک، به مدیریت کارای ریسک از طریق به کارگیری فرآیند مدیریت ریسک در سطوح مختلف و در زمینه‌ها و شرایط خاص سازمان کمک می‌کند و اطمینان می‌دهد که اطلاعات ریسک که از فرآیند مدیریت ریسک استخراج شده‌اند به درستی گزارش شده و در تصمیم‌گیری و پاسخگویی مورد استفاده قرار گیرند. این چهارچوب به سازمان‌ها جهت ادغام مدیریت ریسک در سیستم مدیریتی سازمان کمک می‌کند و سازمان‌ها باید اجزاء این چهارچوب را با نیازهای خاص خود تطبیق دهند. ^۱ فرآیند مدیریت ریسک شامل کاربرد سامانمند سیاست‌ها، اقدامات و فعالیت‌های مدیریتی در زمینه‌های ارتباطی و مشاوره‌ای^۱، زمینه‌سازی^۲، سنجش^۳ (شامل: شناسایی، تجزیه و تحلیل^۴ و ارزیابی^۵)، مقابله^۶، نظارت و بررسی ریسک می‌شود. این فرآیندها باید به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از مدیریت ریسک در فرهنگ و عمل گنجانده شده و در راستای فرآیندهای سازمان باشد.

فرآیندهای مدیریت ریسک، مطابق شکل ۲-۲ شامل فعالیت‌های زیر است:

۱. اطلاع‌رسانی و مشاوره: به تمامی گروه‌های ذینفع درون و برون سازمان؛
۲. زمینه‌سازی: شامل ایجاد زمینه بیرونی، درونی، زمینه و محیط فرآیند مدیریت ریسک و معیارهای مدیریت ریسک؛
۳. سنجش ریسک^۷: شامل فرآیند کلی شناسایی ریسک، تحلیل ریسک و ارزیابی ریسک؛
۴. مقابله و درمان ریسک؛ برنامه واکنش‌های لازم به ریسک‌ها؛
۵. نظارت و بررسی: ثبت و ضبط فرآیند مدیریت ریسک با قابلیت ردیابی فعالیت‌ها.

۲-۲-۴. روش‌های شناسایی ریسک

شناسایی ریسک مهم‌ترین فرآیند در برنامه‌های مدیریت ریسک است؛ زیرا منبع خطر بالقوه‌ای که در این مرحله شناسایی نشود، در سایر فرآیندها اقدامی بر روی آن صورت نمی‌گیرد. اعتبار برنامه مدیریت ریسک به میزان زیادی به تعداد ریسک‌های شناسایی شده بستگی دارد. این ریسک‌ها باید موارد غیرقطعی را بیان کنند. نکته مهم در شناسایی و ثبت ریسک‌ها، تفکیک دلایل ریسک (منشاء ریسک) از ریسک و تأثیرات آن است. برای این منظور از ساختاری موسوم به روش فر-زبان^۸ استفاده

¹ Communications and Consultation

² Establishing the Context

³ Assessment

در استاندارد ISO31000، مجموعه سه فرآیند شناسایی، تحلیل (کمی و یا کیفی) و ارزیابی ریسک (که در استاندارد PMBOK هر کدام یک فرآیند بودند) یکجا در فرآیند سنجش ریسک دسته‌بندی شده‌اند. غالباً در زبان فارسی دو واژه سنجش ریسک (Assessment) و ارزیابی ریسک (Evaluation) مترادف فرض شده و هر دو به ارزیابی ریسک ترجمه می‌شوند.

⁴ Analysis

⁵ Evaluation

⁶ Treatment

⁷ Risk Assessment

⁸ Metalanguage

می‌شود. در این روش از لغت‌ها و کلمه‌هایی استفاده می‌شود که با تفکر ساخت‌یافته، مفهومی را به‌صورت رسمی شرح می‌دهد بدین ترتیب که برای هر ریسک ساختاری سه‌قسمتی در نظر می‌گیرد که شامل منشاء، ریسک و تأثیر آن است و به‌صورت زیر خلاصه می‌شود [۶۰]:

"به‌عنوان نتیجه <دلیل قطعی>، ممکن است یک <اتفاق غیر قطعی>

رخ دهد که می‌تواند منجر به <تأثیر روی اهداف> گردد."

از جمله مهم‌ترین روش‌های شناسایی ریسک می‌توان به روش سؤالات اساسی (مشهور به 6W¹)، بررسی مستندات، طوفان فکری^۲، مصاحبه، روش دلفی^۳، تحلیل علل ریشه‌ای، تحلیل SWOT^۴، چک لیست‌ها^۵ و نمودارهای علت و معلولی اشاره داشت [۶۱]. در این پژوهش از روش‌های بررسی مستندات، مصاحبه و روش دلفی برای شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران استفاده شده است.

نتیجه فرآیند شناسایی ریسک، فهرست ریسک‌ها است. این فهرست غالباً در سندی موسوم به دفتر ثبت ریسک^۶، مستند می‌شود. در این دفتر، ریسک‌ها به شیوه‌ای سلسله‌مراتبی، موسوم به ساختار شکست ریسک^۷، در گروه و زیرگروه‌هایشان دسته‌بندی می‌شوند که در آن سعی می‌شود ساختار به سطوح ریزتر و جزئی‌تر شکسته شود، تا نواحی در معرض ریسک به طور کامل مشخص گردد. علاوه بر ثبت فهرست ریسک‌های شناسایی شده، می‌توان دلایل ریشه‌ای ریسک و فهرست واکنش به ریسک‌های شناسایی شده را در دفتر ثبت ریسک نیز مستند کرد. [۵۶].

۲-۲-۵. روش‌های ارزیابی کیفی و کمی ریسک

همان‌گونه که در استانداردهای مدیریت ریسک پروژه و سازمان گفته شد، پس از شناسایی ریسک‌ها جهت اجرای برنامه‌های واکنشی و اقدامات کنترلی لازم باید ریسک‌ها را اولویت‌بندی نمود. برای رتبه‌بندی ریسک‌ها لازم است در ابتدا آن‌ها را آنالیز و ارزیابی کنیم، هدف از ارزیابی ریسک، توصیف ریسک به‌صورت مقادیر کیفی و یا کمی است.

در ارزیابی کیفی ریسک، به‌منظور تعیین اثر بالقوه و احتمالی ریسک‌های شناسایی شده بر اهداف پروژه، این ریسک‌ها از نظر کیفی ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند. از جمله تکنیک‌های مهم

¹ 6W: Who, Why, What, Which way? When, Wherewithal

² Brainstorming

³ Delphi Method

⁴ Strengths, Weakness, Opportunities, Threats

⁵ Checklists

⁶ Risk Register

⁷ Risk Breakdown Structure, RBS

ارزیابی کمی ریسک‌ها می‌توان روش‌های چه می‌شود اگر...؟^۱، روش ماتریس ریسک^۲، روش تحلیل خطرات بالقوه^۳، روش تحلیل مقدماتی خطر^۴ و روش مطالعه عملیات و خطر^۵ را نام برد [۶۱]:

در روش چه می‌شود اگر...؟ برای ریسک‌های شناسایی شده، تنها یک عامل ریسک به‌صورت کمی و در سه درجه زیاد، متوسط و کم تعریف می‌شود. در روش‌های ماتریس ریسک و روش تحلیل خطرات بالقوه دو شاخص برای ریسک تعریف می‌شود. در اولی این دو معیار عبارتند از: احتمال وقوع (مکرر، محتمل، گاه‌به‌گاه، بعید و غیرمحتمل) و شدت خطر (فاجعه‌بار، مهم، جدی و جزئی) و در روش دوم این دو شاخص شدت حادثه و فراوانی حادثه هر کدام در ۵ سطح و تشکیل ماتریس مربع با مرتبه ۵ می‌باشند. در سایر روش‌های کیفی مذکور از ارزش کلمات برای حداکثر دو عامل ریسک و رتبه‌بندی کیفی آن‌ها استفاده می‌شود.

ارزیابی کیفی ریسک‌ها هر چند فهرست اولیه‌ای از ریسک‌های اولویت‌بندی شده را نتیجه می‌دهند اما نمی‌تواند اطلاعات کافی در اختیار تحلیل‌گر ریسک بگذارد؛ برای رفع این محدودیت‌ها نیازمند ارزیابی کمی و استفاده از تکنیک‌های کمی‌سازی ریسک‌های شناسایی شده هستیم تا به نتایج بهتر و دقیق‌تری از ارزیابی ریسک برسیم [۶۱].

در ساده‌ترین حالت ارزیابی کمی ریسک، ریسک هر خطر از حاصل ضرب احتمال تبدیل شدن آن خطر به حادثه در پیامد یا شدت حادثه به دست می‌آید که هم احتمال وقوع و هم پیامد حادثه هر دو به‌صورت عددی بیان می‌شوند. امروزه برای ارزیابی کمی ریسک روش‌های بسیار زیادی معرفی شده‌اند، که هر کدام از نقاط قوت و ضعف خاص خود برخوردارند، که از جمله آن‌ها می‌توان به آنالیز درخت خطا^۶، تحلیل درخت رویداد^۷، تحلیل علت-پیامد^۸، حالات شکست و تحلیل اثرات^۹، روش ویلیام فاین^{۱۰} و روش 3D دانشگاه ملبورن^{۱۱} اشاره داشت [۶۱]. در روش FTA و ETA احتمال وقوع ریسک بررسی می‌شود. در روش CCA علاوه بر احتمال وقوع، سطح ریسک نیز به‌صورت کمی بیان می‌شود. سه کمیت حاصل از روش FMEA عبارتند از شدت ریسک، احتمال وقوع ریسک و اولویت ریسک.

¹ What if ...? Analysis

² Risk Matrix Analysis

³ Hazard Analysis (HAZAN) Analysis

⁴ Preliminary Hazard Analysis (PHA) Analysis

⁵ Hazard and Operability Study (HOZOP) Analysis

⁶ Fault Tree Analysis (FTA)

⁷ Event Tree Analysis (ETA)

⁸ Cause-Consequence Analysis (CCA)

⁹ Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

¹⁰ William Fine Method

¹¹ 3D Melbourne Analysis

این گونه روش های ارزیابی کمی ریسک حداکثر تا سه مؤلفه (معیار) را برای ریسک کمی سازی می کنند و در برابر ارزیابی های نیازمند به کمی سازی های چندمعیاره نمی توانند پاسخگو باشند. در این پایان نامه از روش های کمی قدرتمندتر و توسعه یافته^۱ که توانایی ارزیابی کمی ریسک های چند معیاره را با مشارکت گروهی کارشناسان دارند، بهره گرفته شده است. توسعه یافتگی این روش ها نسبت به روش های کمی سازی مذکور، بر اساس تصمیم گیری به کمک روش های تصمیم گیری چندمعیاره و به کارگیری ویژگی های مجموعه های فازی می باشند.

۲-۲-۶. روش های واکنش و مقابله با ریسک

روش های مقابله با ریسک و درمان آن مطابق استاندارد ایزو ۳۱۰۰۰ عبارتند از:

الف) اجتناب^۲ از ریسک از طریق توقف و یا عدم شروع فعالیت های ریسکزا؛

ب) قبول^۳ یا افزایش ریسک به منظور دستیابی به یک فرصت؛

ج) از بین بردن منشاء ریسک؛

د) تغییر احتمال وقوع؛

ه) تغییر پیامدها؛

ز) تقسیم ریسک با یک گروه و یا گروه های دیگر (شامل قراردادهای و تأمین مالی ریسک)؛ و

ح) حفظ و نگهداری آگاهانه ریسک.

۲-۳. کمی سازی ریسک با ابزارهای توسعه یافته

۲-۳-۱. روش های تصمیم گیری چندمعیاره

با توجه به تعریف تصمیم گیری^۴ به عنوان "پیش بینی، ارزیابی و مقایسه نتایج راه حل های موجود و انتخاب قطعی یک راه حل برای رسیدن به هدف مطلوب" [۶۲]، در تصمیم گیری برای اولویت بندی ریسک ها و کمی سازی آن ها با روش های معرفی شده در بخش ۲-۲-۵، می توان مهم ترین معایب روش های مذکور را به شرح زیر برشمرد [۶۱]:

- ناتوانی در بررسی بیش از سه معیار برای ریسک های شناسایی شده؛
- معادل نمودن ریسک های با احتمال زیاد و اثر کم با ریسک های با اثر زیاد و احتمال کم؛
- ناتوانی در تخصیص وزن های متفاوت برای معیارها با اهمیت های متفاوت؛

¹ Developed quantification methods

² Avoid

³ Acceptance

⁴ Decision making

- در نظر نگرفتن عدم قطعیت.

لذا نیازمند استفاده از شیوه‌های دیگری برای تصمیم‌گیری هستیم که علاوه بر توانایی بررسی معیارهای متعدد، بتوانند برای هر معیار، وزن متفاوتی تخصیص دهند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ (MCDM) این توانایی‌ها را دارند. در اینجا منظور از معیار^۲ ملاک‌هایی است که متضمن هدف و سازنده آن باشند و تصمیم‌گیرنده به منظور افزایش مطلوبیت خود آن‌ها را مدنظر قرار دهد [۶۲]. برای به کارگیری تصمیم‌گیری چندمعیاره، اولین قدم این است که بفهمیم چند ویژگی یا معیار در مسئله وجود دارد و چگونه می‌توان راه‌حل مشکلات را شناسایی کرد. در مرحله بعد، ما باید داده‌ها و اطلاعات مناسب را جمع‌آوری کنیم به گونه‌ای که در آن‌ها اولویت‌های تصمیم‌گیری به درستی منعکس شده باشد (به عنوان مثال، ایجاد لیست اولویت‌ها). در ادامه مجموعه‌ای از جایگزین‌ها یا استراتژی‌های ممکن حاصل می‌شود؛ به گونه‌ای که تضمین‌کننده نیل به هدف باشد (یعنی ارزیابی گزینه‌ها). از طریق این تلاش‌ها، گام بعدی انتخاب روش مناسبی است که به ما کمک می‌کند تا جایگزین‌ها یا استراتژی‌های ممکن (یعنی یافتن و تعیین بهترین جایگزین) را ارزیابی و بهبود ببخشیم [۶۳].

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را از دیدگاه‌های مختلفی تقسیم‌بندی کرده‌اند. در دیدگاه اول روش‌ها دو دسته‌اند: فردی و گروهی. در روش‌های گروهی، فرآیند تصمیم‌گیری به صورت گروهی بوده و این روش‌ها از مزایای قدرتمند تصمیم‌گیری گروهی برخوردارند. در دیدگاه دوم بر حسب اینکه تصمیم‌گیری‌ها قطعی‌اند یا غیرقطعی، شیوه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دو دسته قطعی و غیرقطعی^۳ دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های غیرقطعی بر حسب اینکه داده‌های فضای تصمیم‌گیری در آن‌ها به صورت فازی یا احتمالی است، در دو دسته فازی و احتمالی^۴ جای می‌گیرند. در دیدگاه سوم بر حسب اینکه معیار به صورت شاخص^۵ ارائه می‌شود یا هدف^۶، دو دسته MCDM داریم [۶۲]:

۱. **روش‌های چندهدفه**^۷ (MODM): حوزه تصمیم‌گیری چندهدفه به نحوه فرموله کردن و حل مسائل تصمیم‌گیری با اهداف متعدد می‌پردازد. مجموعه جواب در این روش‌ها نامتناهی است و چندین هدف به طور همزمان برای بهینه شدن جواب مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این حوزه، سه سناریو برای برنامه‌ریزی تصمیم‌گیری چندهدفه داریم: (الف) سناریوی وزن‌های مجهول^۸،

¹ Multi-Criteria Decision-Making Methods

² Criteria

³ Deterministic decision-making methods and Non-deterministic decision-making methods

⁴ Fuzzy methods and Probabilistic methods

⁵ Attribute

⁶ Objective

⁷ Multi-Objective Decision Making (MODM)

⁸ The unknown weights scenario

(ب) سناریوی پشتیبانی تصمیم^۱ و (ج) سناریوی وزن‌های شناخته شده^۲ [۶۴]. تاکسونومی^۳، برنامه‌ریزی حلقه درونی^۴ و برنامه‌ریزی حلقه بیرونی^۵ از جمله مدل‌های معروف تصمیم‌گیری چندهدفه می‌باشند. [۶۴].

۲. **روش‌های چندشاخصه**^۶ (MADM): در این حالت با مسائلی مواجه هستیم که تصمیم‌گیرنده می‌خواهد با توجه به عوامل چندگانه از بین چندین گزینه یکی را انتخاب و رتبه‌بندی کند. مجموعه جواب در این روش‌ها متناهی و قابل‌شمارش است. روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به دو دسته *تعاملی* و *غیرتعاملی*^۷ تقسیم‌بندی می‌شوند. در روش‌های تعاملی وزن کل شاخص‌ها مدنظر است؛ به‌گونه‌ای که ضعف یک شاخص می‌تواند نقطه قوت دیگری باشد اما در روش‌های غیرتعاملی فرض بر مستقل بودن شاخص‌هاست و هر شاخص به‌تنهایی در جواب بهینه مهم هست. روش‌های وزن‌دهی ساده^۸، برنامه‌ریزی توافقی^۹، روش شباهت به گزینه/یده‌آل^{۱۰} و روش تحلیل سلسله مراتبی^{۱۱} از روش‌های رایج تصمیم‌گیری چندمعیاره تعاملی‌اند. [۶۳].

مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه دارای شاخص‌های واضح و روشنی بوده ولی اهداف مبهمی دارند ولی در مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه، شاخص‌ها مبهم و اهداف روشن هستند. لذا مدل‌های چند شاخصه مناسب مسائل ارزیابی و مدل‌های چندهدفه مناسب روش‌های طراحی هستند [۶۲].

۲-۳-۲. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی

با توجه به وجود عدم قطعیت و شرایط نامطمئن در مراحل مختلف بررسی یک مسئله، در بسیاری از موارد، تمام و یا قسمتی از داده‌های یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، فازی هستند. در چنین حالاتی اگر مسئله با استفاده از داده‌های قطعی و به شیوه‌های کلاسیک تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل‌سازی شوند، جواب درست و دقیقی به ما نمی‌دهند و در نتیجه گزینه/رجح (جواب بهینه)^{۱۲} انتخاب نخواهد شد و در چنین تصمیم‌گیری‌هایی نمی‌توان به هدف و مقصود موردنظر دست یافت. لذا نیازمند استفاده از مدل‌سازی با داده‌های غیرقطعی و فازی هستیم. به کمک تئوری مجموعه‌های فازی^{۱۳} می‌توان

¹ The decision support scenario

² The known weights scenario

³ Taxonomy

⁴ Inner Loop Planning

⁵ Outer Loop Planning

⁶ Multiple Attribute Decision Making Methods (MADM)

⁷ Compensatory Methods and Non-compensatory Methods

⁸ Simple Additive Weighting (SAW)

⁹ Compromise Programming

¹⁰ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

¹¹ Analytic Hierarchy Process (AHP)

¹² Preferred option (optimal answer)

¹³ Fuzzy Sets (FSs) Theory

عدم قطعیت را در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی^۱ (FMCDM) مدل‌سازی کرد [۵۴]. از جمله مدل‌های FMCDM می‌توان به روش شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS)، روش تحلیل سلسله مراتب فازی (FAHP)، روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP) و روش یاگر در تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی^۲ اشاره نمود [۵۴].

در ادامه به صورت اجمالی مجموعه‌های فازی و مجموعه‌های فازی فیثاغورثی به عنوان ابزارهای سودمند در تعیین مؤثر ناحیه جواب برای روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، معرفی شده و پس از آن یکی از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی چند شاخصه تعاملی فازی فیثاغورثی، که روش به‌کاررفته در مطالعه موردی این پایان‌نامه است، معرفی می‌شود.

۲-۳-۳. مجموعه‌های فازی و نسل‌های توسعه یافته آن

نسل اول مجموعه‌های فازی، در نظریه مجموعه‌های فازی^۳ به سال ۱۹۶۵ توسط زاده^۴ با تعریف عدم قطعیتها^۵ در تابع عضویت^۶ و تعریف درجه عضویت^۷ (α) معرفی شد [۶۵]. ایشان در سال ۱۹۶۸ الگوریتم این نظریه را با عنوان الگوریتم فازی^۸ ارائه [۶۶] و در سال ۱۹۷۰ نحوه تصمیم‌گیری در یک محیط فازی^۹ را تشریح کرد [۶۷]. کاربردهای این الگوریتم در ابتدا با وجود نظریه احتمال توسط عده‌ای غیرضروری تشخیص داده شد. آقای زاده در سال ۱۹۷۸ در مقاله‌ای تحت عنوان "اندازه‌گیری احتمال رویدادهای فازی"^{۱۰} [۶۸] و نیز در سال ۱۹۹۵ در مقاله‌ی "نظریه احتمال و منطق فازی مکمل یکدیگرند نه رقیب"^{۱۱} [۶۹]، شباهت در این زمینه را برطرف نمود.

مجموعه‌های فازی (FSS) به دلیل پتانسیلی که برای بیان عدم قطعیتها (عدم اطمینان کافی)، دارند، موفقیت‌های زیادی در زمینه‌های مختلف به دست آورده‌اند؛ چندین مجموعه فازی توسعه یافته^{۱۲} در ادبیات موضوع به عنوان نسل دوم مجموعه‌های فازی توسط محققان مختلف پیشنهاد شده است. این مجموعه‌ها با موفقیت در بسیاری از مشکلات تصمیم‌گیری تحت محیط‌های نامشخص مانند انتخاب پرسنل، انتخاب تأمین‌کننده، ارزیابی کیفیت خدمات و ارزیابی فناوری‌ها به کار گرفته شده‌اند. مانند

¹ Fuzzy Multi Criteria Descension Making Methods (FMCDM)

² Yager FMADM Method

³ Fuzzy Set Theory

⁴ L. A. Zadeh (1921-2017)

⁵ Uncertainties

⁶ Membership Function

⁷ Membership degree (α)

⁸ Fuzzy Algorithms

⁹ Decision-Making in a Fuzzy Environment

¹⁰ Probability measures of fuzzy events

¹¹ Probability Theory and Fuzzy Logic Are Complementary Rather Than Competitive

¹² Extensions of fuzzy sets

مجموعه‌های فازی بازه‌ای نوع^۱، مجموعه‌های فازی شهودی^۲، مجموعه‌های نوتروسوفیک^۳، مجموعه‌های فازی مردد^۴، مجموعه‌های فازی فیثاغورث^۵، مجموعه‌های فازی تصویری^۶ [۷۰][۷۱].

IFS ها می‌توانند مسائل با/ابهام^۷ (عدم اطلاع کافی ناشی از چند تفسیری) و مبهم^۸ (عدم اطلاع کافی به دلیل مرزهای نامشخص) را مدل‌سازی کنند، اما توانایی کنترل تردید ذاتی در تفکر/انسان^۹ را ندارند. برای تعریف دقیق‌تر تردیدها^{۱۰}، مجموعه‌های فازی شهودی (IFSs) در سال ۱۹۸۶ توسط آتاناسوف^{۱۱} معرفی شد [۷۲] که از نسل‌های مهم مجموعه‌های فازی توسعه‌یافته بوده و در آن تابع عدم عضویت^{۱۲} (β) و درجه تردید^{۱۳} (γ) تعریف شدند. این رویکرد از درجه عضویت و عدم عضویت برای مدل‌سازی مبهم و با عدم دقت^{۱۴} استفاده می‌کند به‌گونه‌ای که مجموع دو درجه عضویت باید کمتر یا مساوی ۱ باشد. سهم اصلی IFS ها توانایی آن‌ها برای مقابله با تردیدهایی است که ممکن است به دلیل اطلاعات نادرست^{۱۵} وجود داشته باشد. با این حال، اگر مجموع عضویت و غیر عضویت بزرگ‌تر از یک باشد، IFS ها نمی‌توانند بر این وضعیت غلبه کنند. لذا، مجموعه‌های فازی فیثاغورث (PFSSs) برای رفع این نقص IFS ها پیشنهاد شد. ویژگی‌ها و تاریخ توسعه FSSs، IFSs و PFSSs در شکل ۲-۳ آمده است.

PFSS ها توسعه موفق IFS و ابزار جدیدی برای مقابله با عدم اطمینان در مورد میزان عضویت هستند. یاجر^{۱۶} و عباسوف^{۱۷} در سال ۲۰۱۳، PFSS ها را برای گسترش IFS ها معرفی کردند PFSS ها نیز با درجه عضویت و عدم عضویت نشان داده می‌شوند به‌طوری که مجموع دو درجه می‌تواند کمتر یا بیشتر از ۱ باشد، اما مجموع مربع‌های دو درجه ≥ 1 است [۷۳]. PFSS ها در برخورد با ابهام و عدم دقت مربوط به افکار و قضاوت‌های ذهنی انسان بسیار موفق هستند. هنگامی که PFSS ها با IFS ها مقایسه می‌شوند، مشاهده می‌کنیم که انعطاف‌پذیری و قدرت بیشتری برای بیان عدم قطعیت ارائه می‌دهند، زیرا مطابق شکل ۲-۴ فضای درجات عضویت PFSS بزرگ‌تر از فضای IFS ها است [۷۱]. برای مثال فرض کنید

¹ Interval type-2 fuzzy sets

² Intuitionistic Fuzzy Sets (IFSs)

³ Neutrosophic sets

⁴ Hesitant Fuzzy sets

⁵ Pythagorean Fuzzy sets (PFSSs)

⁶ Picture fuzzy sets

⁷ Ambiguity

⁸ Vagueness

⁹ The hesitation inherent in human thinking

¹⁰ Hesitations

¹¹ Krassimir T. Atanassov

¹² Non-membership degree (β)

¹³ Hesitancy Degree (γ)

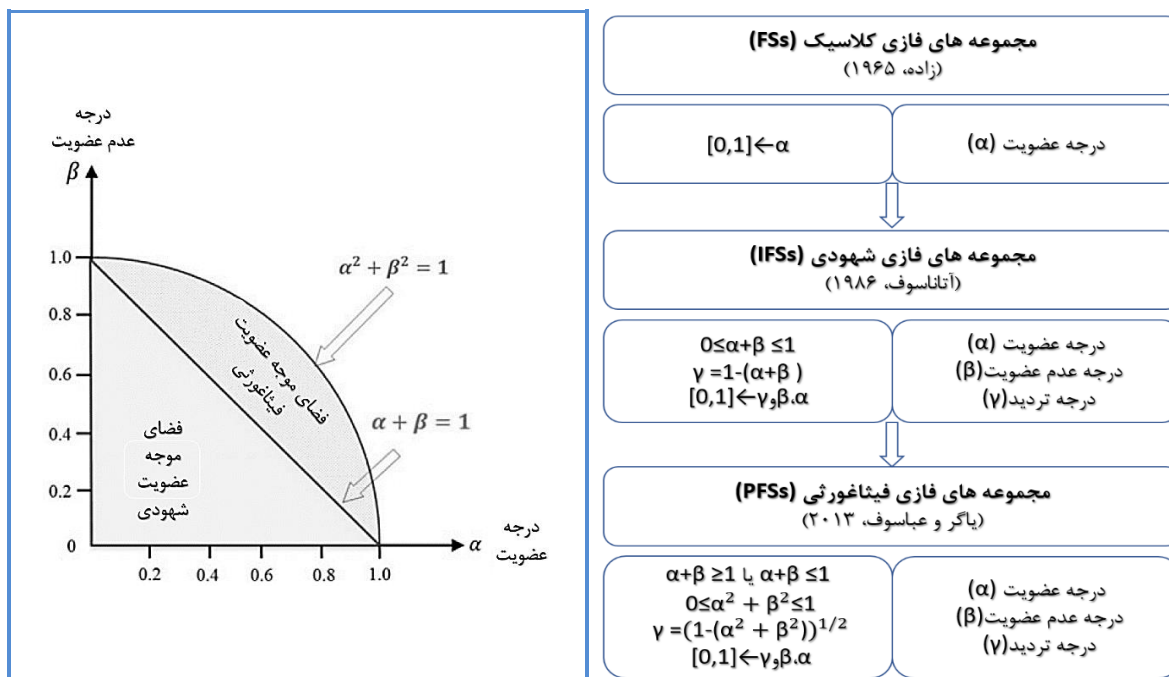
¹⁴ Imprecision

¹⁵ Imprecise information

¹⁶ Ronald R. Yager

¹⁷ Ali M. Abbasov

تصمیم‌گیرنده‌ای درجه عضویت را در مجموعه مرجع برابر $0/7$ و درجه عدم عضویت آن را برابر $0/6$ تعیین کند. از آنجا که مجموع (عدد 1.3) از یک بزرگ‌تر است، PFSs برای مدل‌سازی ارجحیت دارند چرا که در مدل‌های IFSS این حاصل ضرب نمی‌تواند از یک بیشتر باشد. همین خصوصیت PFSs باعث توجه بسیاری از پژوهشگران و پذیرش آن به‌عنوان کاربرد در MCDM زندگی واقعی^۱ در سال‌های اخیر شده است [۷۱]. از آنجایی که PFSها توسعه‌یافته‌ی IFSها هستند، طبیعتاً فضای متریک IFSها را نیز در بر می‌گیرند. علاوه بر این، PFSها نه‌تنها دارای مزایای IFSها هستند، بلکه فضای جستجوی وسیع‌تری را برای انعکاس توافق، اختلاف نظر و تردید در تصمیم‌گیری فراهم می‌کنند [۷۳].



شکل ۲-۴. مقایسه فضاهای درجات عضویت IFS و PFS [۷۱][۷۳]

شکل ۲-۳. توسعه PFSها و مجموعه‌های فازی کلاسیک [۷۱]

۲-۴. مفاهیم اساسی و عملگرهای مجموعه‌های فازی فیناگورثی

۲-۴-۱. مفهوم اصلی مجموعه‌های فازی فیناگورثی

تعریف ۲-۱. بگذارید مجموعه $\hat{F}$ در مجموعه $\hat{X} = \{\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n\}$ مجموعه‌ای متناهی از اشیاء باشد،

تا مطابق تعریف آتاناسوف [۷۲] مجموعه فازی شهودی $\hat{F}$ را مطابق رابطه (۲-۱) تعریف کرد:

$$F = \{ \langle \hat{x} : \alpha_F(\hat{x}), \beta_F(\hat{x}) \rangle | \hat{x} \in \hat{X} \} \quad (2-1)$$

که در آن $\alpha_F, \beta_F : \hat{X} \rightarrow [0,1]$ به ترتیب نشان‌دهنده درجه عضویت و درجه عدم عضویت عنصر

$\hat{x} \in \hat{X}$ است و $0 \leq \alpha_F(\hat{x}) + \beta_F(\hat{x}) \leq 1$. زوج مرتب $(\alpha_F(\hat{x}), \beta_F(\hat{x}))$ را می‌توان یک عدد

¹ Real-life MCDM

فازی شهودی^۱ (IFN) نامید و هر IFN را می توان به سادگی به صورت $\hat{\theta} = (\alpha_{\hat{\theta}}, \beta_{\hat{\theta}})$ بیان کرد که در آن $\alpha_{\hat{\theta}}, \beta_{\hat{\theta}}: \hat{X} \rightarrow [0,1]$ و $\alpha_{\hat{\theta}} + \beta_{\hat{\theta}} \leq 1$. درجه تردید $\gamma_{\hat{F}}(\hat{x})$ عنصر $\hat{x}$ در $\hat{F}$ را می توان به صورت $\gamma_{\hat{F}}(\hat{x}) = 1 - (\alpha_{\hat{F}}(\hat{x}) + \beta_{\hat{F}}(\hat{x}))$ تعریف کرد که در آن $\gamma_{\hat{F}}: \hat{X} \rightarrow [0,1]$ و اگر $\gamma_{\hat{F}}(\hat{x}) = 0$ آنگاه IFN نزدیک به یک مجموعه فازی (FS) است.

پس IFS ها از سه درجه عضویت شامل درجه عضویت، درجه عدم عضویت و درجه تردید تشکیل شده اند. با این حال، در برخی موارد، زمانی که مجموع $\alpha_{\hat{F}}(\hat{x}) + \beta_{\hat{F}}(\hat{x})$ از یک بزرگ تر باشد، الزامات IFS برآورده نشده است. بدیهی است که توسعه جدیدی از IFS ها مورد نیاز است زیرا نمی تواند به این وضعیت رسیدگی کند. از این رو، PFS ها به عنوان یک بسط برای IFS ها پیشنهاد شده اند. PFS ها ابزار جدیدی برای رسیدگی به ابهامات مربوط به درجه عضویت هستند [۷۱].

تعریف ۲-۲. بگذارید $\hat{X}$ یک مجموعه غیر تهی باشد. مجموعه فازی فیثافورثی $\hat{P}$ را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\hat{P} = \{ \langle \hat{x}: \alpha_{\hat{P}}(\hat{x}), \beta_{\hat{P}}(\hat{x}) \rangle | \hat{x} \in \hat{X} \} \quad (2-2)$$

که در آن $\alpha_{\hat{P}}, \beta_{\hat{P}}: \hat{X} \rightarrow [0,1]$ به ترتیب نشان دهنده درجه عضویت و درجه عدم عضویت $\hat{x} \in \hat{X}$ به $\hat{P}$ است. برای هر $\hat{x} \in \hat{X}$ باید شرایط زیر رعایت شود:

$$0 \leq \alpha_{\hat{P}}(\hat{x})^2 + \beta_{\hat{P}}(\hat{x})^2 \leq 1 \quad (3-2)$$

درجه تردید $\gamma_{\hat{P}}(\hat{x}): \hat{X} \rightarrow [0,1]$ از $\hat{x}$ به $\hat{P}$ را می توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$\gamma_{\hat{P}}(\hat{x}) = \sqrt{1 - (\alpha_{\hat{P}}(\hat{x})^2 + \beta_{\hat{P}}(\hat{x})^2)} \quad (4-2)$$

اگر مقدار $\gamma_{\hat{P}}(\hat{x})$ کوچک باشد، آنگاه اطلاعات مربوط به $\hat{P}$ دقیق تر است. می توان یک عدد فازی فیثافورثی^۲ (PFN) را به صورت $\hat{P} = (\alpha_{\hat{P}}, \beta_{\hat{P}})$ که در آن هر PFN را به شکلی ساده ی $\hat{\delta} = (\alpha_{\hat{\delta}}, \beta_{\hat{\delta}})$ نمایش و به صورت زیر تعریف نمود:

$$\gamma_{\hat{\delta}}(\hat{x}) = \sqrt{1 - (\alpha_{\hat{\delta}}(\hat{x})^2 + \beta_{\hat{\delta}}(\hat{x})^2)} \quad (5-2)$$

که در آن $\alpha_{\hat{\delta}}, \beta_{\hat{\delta}}: \hat{X} \rightarrow [0,1]$ و $0 \leq \alpha_{\hat{\delta}}(\hat{x})^2 + \beta_{\hat{\delta}}(\hat{x})^2 \leq 1$.

¹ Intuitionistic Fuzzy Number (IFN)

² Pythagorean Fuzzy Number (PFN)

تفاسیر هندسی فضای یک درجه عضویت فیثاغورثی و شهودی در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. تفاوت اصلی بین PFN و IFN این است که آن‌ها محدودیت‌های متفاوتی دارند و اگر عنصر $\hat{x}$ در $\hat{P}$ یک IFN باشد، باید یک PFN نیز باشد. با این حال، همه PFN ها IFN نیستند.

در بسیاری از موقعیت‌های دنیای واقعی، تصمیم‌گیرندگان ترجیح می‌دهند از PFN ها به جای PFS ها استفاده کنند تا ارزش‌های ارزیابی خود را برای جایگزین‌ها^۱ از نظر معیارهای ارزیابی^۲ بیان کنند. به عنوان مثال، ارزش ارزیابی جایگزین A_i توسط تصمیم‌گیرنده‌ای به عنوان یک عدد PFN برابر $\delta_{ij} = \hat{P}(0.9, 0.3)$ بیان شده است. لازم به ذکر است که A_i جایگزین عالی در رابطه با معیار C_j به عنوان 0.9 است، و در عین حال، A_i جایگزین عالی به عنوان 0.4 نیست، که در آن $i=1, 2, \dots, m$ و $j=1, 2, \dots, n$ به ترتیب گزینه‌ها و معیارها را بیان می‌کنند [۷۱].

۲-۴-۲. عملیات اصلی روی اعداد فازی فیثاغورثی

اگر $\hat{\delta}_1 = (\alpha_{\hat{\delta}_1}, \beta_{\hat{\delta}_1})$ و $\hat{\delta}_2 = (\alpha_{\hat{\delta}_2}, \beta_{\hat{\delta}_2})$ دو عدد عضو PFSs در مجموعه مرجع باشند، آنگاه عملیات پایه و جبری آن‌ها برای PFNs مطابق روابط گردآوری شده در جدول ۲-۱ است [۷۱] [۷۴].

جدول ۲-۱. روابط پایه و جبری اعداد فازی فیثاغورثی

عملیات پایه	۱	$\hat{\delta}_1 \cap \hat{\delta}_2 = P(\max\{\alpha_{\hat{\delta}_1}, \alpha_{\hat{\delta}_2}\}, \min\{\beta_{\hat{\delta}_1}, \beta_{\hat{\delta}_2}\})$
	۲	$\hat{\delta}_1 \cup \hat{\delta}_2 = P(\min\{\alpha_{\hat{\delta}_1}, \alpha_{\hat{\delta}_2}\}, \max\{\beta_{\hat{\delta}_1}, \beta_{\hat{\delta}_2}\})$
	۳	$\hat{\delta}^\eta = P(\alpha_{\hat{\delta}}, \beta_{\hat{\delta}})$
عملیات جبری	۱	$\hat{\delta}_1 \oplus \hat{\delta}_2 = \left(\sqrt{\alpha_{\hat{\delta}_1}^2 + \alpha_{\hat{\delta}_2}^2 - \alpha_{\hat{\delta}_1}^2 \cdot \alpha_{\hat{\delta}_2}^2}, \beta_{\hat{\delta}_1} \cdot \beta_{\hat{\delta}_2} \right)$
	۲	$\hat{\delta}_1 \otimes \hat{\delta}_2 = \left(\alpha_{\hat{\delta}_1} \cdot \alpha_{\hat{\delta}_2}, \sqrt{\beta_{\hat{\delta}_1}^2 + \beta_{\hat{\delta}_2}^2 - \beta_{\hat{\delta}_1}^2 \cdot \beta_{\hat{\delta}_2}^2} \right)$
	۳	$\rho \hat{\delta} = \left(\sqrt{1 - (1 - \alpha_{\hat{\delta}}^2)^\rho}, \beta_{\hat{\delta}}^\rho \right), \rho > 0$
	۴	$\hat{\delta}^\rho = \left(\alpha_{\hat{\delta}}^\rho, \sqrt{1 - (1 - \beta_{\hat{\delta}}^2)^\rho} \right), \rho > 0$

۲-۴-۳. توابع امتیاز و دقت برای اعداد فازی فیثاغورثی

تعریف ۲-۳. $\hat{\delta}$ را یک عدد فازی فیثاغورثی در نظر بگیرید. تابع امتیاز^۳ $\hat{\delta}$ به شرح زیر تعریف می‌شود [۷۱]:

$$Score(\hat{\delta}) = (\alpha_{\hat{\delta}})^2 + (\beta_{\hat{\delta}})^2 \text{ where } -1 \leq Score(\hat{\delta}) \leq 1 \quad (۲-۶)$$

¹ Alternatives

² Evaluation criteria

³ The score functions

بر اساس تابع امتیاز تعریف شده PFN ها، قوانین مقایسه PFN ها^۱ به صورت زیر بیان می شود:

تعریف ۴-۲. اگر $\hat{\delta}_1 = (\alpha_{\hat{\delta}_1}, \beta_{\hat{\delta}_1})$ و $\hat{\delta}_2 = (\alpha_{\hat{\delta}_2}, \beta_{\hat{\delta}_2})$ دو عدد از PFSs باشند، امتیاز $\hat{\delta}_1$ و امتیاز $\hat{\delta}_2$ به شرح زیر است [۷۱]:

- 1.If $Score(\hat{\delta}_1) \succ Score(\hat{\delta}_2)$, then $\hat{\delta}_1 \succ \hat{\delta}_2$.
- 2.If $Score(\hat{\delta}_1) \prec Score(\hat{\delta}_2)$, then $\hat{\delta}_1 \prec \hat{\delta}_2$.
- 3.If $Score(\hat{\delta}_1) = Score(\hat{\delta}_2)$, then $\hat{\delta}_1 = \hat{\delta}_2$.

نتایج نشان می دهد که اگر $Score(\hat{\delta}_1) = Score(\hat{\delta}_2)$ آنگاه $\hat{\delta}_1 \sim \hat{\delta}_2$. برای حل این مشکل برابری^۲، تابع دقت^۳ پیشنهاد شده است.

تعریف ۵-۲. تابع دقت به صورت زیر بیان می شود [۷۱]:

$$Accuracy(\hat{\delta}) = (\alpha_{\hat{\delta}})^2 + (\beta_{\hat{\delta}})^2 \text{ where } Accuracy(\hat{\delta}) \in [0,1].$$

- 1.If $Score(\hat{\delta}_1) \succ Score(\hat{\delta}_2)$, then $\hat{\delta}_1 \succ \hat{\delta}_2$.
- 2.If $Score(\hat{\delta}_1) = Score(\hat{\delta}_2)$, then :
 - (a) If $Accuracy(\hat{\delta}_1) \succ Accuracy(\hat{\delta}_2)$, then $\hat{\delta}_1 \succ \hat{\delta}_2$.
 - (b) If $Accuracy(\hat{\delta}_1) = Accuracy(\hat{\delta}_2)$, then $\hat{\delta}_1 \sim \hat{\delta}_2$.

۴-۴-۲. عملگرهای اجماع فازی فیثاغورثی

با توجه به اهمیت مفهوم/اجماع^۴ در فرآیند تصمیم گیری، یکی از عملگرهای اجماع^۵، مورد نیاز برای مدل این تحقیق، در ادامه معرفی شده است.

در شکل ۵-۲ یک فرآیند MCDM معمولی برای یک مسئله رتبه بندی آمده است. برای اینکه یک مسئله رتبه بندی شامل چندین معیار C_j در نظر گرفته شود، اولین قدم تعیین معیارهای ارزیابی است. تک تک کارشناسان حوزه، این معیارها را بر اساس تخصص خودارزیابی می کنند. اساساً، همه این ارزیابی ها به محتوای اطلاعات کلی مسئله کمک می کنند. یکی از وظایف مهم در این مرحله، جمع آوری تمام محتوای اطلاعاتی ارائه شده توسط کارشناسان فردی است. روش جمع آوری محتوای اطلاعات ممکن است تأثیر چشمگیری بر نتایج تصمیم داشته باشد، از این رو، انتخاب اپراتور/اجماع مناسب که مانع از دست رفتن اطلاعات شود بسیار مهم است. در نهایت، اطلاعات جمع آوری شده در یک امتیاز

¹ The comparison laws of the PFNs

² Equality case

³ The accuracy functions

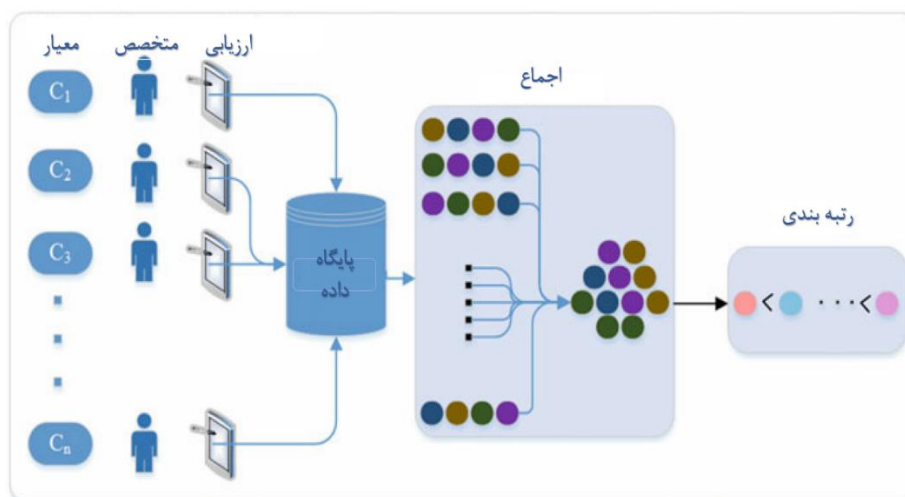
⁴ Aggregation

⁵ Aggregation Operators

برای هر گزینه که برای رتبه‌بندی استفاده شده، ترسیم می‌شود.

تعریف ۶-۲. عدد $\hat{P}_i$ را یک عدد فازی فیثاغورثی برابر $\hat{P}_i = (\alpha_i, \beta_i)$ به ازای $i=1,2,\dots,m$ و ω را بردار وزن $\hat{P}_i$ به صورت $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ به طوری که $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ باشد، در نظر بگیرید. عملگر میانگین وزنی فازی فیثاغورثی^۱ (PFWA) به صورت زیر تعریف می‌شود [۷۱]:

$$\text{PFWA}(\hat{P}_1, \hat{P}_2, \dots, \hat{P}_m) = \left(\sqrt{1 - \prod_{i=1}^m (1 - (\hat{\alpha}_i)^2)^{\omega_i}}, \prod_{i=1}^m (\hat{\beta}_i)^{\omega_i} \right) \quad (9-2)$$



شکل ۵-۲. فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره در یک مسئله رتبه‌بندی [۷۱]

۵-۲. روش ویکور فازی فیثاغورثی

آقای س. اپریکوویک^۲ در سال ۱۹۹۸ از تز دکتری خود در دانشکده مهندسی عمران دانشگاه بلغارد تحت عنوان "بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های مهندسی عمران"^۳ دفاع و روش ویکور^۴ را معرفی نمود. ایشان در سال ۲۰۰۲ با همکاری آقای ج.اچ. تزنگ^۵ مدل VIKOR را در مقاله‌ای تحت عنوان "راه‌حلهای توافقی در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره: تحلیل مقایسه‌ای VIKOR و TOPSIS"^۶ تحلیل [۷۵] و در سال ۲۰۰۶ نسخه توسعه‌یافته آن را ارائه و با دیگر روش‌های رتبه‌بندی مقایسه نمودند [۷۶]. نامبرده در سال ۲۰۱۱ نسخه فازی ویکور را با مطالعه‌ای موردی برای برنامه‌ریزی منابع

^۱ Pythagorean fuzzy weighted averaging (PFWA)

^۲ Serafim Opricovic

^۳ Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems

^۴ ویکور VIKOR مخفف عبارت صربی "Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje" به معنی "راه‌حل توافقی و بهینه‌سای چندمعیاره" است که معادل انگلیسی آن "Multi-criteria Optimization and Compromise Solution" می‌باشد [۶۲].

^۵ Gwo-Hshiung Tzeng

^۶ "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS"

آب معرفی کرد [۷۷]. این روش در سال‌های اخیر با کاربردهای مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است. آقای م.گل^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۹ مدل فازی فیثاغورثی ویکور^۲ (PFVIKOR) را برای ارزیابی ریسک‌های ایمنی در یک معدن سرب و روی بکار گرفتند [۷۸] که با پیشنهاد یک رویکرد مبتنی بر اعداد فازی فیثاغورثی و ایجاد یک مشارکت نظری، با در نظر گرفتن و مشاوره در مورد خطرات بالقوه مدیریت ریسک، به بهبود سطوح ایمنی کلی معدن کاری زیرزمینی کمک کردند و نتیجه گرفتند که با رویکرد پیشنهادی مکانیسم ارزیابی خطر، ایمنی موجود در استخراج زیرزمینی معدن بهبود یافته است [۷۸]. از این روش فازی معرفی شده، در این پژوهش استفاده شده است.

۲-۵-۱. مراحل روش ویکور (VIKOR)

اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با روش ویکور مراحل زیر را طی می‌کنیم [۶۲]:

۱. تشکیل ماتریس تصمیم

در ابتدا با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به‌صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

که در آن عملکرد گزینه i به ازای $(i=1,2,\dots,m)$ در رابطه با معیار j به ازای $(j=1,2,\dots,n)$ است.

۲. بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می‌شود معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بی‌بعد تبدیل شوند و ماتریس F به روش نورم^۳ به‌صورت زیر تعریف می‌شود که رابطه ۲-۱۰ در این ماتریس برقرار است:

$$F = \begin{pmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{pmatrix}$$

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2-10)$$

¹ Muhammet Gul,

² Pythagorean fuzzy VIKOR (PFVIKOR)

³ Normalization

۳. تعیین بردار وزن معیارها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به صورت

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

تعریف می‌شود.

۴. تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار

f_j^* را بهترین مقدار معیار^۱ از بین تمام گزینه‌ها و f_j^- را بدترین مقدار معیار^۲ از بین تمام گزینه‌ها در نظر بگیرد. بهترین مقدار (f_j^*) برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب در روابط ۱۱-۲ و ۱۲-۲ و بدترین مقدار (f_j^-) برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب مطابق روابط ۱۳-۲ و ۱۴-۲ محاسبه می‌شوند.

$$f_j^* = \max_i f_{ij} \quad (11-2) \text{ بهترین مقدار برای معیار مثبت}$$

$$f_j^* = \min_i f_{ij} \quad (12-2) \text{ بهترین مقدار برای معیار منفی}$$

$$f_j^- = \min_i f_{ij} \quad (13-2) \text{ بدترین مقدار برای معیار مثبت}$$

$$f_j^- = \max_i f_{ij} \quad (14-2) \text{ بدترین مقدار برای معیار منفی}$$

۵. محاسبه مقدار سودمندی^۳ (S) و مقدار تاسف^۴ (R)

مقادیر S و R برای هر گزینه مطابق روابط ۱۵-۲ و ۱۶-۲ محاسبه می‌شوند.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (15-2) \text{ مقدار سودمندی گزینه } i$$

$$R_i = \max_j \left\{ w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\} \quad (16-2) \text{ مقدار تاسف گزینه } j$$

۶. محاسبه شاخص VIOKOR (مقدار Q)

مقدار Q مطابق رابطه ۱۷-۲ محاسبه می‌شود.

$$Q = \nu \left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} \right] + (1 - \nu) \left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-} \right] \quad (17-2) \text{ محاسبه شاخص } Q$$

در رابطه ۱۷-۲، $\left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} \right]$ بیان‌کننده نرخ فاصله از حل ایده‌آل و $\left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-} \right]$ بیانگر نرخ

¹ Positive Ideal Solution (PIS)

² Negative Ideal Solution (NIS)

³ Utility measure

⁴ Regret measure

فاصله از حل ضد ایده آل است و پارامتر V با توجه به میزان توافق گروه تصمیم گیرنده انتخاب می شود. در صورت توافق بالا، مقدار آن بیش از 0.5 ، در صورت توافق با اکثریت آرا مقدار آن مساوی 0.5 و در صورت توافق پایین، مقدار آن کمتر از 0.5 خواهد بود. مقدار Q تابعی از S_i و R_i بوده که خود این مقادیر به ترتیب مقادیر فاصله از حد ایده آل به ازای $P=1$ و $P=\infty$ در برنامه ریزی توافقی است [۶۲].

۷. مرتب کردن گزینه ها بر اساس مقادیر Q و S, R

در این مرحله با توجه به مقادیر S, R و Q گزینه ها در سه گروه از کوچک تر به بزرگ تر مرتب می شوند. در نهایت گزینه ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود که در هر سه گروه به عنوان گزینه برتر شناخته شوند.

لازم به ذکر است که در گروه Q گزینه ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود که بتواند دو شرط زیر را ارضاء کند:

شرط ۱: اگر گزینه های A_1 و A_2 به ترتیب اولین و دومین گزینه برتر در گروه و n بیانگر تعداد گزیده ها باشد، رابطه $18-2$ برقرار باشد:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{n-1} \quad (18-2)$$

شرط ۲: گزینه A_1 باید حداقل در یکی از گروه های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود. زمانی که شرط اول برقرار نباشد، مجموعه ای از گزینه ها به صوت زیر به عنوان رتبه برتر انتخاب می شوند:

$$A_1, A_2, \dots, A_m = \text{گزینه های برتر}$$

که در آن بیشترین مقدار m با توجه به رابطه $19-2$ محاسبه می شود:

$$Q(A_m) - Q(A_1) \leq \frac{1}{n-1} \quad (19-2)$$

اگر شرط دوم برقرار نباشد، دو گزینه A_1 و A_2 به عنوان گزینه های برتر انتخاب می شوند.

۲-۵-۲. مراحل روش ویکور فازی فیثاغورثی (PFVIKOR)

در روش ویکور فازی فیثاغورثی (PFVIKOR) از نظرات t نفر متخصص با نماد E_m (m از 1 تا t)، f ریسک H_a (a از 1 تا f) و s مؤلفه ریسک RP_z (z از 1 تا s) استفاده می شود و به هر E_m یک وزن اهمیت ($w_m > 0$ و $\sum_{m=1}^t w_m = 1$) اختصاص می یابد. بر اساس تعاریف و مراحل ذکر شده در بخش ۲-۵-۱ مراحل رویه PFVIKOR به شرح زیر است [۷۸]:

مرحله ۱. تشکیل ماتریس تصمیم

مرحله اول مربوط به ساخت یک ماتریس تصمیم‌گیری فازی فیثاغورث با در نظر گرفتن نظرات کارشناسان است. در فرآیند ارزیابی ریسک، نظر هر متخصص در یک اجماع گروهی برای ساخت ماتریس تصمیم فازی فیثاغورث ادغام می‌شود. بگذارید $\hat{\theta}_{az}^k = (\alpha_{az}^k, \beta_{az}^k)$ مقادیر فازی فیثاغورثی فرض شود که توسط E_m متخصص در ارزیابی H_a در رابطه با پارامتر ریسک RP_z ارائه شده است. از این پس، رتبه‌بندی فازی فیثاغورثی خطرات $\hat{\theta}_{az}^k$ با توجه به هر پارامتر ریسک و به وسیله عملگر معرفی شده در رابطه ۹-۲ محاسبه می‌شود. با توجه به روابط مذکور در جدول ۲-۱ و تعریف عملگر PFWA در رابطه ۹-۲ خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}\hat{\theta}_{az} &= PFWA(\hat{\theta}_{az}^1, \hat{\theta}_{az}^2, \dots, \hat{\theta}_{az}^t) = \bigoplus_{m=1}^t \omega_m \theta_{az}^m \\ &= \left(\sqrt{1 - \prod_{m=1}^t (1 - (\alpha_{az}^m)^2)^{\omega_m}}, \prod_{m=1}^t (\beta_{az}^m)^{\omega_m} \right) \quad a=1, 2, \dots, f, z \\ &= 1, 2, \dots, s\end{aligned} \quad (20-2)$$

که در آن $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ وزن‌های مرتبط $\hat{\theta}_{az}$ است مشروط بر اینکه $\omega_i \in [0, 1]$ ($i=1, 2, \dots, n$) and $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ باشد [۷۹]. پس از این محاسبات، مسئله را می‌توان به صورت ماتریسی به صورت زیر نشان داد:

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} \hat{\theta}_{11} & \dots & \hat{\theta}_{1s} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\theta}_{f1} & \dots & \hat{\theta}_{fs} \end{pmatrix} \quad (21-2)$$

که در آن $\hat{\theta}_{az} = (\alpha_{az}, \beta_{az})$ یکی از عناصر ماتریس تصمیم‌گیری فازی فیثاغورثی $\tilde{R}$ است.

مرحله ۲. تعیین راه حل ایده آل (PFPIS و PFNIS)

مرحله دوم مربوط به تعیین راه حل ایده آل فازی فیثاغورثی $\hat{p}_z^* = (\alpha_z^*, \beta_z^*)$ و راه حل ایده آل منفی فازی فیثاغورثی $\hat{p}_z^- = (\alpha_z^-, \beta_z^-)$ است که با توجه به روابط ۲-۱۱ تا ۲-۱۴ به صورت رابطه ۲۲-۲ تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned}\tilde{p}_z^* &= \begin{cases} \max \hat{\theta}_{az} & \text{for benefit criteria} \\ \min \hat{\theta}_{az} & \text{for cost criteria} \end{cases} \quad z=1, 2, \dots, s \\ \tilde{p}_z^- &= \begin{cases} \min \hat{\theta}_{az} & \text{for benefit criteria} \\ \max \hat{\theta}_{az} & \text{for cost criteria} \end{cases} \quad z=1, 2, \dots, s\end{aligned} \quad (22-2)$$

¹ Pythagorean fuzzy positive ideal solution (PFPIS)

² Pythagorean fuzzy negative ideal solution (PFNIS)

مرحله ۳. محاسبه مقادیر سودمندی و تاسف ویژه PFVIKOR

مرحله سوم در مورد محاسبه مقادیر S_a و R_a ویکور است که با کمک عملگر فاصله استاندارد وزنی با مرتبه فازی فیثاغورث تعمیم یافته^۱ به صورت زیر محاسبه می شوند و در آن w_m وزن های مرتب معیارها (پارامترهای ریسک) هستند که اهمیت نسبی موقعیت های مرتب شده آن ها را نشان می دهد.

$$S_a = \text{GPFOWSD}(\langle \tilde{p}_1^*, \tilde{p}_1^-, \tilde{r}_{a1} \rangle, \dots, \langle \tilde{p}_f^*, \tilde{p}_f^-, \tilde{r}_{af} \rangle) = \left(\sum_{m=1}^s w_m d_m^{-\rho} \right) \quad (23-2)$$

$$, a = 1, 2, \dots, f$$

$$R_a = \left(\max_m (w_m d_m^{-\rho}) \right)^{1/\rho}, a = 1, 2, \dots, f \quad (24-2)$$

با تجزیه و تحلیل بردار وزن و پارامتر λ در عملگر GPFOWSD، می توان انواع مختلفی از عملگرهای فاصله فازی فیثاغورث را به دست آورد [۷۹]. در این پژوهش λ برابر یک فرض می شود که در این حالت عملگر GPFOWSD، به عملگر PFOWHSD به معنی فازی فاصله استاندارد وزنی همینگ مرتب فازی فیثاغورثی^۲ خوانده می شود [۷۹].

مرحله ۴. محاسبه شاخص PFVIKOR

در این مرحله سومین شاخص ویژه ویکور^۳ یعنی شاخص Q_a مطابق رابطه ۲-۱۷ محاسبه می شود:

$$Q_a = \nu \frac{S_a - S^*}{S^- - S^*} + (1 - \nu) \frac{R_a - R^*}{R^- - R^*}, a = 1, 2, \dots, f \quad (25-2)$$

$$\text{where } S^* = \min_a S_a, S^- = \max_a S_a, R^* = \min_a R_a, R^- = \max_a R_a$$

در رابطه فوق ν وزنی از حداکثر مطلوبیت گروهی^۴ است، در حالی که $1 - \nu$ وزن پشیمانی فردی^۵ است. در این پژوهش، ν برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

مرحله ۵. اولویت بندی ریسک ها

در این مرحله رتبه بندی خطرات بر حسب مقادیر S_a, R_a, Q_a اولویت بندی می شوند.

مرحله ۶. پیشنهاد راه حل سازش

آخرین مرحله پیشنهاد یک راه حل مصالحه^۶ است. به عنوان یک راه حل سازش، جایگزین $(A^{(1)})$ که بهترین رتبه را با معیار Q_a بود، پیشنهاد شده است.

¹ Generalized Pythagorean fuzzy ordered weighted standardized distance operator (GPFOWSD)

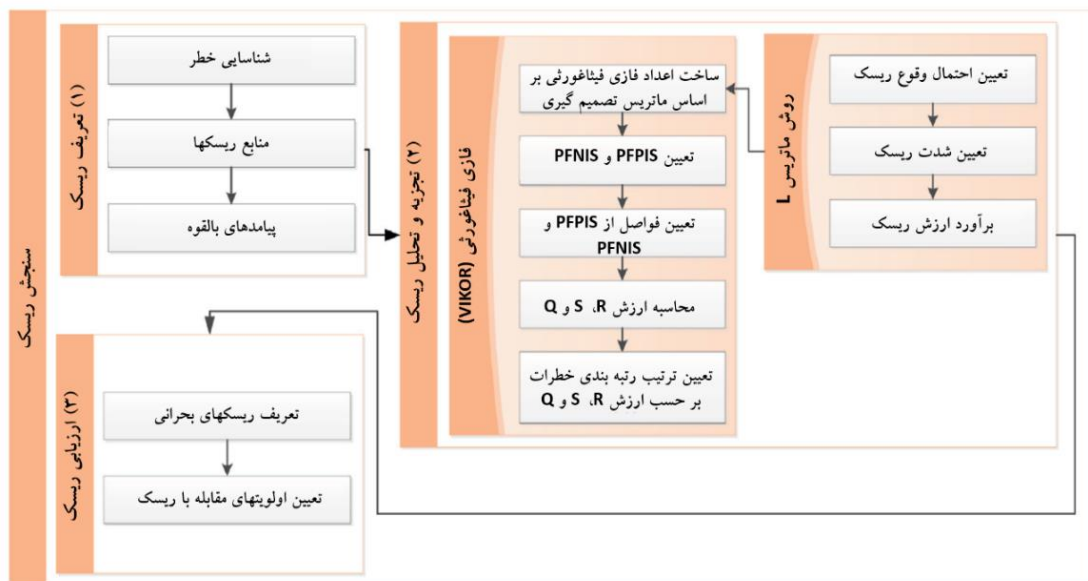
² The Pythagorean fuzzy ordered weighted Hamming standardized distance (GPFOWSD)

³ VIKOR-specific indexes

⁴ The weight of the maximum group utility

⁵ The weight of individual regret

⁶ Compromise solution



شکل ۲-۶. فرآیندهای ارزیابی ریسک با رویکرد فازی فیثاغورثی [۷۸]

مطابق شکل ۲-۶ روش ویکور فازی فیثاغورثی (PFVIKOR) شامل سه مرحله اصلی است:

مرحله ۱. تعریف ریسک

اولین گام این مدل شناسایی ریسک است. در این مرحله پس از شناسایی ریسکها منابع آنها و پیامدهای بالقوه‌ای که ممکن است داشته باشند، نیز معرفی می‌شود.

مرحله ۲. تعریف ریسک

مرحله دوم در مورد تجزیه و تحلیل ریسک است. در این مرحله پس از تشکیل ماتریس ریسک برای تعیین احتمال و شدت ریسک، ریسک ارزیابی شده و نتایج این ارزیابی در گامهای ویکور و در محیط فازی فیثاغورثی کمی‌سازی می‌شود.

مرحله ۳. ارزیابی ریسک

پس از کمی‌سازی ریسکها در محیط فازی فیثاغورثی، نتایج تحلیل ریسک برای اشاره به ریسکهای غیرقابل قبول و پیشنهاد اقدامات احتیاطی مورد ارزیابی قرار گرفته و ریسکهای بحرانی معرفی و اولویتهای مقابله با این ریسکها به‌عنوان برنامه‌های واکنش در برابر ریسک اعلام می‌گردد. در این پژوهش برای استفاده از ماتریس ریسک، از ماتریسی به‌صورت ۵ در ۵ استفاده می‌شود. این ماتریس، رویکرد ساده‌ای است که به‌طور گسترده در ارزیابی ریسکهای HSE استفاده می‌شود که در آن احتمال و شدت دو پارامتر روش هستند که اندازه‌گیری و طبقه‌بندی ریسکها را بر اساس قضاوت آگاهانه ترکیب می‌کنند. ارزش ریسک را در این ماتریس می‌توان به راحتی با ضرب احتمال و شدت به دست آورد. مهم این است که پیامدها را با توجه به امتیاز ریسک درست تعریف کنیم [۷۸].

۲-۵-۳. خصوصیات روش ویکور فازی فیثاغورثی

این روش یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تعاملی با به‌کارگیری اعداد فازی و فیثاغورثی است و لذا این ویژگی‌ها و مزایای را دارد:

- با توجه به مبتنی بودنش بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) با قدرت آن‌ها برای غلبه بر مشکلات موجود در دنیای واقعی با معیارهای متعدد، ضمنی یا صریح، متناقض و ناسازگار روش‌های ارزیابی کمی ریسک را بهبود می‌بخشد [۷۸]؛
- با توجه به تعاملی بودنش، قوت یک شاخص می‌تواند نقاط ضعف دیگر شاخص‌ها را بپوشاند؛
- روش ویکور مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل چندمعیاره است و مسائلی که با معیارهای نامناسب و ناسازگار هستند را بررسی می‌کند؛
- با توجه به رویکرد گروهی، از همه امتیازات تصمیم‌گیری گروهی و به‌کارگیری دانسته‌های متخصصان برخوردار است؛
- در این روش از اعداد PFN، استفاده می‌شود. مطابق آنچه گفته شد، مجموعه‌های فازی فیثاغورثی برای حل مسائل مربوط به عدم قطعیت قدرتمندتر و انعطاف‌پذیرتر هستند؛
- با توجه ویژگی‌های PFS آن‌ها زمینه‌ای کاربردی در MCDM برای مثال واقعی ایجاد نموده‌اند و فضای جستجوی وسیع‌تری را برای انعکاس توافق، اختلاف‌نظر و تردید در تصمیم‌گیری فراهم می‌کنند؛
- در این روش به نظر کارشناسان بر اساس تجربه آن‌ها وزنی تخصیص داده می‌شود.

۲-۶. ریسک‌های زیست‌محیطی معادن طلا

۲-۶-۱. تقسیم‌بندی بر حسب حوزه تأثیر محیطی

با تقسیم تأثیرات فعالیت‌های معدن‌کاری طلا و فراآوری آن به اجزاء محیط تأثیرپذیر، به‌طور خلاصه باید گفت که این فعالیت‌ها برای محیط خاک، محیط آب، هوای محیطی و موجودات زنده، عوامل آلاینده و ریسک‌های زیست‌محیطی زیر را ایجاد می‌کند:

خاک: در اثر تجمع عناصر آلوده‌کننده مانند فلزات سمی و سنگین ناشی از باطله‌برداری و دیپوی آن‌ها در معرض هوا و همچنین تجمع این مواد به دلیل استفاده از مواد شیمیایی افزودنی در فرآیندهای استحصال طلا، خاک منطقه آلوده می‌شود. دیپوهای باطله علاوه بر این که خود یک منشاء آلودگی مهم برای خاک هستند، در صورت همراه شدن با بارش‌های جوی و آب‌های سطحی موجب انتقال آلودگی به سایر محیط‌ها مانند خاک، آب و گیاهان می‌شوند. همچنین در صورت تشکیل زهاب اسیدی با منشاء آب تراوشی از دامپ‌های باطله و نیز باطله‌های فراآوری، این زهاب بر خاک‌ها و مناطق اطراف محل،

تأثیرات مخرب برجای خواند گذاشت. با توجه به اهمیت موضوع آلودگی ناشی از عناصر سنگین در معادن طلا، حد مجاز آن‌ها در جدول ۲-۲ آمده است.

جدول ۲-۲. میزان مجاز عناصر سنگین در خاک [۵۱]

عنصر	حد مجاز در خاک (mg/kg)	حد مجاز برای سلامتی انسان و محیط (mg/kg)
آرسنیک	۲۰	۳۰
باریم	۲۰۰	۴۰۰
کادمیم	۱	۵
کروم	۱۰۰	۲۵۰
کبالت	۲۰	۵۰
مس	۵۰	۱۰۰
سرب	۵۰	۱۵۰
جیوه	۰/۵	۲
مولیبدن	۱۰	۴۰
نیکل	۵۰	۱۰۰
قلع	۲۰	۵۰
روی	۲۰۰	۵۰۰

هوا: تأثیرات آلودگی هوای معادن نه تنها برای کارگران معادن بلکه برای محیط اطراف نیز می‌تواند مخرب باشد و کنترل این موضوع در صورت نزدیکی مناطق مسکونی به معادن طلا، از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود. مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده هوا در معادن و کارخانه‌های فرآوری طلا عبارتند از: تردد ماشین‌آلات سنگین معدنی، احداث راه دسترسی محل اکتشاف و حمل و نقل مواد معدنی، عناصر سنگین برخواسته از محل دپوهای باطله سولفیدی توسط باد، آلودگی نیتراتی ناشی از انفجار در پله‌ها، گردوغبار ناشی از فرآیندهای خردایش و آسیاب و حمل خوراک در کارخانه، غبارهای خروجی از فرآیندهای کارخانه و ذرات معلق برخواسته از سد باطله فرآوری.

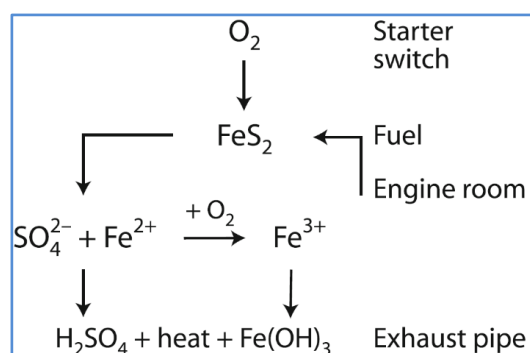
آب: نفوذ مواد شیمیایی ناشی از حمل و نقل، عملیات اکتشافی و آتش باری به آب، نفوذ در واحد فرآوری و سد باطله با توجه به به کارگیری مواد شیمیایی افزودنی در فرآیندها و بخصوص سیانور منابع مهم آلوده‌کننده آب در معادن طلا هستند. به علاوه در صورت وجود کانی‌های سولفیدی در کانسنگ‌های طلا، عامل مهم دیگر ایجاد آلودگی در آب معدن با تشکیل زهاب اسیدی، تجمع کانی‌های سولفور خواهد بود (جدول ۲-۳). به طور کلی بعد از ذخایر سولفیدی زغال سنگ و ذخایر سولفیدی آتش فشانی، ذخایر طلای اپی ترمال در رده بندی کانسارهای با پتانسیل بسیار بالای تولید زهاب اسیدی قرار دارند. افزایش غلظت هیدروژن و تولید اسید در باطله‌های معدنی به سه دلیل است (شکل ۲-۷): اکسایش

سولفیدهای غنی از آهن، ته‌نشینی هیدروکسیدهای Fe^3 و انحلال نمک‌های انحلال‌پذیر سولفات [۴].
موجودات زنده: با توجه به آلوده نمودن محیط مناطق معدنی و از بین بردن پوشش گیاهان منطقه ناشی از معدن‌کاری، معادن طلا همواره بر موجودات زنده منطقه تأثیرات منفی خواهند گذاشت. این تأثیرات با شروع عملیات اکتشافی و صدای ماشین‌آلات معدنی و احداث جاده دسترسی با از بین بردن پوشش گیاهی و حریم موجودات زنده آغاز و با فعالیت‌های معدنی گسترش می‌یابد. با توجه به اهمیت موضوع حفاظت از گونه‌های زیستی، در برنامه بازسازی معادن باید به این مهم دقت شود به گونه‌ای که همزمان با عملیات معدنی و ایجاد دپوهای باطله مواد معدنی، لازم است شیب دامپ‌ها به گونه‌ای اجرا شود که امکان رشد گیاهان و برنامه‌های گیاه‌پالایی در آینده فراهم گردد. ارتباط شیب دامپ‌های باطله فراوری با امکان رشد گیاهان بر روی آن‌ها در شکل ۲-۸ نشان داده شده است [۵۱].

علاوه بر تقسیم‌بندی آلاینده‌ها بر حسب نوع محیط متأثر، آن‌ها را می‌توان مطابق جدول ۲-۴ با توجه نوع اثر بر سه دسته تخریب غیرشیمیایی محیط، تخریب شیمیایی-میکروبی محیط و آسیب‌های شغلی شاغلین تقسیم‌بندی نمود. در جدول ۲-۵، این اثرات با محیط متأثر، مقایسه شده و در جدول ۲-۶ نیز تأثیرات عنصر آرسنیک بر محیط‌های خاکی، هوا و آب معادن طلای سولفیدی آمده است.

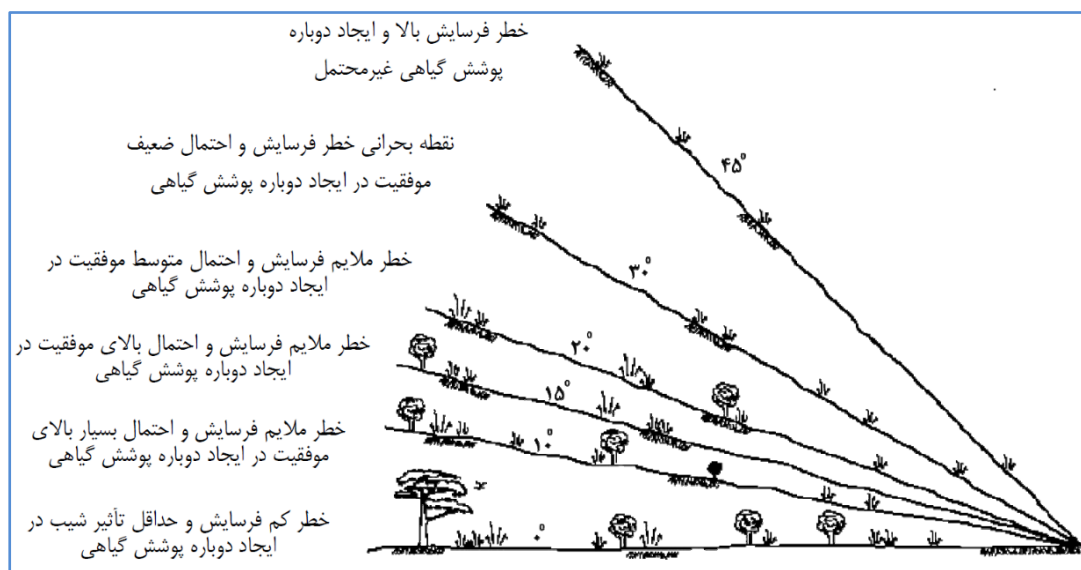
جدول ۲-۳. آلودگی‌های آب در اثر فعالیت‌های معدن‌کاری و فراوری [۵۰]

نوع آلودگی	عوامل
اسیدی شدن	هوازدگی باطله‌های پیریتی، فروشویی اسیدی کانسنگ، مصرف اسید در کانه‌آرایی
قلیایی شدن	مصرف آهک و نمک‌های قلیایی در کانه‌آرایی، مصرف آمونیاک و ترکیبات آمونیوم در فروشویی، مصرف کربنات و هیدروکسید سدیم برای کنترل pH در فلوتاسیون و مصرف سیانید سدیم در استحصال طلا
آلودگی شیمیایی آب در اثر زهاب اسیدی معدن	اکسیداسیون کانی‌ها و باطله‌های حاوی سولفید به‌ویژه پیریت و پیروتیت
افزایش مواد شیمیایی و فلزات سنگین	ذرات معلق، فلزات سنگین، نمک‌های گوگرد، مواد شیمیایی افزودنی در فراوری مانند اسیدها، کف‌سازها، سیانورها و باکتری‌ها



شکل ۲-۷. سیکل خودکار تجزیه پیریت به‌عنوان موتور زهاب اسیدی معدن [۴]

(اکسیژن به‌عنوان سوئیچ این موتور؛ پیریت سوخت آن و باطله سولفیدی هم اتاق این ماشین خودکار است و هیدروکسیدهای آهن سه‌ظرفیتی، اسیدسولفوریک و حرارت از آگروز این ماشین خارج می‌شود).



شکل ۲-۸. تأثیر میزان شیب در فرسایش و برگرداندن پوشش گیاهی [۵۱]

جدول ۲-۴. طبقه‌بندی آسیب‌های زیست‌محیطی فعالیت‌های معادن و کارخانه طلا نسبت به نوع تخریب [۵۰]

نوع اثر	انواع آسیب‌ها
تخریب	- تخریب فیزیکی محیط زیست طبیعی (جانوری/گیاهی) در محل انباشت باطله‌ها
غیر	- تخریب محیط زیست اطراف کارخانه بر اثر نشر آلاینده‌ها در هوا و تخلیه پساب‌ها
شیمیایی	- برهم زدن وضعیت زندگی جوامع پیرامون
محیط	- ایجاد تغییرات در وضعیت آبخوان‌ها
	- ایجاد خطرات ناشی از تخریب ساختارهایی مانند سدهای باطله
	- رها کردن تجهیزات، کارخانه و ساختمان‌ها پس از توقف عملیات
تخریب	- تولید زهاب‌ها (عمدتاً اسیدی) از مکان‌های انباشت باطله
شیمیایی-میکروبی	- سرریز شدن مواد و رسوبات آلوده از مکان‌های انباشت باطله به محیط اطراف
	- آلوده شدن بستر رودخانه‌ها
	- پساب‌های کارخانه‌ها
	- مواد آلی
	- آلودگی خاک‌ها بر اثر مواد باقی‌مانده از فرآورده‌ها و نشت مواد شیمیایی
	- پساب‌های حاصل از فروشویی توده‌های باطله یا انباشت کانسنگ
	- تولید گردوغبار و گازهای سمی در محیط
	- آلودگی ناشی از انتشار و تمرکز باکتری‌های مصرف شده در فرآوری یا باقی‌مانده در پساب‌ها
آسیب‌های شغلی و سلامت انسان	- خطرات ناشی از جابه‌جایی مواد شیمیایی، باطله‌ها و محصولات معدنی
	- تنفس گردوغبار، گازها و ذرات معلق
	- قرارگیری در معرض آلودگی آب‌بست، سیانور، جیوه و سایر مواد سمی
	- قرارگیری در معرض حرارت، صدا، ارتعاش، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی
	- خطرات فیزیکی در کارخانه
	- شرایط غیربهداشتی محیط‌های مسکونی پیرامونی

جدول ۲-۵. مقایسه محیط و نوع تأثیر آلودگی [۵۰]

تأثیرات	محیط تأثیر		
	آب	هوا	خاک
شیمیایی و شیمی-فیزیکی	- تغییر pH - تجمع فلزات سمی و سنگین - ترکیبات سمی آلی و معدنی - تغییر دما - افزایش شوری آبها - انتشار باکتریها	- انتشار گازهای سمی - تغییر دما - انتشار گردوغبار و ذرات معلق	- انتشار مواد آلاینده و پسابها
محیط زیست (غیر شیمیایی)	- تغییر در جریان سیل و روان آبها - کدورت آبها		- تغییر شکل توپوگرافی - کاهش کیفیت خاک - بروز ناپایداری - رهاسازی ساختمانها، حفاریات و ضایعات صنعتی و معدنی - برهم زدن شرایط زیستی گونههای جانوری و گیاهی

جدول ۲-۶. تأثیرات زیست محیطی آرسنیک [۵۱]

نوع آلودگی	آلودگی هوا	آلودگی آب	آلودگی خاک	اثر بر فعالیت و سلامت کارکنان معدن
آرسنیک	مادهای سمی است و باعث آلودگی هوا می شود و میزان مجاز آن ۰/۲۵ میلی گرم در متر مکعب است و بیشتر از این میزان، ایجاد آلودگی می کند.	حداکثر میزان مجاز این ماده سمی برای تخلیه در آبهای سطحی، زیرزمینی و مصارف کشاورزی ۰/۱ میلی گرم در لیتر است و بیشتر از این حد تولید آلودگی می کند.	اگر حداکثر میزان مجاز برای آب و هوا رعایت نشود از طریق آب و هوا، خاک نیز آلوده می شود. چون خاک ساکن است میزان این مواد آلوده کننده هر چند ناچیز هم باشد به مرور در خاک متراکم شده و در نهایت موجب آلودگی خاک می شود.	آرسنیک مادهای بسیار سمی و کشنده است و عوارض مزمن و اولسراسیون پوست و تخریب مجاری بینی را به همراه دارد.

۲-۶-۲. تقسیم بندی بر حسب تأثیرات ریسک های زیست محیطی

در باب آلودگی های زیست محیطی معدن کاری طلا باید گفت که همواره استخراج و فرآوری این فلز مهم با آثار مخرب زیست محیطی فراوانی همراه است [۸۰]. ۳۸ درصد از انتشار جهانی جیوه ناشی از به کارگیری آن در استحصال طلا از معادن سنتی و مقیاس کوچک^۱ است. هرچند از جیوه در معادن بزرگ استفاده نمی شود، اما این معادن بزرگ مقیاس، سبب انتشار مواد سمی چون آرسنیک و سیانور به محیط می شوند.

معدن کاری طلا (از استخراج تا فرآوری و تولید) در انتشار گازهای گلخانه ای و در نتیجه گرمایش جهانی زمین نقش دارند به گونه ای که برآورد می شود انتشار گازهای گلخانه ای جهانی حاصل

¹ Artisanal and small-scale mines

از استخراج طلا از ۱۰۰ میلیون تن CO₂ معادل^۱ در سال فراتر می‌رود [۸۱]. این رقم حدود ۰/۳ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی است و رقمی بیشتر از کل هوانوردی درون قاره اروپا است [۴۶].

رد پای تنش جهانی آب^۲ در تولید طلا بعد از آهن و مس از هر فلز دیگری بیشتر است. طلا در حوضه اصلی رودخانه‌یی در سراسر جهان که معدن‌کاری طلا در آن‌ها اجرا می‌شود، بخصوص رودهایی که در حال حاضر از تنش آبی ناشی از آب‌وهوا و کشاورزی رنج می‌برند، تأثیرات قابل توجه برجای گذاشته است تولید یک کیلوگرم طلای استخراجی از کانسنگ‌ها به طور متوسط به ۲۶۵،۰۰۰ لیتر آب نیاز دارد [۴۶] با توجه به کاهش عیار کانسنگ‌ها در قرن ۲۱، امروزه برای تولید ۱ گرم طلا، بیش از ۱ تن خاک جابجا می‌شود. اضافه بر این، معدن‌کاری کانسنگ فلزی چون طلا، سبب انتشار آلاینده‌ها و فلزات سنگین در آب‌و خاک منطقه و تأثیرات مخرب بر جانداران و کل محدوده خواهد شد که جملگی ضرورت نیاز به برنامه جامع مدیریت زیست‌محیطی در طول عمر معدن و پس از آن را بیان می‌کنند. هرچند تولید سوخت‌های فسیلی خانه‌ها را گرم و روشن می‌کنند اما آیا تولید طلا برای رفاه بشری ضروری است؟

انتشار نوع و میزان آلاینده‌ها در معادن و کارخانه‌های فرآوری طلا بر حسب نوع ذخیره، روش استخراج و تکنیک‌های فرآوری متفاوت است. به‌علاوه با توجه به گستردگی تأثیرات عوامل مخرب زیست‌محیطی معادن بر حوزه‌های مختلف محیط‌زیست از طرفی و ارتباط نزدیک این تأثیرات باهم، تفکیک تأثیرات زیست‌محیطی معدن‌کاری طلا و استحصال آن مشکل است. در اینجا این تأثیرات به‌طور کلی در پنج دسته ریسک‌ها معرفی می‌شوند: ژئومورفولوژیکی، شیمیایی، بیولوژیکی^۳ و دو دسته خاص انسانی که خود عامل ایجاد آن‌ها است: ژئوپولیتیکی^۴ و عوامل زیان‌آور محیط کار^۵ در معادن طلا.

گروه اول) تأثیرات ریسک‌های ژئومورفولوژیکی ناشی از معدن‌کاری طلا بر محیط‌زیست

عملیات استخراج فلزات، با ایجاد پیت‌های معدنی و یا حفاریات زیرزمینی، نیازمند حجم فراوان باطله‌برداری و ایجاد تغییرات گسترده در توپوگرافی، زمین‌منظر و چشم‌انداز منطقه می‌شوند. حجم بسیار بالای باطله‌برداری در معادن روباز طلا، سبب ایجاد تغییرات گسترده در بستر و حریم واحدهای ژئومورفولوژیک (مثل جلگه، دشت، کوه) و به‌تبع آن در فرآیندهای ژئومورفولوژیک (مثل سیل، رانش زمین، ریزش‌های سنگی) می‌شود [۸۲]. همچنین در این تغییرات با ریختن خاک سطحی غنی از مواد آلی به داخل رودخانه‌ها و منابع آبی، علاوه بر تخریب بستر رودخانه‌ها، کاهش مواد آلی خاک و

^۱ تبدیل مقادیری از گازهای دیگر به مقدار معادل دی اکسید کربن با همان گرمایش جهانی Carbon dioxide equivalent

^۲ Water stress

^۳ Geomorphological effects, Chemical effects, Biological

^۴ Geopolitical

^۵ Workplace Harmful Agents

رسوب گذاری بیش از حد در نهرها و رودخانه های منطقه اتفاق می افتد [۸۳]. گاهاً تخریبات بستر فقط به دلیل استخراج رسوبات پلاستی رخ می دهد.

با از بین رفتن پوشش خاک طبیعی- که در بردارنده مواد آلی مورد نیاز رشد گیاهی بوده و در مدت زمان زیادی در اثر پدیده هوازدگی های فیزیکی و شیمیایی فرم گرفته است- از بین رفتن پوشش گیاهی بومی منطقه رخ می دهد و در پی آن از بین رفتن خاک های کشاورزی، افزایش حجم رسوبات در منطقه، کاهش جریان آب و اثرات تخریبی در روی جمعیت آبزیان نیز اتفاق می افتد [۸۴]. به علاوه در این دسته باید به فرونشست زمین و ایجاد حفره های سطحی ناشی از حفاریات معدنی [۲۰] و ایجاد دشت های آلوده به فلزات سنگین در آن ها نیز اشاره نمود [۸۲].

کاهش تنوع گیاهی ناشی از عملیات معدنی، کاهش کیفیت محصولات باغی، کاهش باروری احشام، کاهش جمعیت و مهاجرت گونه های جانوری در مناطق معدنی، از جمله تأثیرات مخرب معدن کاری بر سیستم اکولوژی معادن است. تجزیه و تحلیل های ماهواره ای نشان از بیست برابر شدن تخریب جنگل ها برای معدن کاری در بعضی از نقاط جهان است [۴۶]. تغییرات ژئومورفولوژیک، ناشی از دیوهای باطله برداری در معادن، سبب ایجاد ریسک بالای زمین لغزش و ناپایداری در شیب ها، بی ثباتی لندفرم ها، برهم زدن سیستم زهکشی طبیعی، خشک شدن چشمه ها، کاهش حجم طبیعی سفره های زیرزمینی و کانال رودخانه ها و آلودگی آن ها، فرسایش شدید، ایجاد گردوغبار و در نهایت توسعه ناپایدار، تداخل در برنامه ریزی های محیطی و ایجاد نابرابری های اجتماعی می شوند.

گروه دوم) تأثیرات شیمیایی ریسک های معدن کاری طلا بر محیط زیست

تغییرات هیدرولوژیکی، انتشار محیطی غبارها و آلاینده های شیمیایی در مراحل اکتشاف، آتش باری و استخراج، افزایش شدت اکسیداسیون کانی های سولفیدی در سنگ های باطله و تشکیل کانی های ثانویه و تولید زهاب اسیدی در معادن از عمده آثار زیان بار شیمیایی در معادن فلزی طلا هستند. تأثیرات مخرب شیمیایی در مرحله فرآوری به دلیل به کارگیری حلال ها و انتشار آن ها در محیط، مخرب تر خواهند بود. استفاده از جیوه برای خالص سازی، استفاده از آمونیاک و سیانور در فرآیندهای اکسایش و لیچنگ و انتشار گازهای سمی نظیر سیانیدها، SO₂ و نیز انتشار CO₂ و دیگر گازهای گلخانه ای و تشکیل باران های اسیدی نیز از جمله تأثیرات شیمیایی معدن کاری طلا است.

نگرانی از تأثیرات منفی سیانیدها در فرآوری طلا را می توان شدیدترین ریسک این دسته دانست. سالانه حدود ۱۴ میلیون کیلوگرم سیانید توسط صنایع در محیط زیست رها می شوند [۸۵] که حدود ۱۳ درصد آن در فرآوری طلا و نقره مصرف می گردد و ۷۸٪ دیگر در سایر صنایعی مثل پتروشیمی، آبکاری، فولادسازی، تولید رنگ، تولید مواد شیمیایی، عکاسی، داروسازی، و ... مصرف می شود [۸۶].

انتشار فلزات سنگین و متالوئیدها^۱ در محیط‌زیست معادن طلا و ایجاد تأثیرات بیولوژیکی بر جانداران، یکی دیگر از تأثیرات مهم شیمیایی این معادن هستند. به گونه‌ای که غلظت آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، کبالت (Co)، مس (Cu)، سرب (Pb)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni) و روی (Zn) در نمونه‌های خاک از مناطق معادن طلا با بالاترین فاکتورهای آلودگی (بیان شده به عنوان نسبت غلظت فلز یا متالوئید در خاک آلوده با باطله به محل کنترل) مشاهده شده است [۸۷]. همچنین در این گروه باید به تبخیر اکسید نیتروژن و اکسید گوگرد به صورت محلول و گاز حاصل از فرآیندهای شمش‌گیری و ذوب طلا اشاره داشت. فاجعه‌آمیزترین تأثیرات مخرب شیمیایی هنگامی است که سدهای باطله فرآوری شکسته و سیانور و دیگر مواد شیمیایی وارد محیط شوند. در سال ۲۰۰۰، زمانی که یک سد باطله در معدن طلا در رومانی شکست خورد، ۱۰۰،۰۰۰ آب آلوده به سیانور به حوضه آبریز رودخانه دانوب سرازیر شد. این نشت باعث مرگ دسته‌جمعی آبزیان در اکوسیستم رودخانه شد و آب آشامیدنی ۲.۵ میلیون مجارستانی را آلوده کرد [۸۸].

به طور کلی، به کارگیری مواد شیمیایی در معدن کاری طلا علاوه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تشکیل باران‌های اسیدی سبب افزایش قابلیت انحلال آب‌های سطحی و زیرزمینی در آلاینده‌ها می‌گردند. با ورود این آلودگی‌ها و ایجاد زهاب‌های اسیدی و فاضلاب‌های صنعتی، کاهش حاصل‌خیزی خاک به سبب خروج مواد غذایی و آلودگی آن‌ها، کاهش pH آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و در نتیجه انحلال برخی از ترکیبات سمی و همچنین افزایش خوردگی در تأسیسات ایجاد می‌شوند.

گروه سوم) تأثیرات بیولوژیکی ریسک‌های معدن کاری طلا بر محیط‌زیست

با تغییرات فیزیکی و شیمیایی در محیط معادن طلا، آثار بیولوژیکی ناشی از این تغییرات در این مناطق رخ می‌دهد؛ این آثار با افزایش عمر معدن و پس از بستن معدن بیشتر مشاهده شده است [۸۷]. از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به افزایش خطر سرطان برای انسان، بخصوص برای کودکان، به دلیل مواجه شدن با فلزات سنگین و متالوئیدها از طریق آب آشامیدنی و یا زنجیره غذایی از آب و خاک معادن فلزی، معادن متروکه و نیز مواجهه با باطله‌های معدنی اشاره نمود. مطالعات فراوانی، بخصوص در کشورهای آفریقایی، کاهش بهداشت عمومی و گسترش بیماری‌های ناشی از افزایش فقر در محدوده‌های معادن متروکه طلا را نشان داده‌اند. ([۸۹][۱۶][۸۰] همچنین [۸۷][۹۰][۹۱])

در صورت استفاده از جیوه در فرآیندهای استحصال طلا، باید در نظر داشت که این فلز از نظر زیستی به سادگی تجزیه‌پذیر نیست و به مدت طولانی در بدن موجوداتی چون ماهیان و دوزیستان می‌ماند و در صورت نفوذ غلظت بالای جیوه به بدن انسان، افزایش ضربان قلب، رعشه، ضعف عمومی،

¹ Heavy metals and metalloids

اختلالات روانی و هوشی، سرفه‌های شدید، ایجاد عفونت‌های ریوی و درد سینه، تخریب‌های عصبی و گاهی اوقات مرگ انسان رخ می‌دهد. هنگامی که جیوه وارد چرخه حیاتی گیاهان و جانوران می‌گردد به یک ترکیب آلی به نام متیل جیوه تبدیل شده که استفاده از آن‌ها توسط انسان سبب ایجاد بیماری‌های کلیوی می‌شود. با توجه به خاصیت جذب سریع متیل جیوه، این ماده اثرات مخرب‌تری از خود جیوه دارد. [۸۹] متیل جیوه در پرندگان به‌صورت کاهش وزن، ضعف بال‌ها و پاها مشاهده شده است [۸۴].

در خصوص مشکلات بهداشتی معدنچیان طلا که زیرزمینی کار می‌کردند و از جیوه عنصری برای ادغام و استخراج طلا استفاده می‌نمودند، مشاهده شده که آن‌ها به‌شدت به جیوه آلوده بودند. در میان افرادی که در معرض مخاطرات شغلی قرار داشتند، غلظت جیوه در هوا، رژیم غذایی ماهی، مو، ادرار، خون و سایر بافت‌ها به‌طور قابل‌توجهی از همه معیارهای پیشنهادی توسط آژانس‌های نظارتی برای حفاظت از سلامت انسان فراتر رفت. با این حال، شواهد اپیدمیولوژیک در مقیاس بزرگ از مشکلات شدید سلامتی مرتبط با جیوه در این گروه قابل‌اثبات نبود [۸۹].

میزان آرسنیک بالای حد مجاز در آب مصرفی آشامیدنی با سرچشمه از مناطق آلوده معادن طلا، برای انسان، آبزیان و حیوانات بسیار خطرناک است. همچنین نفوذ مواد شیمیایی مصرفی در فرآیندهای استحصال طلا مثل کلروسیانیدها و مواد شیمیایی سوزنده مثل اسیدها و بازها به آب آشامیدنی، اثرات مخربی بر سلامت موجودات زنده منطقه خواهند داشت. علاوه بر این‌ها، مصرف آمونیاک که برای عمل فلوتاسیون و از بین بردن اثر سیانید در استحصال طلا استفاده می‌گردد برای آبزیان خطرناک است [۸۴].

گروه چهارم) تأثیرات اجتماعی و ژئوپولیتیک ریسک‌های معدن‌کاری طلا بر محیط‌زیست

حوزه امنیت شامل هفت بخش (اقتصادی، غذایی، بهداشتی، محیط‌زیستی، شخصی، اجتماعی و سیاسی) است [۹۲]. با توجه به ارتباط مستقیم بین امنیت زیست‌محیطی و امنیت ملی^۱ لازم است به ریسک‌های ژئوپولیتیک نیز اشاره کنیم. ژئوپولیتیک زیست‌محیطی^۲ به بررسی عملکرد حکومت‌ها و سازمان‌ها در استفاده نامطلوب از منابع تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر زیست‌محیطی می‌پردازد [۹۲]. عناصر بنیادین این گروه شامل مباحث امنیتی در کمبود منابع طبیعی، حفظ سلامت محیط‌زیست، پیشگیری از نابسامانی‌های اجتماعی و افزایش ثبات اجتماعی است. در این حوزه آلودگی‌های صنعتی، آلاینده‌ها، سیاست‌های غلط ملی در استفاده ناصحیح از منابع و توسعه کنترل نشده آن‌ها. تهدیدات زیست‌محیطی حاصل از تخریب محیط‌زیست، امنیت و رفاه بشری بررسی می‌شوند [۹۳].

¹ Environmental security and national security

² Environmental Geopolitics

بر پایه نظریه "چرخه تخریب محیط‌زیست"^۱ از گلادوین^۲، دگردیسی^۳ و تخریب هرکدام از سامانه‌های زیست‌محیطی به صورت زنجیره‌ای زمینه بروز دیگر پیامدهای ناگوار را فراهم می‌کند زیرا الف) تخریب محیط‌زیست باعث تهی‌سازی سرمایه‌ها می‌شود؛ ب) تهی‌سازی سرمایه‌ها معادل نابودی فضای عملیاتی کره زمین است؛ ج) نابودی فضای عملیاتی باعث فقرزدایی، کمبود منابع و نهایتاً روند نزولی ابعاد انسانی، اقتصادی، اجتماعی، توسعه و نابودی محیط‌زیست می‌شود؛ د) این چرخه سبب نارضایتی مردم می‌شود؛ ه) این نارضایتی، عامل بروز اختلال در اقتصاد و اجتماع است [۹۴].

معدن کاری امروزی جهانی طلا با فساد، نوسانات اقتصادی محلی، سلب مالکیت زمین، اختلال در معیشت روستایی همراه است [۴۶]. معدن کاری ایران در مؤلفه‌های مختلف توسعه پایدار در مقایسه با سایر کشورهای معدنی وضعیت مناسبی ندارد [۹۲]. این فعالیت‌ها، گاهی به دلیل عدم توجه کافی به مسئله زیست‌محیطی، عوامل مختلفی نظیر اقتصادی، غذایی، بهداشتی، محیط‌زیستی، شخصی، اجتماعی و سیاسی را تحت تأثیر قرار داده است.

گروه پنجم) عوامل زیان‌آور محیط کار ناشی از ریسک‌های معدن کاری طلا بر انسان

عوامل زیان‌آور محیط‌زیست جزء لاینفک هر محل کاری است؛ اما معدن کاری همواره یکی از پرخطرترین صنایع بشری برای کارگران است و در این کارگاه‌ها، حوادثی پرشمار و گاهی فاجعه‌آمیز رخ می‌دهد [۷۸]. لذا کارگران شاغل در این محیط‌ها در معرض عوامل متعدد زیان‌آور هستند. با توجه به اهمیت صیانت از انسان، این عوامل به صورت جداگانه در حوزه بهداشت شغلی (حرفه‌ای) و ایمنی صنعتی بررسی و کنترل می‌شوند. هرچند این عوامل زیان‌آور محیط بر دیگر جانداران نیز تأثیرات نامطلوب دارند؛ اما در اینجا به طور جداگانه برای انسان دسته‌بندی شده‌اند. به عنوان مثالی از تأثیرات این عوامل بر دیگر موجودات، به انتشار اصوات کوبه‌ای ناشی از آتش‌باری و همچنین نویزهای متعدد در کارخانه و ماشین‌آلات سنگین توجه فرمایید. این نویزها یکی از عوامل فیزیکی زیان‌آور محدوده معادن می‌باشند که علاوه بر سلب آرامش از انسان‌ها، سبب مهاجرت پرندگان و پستانداران از منطقه می‌شوند [۹۵]. در مهندسی بهداشت حرفه‌ای، عوامل زیان‌آور محیط برای انسان را به شش گروه زیر تقسیم‌بندی می‌کنند [۵۵]:

۱. عوامل شیمیایی زیان‌آور محیط کار (مثل تراکم بالا از بخارات، گازها، آئروسولها، گرد و غبار و ...)
۲. عوامل فیزیکی زیان‌آور محیط کار (بررسی تأثیرات صدا، ارتعاش، دما، نور، فشار هوا، پرتوها، میدان‌های الکترومغناطیسی و ... بر سلامت انسان)

¹ Environmental Destruction Cycle

² Thomas N. Gladwin, 1997

³ Metamorphosis

۳. عوامل بیولوژیکی زیان آور محیط کار (بیماری‌های ناشی از ویروس‌ها، باکتری‌ها، انگل‌ها، قارچ‌ها)
۴. عوامل ارگونومیکی زیان آور محیط کار (بررسی تناسب ابزارها با انسان و طراحی‌های مناسب)
۵. عوامل روان‌شناختی زیان آور محیط کار (تأثیرات متقابل روانی فرد و تیم‌های کاری و اجتماع)
۶. عوامل مکانیکی زیان آور محیط کار (حوادث ناشی از کار با ابزارآلات و تجهیزات محیط کار)

۳-۶-۳. سلامت و بهداشت طلا

در خصوص تأثیر طلا بر انسان باید گفت که هر چند طلا از نظر مسمومیت محیطی^۱ کاملاً بررسی نشده است، اما اگر مدت زمان تماس با طلا بیش از حد باشد، ممکن است باعث سوزش و واکنش‌های آلرژیک شود. همچنین باید اشاره داشت که در شرایط هوای تجزیه زیستی طلا بسیار اندک است و هیچ شاهدهی وجود ندارد که نشان دهد انتشار فلز طلا باعث آلودگی زیست‌محیطی می‌شود. از آنجا که طلا نامحلول است، به آسانی وارد بدن موجودات زنده نمی‌شود. طلای خالص بدون اثرات تحریکی، سمی و گوارشی است. هر چند طلا به آسانی با مواد شیمیایی ترکیب نمی‌شود اما تحت تأثیر محلول‌های کلر، فلوئور و سیانیدها تغییر می‌پذیرد [۸]. در مورد تأثیر ترکیبات طلای تک‌ظرفیتی (در غلظت‌های متوسط کمتر از ۹۸ میلی‌گرم) باید گفت که این تأثیرات بر آن‌ها ناچیز است. هر چند ترکیبات سه‌ظرفیتی طلا (Au+3) به‌طور قابل توجهی سمی‌تر از ترکیبات Au+ هستند.

در انسان‌ها - به‌ویژه در بین زنانی که اشیاء طلایی سوراخ کننده بدن پوشیده‌اند - اسناد رو به افزایشی از درماتیت تماسی آلرژیک^۲ و سایر اثرات طلا در جواهرات و در ترمیم‌های دندانی و مواجهات شغلی مربوطه وجود دارد. در تخمینی از شیوع آلرژیک به طلا، میزان آن در سراسر جهان ۱۳٪ برآورد شده است [۸۹]. آگزمای سر و گردن^۳ شایع‌ترین پاسخ افراد حساس به طلا بوده است و این حساسیت ممکن است حداقل چندین سال طول بکشد. مصرف نوشیدنی‌های حاوی طلای پولکی می‌تواند منجر به واکنش‌های آلرژیک در افراد حساس به طلا شود که از طریق دارو یا جواهرات در معرض طلا قرار می‌گیرند. نمک‌های طلا نیز ممکن است کشنده باشند. در یک مورد، مصرف عمدی سیانید پتاسیم طلا منجر به سمیت سیستمیک شد. در یک مورد دیگر، خطر بالقوه‌ای برای جنین وجود داشت، زیرا طلا در خون نوزادی بافت شد که مادر شیرده‌اش، از کرایوتراپی^۴ (درمان با املاح طلا) بهره می‌برد. استفاده از طلا در کرایوتراپی جهت درمان آرتریت روماتوئید^۵ با داروهای تیول طلای تک‌ظرفیتی از سال ۱۹۲۹ انجام شده است، به‌طور کلی، داروهای طلا در طول دو سال اول درمان بیشترین تأثیر را داشته‌اند [۸۹].

¹ Ecotoxicology

² Allergic contact dermatitis

³ Eczema of the head and neck

⁴ Chrysotherapy

⁵ Rheumatoid Arthritis (RA)

فصل ۳: معدن کاری و استحصال طلائی زرشوران

۳-۱. مقدمه

در این فصل مجتمع طلای زرشوران در سه بخش الف) معدن و آنومالی‌های اکتشافی آن، ب) واحدهای مختلف کارخانه فرآوری و ج) مجموعه سد باطله فرآوری معرفی می‌شود تا با آشنایی با این مجموعه بتوان ریسک‌های زیست‌محیطی معدن طلای زرشوران و کارخانه فرآوری آن را شناسایی و ارزیابی نمود.

اطلاعات این فصل با بازدید میدانی و صحرایی از مجتمع طلای زرشوران در فصول مختلف سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳، دسترسی به اطلاعات غیرمحرمانه مجتمع و همچنین مصاحبه حضوری با مسئولین این مجتمع تهیه شده است. در بازدیدهای صحرایی، میزان pH نقاط با پتانسیل تشکیل زهاب اسیدی، سنجیده شده است.

۳-۲. معدن کاری در معدن طلای زرشوران

۳-۲-۱. عملیات اکتشافی

بر اساس عملیات پی‌جویی، داده‌های زمین‌شناسی و عملیات اکتشافی اجرا شده، فرآیندهای اصلی ماگمایی کانسار زرشوران هیدروترمال است و توده اصلی این کانسار، سولفور و از نوع مقاوم به فرآوری محسوب می‌شود. علاوه بر فاز سولفیدی باید اشاره داشت که بعد از تشکیل کانسار اصلی، فرآیندهای ماگمایی ثانویه و سیال هیدروترمال، کانسار سولفور را گاهی و بخصوص در ترازهای بالا شسته و شاهد کانسار کم سولفور و حتی اکسیدی در ترازهای بالا هستیم که با آلتراسیون همراه است. عمده این آلتراسیون‌ها عبارتند از آلتریتی، آلونیتی، سلیسی و کائولیت. محدوده حاضر در عمده‌ترین بخش کانی‌زایی یعنی در ارتفاعات آهک چالداغ و شیست ایمان‌خان قرار دارد.

حجم عملیات اکتشافی انجام شده از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ به صورت گُرگیری^۱ (مغزه‌گیری) در محدوده پروانه برابر ۲۶،۹۹۰ متر بوده است. شرکت خدمات اکتشافی کشور از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ پروژه ۳۰ هزار متر حفاری اکتشافی را در این محدوده اجرا نمود.

در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ عملیات اکتشافی تقریباً متوقف شده بود تا اینکه در مرداد ۱۴۰۲، قرارداد ۱۵ ماهه حفاری اکتشافی به حجم کل ۴ هزار متر حفاری گُرگیری با شرکت حفارگستر نگین نائین منعقد گردید که تا پایان مرداد امسال، حدود ۲۱۵۰ متر حفاری از این قرارداد انجام شده است. نمونه‌های حفاری جهت آنالیز عنصری به آزمایشگاه زر/زما ارسال شده و نتایج توسط کارفرما به مشاور

¹ Core Drilling

ابلاغ می‌گردد. در حال حاضر شرکت معدن زمین (پس از شرکت کاوشگران) مشاور عملیات اکتشاف و استخراج معدن زرشوران است که به صورت سه ساله با کارفرما قرارداد دارد (از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ و از ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳). این شرکت نسبت به طراحی و برنامه‌ریزی عملیات اکتشافی و استخراجی و نظارت بر کار پیمانکاران اکتشاف و استخراج اقدام می‌نماید. حدود سی نفر کارشناس تمام‌وقت با تخصص‌های مرتبط در واحدهای اکتشاف، استخراج، کنترل، HSE و دفتر فنی در این شرکت مشاور فعالیت دارند. مطابق آخرین نتایج حاصل از عملیات حفاری اکتشافی (قبل از ۱۴۰۲)، تناژ و عیار ذخیره کلاسه‌بندی شده زرشوران در جدول ۳-۱، آمده است. از مجموع ۵۹ میلیون تن ذخیره کلاسه‌بندی شده، ۴۶ میلیون تن ذخیره اندازه‌گیری و مشخص شده تحت عنوان ذخیره قابل معدن‌کاری در طراحی محدوده نهایی و بهینه پیت مورد استفاده قرار گرفته است [۹۶]. در جدول ۳-۲ نیز احجام کل ماده معدنی محدوده پیت نهایی به تفکیک عیار طلا، نقره، آرسنیک و گوگرد و نمودار تفکیکی این ماده معدنی به تفکیک عیار میانگین در شکل ۳-۱ آمده است.

با در نظر گرفتن راه‌اندازی فاز دوم کارخانه و مصرف کارخانه به تناژ سالیانه ۸۴۰ هزار تن، لحاظ نمودن عیار حد ۱ ppm به عنوان عیار حد خوراک کارخانه، نسبت باطله به ماده معدنی (W/O) برابر ۱۷.۷ به ۱ و راندمان ۸۰ درصد کارخانه، پیت نهایی طراحی شده است. با این مفروضات حدود ۹۲.۴ تن تولید طلا محاسبه می‌شود که در صورت افزایش تولید ناشی از راه‌اندازی فاز دوم، زمان بهره‌برداری از معدن ۵۰ سال و در شرایط جاری حدود ۱۰۰ سال خواهد بود. استخراج مطابق این برنامه پنجاه ساله، از مرداد ۱۳۹۳ آغاز شده و هم‌اینک (۱۴۰۳) برنامه استخراجی در دهمین سال است. در شکل ۳-۲، تصویری از عملیات اکتشافی جاری در یکی از محدوده‌های پتانسیل طلا دار با نمایش حوضچه‌های بنتونیت^۱ ایجاد شده در این عملیات آمده است. از گل حفاری و بنتونیت جهت عملکرد بهتر دستگاه و تهیه مغزه حفاری استفاده می‌شود.

موقعیت پیت جاری، هفت آنومالی اکتشافی دیگر و دپوهای اصلی معدن در محدوده 39 km^2 ی این مجتمع در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. عملیات اکتشافی به شرحی که رفت در این پتانسیل‌های طلا دار در حال اجرا است و تا اکنون حدود ده درصد مطالعات اکتشافی در این محدوده‌ها اجرا شده است. در جدول ۳-۳ مشخصات مواد مصرفی، تعداد ماشین‌آلات و نیروی انسانی شاغل در بخش عملیات اکتشافی آمده است.

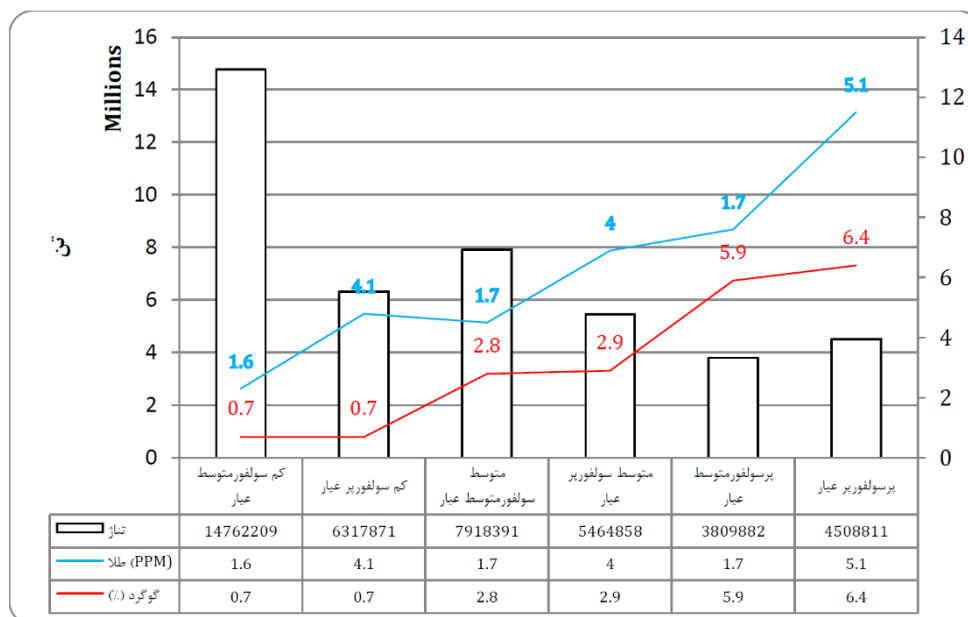
^۱ Bentonite این پودر غیر سمی و تجزیه پذیر بوده و خود به تنهایی آلاینده محیط زیست نیست.

جدول ۳-۱. تناژ ماده معدنی زرشوران مطابق آخرین داده‌های اکتشافی تا اسفند ۱۳۹۹ [۹۶]

کلاسه‌بندی	تناژ	عیار میانگین (ppm)	طلای محتوی (ton)
اندازه‌گیری شده	۲۲,۹۱۲,۷۳۴	۲.۹۴	۶۷.۴
مشخص شده	۲۳,۴۳۰,۹۲۵	۲.۴۸	۵۸.۱
استنتاج شده	۱۲,۶۱۱,۴۳۲	۲.۳۵	۲۹.۶
مجموع	۵۸,۹۵۵,۰۹۱	۲.۶۳	۱۵۵.۱

جدول ۳-۲. احجام کلی ماده معدنی در پیت نهایی معدن زرشوران [۹۶]

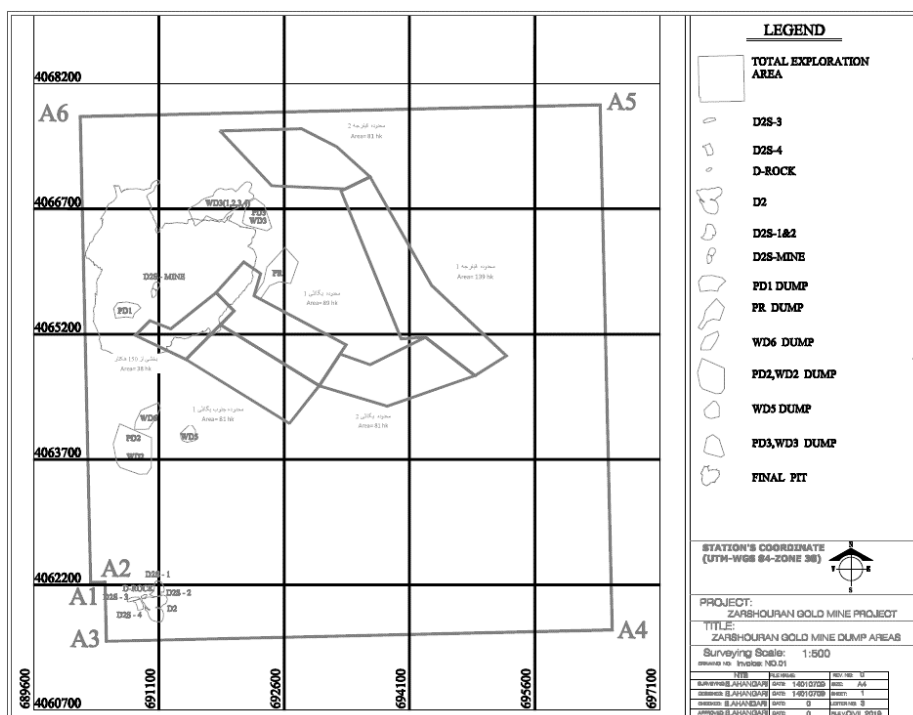
حجم	تناژ کانسنگ	طلای محتوی	چگالی	عیار متوسط طلا	عیار متوسط نقره	عیار متوسط آرسنیک	عیار متوسط گوگرد
مترمکعب	تن	تن	Kg/m ^۳	ppm	ppm	درصد	درصد
۱۷,۹۷۷,۲۸۵	۴۲,۷۸۲,۸۹۴	۱۱۵.۵	۲.۳۸	۲.۷	۳.۷	۱.۳	۲.۵



شکل ۳-۱. مراحل نمودار تفکیک تناژ ماده معدنی به تفکیک گوگرد [۹۶]



شکل ۳-۲. اجرای عملیات اکتشافی در یکی از محدوده‌های طلا دار معدن زرشوران



شکل ۳-۳. موقعیت پیت جاری، آنومالی‌ها، و دیپوهای اصلی در محدوده معدن طلای زرشوران

جدول ۳-۳. منابع عملیات اکتشافی در آنومالی‌های معدن طلای زرشوران

نوع منبع	نیرو	تعداد	واحد
نیروی انسانی	کل نیروی انسانی پروژه	۳۰	نفر
ماشین‌آلات	ماشین حفاری CS-14	۲	دستگاه
	بیل مکانیکی	۱	دستگاه
	دستگاه آبرسان	۱	دستگاه
	جرثقیل	۱	دستگاه
مواد مصرفی	بنتونیت	حدود بیست کیلوگرم در هر متر	
	گل حفاری	حدود ۷ کیلوگرم در هر متر	
	بورکینگ	حدود ۳ کیلو در هر متر	
	سیمان	متغیر	
	گچ	متغیر	
	گازوئیل	حدود بیست لیتر در هر متر حفاری	
	عایق رطوبتی	متغیر	

۳-۲-۲. عملیات استخراجی

با توجه به شکل کانسار، نوع ماده معدنی، وضعیت توپوگرافی محدوده چالداغ و ایمان‌خان و ارزیابی‌های فنی و اقتصادی و عیار متوسط برآورد شده در عملیات اکتشافی، بر اساس داده‌های ۱۲۰۰۰ متری، روش روباز پلکانی جهت استخراج طلای زرشوران در سال ۱۳۹۲ انتخاب و توسط شرکت

پارس‌کائی، مشاور وقت معدن زرشوران، پیت نهایی با استفاده از برنامه DataMie با برنامه‌ریزی استخراج ۲۰ ساله طراحی شد. در اسفند ماه ۱۳۹۹، شرکت معدن زمین بر اساس حفاری‌های اکتشافی شرکت خدمات اکتشافی کشور، طراحی پیت را به‌صورت برنامه استخراج پنجاه‌ساله به‌روزرسانی نمود. به‌گونه‌ای که شیب نهایی پیت جاری به طور متوسط از ۲۸ تا ۳۲ درجه متغیر است. مطابق طرح هندسی پیت نهایی، جدول ۳-۴، ارتفاع پله‌ها ۱۰ متر در نظر گرفته شده و برای هر سه پله عرض جاده باربری ۲۰ متری (با انتخاب کامیون‌های کوماتسو مدل HD605-7) با شیب ۸ تا ۱۰ درصد اجرا شده است.

در طراحی و اجرای پیت، سعی شده حداقل عرض فضای کاری در حین استخراج ۱۵ متر باشد و شیب نهایی معدن در دیواره‌های معدن با مقادیر مجاز ناشی از تحلیل پایداری همخوانی داشته باشد. در حال حاضر مطالعات هیدروژئولوژیکی توده سنگ‌های دربرگیرنده پیت کافی نبوده و هیچ‌گونه زهکشی نیز در این معدن، تا زمان تهیه این پایان‌نامه، اجرا نشده اما مطالعات اولیه آن آغاز شده است. در تحلیل پایداری پیت نهایی سعی شده حداکثر تأثیر آب مدل‌سازی شود. شکل ۳-۴ نمای سه‌بعدی پیت نهایی معدن زرشوران را با در نظر گرفتن محدوده ایمنی آن نشان می‌دهد.

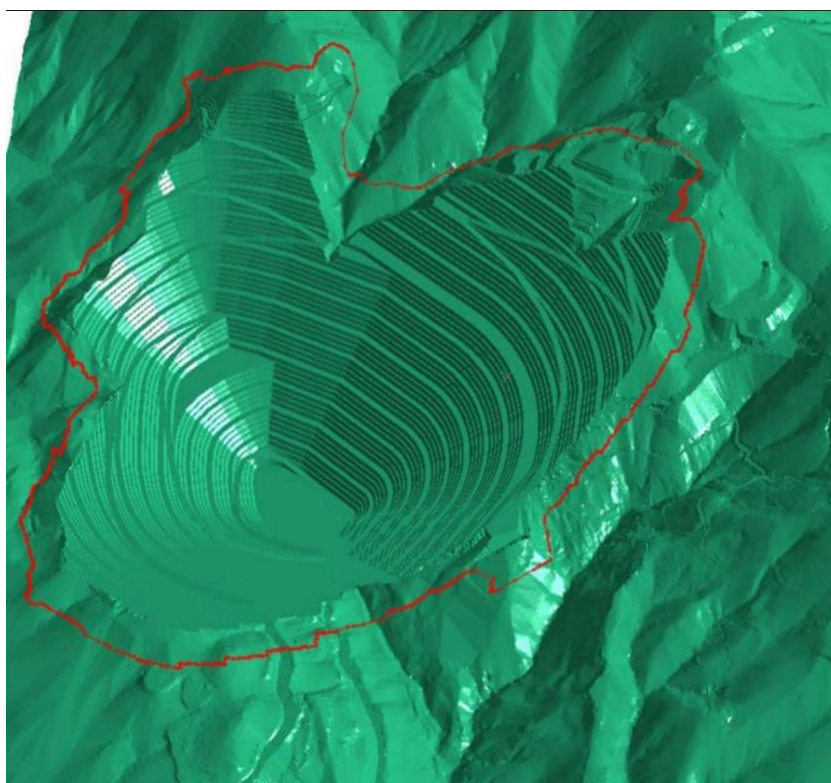
روند فعالیت در واحد استخراج به این صورت است که در پایان هر سال بر اساس پیشرفت فیزیکی عملیات استخراج و منابع موجود، طرح سالانه استخراج از برنامه‌های بلندمدت ۵۰ ساله و کوتاه‌مدت ۱۰ ساله برای سال جاری به پیمانکار ابلاغ و ایشان مطابق این طرح سالانه برنامه زمان‌بندی استخراج ماهانه را تهیه نموده و مطابق این برنامه ماهانه نسبت به تدوین نقشه چال‌ها و چال‌چینی و تعیین بلوک‌اژ اقدام می‌نماید. ظرفیت استخراجی معدن روزانه بین ۱۸۰۰ تا ۲۵۰۰ تن گزارش شده است.

بر اساس طرح سالیانه ابلاغ شده به پیمانکار، بلوک حفاری با نظر دستگاه نظارت مشخص و ابعاد بلوک حفاری به‌گونه‌ای تعیین می‌گردد که متناسب با شرایط بهینه استخراج، لیتولوژی^۱، پایداری و حداقل ترقیق باشد و پرمیت حفاری به پیمانکار ابلاغ و حفاری چال‌ها به عمق ده متر صورت می‌گیرد. اگر بلوک در ماده معدنی قرار داشته باشد، با نظر دستگاه نظارت از هر چال تعداد دو نمونه ۵ متری تهیه و جهت آنالیز به آزمایشگاه مجتمع ارسال می‌شود. در مرحله بعد مواد ناریه جهت انفجار بلوک محاسبه شده و پس از تأیید دستگاه نظارت و کارفرما، این مواد ناریه از انبار جهت انفجار بلوک به محل بلوک، پس از صدور پرمیت انفجار، حمل می‌گردد. پس از انفجار در صورت وجود ماده معدنی، مختصات چندضلعی ماده معدنی جهت تعیین مقصد بار ابلاغ می‌گردد. نهایتاً با توجه به پرمیت ارائه شده با نظر کارشناسان دستگاه نظارت، مصالح به مقصد بارگیری شده مطابق جدول ۳-۵ ارسال می‌گردد.

¹ Lithology

جدول ۳-۴. مؤلفه‌های هندسی طرح استخراج پیت نهایی [۹۶]

ردیف	پارامتر	مقدار	واحد	ردیف	پارامتر	مقدار	واحد
۱	ارتفاع پله استخراجی	۱۰	متر	۵	ارتفاع دیواره اطمینان	۱۱۰	سانتی‌متر
۲	شیب رخساره پله	۵۰	درجه	۶	عرض کاری	۵۰	متر
۳	عرض جاده	۲۰	متر	۷	بالاترین تراز عملیاتی	۲۶۹۰	متر
۴	عرض پله ایمنی	۵ الی ۲۰	متر	۸	پایین‌ترین تراز عملیاتی	۲۰۶۰	متر



شکل ۳-۴. نمای نهایی پیت معدن زرشوران با در نظر گرفتن محدوده ایمن [۹۶]

جدول ۳-۵. عیار بندی بلوک‌های استخراجی جهت تعیین مقصد دیو

محل ارسالی جهت دیو	نوع ماده	عیار (بر حسب ppm)	
		تا	از
دیو باطله	باطله	کمتر از ۰.۳	
دیو کم‌عیار	کم‌عیار	۱	۰.۳
D2	متوسط	۲.۵	۱
دیوهای جنب کارخانه	پرعیار	بیشتر از ۲.۵	

به دلیل حفظ محرمانگی بسیاری از اطلاعات معدن، اطلاعات انفجار و میزان مصرفی مواد ناریه ذکر نشده است. در پرمیت‌های حفاری اطلاعات دقیقی همچون متراژ چال حفاری و تعداد آن‌ها، مقدار آنفوی لازم به kg، وزن مواد ناریه به ازای هر متر ستون خرج‌گذاری، مقدار چاشنی، سنگ حاصل از یک متر چال و خرج ویژه هر چال و بلوک ذکر شده است. نوع آنفوی مصرفی در عملیات انفجاری این معدن، نیترات/آمونیم است.

شرکت آهن/آجین تا خردادماه ۱۴۰۳ پیمانکار عملیات استخراجی معدن طلای زرشوران بود. در حال حاضر شرکت تونل سد آریانا از خرداد ۱۴۰۳ تا خرداد ۱۴۰۶ به مدت سه سال پیمانکار استخراج این معدن است که طبق قرارداد، کل حجم باطله‌برداری در این سه سال ۱۵ میلیون و کل حجم برداشت ماده معدنی در این سه سال ۸۰۰ هزار (تقریباً سالانه ۶۶۰ هزار تن ماده معدنی) است. همچنین مطابق این قرارداد پیمانکار ملزم به استخدام ۳۳۰ نفر نیروی انسانی است.

در صورت راه‌اندازی فاز دوم کارخانه، ظرفیت مصرف ماده معدنی سالیانه ۸۴۰ هزار تن خواهد شد و با در نظر گرفتن نسبت باطله به ماده معدنی برابر ۱۷.۷ به ۱، نیاز به جابجایی سالیانه ۶.۹ میلیون باطله و ماده معدنی خواهد بود که برای حمل این حجم سالیانه به حداقل ۲۵ دستگاه دامپ‌تراک ۳ تنی، ۵ دستگاه بیل ۸۰۰ و ۴ دستگاه حفاری ۵ اینچ نیاز خواهد بود. فهرست ماشین‌آلات واحد استخراج مطابق برآورد شرکت کاوشگران در جدول ۳-۶ آمده است.

در شکل ۳-۵ نمایی از موقعیت پیت جاری در سال ۱۳۹۲ و قبل از شروع عملیات استخراجی آمده است. تزار بالایی این عکس همان محدوده چالداغ و سمت چپ این تصویر شیست ایمان‌خان است که در حال حاضر در ترازهای متعدد آن عملیات استخراجی جریان دارد. نمای وضعیت معدن در سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ با نمایی از فعالیت ماشین‌آلات حفاری و حمل مواد معدنی از این بلوک‌های استخراجی در شکل ۳-۷ تا شکل ۳-۱۱ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۵. نمایی از محدوده معدن طلای زرشوران، قبل از شروع عملیات استخراج در سال ۱۳۹۲

جدول ۳-۶. ماشین‌آلات اصلی و جانبی مورد نیاز پیمانکار استخراج معدن زرشوران

ردیف	شرح	تعداد اصلی	تعداد رزرو	تعداد کل
۱	دامپتراک ۶۳ تنی HD۶۰۵-۷ یا معادل آن	۲۰	۳	۲۳
۲	بیل مکانیکی معادل PC۱۲۵۰ SP-۷ کوماتسو یا معادل آن	۴	۱	۵
۳	بلدوزر D۱۵۵ کوماتسو یا معادل آن به همراه یک دستگاه دیگر	۵	۱	۶
۴	دستگاه حفاری ۱۵۲ میلیمتر Sandvik DI۶۰۰ یا معادل آن	۳	۱	۴
۵	دستگاه حفاری ۷۶ میلیمتر Sandvik DX۷۰۰ یا معادل آن به همراه دو دستگاه دیگر	۳	۱	۴
۶	تانکر آب پاش ۱۳۰۰۰ لیتری	۱	---	۱
۷	تانکر آب آشامیدنی ۱۳۰۰۰ لیتری	۱	---	۱
۸	تانکر حمل سوخت ۱۳۰۰۰ لیتری	۱	---	۱
۹	بیل مکانیکی معادل Komatsu PC۴۵۰-۷ یا معادل آن به همراه Jack Hammer	۲	---	۲
۱۰	گریدر	۲	---	۲
۱۱	لیفتراک	۱	---	۱
۱۲	جرتفیل ۱۰ تنی	۱	---	۱
۱۳	کامیون حمل وسایل معادل بنز خاور ۵ تن	۱	---	۱
۱۴	آمبولانس	۱	---	۱
۱۵	کامیون آتش نشانی	۱	---	۱
۱۶	سواری کمک دار	۲	---	۲
۱۷	کارواش- پمپ ۲۰۰ بار	۱	---	۱
۱۸	راسل	۱	---	۱
۱۹	Total Station تجهیزات نقشه برداری	۲	---	۲



شکل ۳-۶. نمایی از وضعیت محدوده استخراجی معدن طلای زرشوران، دید به شمال (بالا) در سال ۱۴۰۱



شکل ۳-۷. حفاری بلوک آماده آتش‌باری و استخراج



شکل ۳-۸. حمل ماده معدنی از بلوک استخراج شده به محل دپوی ماده معدنی



شکل ۳-۹. رفت و برگشت دام تراک‌ها در معدن زرشوران



شکل ۳-۱۰. دید به سمت شمال در بیت نهایی در مرداد ۱۴۰۳ و استقرار ماشین‌آلات پیمانکار جدید در آن



شکل ۳-۱۱. دید به سمت شمال شرقی پیت جاری در بهار ۱۴۰۲



شکل ۳-۱۲. دورنمای واحدهای اصلی مجتمع طلای زرشوران و تغییر بصری چشم‌انداز منطقه ناشی از دمپ باطله WD2

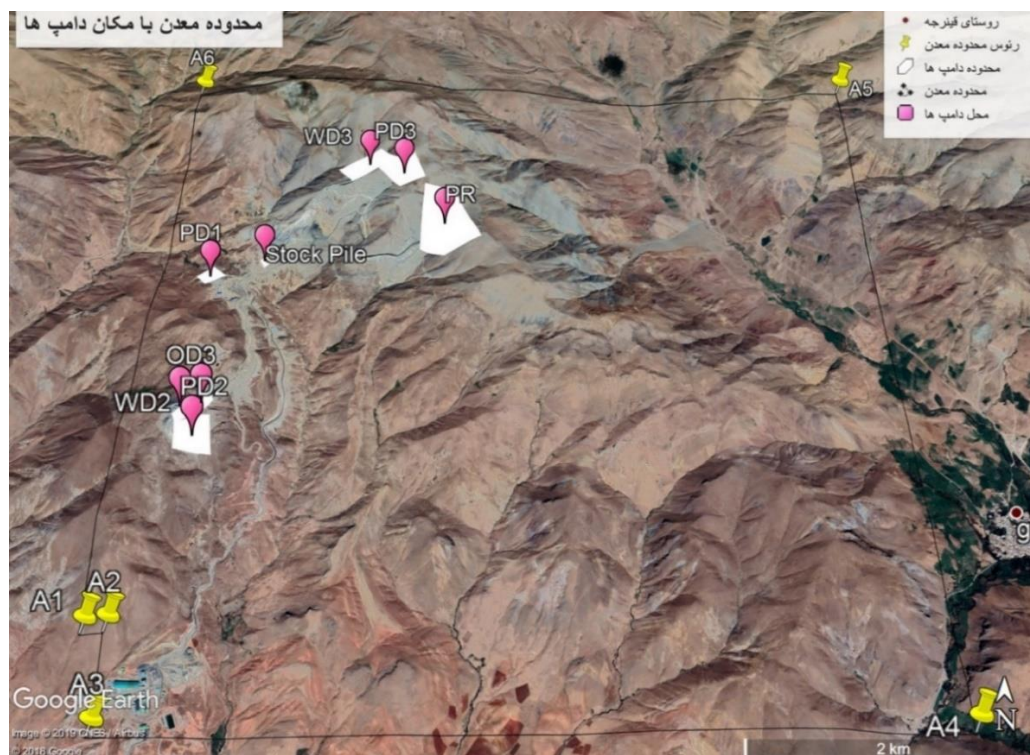
۳-۲-۳. دیپوهای باطله

در تعیین جانمایی و طراحی صحیح دامپ‌های باطله، ماده معدنی، فرآوری و باطله‌های حاصل از سیانوردهی با توجه حجم بالای آن‌ها و عملکردشان مثل یک‌بار ژئوتکنیکی و ایجاد تغییرات ژئومورفولوژیکی از طرفی و رخداد واکنش‌های شیمیایی در ترکیبات آن‌ها به علت اکسیژن و نفوذ آب‌های سطحی و زیرزمینی به آن‌ها، از طرف دیگر، بررسی‌های چندجانبه توپوگرافیکی، زمین‌شناسی، شیمیایی، ژئومکانیکی، پایداری معدن و زیست‌محیطی با توجه به خصوصیات مواد باطله، قوانین بازسازی، قوانین اجتماعی و زیست‌محیطی منطقه لازم است.

با توجه به معارضات محلی در محدوده پروانه معدن، وجود محدوده‌های دیگر با پتانسیل طلا در این محدوده و محدودیت منابع در معدن طلای زرشوران، قیده‌های فراوانی در انتخاب محل بهینه برای دیپوسازی ایجاد شده طوری که محل‌های نامناسب فراوانی برای دیپو باطله و مواد معدنی کم‌عیار در محدوده معدن ایجاد شده است که علاوه بر تغییر بصری چشم‌انداز منطقه (شکل ۳-۱۲) خود سبب گسترش آلاینده‌ها و غبارهای حاوی آرسنیک در منطقه شده‌اند؛ در همه این دیپوها به علت وجود کانی‌های پیریت، آرسنوپیریت و گالن، غلظت بالایی از گوگرد در آن‌ها انتظار می‌رود. موقعیت دیپوهای باطله در شکل ۳-۱۳ و فهرست آن‌ها در جدول ۳-۷ آمده است دیپوهای باطله و ماده معدنی کم‌عیار برخلاف دیپوهای ماده معدنی با عیار 1 ppm به بالا، در برنامه گزارش‌های دیپومتری معدن نیستند لذا احجام آن‌ها در این جدول محاسبه نشده است. هر چند حجم تجمیعی دیپوهای مذکور در جدول ۳-۷ را می‌توان بر اساس پیمان‌های پیمانکاران استخراج و یا حاصل ضرب میزان مصرف کارخانه با دیپوهای معدنی در نسبت باطله به ماده معدنی محاسبه نمود. دیپوهای ماده معدنی با عیار متوسط به بالا (مطابق جدول ۳-۸) در محدوده کارخانه فرآوری به‌طور موقت نگهداری می‌شوند.

کل باطله موجود در طرح استخراجی پیت نهایی معدن طلای زرشوران ۳۱۵ میلیون برآورد شده است [۹۶]. علاوه بر این حجم با توجه به شرایط کارخانه و محدودیت‌های فنی آن در حال حاضر، دیپوهای موجود در معدن زرشوران شامل دیپوی مواد معدنی کم‌عیار هم می‌شوند.

با توجه به کوهستانی بودن منطقه و فقدان دشت و محیط مسطح مناسب، باطله‌ها و ماده معدنی کم‌عیار مذکور در جدول ۳-۷، در حال حاضر با استفاده از شیب طبیعی محیط به‌صورت پراکنده دره‌ها دیپو می‌شوند. در سال ۱۳۹۹ شرکت معدن زمین جهت مدیریت بهتر محل‌های دیپو از دید فنی سه محل پیشنهادی جدید را به کارفرما ارائه نمود تا در آینده باطله و ماده معدنی کم‌عیار را در این مکان‌ها به‌صورت پایین‌رو و یا بالارو، مطابق شکل ۳-۱۴، دیپو نمود.



شکل ۳-۱۳. موقعیت دامپ‌های باطله و ماده معدنی کم‌عیار در محدوده پروانه معدن طلای زرشوران



شکل ۳-۱۴. محل‌های پیشنهادی جهت احداث دامپ‌های جدید باطله معدن طلای زرشوران [۹۶]

جدول ۳-۷. فهرست دیوهای باطله و ماده معدنی کم‌عیار در معدن زرشوران

ردیف	کد دامپ	نام دامپ	عیار طلا (ppm)	موقعیت
۱	WD3	Waste Dump 3	۰-۰.۳	شمال شرقی و در بالاترین تراز معدن
۲	PD3	Poor Dump3	۰.۳-۱	به سمت دره شرقی معدن
۳	PR	Poor Dump	۰.۳-۱	شرق معدن
۴	PD1	Poor Dump 1	۰.۳-۱	پایین دست سایت فعلی پیمانکاران به سمت دره
۵	WD2	Waste Dump 2	۰-۰.۳	جنوب غرب معدن و بالادست جاده معدن
۶	PD2	Poor Dump2	۰.۳-۱	روی دامپ WD2
۷	WD6	Waste Dump 6	۰-۰.۳	بالادست جاده دسترسی معدن
۸	WD5	Waste Dump 5	۰-۰.۳	پایین دست جاده دسترسی معدن

۳-۲-۴. دیوهای ماده معدنی

مواد معدنی بالاتر از حداقل عیار خوراک کارخانه، ۱ ppm، در محل‌های تعبیه شده مطابق شکل ۳-۱۵ و جدول ۳-۸ دیو می‌شوند و برنامه‌ریزی تعیین محل پس از عیاربندی بلوک استخراجی بر حسب ظرفیت محل دیوها و مساحت حمل انجام می‌پذیرند به گونه‌ای که همواره خوراک ماهانه کارخانه حداقل ۳۰,۰۰۰ تن و روزانه از هزار تن تا ۱۲۰۰ تن باشد و در صورت کاهش و یا تعطیلی فعالیت‌های استخراجی به دلیل شرایط نامساعد جوی و دیگر موارد غیرمترقبه، وقفه‌ای در برنامه تولید کارخانه ایجاد نشود. دیوهای MD1 و MD2 به صورت موقت بوده و در صورت کاهش ظرفیت دیوهای جنب کارخانه و یا کاهش فعالیت‌های استخراجی پیمانکار، به جنب کارخانه انتقال می‌یابند. دیوهای MSD1 و MSD2 نسبت به سایر دیوها جدیدتر بوده و در مسیر جاده دسترسی معدن به کارخانه قرار دادند. با توجه به تنوع تیپ‌های کانساری طلای زرشوران از نظر درصد کانی‌های سولفور و باطله همراه آن، با در نظر گرفتن عامل‌های عملی در فرآیند اکسیداسیون، این تیپ‌ها بر اساس درصد کانی‌های سولفور به سه دسته کم سولفور (۰-۱٪)، سولفور متوسط (۲-۳٪) و پرسولفور (بالای ۳٪) تقسیم‌بندی می‌شوند. با در نظر گرفتن عیار دیوهای ماده معدنی، درصد سولفور آن و محاسبه میزان آهک و سیانور لازم در فرآیندهای فرآوری^۱ و انجام آزمایش‌های لازم، خوراک کارخانه (به صورت خاک و سنگ) از این دیوها انتخاب و مخلوط^۲ شده و پس از حمل از محل دیوها، توسط لودر و کمپرسی، با ابعاد کوچک‌تر از ۷۵۰ میلی‌متر در هاپر^۳ هر می ۹۰ تن ظرفیتی، جهت شروع فرآوری و استحصال طلای آن تخلیه می‌شود.



شکل ۳-۱۵. محل‌های دیوی ماده معدنی در جنب کارخانه فرآوری طلای زرشوران

^۱ سیانور مصرفی در زرشوران به میزان ۱ کیلوگرم در تن صرفه اقتصادی دارد.

^۲ Blending

^۳ Hopper

جدول ۳-۸. فهرست دیپوهای ماده معنی با عیار متوسط به بالا در معدن زرشوران

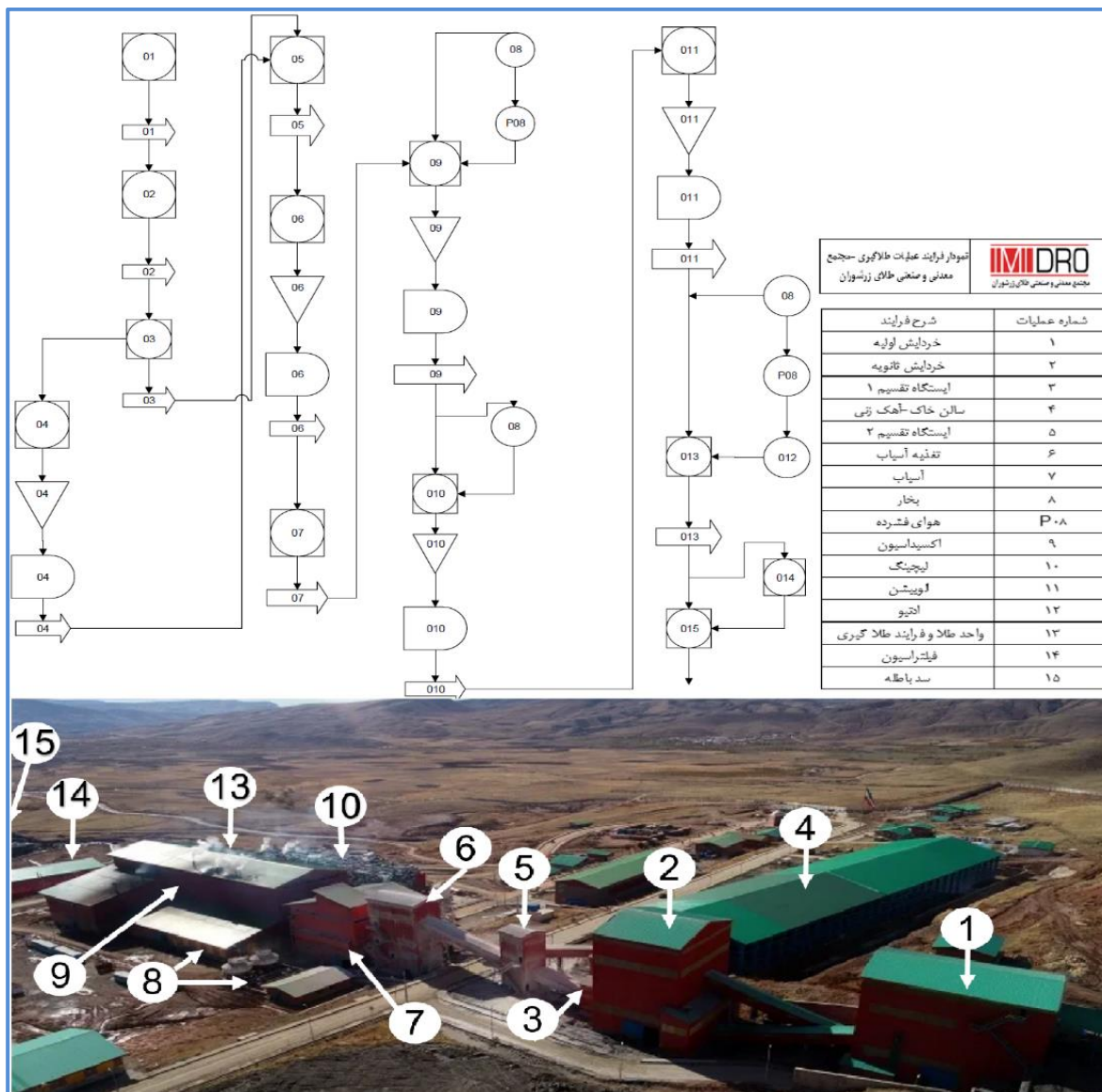
ردیف	کد دامپ	عیار طلا (ppm)	حجم (m^3)	موقعیت
۱	D2S1	۵.۷-۶.۹	۴۹,۹۰۸	شمالی ترین دمپ، جنب سایت فرآوری
۲	D2S2	۴.۴-۵.۱	۹۸,۶۳۹	پایین دست (جنوب) دمپ D2S1
۳	D2S3	۳.۴-۴.۲	۷,۳۹۹	جنوب شرقی دمپ D2S1
۴	D2S4	۲.۵-۳	۹,۸۷۷	جنوب دمپ D2S3
۵	D2	۱.۷-۲.۱	۱,۱۴۷,۶۹۵	پایین دست D2S2 و شرق کارخانه
۶	D-Rook	-	۴,۷۸۹	جنوب غربی D2S1
۷	MD1-mine	۴.۲-۵.۱	۱۰,۱۶۵	داخل محدوده پیت نهایی معدن
۸	MD2-mine	۴.۲-۵.۲	۷,۶۹۵	داخل محدوده پیت نهایی معدن
۹	MSD1	۵.۲-۶.۴	۵۴,۳۹۹	پایین دست معدن و کنار جاده دسترسی
۱۰	MSD2	۴.۱-۵.۱	۴۳,۹۹۹	پایین دست معدن و کنار جاده دسترسی
		جمع تناژ در ۲۰ مرداد ۱۴۰۳	۱,۴۳۴,۵۶۵	

۳-۳. کارخانه استحصال طلای زرشوران

ظرفیت اسمی کارخانه فرآوری طلای زرشوران مطابق برنامه ریزی های اولیه برابر تولید ۳۰۱۶ کیلوگرم طلا و ۱۲۷۸ کیلوگرم نقره در سال است؛ اما در حال حاضر ماهانه حدود ۷۰ کیلوگرم شمش طلای ۲۴ عیار در این کارخانه تولید و از سوی دولت با عیار ۹۹.۹ درصد در بورس به فروش می رسد. تولید نقره گاهی در خارج از مجتمع انجام می پذیرد و اتاق نقره این مجتمع احداث شده و به زودی به بهره برداری می رسد. کارفرما قصد دارد در فاز توسعه کارخانه، به مصرف تناژ سالیانه ۸۴۰ هزار تن ماده معدنی، ظرفیت تولید سالانه ۳ تن طلا و ۱ تن نقره برسد. حدود ۵۰۰ نفر در این کارخانه فعالیت مستقیم دارند.

نوع فناوری به کار رفته تولید طلای زرشوران، اکسید/سیون قلیایی خاک و لیچینگ سیانوری است که از هفت واحد اصلی ۱. خردایش و همگن سازی، ۲. آسیاب، ۳. اکسید/سیون، ۴. لیچینگ، ۵. آلویشن، ۶. اتاق طلا و ۷. فیلتر/سیون و تعدادی واحد جانبی تشکیل شده است. نمودار فرآیند عملیات^۱ تولید طلا در کارخانه طلای زرشوران و دور نمای آن در شکل ۳-۱۶ آمده است.

¹ Operation Process Chart (OPC)



شکل ۳-۱۶. نمودار فرایند عملیات استحصال طلا در مجتمع طلای زرشوران و دور نمای کارخانه فرآوری آن (دایره نماد عملیات، پیکان نماد حمل و نقل، مربع نماد بازرسی، مثلث نماد انبار و مستطیل کمانی نماد تاخیرات)

۳-۱-۳. دپارتمان خردایش و همگن سازی

انتخاب ماده معدنی و اختلاط آن جهت تغذیه سنگ شکن ها، همگن سازی ماده معدنی در سالن خاک و اضافه نمودن میزان آهک لازم قبل از آسیاب در این دپارتمان انجام می گیرد (فرآیندهای ۱-۶ شکل ۳-۱۶). با توجه به رابطه همبندی قابل توجه طلای زرشوران با کانی هایی مثل پیریت، آرسنوپیریت، رالگار و اورپیمنت و جایگزینی ژل طلا در فضای این کانه ها، برای بهره برداری از این ذخیره مقاوم به فرآوری، لازم است در ابتدا کانسنگ تا اندازه ای خرد شود که آغستگی حلال را با دانه های طلا به گونه ای نسبی تضمین نماید. فرآیندهای سنگ شکن و آسیاب اجرای این مهم را عهده دارند.

در واحد خردایش ماده معدنی ابتدا از هاپر^۱ به خوراک دهنده بالارونده^۲ انتقال یافته و روی سرند غلطکی^۳ می‌ریزد. سنگ‌شکن اولیه^۴ از نوع فکی^۵ و با ظرفیت ۳۷۵ تن در ساعت است. به کمک سنگ‌شکن اولیه مواد به ابعاد کوچک‌تر از ۲۰ سانتی‌متر خرد شده و از طریق نوار نقاله به سنگ‌شکن ثانویه از نوع ضربه‌ای^۶ انتقال می‌یابند. این مواد پس از خردایش در سنگ‌شکن ثانویه به ابعاد کوچک‌تر از ۱۲ میلی‌متر تبدیل می‌شوند. محصول نهایی واحد سنگ‌شکن، خوراکی به ابعاد ۰-۱۲ میلی‌متر خواهد بود که یا مستقیماً توسط ایستگاه تقسیم به آسیاب می‌روند و یا ابتدا در سالن خاک، همگن‌سازی می‌شوند. گردوغبار تولید شده در واحد سنگ‌شکن، به کمک فیلترهای جمع‌کننده گردوغبار^۷ جمع‌آوری شده و به خوراک انتقال می‌یابند.

همگن‌سازی خوراک حاصل از واحد خردایش در سالن خاک انجام می‌گیرد. در این سالن جهت همگن‌سازی و انباشت محصول سنگ‌شکن یک دستگاه انباشت‌گر (استاکر)^۸ در سالن به‌صورت رفت و برگشتی و یک دستگاه برداشت‌گر (ریکلایمر)^۹ از نوع اسکرپر^{۱۰} جهت برداشت در عرض و عمود بر انباشت وجود دارند تا از طریق نوار نقاله مواد هموژن شده به واحد تغذیه آسیاب انتقال یابند. جهت ایجاد pH مناسب بیشتر اوقات قبل از ورود خوراک به واحد آسیاب، ابتدا به خوراک نهایی شده در واحد سنگ‌شکن در واحد تغذیه آهک افزوده می‌شود. واحد تغذیه شامل دو مخزن ماده معدنی و آهک است. معمولاً ۵ تن آهک در ۹۵ تن ماده معدنی زرشوران، pH حدود ۱۳ را می‌دهد.

۳-۲-۳. دپارتمان آسیاب

مخلوط کانسنگ طلای زرشوران با آهک پخته و با درصد اختلاط مشخص در این دپارتمان، که ظرفیت آن ۱۱۰ تن ماده خشک در ساعت است، توسط دو آسیاب گلوله‌ای^{۱۱} با مدار سری، هر کدام با موتورهای ۱۴۰۰ کیلوواتی و به‌صورت بسته با هیدروسیکلونها^{۱۲} جهت تبدیل ماده معدنی از سایز ۰-۱۲ میلی‌متر به ۴۵ μm نرمایش می‌شوند تا ذرات طلا بتوانند در واحد لچینگ بیشترین تماس ممکن را با محلول سیانور داشته باشند.

¹ Hopper

² Apron Feeder

³ Roller Screen (RS)

⁴ Stone Crusher

⁵ jaw crusher

⁶ impact crusher

⁷ Dust collector filters

⁸ Stacker

⁹ Reclaimer

¹⁰ Scraper

¹¹ Ball mill

¹² Hydrocyclone

مکانیسم خردایش در آسیاب اولیه ضربه‌ای است و به کمک گلوله‌های فولادی با قطر ۸۰ میلی‌متری خوراک را تا $180 \mu m$ آسیاب می‌کند و پس از آن آسیاب دوم با مکانیسم خردایش سایشی و با استفاده از گلوله‌های ۲۵ میلی‌متری خوراک را به اندازه $45 \mu m$ آسیاب می‌نماید. حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد حجم آسیاب‌ها را گلوله‌ها اشغال می‌کنند.

مکانیسم خردایش در این آسیاب‌ها به روش تر انجام می‌پذیرد. در این روش آب از مخزن هوایی جنب واحد به خوراک اضافه می‌شود. مواد پس از عبور از آسیای اولیه و هاپر همزنی به‌صورت دوغاب و توسط پمپ‌ها به هیدروسیکلونها منتقل می‌شوند تا ذرات اضافه از آن‌ها، به کمک نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش جریان آب، گرفته شوند. هیدروسیکلون‌های مدار آسیای اول به‌صورت خوشه‌های ۴ تایی و در آسیای دوم ۸ تایی می‌باشند. سرریز هیدروسیکلون‌های سری اول مواد با سایز کمتر از $180 \mu m$ است که به آسیای دوم انتقال داده می‌شوند و تهریز آن با ذرات بین ۱۸۰ تا ۳۰۰ μm به آسیای اول برگشت داده می‌شوند. ماده معدنی خرد شده توسط آسیای ثانویه ابتدا در هاپر همزنی شده و سپس پالپ تولد شده به هیدروسیکلون سری دوم انتقال می‌یابد. سرریز هیدروسیکلون‌های سری دوم ذرات کوچک‌تر از $45 \mu m$ است که به مخازن اکسیداسیون منتقل می‌شوند و ذرات بزرگ‌تر از $45 \mu m$ به‌عنوان تهریز به آسیاب دوم برگشت داده می‌شوند.

۳-۳-۳. دیارتمان هیدرومتالورژی (اکسیداسیون و لچینگ)

دیارتمان هیدرومتالورژی مطابق نمودار عملیاتی شکل ۳-۱۶ شامل واحدهای اکسیداسیون (فرایند ۹)، واحد لچینگ (فرایند ۱۰)، بویلر روم (فرایند ۸) و کمپرسور (فرایند ۸-P) می‌شود. بخاردهی توسط بویلرها برای افزایش دما در مخازن اکسیداسیون و الوشن تزریق و همچنین برای آماده‌سازی و اکسیده کردن پالپ در واحد اکسیداسیون، هوا از طریق کمپرسورها به مخازن تزریق می‌شوند. هوای فشرده و بخار حاصل از بویلرها برای کانسارهای سولفیدی لازم هستند چرا که جهت کاهش زمان و هزینه عملیات باید ابتدا خاک معدن را اکسیدی نمود و برای این کار از طریق افزایش فشار، دما، آب، pH و اکسیژن، کانی‌های میزبان فروپاشیده و اکسیژن آزاد می‌شود؛ لذا باید با افزایش فشار و pH بالای ۱۰.۵، بخار آب و اکسیژن را به محیط تزریق نمود. برای کاهش زمان نیز باید کاتالیزرهای مناسب را در مراحل فرآوری به محیط تزریق کرد^۱.

در مرحله آماده‌سازی اکسیداسیون، تمامی ذرات طلای ریزدانه در کانی‌های میزبان سولفیدی آرسنیک (رالگار، اورپیمنت، آرسنوپریت) و سایر کانی‌های سولفیدی (آنتیموان، پیریت و پیروتیت) آزاد شده و پس از این آماده‌سازی، کاتیون‌های مزاحم نظیر آرسنیک و آنتیموان به‌صورت کمپلکس‌های پایدار

^۱ با این تغییرات و افزودنی‌ها، واکنشهایی که به‌صورت طبیعی در هزاران سال رخ می‌دهند، در زمانی کوتاه به پیش برود.

ر/اسب شده و مصرف کمتر سیانور را ممکن می‌سازد. در این فرآیند، یون‌های آرسنیک و آنتیموان سه‌ظرفیتی و محلول در آب به آرسنات‌ها و آنتیمونات‌های جامد و نامحلول تبدیل می‌شوند. به‌علاوه تمامی گوگرد موجود در کانی‌های سولفیدی به سولفات‌های نامحلول تغییر می‌یابند. مزاحمت کربن آزاد به‌عنوان یک عامل جاذب طلا از محلول‌های سیانوری، ابتدا در مرحله اکسیداسیون به کمک حرارت بالا، قلیایی بودن محیط، حضور آمونیاک و پوشاندن سطوح اکتیو آن‌ها رفع می‌شود.

واحد اکسیداسیون شامل ۱۲ مخزن با مدار سری (۶ مخزن اول برای آماده‌سازی و ۶ مخزن دوم برای اکسیداسیون) و هر مخزن با ظرفیت اسمی ۶۶۰ متر مکعب به‌صورت محصور در سوله مطابق شکل ۳-۱۶ بین واحدهای آسیاب و لیچینگ قرار دارند. دوغاب خروجی از بخش آسیاب به اولین مخزن آماده‌سازی انتقال یافته و پس از آن به‌صورت سری به ۵ مخزن بعدی هدایت می‌شود. آمونیاک (به ازای هر تن پالپ ۳kg) و نمک به مخازن ۵ و ۶ اضافه شده^۱ و بخار و هوای فشرده به تمامی این شش تانک همزن‌دار وارد می‌شود تا دمای نهایی 70°C شود. تغییرات pH مرتباً کنترل می‌شود و در صورت نیاز به آب مخازن آهک اضافه می‌شود. این شش مخزن اول برای آماده‌سازی دوغاب در فرآیند اکسیداسیون، هموژن کردن مواد، جلوگیری از ته‌نشینی ذرات جامد و بهبود انتقال حرارت به کار می‌روند.

پس از آماده‌سازی،/سلاری گرم شده از طریق پمپ به شش مخزن اکسیداسیون منتقل می‌شود تا نمونه طلادار به‌صورت غیرپیوسته^۲ کاملاً اکسیده شود. زمان کلی دو مرحله اکسیداسیون بستگی به درصد آرسنیک، شدت شارژ هوا، یکنواختی پخش آن و ارتفاع دوغاب دارد. پالپ پس از طی مراحل اکسیداسیون و زمان ماند مورد نظر (حداکثر ۱۲ ساعت) به بخش لیچینگ منتقل می‌شود. برای تعیین اتمام فرآیند اکسیداسیون، در فواصل زمانی مشخصی از دوغاب مخازن نمونه‌برداری انجام شده و آزمون‌های شیمیایی بر روی آن‌ها اجرا می‌شود تا اطمینان حاصل شود که رسوب زرد رنگ سولفور آرسنیک مشاهده نمی‌شود. (برای این کار بروی اسلاری اسید کلریدریک اضافه می‌شود).

واحد لیچینگ نیز دارای ۱۲ مخزن با مدار سری و با اختلاف ارتفاع نسبت به هم می‌باشند. حجم مفید کلی مخازن لیچینگ حدود 690 m^3 است. مدار انحلال و جذب با ۱۲ تانک همزنی، مانع از ترسیب پالپ به‌صورت جامد شده و سرعت انحلال را افزایش می‌دهد. با استفاده از شفت همزن تانک‌ها اکسیژن به‌صورت هوای فشرده برای انحلال سیانید طلا افزوده می‌شود. باطله جامد در انتهای فرآیند از طرق سرند تانک‌ها از مدار خارج و به دپارتمان فیلتراسیون منتقل می‌شود.

^۱ آمونیوم کلرید (نشادر) حاصل از آمونیاک و نمک مصرف سیانور را کاهش می‌دهد.

^۲ Batch

پالپ اکسید شده حاصل از واحد اکسیداسیون به دو تانک اول آماده‌سازی لیچینگ پمپاژ می‌شود تا دمای مناسب انحلال (40°C) در ابتدا آماده و سیانور سدیم لازم جهت فرآیند لیچینگ به آن افزوده شود. جهت حرکت پالپ از اولین مخزن لیچینگ به آخرین آن است و در این مسیر طلا و نقره موجود به میزان مورد نیاز در تانک با سیانور سدیم وارد واکنش شده و جذب کربن فعال می‌گردد؛ اما جهت حرکت کربن در آن برعکس پالپ از آخرین مخزن به اولین مخزن است تا میزان تماس کربن با پالپ بیشتر شده و کربن جمع‌آوری شده، طلای بیشتری به خود جذب کند. مطابق رابطه ۱-۱) پس از تزریق سیانور، کمپلکس طلا-سیانور تشکیل می‌شود و روی کربن جذب می‌شود. کربن فعال اشباع شده، همراه با دوغاب توسط پمپ انتقال کربن به سرند نصب شده در بالای مخزن شست‌وشوی اسید در واحد الوشن منتقل شده و دوغاب موجود در مخلوط به واحد لیچینگ برگشت داده می‌شود. با اندازه‌گیری میزان طلای موجود در کربن فعال در هر دو ساعت یک‌بار و در صوت یکسان بود دو اندازه‌گیری، عمل جذب طلا خاتمه یافته تلقی می‌گردد.

در این واحد به دوغاب خروجی از واحد اکسیداسیون به ازای هر تن دوغاب ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ گرم سیانور اضافه می‌شود. کربن وارداتی از هندوستان (ساخته شده از پودر نارگیل با خلوص ۹۸٪) از ۶ تا ۸ تن در هر مخزن لیچینگ (وابسته به خردایش و میزان اکسیداسیون) وجود دارد. (میزان مصرف ماهانه واحد لیچینگ ۶ تن کربن فعال است.) با توجه به استفاده از آهک جهت جلوگیری از اسیدی شدن محیط و نگهداری pH بالای ۱۰/۵، در این مرحله گاز سیانید هیدروژن، HCN، انتشار نمی‌یابد.

۳-۴. دپارتمان الوشن و ادتیو

این دپارتمان شامل ستون شست‌وشوی/اسیدی^۱، ستون جدایش^۲ (فرآیند ۱۱ در شکل ۳-۱۶) و مخازن مواد/فروزدنی^۳ (فرآیند ۱۲ در شکل ۳-۱۶) می‌شود.

به علت تخلخل بالای کربن و جذب دیگر عناصر توسط آن، لازم است این عناصر را به‌عنوان باطله از فرآیندهای طلاگیری خارج کرد که برای این کار کربن فعال باردار جدا شده از روی سرند، در ستون اسیدشویی با اسید کلریدریک رقیق (۶ درصد) شست‌وشو داده می‌شود تا ناخالصی‌های موجود، عمدتاً ترکیبات کلسیم، با کربن حل و از سیستم خارج شوند و در ستون الوشن مشکلی ایجاد نکنند. متأسفانه در این مرحله به علت اسیدی شدن محیط، گاز HCN در محیط منتشر می‌شود.

پس از خنثی‌سازی در ستون اسیدشویی، عملیات واجذب طلا در ستون الوشن آغاز می‌شود که در آن کربن فعال حاوی کمپلکس طلا-سیانور به‌عنوان ورودی واحد الوشن به ستون الوشن انتقال

¹ Acid Stripping Column

² Elution Column

³ Additive

داده شده و محلول سود سوزآور (۲ درصد) و سیانید سدیم (۰.۵ درصد)، به مدت ۲ ساعت و در دمای بین ۱۱۰ تا ۱۳۰ °C داخل الوشن حرارت می‌بینند تا طلا در دمای ۸۰ °C آزاد شده و وارد محلول شود. حال محلول باردار حاوی طلا و نقره شده و کربن بی‌بار شده است. محلول طلا به بخش اتاق طلا و کربن بی‌بار ابتدا احیا شده و پس از خنک نمودن، سرند شده و سربز آن به آخرین تانک لچینگ برمی‌گردد.

واحد مخازن مواد افزودنی شامل موادی لازم در طول فرآیندهای اکسیداسیون و لچینگ است که به پالپ افزوده می‌شوند و شامل سه مخزن آمونیاک، سیانید سدیم و هیدروکسید سدیم می‌شود.

۳-۳-۵. دیارتمان اتاق طلا

محلول باردار بی‌کربن (حاوی طلا و نقره) حاصل شده در واحد الوشن ابتدا در تانک‌هایی موسوم به مخازن الوئیت توسط آب نرم انتقال و ذخیره شده و پس از سرد شدن و رسیدن به مقدار لازم، عملیات استخراج الکتریکی (الکترووینینگ)^۱ جهت استحصال طلا و نقره و تولید شمش آن‌ها آغاز می‌شود. در سلول‌های الکترووینینگ، جریان مستقیم بسته‌ای (با ولتاژ ۳/۵ و از ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ آمپر) به قطب آند (صفحات مشبک استیل) و کاتد (پشم‌های فولادی) اتصال داده می‌شود تا جذب طلا و نقره توسط کاتد آن قدر ادامه یابد که تقریباً تمامی این دو فلز موجود در محلول بر روی پشم‌های فولادی بنشینند و از محلول جدا شوند. در ادامه و پس از نمونه‌گیری‌های متعدد از محلول (برای تشخیص صفر شدن طلا) پشم‌های فولادی را از سلول‌های الکترووینینگ خارج نموده و داخل محفظه‌های حاوی اسید کلریدریک ۳۳ درصد با دمای مشخص قرار می‌دهند. پشم فولادی توسط اسید کلریدریک حل شده و طلا و نقره آن می‌ماند. به کمک تیزاب سلطانی طلا و نقره را از هم جدا می‌کنند (طلا در کف و نقره در بالا به صورت کلرید نقره جدا می‌شود). محصول جانبی کنسانتره کلرید نقره را به اتاق نقره انتقال داده تا به کمک عملیات ترسیب نقره توسط سولفید سدیم شمش نقره حاصل گردد.

در نهایت کنسانتره طلا استخراج می‌شود. برای تصفیه طلا از این کیک از دو روش ترسیب طلا با استفاده از پودر روی (غیر سمی و با کارایی و عیار پایین) و یا هیدرازین، N_2H_2 ، (سمی و با کارایی و سرعت بالا و بازیابی تا ۱۰۰٪) استفاده می‌شود. پس از تغییر فاز طلا از این محلول نهایی به فاز جامد، در پایان با ذوب نمودن طلای تصفیه شده در کوره و قالب‌گیری طلا، شمش طلا به‌عنوان محصول نهایی کارخانه فرآوری طلای معدن زرشوران استحصال می‌گردد.

¹ Electrowinning

۳-۳-۶. دیارتمان فیلتراسیون

فیلتراسیون فرآیندی است فیزیکی جهت جداسازی مواد معلق از سیال به کمک نیروی مکانیکی خارجی (پرس) و بر اساس اختلاف اندازه موجود بین ذرات جامد و سیال و عبور آنها از یک غشاء نیمه تراوا اجرا می‌شود. هدف واحد فیلتراسیون جدا نمودن آب از پالپ باطله جهت برگشت آب به خط تولید و ذخیره باطله در سد باطله است.

در این واحد (فرآیند ۱۴ شکل ۳-۱۶) پالپ باطله خروجی از آخرین تانک لیچینگ به واحد فیلتراسیون هدایت شده و ابتدا در دو مخزن تیکنر ذخیره و همگن‌سازی شده و سپس به هفت دستگاه فیلترپرس صفحه‌ای پمپاژ می‌شوند. توسط این فیلترپرسها، با نیروی مکانیکی پرس، آب از پالپ جدا شده و این آب که حاوی سیانور (از ۵۰ تا ۹۰ ppm) است ابتدا به حوضچه‌های آرامش و پس از آن به مخزن آب سنگ‌شکن و یا بویلرروم برمی‌گردد تا علاوه بر حفاظت از محیط زیست، مصرف سیانور واحد لیچینگ به علت پالپ حاوی سیانور ورودی از واحد اکسیداسیون کم شود. کیک خروجی از فیلتر پرسها (با رطوبت ۲۰ تا ۳۰ درصدی) هم از طریق نوار نقاله‌ها جمع‌آوری و در دیوی جنب فیلتراسیون تخلیه (شکل ۳-۱۷) و از آنجا به کمک لودر و کمپرسی در سد باطله دپو می‌شوند.



شکل ۳-۱۷. تخلیه پالپ فرآوری فیلتر شده و تخلیه آن در دیوی موقت باطله جهت انتقال به سد باطله

۳-۳-۷. دیارتمان‌های جانبی

تمامی دستگاه‌ها و واحدهای کارخانه فرآوری طلای زرشوران، مجهز به سامانه‌های کنترل و برنامه‌ریزی است و کلیه فرآیندهای کارخانه و واحدهای تکمیلی آن به‌صورت تمام اتوماتیک هدایت و کنترل می‌شوند. عمده واحدهای تکمیلی کارخانه عبارتند از:

- واحد کنترل مرکزی؛
- آزمایشگاه و واحد کنترل کیفی فرآیندهای معدن و کارخانه؛

- شبکه توزیع برق داخلی، پسته‌ای برق، موتورخانه و ژنراتورهای تولید برق اضطراری؛
- واحد نگهداری و انتقال سوخت؛
- سدهای رسوب‌گیر گابیونی و سیستم زهکشی انتقال آب از تونل قدیمی معدن به کارخانه؛
- مخازن ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ مترمکعبی آب؛
- تصفیه‌خانه؛
- سیستم آب برگشتی؛
- سدهای باطله و حوضچه‌ها؛
- ساختمان‌های اداری پرسنل، مشاورین و پیمانکاران مجتمع؛
- فضای سبز (در دست احداث).

لازم به ذکر است که آب آشامیدنی برای پرسنل مجتمع به صورت روزانه از طریق تانکر و از شهر تکاب به مجتمع حمل می‌شود. مطابق زیرساخت‌های موجود که در ادامه توضیح داده می‌شود آب مصرفی کارخانه و فضای سبز آن از طریق سیستم زهکشی آب‌های بالادست معدن، حوضچه جمع‌آوری آب‌های سطحی، چاه و چشمه پایین دست کارخانه تهیه می‌شود.

آب‌های جمع‌آوری شده از محدوده معدن با اجرای لوله‌های زهکش به روش ثقلی به ایستگاه پمپاژ پایین دست محدوده معدن هدایت و به ترازهای بالاتر پمپاژ می‌گردد. این آب ابتدا در مخزن ۳۰۰۰ مترمکعبی جنب تصفیه‌خانه ذخیره و فیلتر شده و بعد از آن در مخزن ۱۰۰۰ مترمکعبی کارخانه ذخیره و در فرآیندهای فرآوری مصرف می‌شود. در صورت عدم کفایت آب‌های جمع‌آوری شده از معدن و برگشتی از حوضچه‌های تبخیر، گاهی آب از تکاب خریداری شده و با تانکر به مجتمع حمل می‌گردد. توان برق مورد نیاز کارخانه ۶ هزار کیلووات بوده که ۵ مگاوات آن توسط یک خط دودمداره مستقل از شبکه توزیع شهرستان تکاب به طول ۳۸ کیلومتر به مجتمع توزیع می‌شود. بیشترین مصرف برق در واحدهای آسیاب و اکسیداسیون است.

فیبر نوری این مجتمع هم از طریق روستای زرشوران و شبکه تکاب تأمین می‌گردد. با نصب تجهیزات خطوط تلفن همراه در ارتفاعات روبه‌روی معدن زرشوران در سال ۱۴۰۱، آنتن‌دهی تلفن همراه در معدن و کارخانه زرشوران بهبود یافته است.

۳-۴. مجموعه سد باطله فرآوری و حوضچه‌های تبخیر

۳-۴-۱. تصویر هوایی مجموعه

مجموعه سد باطله فرآوری کارخانه طلای زرشوران، سد جمع‌آوری آب‌های سطحی محدوده مجتمع و حوضچه‌های تبخیر، از نظر زیست‌محیطی اهمیت حیاتی داشته است چرا که آب‌ها و پالپ‌های

باطله فراوری حاوی سیانور و فلزات سنگین در این مجموعه ذخیره شده و در صورت بروز کوچک‌ترین خطا در عملکرد، نگهداری و تعمیرات و یا شکست یکی از اجزاء این مجموعه (به دلایلی همچون نقص طراحی، نقص فنی، خطای انسانی، بارش شدید برف و باران) شاهد نفوذ سیانور، متاثولیدها، فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها به خاک و آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه خواهیم بود و در صورت وقوع چنین رخداد ناخواسته‌ای، با توجه به نزدیکی روستاهای مسکونی به مجتمع و حضور این مجموعه در بالادست رود زرشوران و رودخانه‌های حوزه آبریز زرينه‌رود، با فاجعه و بحرانی زیست‌محیطی در سطح وسیعی روبه‌رو خواهیم شد.

تصویر هوایی اجزاء این مجموعه جهت نمایش موقعیت مکانی آن‌ها در شکل ۳-۱۸ مایش داده شده است. با این توضیح که در محدوده آبرگیر لایه سازی‌ها تکمیل شده و سد جمع‌آوری آب‌های سطحی در آن نیز احداث شده است و مقیاس خطی این تصویر عدد ۳۸۳ متر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۸. تصویر هوایی مجموعه سد باطله فراوری، حوضچه‌های تبخیر و سد جمع‌آوری آب‌های سطحی
 ۱. فیلتراسیون، ۲. محدوده اولیه سد باطله فراوری (۸ هکتاری)، ۳. محدود توسعه یافته سد باطله (۴۲ هکتاری)، ۴. محدوده آبرگیر سد باطله، ۵. محدوده دیواره سد، ۶. محدوده اختصاص یافته به سد جمع‌آوری آب‌های سطحی احداث شده، ۷. حوضچه تبخیری ۱، ۸. حوضچه تبخیری ۲

۳-۴-۲. سد باطله فراوری

پیش از سال ۱۴۰۲ و به مدت نه سال وسعت سد باطله فقط ۸ هکتار و تنها شامل حوضچه تبخیری بتنی (حوضچه شماره ۲) بود که جهت رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، توسعه سد با سیستم عایق و حجم مناسب‌تری لازم شد. با توجه به اهمیت موضوع، شرکت طلای زرشوران در راستای

احداث توسعه کارخانه فرآوری و ساماندهی سدهای باطله در مرداد ۱۳۹۸ اجرای عملیات توسعه سد باطله خود را آغاز و در مرداد ۱۴۰۲ آن را با چهار هدف ارتقاء شاخص زیست محیطی، ذخیره و بازگردانی پساب و آب های سطحی به کارخانه، ساماندهی محل تجمع باطله و امکان استحصال مواد با ارزش از آن در آینده را به بهره برداری رساند. این سد در حال حاضر عنوان بزرگ ترین طرح زیست محیطی معادن کشور را دارد. با بهره برداری از این سد بخشی از نگرانی های زیست محیطی مرتبط با فعالیت این مجتمع مرتفع گردید. کارفرمای زرشوران همزمان با بهره برداری از این سد، شروع به نصب تجهیزات کنترلی و پیمایش آنلاین نموده تا در حد ممکن ریسک های زیست محیطی مجتمع را کنترل نماید.

سد باطله فرآوری طلای زرشوران در بخش جنوبی و پایین دست مجتمع و در جوار واحد فیلتراسیون در زمینی به مساحت ۵۰ هکتار قرار دارد (۸ هکتار سد اولیه و ۴۲ هکتار در فاز توسعه یافته). این سد با حفظ توپوگرافی زمین و بر روی شیب طبیعی آن احداث شده است.

در انتخاب محل سد، مطالعات ژئوتکنیکی با شرایط اقلیم و حوادث طبیعی منطقه انجام پذیرفته است. منطقه زرشوران از نظر پتانسیل زلزله خیزی جزو مناطق با پهنه خطر متوسط است و فاصله آن از نزدیک ترین گسل حدود ۴ کیلومتر است. به علاوه زمین ۵۰ هکتاری اختصاص یافته به فضای این سد و همچنین زمین محدوده کارخانه فرآوری بر روی لایه ضخیمی از مارن قرمز^۱ (خاک نفوذناپذیر حاوی کربنات کلسیم) قرار گرفته اند که بر اساس اطلاعات حاصل از گمانه های اکتشافی این محدوده، ضخامت این مارن در ضعیف ترین نقطه ۲۵ متر است. به علاوه این لایه مارن بر روی لایه ای از ماسه سنگ رسی ضعیفی با ضخامت متوسط یک متر قرار دارد و لایه زیرین این لایه ماسه سنگ رسی، لایه رسی ضخیمی است که در بعضی از رخنمون ها ضخامت آن بیشتر از ۱۰۰ متر مشاهده می شود.

با توجه به ساختار زمین شناسی این لایه های نفوذناپذیر مارن و رس از طرفی و وجود گچ و نمک در ترکیبات مارن از طرف دیگر، انتظار می رود یون های سیانید، در صورت جذب، توسط آنها تجزیه شود. همچنین این ساختار زمین شناسی مارن، در مقابل زلزله و تکان های شدید زمین شناختی مقام بوده و افزون بر آن با توجه به حفظ توپوگرافی طبیعی محدوده سد باطله و شیب ملایم آن ریسک رانش زمین را تا حد زیادی مرتفع می نماید. گودی طبیعی بین تپه های زمین محدوده سد باطله نیز احتمال شکست و رانش را در زمان اعمال بار دینامیکی به حداقل می رساند. همچنین جهت مدیریت سیلاب ها، آب های سطحی بالادست با زهکشی و جوی هایی به پایین دست سد هدایت می شوند.

نظر به اهمیت حیاتی جلوگیری از نفوذ سیانور و فلزات سنگین به آب های زیرزمینی، در زیرسازی سد مطابق شکل ۳-۱۹، نفوذناپذیری سیالات با اجرای چندلایه ممکن شده است.

¹ Red Marl

ابتدا جهت ایجاد لایه نفوذناپذیر اولیه، تحکیم بستر انجام می‌شود. در صورت سنگی بودن بستر طبیعی، برای ایجاد سطح خطی یکنواخت، بستر با خاک مناسب در نقاط لازم به صورت دستی رگلاژ می‌شود. در صورت خاکی بودن بستر نیز ابتدا سطح دکوپاژ می‌گردد. در هر دو حالت تراکم با حداقل ۹۰٪ کمپاکت اجرا می‌شود. سپس به کمک مصالح ریزدانه شن و ماسه لایه فیلتر زهکش به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به کمک گریدر تسطیح و با غلطک بدون ویبره اتو می‌شود. هدف از ایجاد این لایه فیلتر، هدایت آبی است که به هر دلیلی نفوذ کرده به پایین دست سد باطله است. پس از لایه فیلتر، دو لایه ۱۵ سانتی خاک رس با درجه فشردگی ۹۸٪ کمپکت اجرا و بالای آن لایه پلیمری نمدی شکل ژئوتکستایل^۱، جهت محافظت از لایه عایق ژئوممبرین^۲ اجرا می‌شود. سیستم زهکش جهت تخلیه آب محتوی باطله و همچنین آب‌های ناشی از ریزش نزولات جوی در سد تعبیه شده است (شکل ۳-۲۰). برای تخلیه باطله در سد توسط ماشین‌آلات، جهت ممانعت از آسیب به ژئوممبران، ابتدا لایه‌ای با ضخامت ۰.۵ تا ۱ متر خاک مناسب روی لایه‌های فوقانی، ریخته می‌شود.

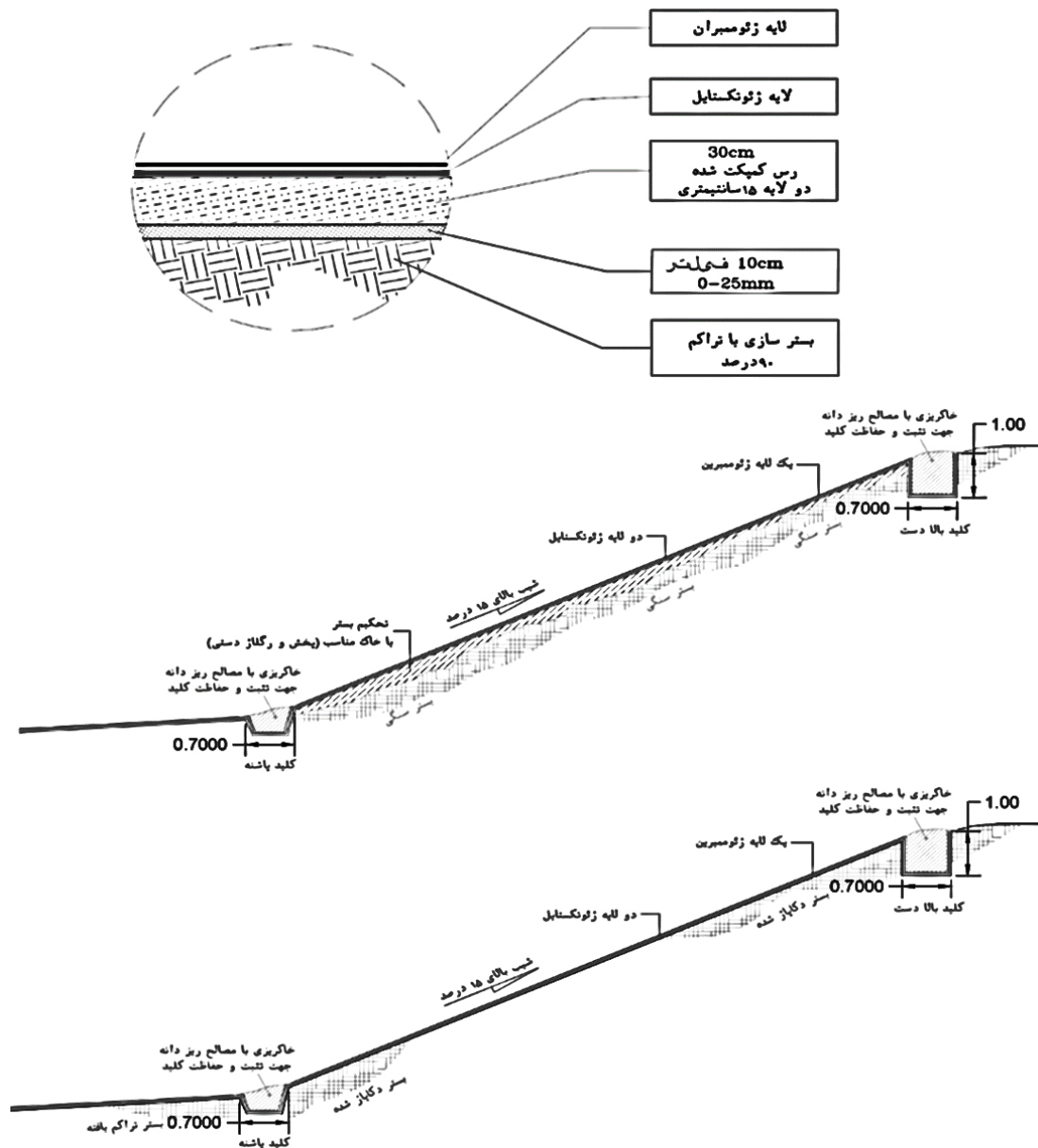
ژئوممبرین غشائی است نفوذناپذیر که از مواد پلیمری (مثل پلی‌اتیلن، پی‌وی‌سی و پروپیلن) و غیر پلیمری (مثل انواع لاستیک‌ها) ساخته می‌شوند تا چگالی بالا و متراکمی جهت ممانعت از نفوذ سیالات داشته باشند. ضریب نفوذپذیری بسیار کم ژئوممبرین‌ها مانع نفوذ ترکیبات سیانور و دیگر آلاینده‌های همراه باطله فرآوری به سفره آب‌های زیرزمینی می‌شود. آب‌بندی سد باطله و حوضچه‌های مجموعه توسط ژئوممبرین‌های پلی‌اتیلنی موسوم به HDPE^۳ با ضخامت ۲۵ میلی‌متری (ساخت شرکت حامی آب بسیار) انجام شده است. اجرای ژئوممبرین در سد باطله زرشوران در شکل ۳-۲۱ آمده است. در شرایط حاضر سد باطله فرآوری طلای زرشوران می‌تواند روزانه تا ۲۵۰۰ تن باطله را در خود جای دهد. ظرفیت دیوی باطله و پساب در این سد، با توجه به زمین ۵۰ هکتار اختصاص یافته به آن، ۲۰ میلیون مترمکعب است. با این حجم از ظرفیت، این سد می‌تواند کل حجم باطله فرآوری حاصل از کانسنگ پیت جاری معدن را پوشش دهد. طول تاج این سد ۲۶۵ متر و ارتفاع آن ۲۵ متر است و برای احداث آن ۵۵۰ هزار مترمکعب عملیات خاکی انجام شده است. در بخش آبگیر سد با لایه‌هایی بتنی، دو برج آبگیر با ارتفاع ده متر، که نسبت به هم ده متر اختلاف تراز دارند، تعبیه شده است. (شکل ۳-۲۳) با نگهداری باطله فرآوری به صورت اشباع در آب، از اکسایش باطله و آزاد شدن فلزات سنگین تا حدی ممانعت می‌شود. ایستگاه پمپاژ در پایین دست دیواره سد می‌تواند روزانه تا ۴۸۰۰ مترمکعب آبی که محتوی سیانور و ترکیبات طلا است را ابتدا به کمک به حوضچه‌های تبخیری مجموعه

^۱ Geotextile

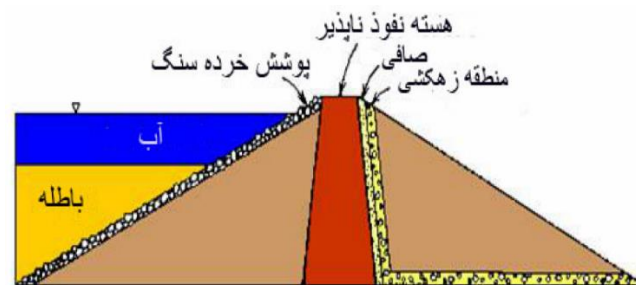
^۲ Geomembrane

^۳ High-Density Poly Ethylene

انتقال داده و از آنجا به خط تولید بازگشت می‌دهد. خلاصه مشخصات سد در جدول ۳-۹ گردآوری شده است.



شکل ۳-۱۹. لایه‌بندی بستر سد باطله فراآوری مجتمع طلای زرشوران جهت نفوذناپذیری آن
بالا: دتایل اجرایی در زمین‌های با شیب کمتر از ۱۵٪، وسط: دتایل اجرایی در زمین‌های با شیب بالاتر از ۱۵٪ و بستر سنگی و یا
بستر دکلاژ شده (پایین)



شکل ۳-۲۰. نیم‌رخ سد باطله فراآوری برای نمایش عملکرد اجزاء اصلی آن [۵۲]



شکل ۳-۲۱. دورنمایی از واحد فیلتراسیون و سد باطله فرآوری طلای زرشوران با نمایش ترتیب عملیات اصلی (دید جنوب شرقی)
 ۱. خط ورود باطله (پالپ بدون کربن باردار) از آخرین تانک لچینک، ۲. ساختمان فیلتراسیون، ۳. نوارهای تخلیه پالپ باطله ۴. باطله با رطوبت تا ۳۰٪، ۵. دیوی موقت باطله در بالادست سد، ۶. پخش باطله در سد توسط بیل مکانیکی، ۷. عایق ژئوممبرین بدون لایه‌های بالایی، ۸. تاج سد



شکل ۳-۲۲. اجرای اورلپ لایه ژئوممبران بر روی سه لایه رس کمپاکت شده



شکل ۳-۲۳. دورنمایی از سد باطله فرآوری طلای زرشوران از بالای دیوار سد و با دید به شمال
 ۱. معدن، ۲. باطله معدنی WD2، ۳. دپمپ ماده معدنی WD2، ۴. کارخانه فرآوری، ۵. فیلتراسیون، ۶. پالپ باطله خارج شده از فیلتراسیون، ۷. ردیف تخلیه شده پالپ باطله خشک شده و انتقال یافته به سد، ۸. آب سد باطله، ۹. برج‌های آبگیر، ۱۰. تاج سد

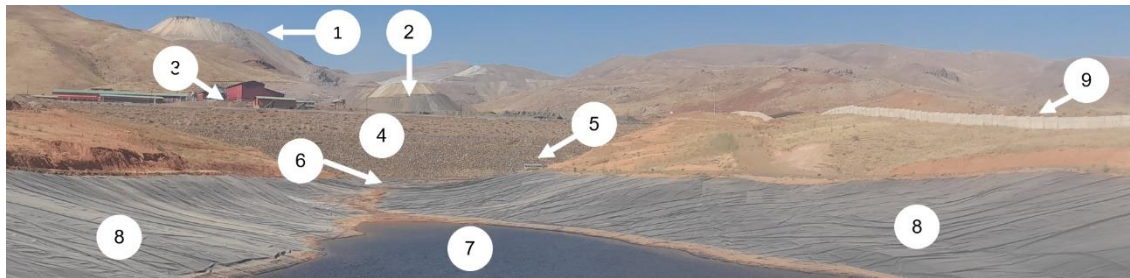
جدول ۳-۹. مشخصات عمومی سد باطله فرآوری مجتمع طلای زرشوران

ویژگی	متر	ویژگی	متر
ارتفاع سد از روی پی	۲۵.۵ متر	تراز بستر رودخانه در محل احداث سد	۲۰۱۱ متر
طول تاج	۲۶۵ متر	عرض تاج	۶ متر
حجم مخزن سد (مترمکعب)	۶۷۵،۰۰۰	سطح دریاچه در تراز تاج (هکتار)	۷.۵
بیشترین عرض در پی	۱۰۲ متر	تعداد برج‌های آبگیر	۲ دستگاه

۳-۴-۳. سد جمع‌آوری آب‌های سطحی

در پایین دیواره سد باطله فرآوری، حوضچه جمع‌آوری آب‌های سطحی احداث شده است. در ابتدای این حوضچه، ایستگاه پمپاژ آب سد باطله فرآوری قرار دارد تا آبی را که از طریق برج‌های آبگیر داخل سد به ایستگاه پمپاژ انتقال یافته‌اند پس از ته‌نشینی در حوضچه‌ها، به خط تولید برگردند.

این سد از سال ۱۴۰۲ با هدف جمع‌آوری و نگهداری آب‌های سطحی معدن، هدایت روان آب‌های سطحی در محوطه کارخانه به داخل این سد و استفاده از آن در آبیاری فضای سبز و بویلرروم به بهره‌برداری رسیده است. مساحت این سد ۸۰,۰۰۰ مترمربع و ارتفاع و طول تاج آن به ترتیب ۱۲ و ۱۰۵ متر است. در این حوضچه دو چاه پیزومتری و یک چشمه وجود دارد. (شکل ۳-۲۴) در برنامه خوداظهاری واحد محیط‌زیست به‌صورت منظم هر سه ماه از چشمه و دو چاه پیزومتری مستقر در ابتدای این سد نمونه‌برداری می‌شود.



شکل ۳-۲۴. دورنمایی از سد جمع‌آوری آب‌های سطحی. دید به شمال.

عکس روی جاده تاج سد که محل تخلیه آب سد به تانکر است گرفته شده است. ۱. دپوی باطله WD2، ۲. دپوی معدنی D2، ۳. کارخانه، ۴. تاج سد باطله فراوری، ۵. ایستگاه پمپاژ آب سد، ۶. چاه جمع‌آوری آب زیرزمینی به داخل سد جمع‌آوری آب‌های سطحی، ۷. آب سطحی و زیرزمین داخل سد، ۸. لایه ژئوممبرین، ۹. حصار بتنی بین مجموعه و باغ‌ها روستای ینگه کند



شکل ۳-۲۵. تصویری از مراحل ساخت سد جمع‌آوری آب‌های سطحی

۳-۴-۴. حوضچه‌های تبخیر

مطابق شکل ۳-۱۸ دو حوضچه تبخیری در این مجموعه تعبیه شده است. حوضچه شماره ۱ در پایین دست سد جمع‌آوری آب‌های سطحی و حوضچه شماره ۲ در سمت شرق و نزدیک واحد فیلتراسیون دارد. آب بخش آبگیر سد باطله بر حسب برنامه اعلامی واحد فراوری به یکی از حوضچه‌های تبخیر جهت ته‌نشینی و شفاف شدن انتقال داده می‌شود و پس از آن از به خط تولید پمپاژ می‌شود. ایجاد لایه‌های نفوذناپذیر در احداث این حوضچه‌ها مشابه سد باطله است.

حوضچه تبخیری شماره ۱ به‌صورت دیواره بتنی و اصلاح با خاک‌آهک به ترتیب در طول، عرض و ارتفاع، ۱۵۲، ۷۲ و ۱.۶ متری و با ظرفیت گنجایش ۱۷,۰۰۰ مترمکعب آب احداث شده است (شکل ۳-۲۶). علاوه بر ایستگاه پمپاژ آب از این حوضچه، پس از ته‌نشینی، به کارخانه، ایستگاه چاه پایش آنلاین آب هم از تابستان ۱۴۰۲ احداث شده است. به کمک این ایستگاه آنلاین، شاخص‌های

زیست‌محیطی آب مثل میزان سیانید، دما و pH آن هر ۱۵ دقیقه یک‌بار ثبت شده و به سامانه پایشی سازمان محیط‌زیست، ¹iranemp، به‌صورت آنلاین ارسال می‌شود.

حوضچه تبخیری شماره دو که در سال ۹۴ به بهره‌برداری رسید به ترتیب طول و عرضی برابر ۹۰ و ۳۰ و ۵ متر ارتفاع و ظرفیت گنجایش ۱۳,۰۰۰ مترمربع آب را دارد (شکل ۳-۲۷). ورودی آب فیلتراسیون به این حوضچه ثقلی و برگشت به خط تولید از طریق ایستگاه پمپاژ صورت می‌گیرد.



شکل ۳-۲۶. تصویری از حوضچه تبخیری شماره ۱

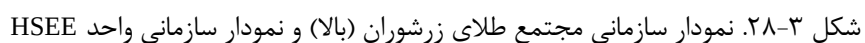


شکل ۳-۲۷. تصویری از حوضچه تبخیری شماره ۲

۳-۵. مدیریت HSEE مجتمع طلای زرشوران

واحد HSEE مجتمع طلای زرشوران با ۲۴ نفر نیروی تمام‌وقت در سه شیفت، جهت مدیریت بهینه و خدمات‌رسانی امور ایمنی، بهداشت حرفه‌ای، زیست‌محیطی و انرژی این مجتمع استقرار دارد. این واحد با سازمان‌های محیط‌زیست، اداره کار و مراکز درمانی شهرستان ارتباط مستمر دارد. نمودار سازمانی این واحد ابتدا در نمودار سازمانی مجتمع طلای زرشوران و سپس بخش‌های زیرمجموعه واحد HSEE در شکل ۳-۲۸ آمده است.

¹ سامانه جامه مدیریت زیست‌محیطی سازمان حفاظت از محیط زیست، Iranemp.ir



سرپرست بخشی ایمنی به‌عنوان ناظر عالی ایمنی مجتمع، در همه بخش‌های آن (معدن، فرآوری و سد باطله فرآوری) و در همه شرکت‌ها (کارفرما، مشاورین و پیمانکاران) مسئول ایمنی قسمت مربوطه را تحت نظر خود داشته و مسئولیت اجرای امور ایمنی را بر عهده دارند.

بخش ایمنی و بهداشت حرفه‌ای با نظارت بر فرآیندها و شناسایی موارد نا ایمن، اجرای عملیات برای بهبود فرآیندها و رفع نواقص، ارزیابی ریسک‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای، بررسی و تحلیل حوادث را اجرا نموده و با آموزش مستمر دوره‌ای و موردی پرسنل مجتمع در خصوص اصول ایمنی، حفاظتی و بهداشتی، توزیع وسایل حفاظت فردی و نظارت بر استفاده از آن‌ها سعی در افزایش سطح ایمنی مجتمع و دوری از خطرات را دارند. به‌علاوه این واحد به‌صورت مستمر نسبت به برگزاری جلسات موردی^۱ TBM اقدام می‌نماید.

واحد خدمات آتش‌نشانی دو دستگاه آتش‌نشانی را در مجتمع مستقر نموده و همچنین به روستاهای اطراف خدمات رایگان عرضه می‌کند. همچنین دو دستگاه آمبولانس، یک پزشک و یک پرستار در هر شیفت در این واحد حضور دارند تا درمان‌های سرپایی را انجام و جراحات‌های سطحی را بهبود بخشند. واحد بهداشت حرفه‌ای با ارسال همه پرسنل شاغل در مجتمع به معاینات دوره‌ای سالانه، سلامت افراد را پایش نموده و بر اساس جواب معاینات گردش‌های شغلی را انجام می‌دهد.

با توجه به سطح رضایت‌بخش HSE در مجتمع طلای زرشوران، آمار حوادث در این مجموعه نسبت به دیگر معادن امیدوار کننده است. تنها حادثه منجر به فوت در این ده سال فعالیت معدن، متأسفانه وفات یک نفر نیروی پیمانکار به علت حضور در نقطه کور بیل مکانیکی فعال در پیت معدن بوده است. به‌علاوه دو نفر از افراد متفرقه که به‌صورت غیرمجاز جهت برداشت زرنیخ وارد معدن شده بودند در دو حادثه جداگانه فوت کرده‌اند. فوت یکی از آن‌ها به علت حضور در تونل قدیمی زرنیخ و سُر خوردگی سنگ از بالادست، به علت فعالیت ماشین‌آلات در معدن، گزارش شده و دیگری پس از برداشت زرنیخ و فرار از مسیر رود غربی معدن در فصل زمستان به علت یخ زدن جانش را از دست داد.

۳-۵-۲. بخش محیط‌زیست

بخش محیط‌زیست معدن طلای زرشوران نیز از بخش‌های فعال این مجموعه است؛ که از سال ۱۴۰۲ فعالیت آن گسترده‌تر شده و پروژه‌های زیست‌محیطی مناسبی را جهت مدیریت و کنترل آلاینده‌ها به بهره‌برداری رسانده است؛ که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- اجرای برنامه خوداظهاری سه‌ماهه و ارسال گزارش‌های پایش زیست‌محیطی؛
- احداث خط انتقال آب معدن به طول ۸ کیلومتر که این اقدام با توجه به آلودگی شدید آب خروجی معدن به فلزات سنگین علاوه بر تأمین بخش عمده‌ای از آب کارخانه باعث جلوگیری از آلودگی منابع آبی و رودخانه‌های منطقه شده و در درازمدت باعث زه‌کشی معدن خواهد شد.
- نصب و راه‌اندازی سیستم پایش لحظه‌ای آب سد فرآوری باطله و حوضچه‌ها؛ دستگاه پایش آنلاین حوضچه شماره ۱ از تیرماه سال ۱۴۰۲ مدار قرار دارد؛

¹ Tool Box Meeting

- احداث سدهای رسوب‌گیر در بخش‌های غربی و شرقی معدن به منظور جمع‌آوری رسوبات و مهار فرسایش، (شامل چهار سد رسوب‌گیر ملاتی و گابیونی، سه رسوب‌گیر ملاتی و یک رسوب‌گیر گابیونی) و لایه روبی سالانه آن‌ها (تصویر ۲ از شکل ۳-۲۹)
 - احداث سایت و سوله پسماند، از آبان ۱۴۰۲ در زمینی به مساحت ۱۱۰۰۰ مترمربع به همراه محدوده‌ای ده متری حوضچه ایزوله برای پسماندهای خطرناک و یک دستگاه پرس ضایعات؛
 - اتصال پد بتنی فیلترپرس به محدوده سد باطله و یکپارچه کردن آن
 - استقرار سیستم مدیریت زیست‌محیطی (ایزو ۱۴۰۰۱) و انرژی (ایزو ۵۰۰۱)؛
 - ساخت، نصب و راه‌اندازی سیستم/اسکرابر تر اتاق طلا (تصویر ۱ از شکل ۳-۲۹)
 - ساخت، نصب و راه‌اندازی سیستم بگ فیلتر اتاق نقره (تصویر ۷ از شکل ۳-۲۹)
 - اجرای پروژه راه‌اندازی بگ فیلتر سنگ‌شکن‌های اولیه و ثانویه؛
 - لایه‌روبی رسوب‌گیرهای ضلع غربی معدن جهت کنترل رسوبات حفاری در ضلع غربی و شرقی معدن به صورت مستمر (تصویر ۴ از شکل ۳-۲۹)
 - شروع پروژه محوطه‌سازی کارخانه به منظور جمع‌آوری و هدایت روان آب‌های سطحی به حوضچه نگهداری آب‌های سطحی و همچنین کنترل گردوغبار محوطه کارخانه؛
 - توسعه فضای سبز با کاشت نهال (تصویر ۵ از شکل ۳-۲۹)؛
- آبپاشی و پخش تاک‌هایدرات در مسیرهای پرتردد ماشین‌آلات سنگین، به منظور کنترل گردوغبار ناشی از تردد ماشین‌آلات سنگین در طول مسیر از پودر تاک‌هایدرات (هایدرات منیزیم سلیکات) و آبپاشی با استفاده از چهار دستگاه (تصویر ۶ از شکل ۳-۲۹).



شکل ۳-۲۹. بخشی از فعالیت‌های زیست‌محیطی در معدن طلای زرشوران

فصل ۴: ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی در مجتمع

طلای زرشوران

۴-۱. مقدمه

با توجه به تعریف ریسک به عنوان اثر عدم قطعیت بر اهداف، واقعیت این است که معدن کاری کانسنگ طلا و فرآوری آن به شرحی که گذشت با قطعیت تأثیرات منفی گسترده‌ای بر هوا، آب، خاک و موجودات زنده محیط زیست پیرامون خود خواهد گذاشت و با توجه به این تأثیرات قطعی، به جای تمرکز بر ریسک در مجتمع زرشوران باید با ذکر عامل ریسک، به تأثیرات این عوامل تمرکز نمود.

در بخش ۶-۲ ریسک‌های زیست محیطی معادن طلا با توجه به حوزه تأثیراتشان به پنج گروه ژئومورفولوژیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، ژئوپولیسیکی و عوامل زیان‌آور محیط کار تقسیم‌بندی شدند. در این پژوهش با توجه به کمی‌سازی ریسک‌های شناسایی شده با مشارکت کارشناسان مجتمع زرشوران و تخصص ایشان در مباحث معدنی و زیست محیطی، تأثیرات اجتماعی و ژئوپولیسیکی بررسی نمی‌شوند. همچنین با توجه به گستردگی ریسک‌هایی که منشاء آن عوامل زیان‌آور محیط کار خواهند بود و نیازمند ساختار شکست ریسک بالاتر از سه سطح بوده و موضوع مستمر واحد HSEE مجتمع زرشوران می‌باشند، این دسته از ریسک‌ها نیز در فهرست ریسک‌ها نیامده‌اند.

از آنجایی که مجموعه فعالیت‌های مجتمع طلای زرشوران مثل سایر فعالیت‌های توسعه‌ای بر گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی ناشی از آن تأثیر خواهند گذاشت، و این تأثیرات همه بخش‌های مجتمع و کل محیط زیست را در برمی‌گیرد این تأثیرات نیز در این فصل بررسی نشده است.

در این فصل ابتدا نحوه شناسایی ریسک‌های زیست محیطی مجتمع طلای زرشوران و شیوه تهیه ساختار شکست این ریسک‌ها توضیح داده شده است. پس از آن در فرآیند شناسایی ریسک از تفسیر منطقه مورد مطالعه، تقسیم‌بندی واحدها و توضیح فرآیندها مطابق آنچه که در فصل ۳ آمد، استفاده شده است. در اینجا جهت بررسی مخاطرات زیست محیطی این مجتمع، ریسک‌ها بر حسب واحدهای معدن در سه واحد معدن، کارخانه فرآوری و سد باطله فرآوری دسته‌بندی شده‌اند تا به کمک این ساختار شکست ریسک بتوان آن‌ها را به کمک اعداد فازی فیثاغورثی کمی‌سازی نمود.

با عنایت به نیاز به اولویت‌بندی دقیق برای تصمیم‌گیری درست، از مراحل معرفی شده در شیوه فازی فیثاغورثی معرفی شده در بخش ۲-۵ با مشارکت متخصصین مقیم در مجتمع طلای زرشوران استفاده شده است. پس از تهیه فهرست ریسک‌های زیست محیطی این سه واحد، کمی‌سازی آن‌ها در یک سطح انجام شده و پایان‌بخش فصل، فهرست اولویت‌بندی شده ریسک‌های زیست محیطی مجتمع طلای زرشوران با اولویت‌بندی در سه سطح و عنوان واکنش‌های پیشنهادی خواهد بود.

۴-۲. روش شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای

زرشوران

ساختار شکست ریسک‌های این پژوهش در ابتدا سه سطحی است. بدین‌صورت که در ابتدا سطح اول ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع در سه واحد معدن (شامل فعالیت‌های اکتشاف، استخراج، حمل‌ونقل و دپوی باطله و مواد معدنی)، واحد کارخانه (از هاپر آسیاب تا فیلتراسیون) و واحد سد باطله فرآوری (از فیدر خروجی فیلتراسیون تا حوضچه‌های تبخیر) دسته‌بندی شده‌اند. سپس در سطح دوم ریسک‌های زیست‌محیطی این واحدها در سه محیط تأثیرپذیر خاک، آب و هوا تفکیک شده‌اند. حوزه زیستی در واحد معدن، با توجه به گستردگی محیطی این واحد، بیشتر بررسی شده است. سطح سوم هم شامل عنوان ریسک است (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۱. ساختار شکست ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران مورد استفاده در این پژوهش

سطح ۰: مجتمع طلای زرشوران	سطح ۱: واحدها	سطح ۲: حوزه محیطی	سطح ۳: عنوان ریسک
ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران و محدوده اطراف	واحد معدن	خاک	عنوان ریسک
		آب	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک
		موجودات زنده	عنوان ریسک
	واحد کارخانه	خاک	عنوان ریسک
		آب	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک
		واحد سد باطله فرآوری	عنوان ریسک
	کد: MIN	خاک	عنوان ریسک
		آب	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک
کد: ZGC	کد: FAC	خاک	عنوان ریسک
		آب	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک
کد: TAI	کد: TAI	خاک	عنوان ریسک
		آب	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک
		هوا	عنوان ریسک

برای بررسی ریزتر ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران، می‌توان این ریسک‌ها را در ۵ سطح شکست داد بدین شرح که در سطح اول واحدها، در سطح دوم بخش‌های هر واحد، در سطح سوم حوزه تأثیر محیطی، در سطح چهارم انواع مختلف یک آلاینده و یا اجزاء یک بخش و در سطح پنجم ریسک آن آلاینده یا بخش. به‌عنوان مثال ریسک سه سطحی "گسترش فلزات سنگین در هوا و احتمال ایجاد آلودگی هوای محیط کارخانه" را می‌توان به این صورت در پنج سطح بیان نمود: "گسترش آرسنیک در هوای واحد خردایش کارخانه". با گسترش ساختار شکست ریسک می‌توان ختی ریسک‌های یک دستگاه خاص را فهرست نمود و با بررسی ورودی و خروجی‌های آن دستگاه خاص، تأثیرات عملکرد آن بر خاک، آب و هوای محیط را ارزیابی نمود تا عملیات کنترلی لازم بر آن اعمال

گردد. مثلاً در صورت نشت روغن خاصی از دستگاه به محیط، در عملیات نت و اورهال سیستم آن را مدیریت کرد. در هر حال با توجه به انجام ارزیابی کمی ریسک با مشارکت متخصصین مجتمع، ساختار شکست سه سطحی مبنای شناسایی ریسک‌های این پژوهش است و به همین دلیل تعداد ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی و ارزیابی شده در آن محدود اما فراگیر است.

در خصوص تهیه فهرست اولیه ریسک‌های زیست‌محیطی برای این پژوهش، باید اشاره نمود که هر چند واحد HSEE این مجتمع برنامه خود اظهاری سه‌ماهه را به صورت مرتب انجام می‌دهد و نتایج را به سازمان حفاظت از محیط‌زیست ارسال می‌دارد، اما در اختیار داشتن این گزارش‌ها بنابر محرمانه بودن محتوی آن ممکن نشد. به علاوه واحدهای ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و محیط‌زیست هر کدام به صورت جداگانه برنامه ارزیابی ریسک‌های واحد خود را دارند. امکان دسترسی به فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع نیز فراهم نشد اما اجازه مشاهده آن مقدور گردید. با این مشاهده می‌توان گفت که این فهرست از جامعیت برخوردار نبوده و بدون ساختار شکست مشخصی تنها ۷۷ ریسک را، با تکرار، شناسایی و به روش FMEA ارزیابی نموده‌اند. این در حال است که انتظار می‌رود حداقل در خود کارخانه فهرست جامعی از ریسک‌های زیست‌محیطی با حداقل ساختار شکست ۵ سطحی موجود باشد. به علاوه در این فهرست به ریسک‌هایی چون احتمال تشکیل زهاب اسیدی و گسترش فلزات سنگین و تأثیرات آن‌ها بر جانداران و مردم منطقه اشاره‌ای نشده بود.

یکی دیگر از سیستم‌های مجتمع در حوزه مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی آن، سیستم پایش آنلاین است که از سال ۱۴۰۲ راه‌اندازی شده است. اطلاعات این سیستم در سامانه iranemp ثبت می‌شود. با دسترسی به اطلاعات این سامانه در مردادماه ۱۴۰۳ تنها واحدی که آلاینده‌گی بالاتر از حد مجاز داشت، آرسنیک در تصفیه‌خانه فاضلاب مجتمع اعلام شده بود که به نظر می‌رسد این اطلاعات کامل نباشد؛ چرا که با داده‌های حاصل از سوابق علمی تحقیق و بازدید میدانی از مجتمع همخوانی ندارد.

با توجه با این محدودیت‌ها برای گردآوری فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران و استفاده از آن برای ارزیابی و کمی‌سازی و در پایان تهیه فهرست اولویت‌بندی شده، از سه منبع زیر استفاده شده است:

۱. نتایج حاصل از پژوهش‌های علمی ذکر شده در بخش ۱-۶ (سابقه تحقیق)؛
۲. بازدید میدانی در فصول مختلف سال از مجتمع طلای زرشوران، مشاهدات صحرایی با بررسی محیطی و استفاده از pH متر قلمی مدل Az8686 (شکل ۴-۱) جهت سنجش pH در محل‌هایی

با احتمال تشکیل زهاب اسیدی؛

۳. استفاده از روش‌های طوفان فکری، مصاحبه و دلفی برای گردآوری فهرست ریسک‌ها و گردآوری اطلاعات اولیه مطابق فرم‌های پیوست.

برای تهیه فهرست ریسک‌ها با مطالعه منابع علمی در حوزه ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران، که نتایج آن در پایگاه‌های علمی قابل‌دسترسی بود، فهرست کار برای بازدیدهای مکرر از مجتمع تهیه شد. برنامه حضور برای ۸ روز در فصول مختلف سال برنامه‌ریزی شد. در این بازدیدها فرصت تشکیل دو جلسه طوفان فکری با کارشناسان مهندسين مشاور زمین معدن در واحد معدن (پنج نفر)، یک جلسه با کارشناسان فرآوری (چهار نفر) و یک جلسه با سه نفر از کارشناسان واحد HSEE مهیا شد. پس از جلسات، فرم شماره ۱ پیوست برای شناسایی ریسک هر واحد توسط کارشناسان آن واحد به‌صورت حضوری و یا ارسال ایمیل توزیع شد تا مطابق گام‌های روش دلفی، توافق گروهی در موضوع شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران حاصل گردد. جمعاً ۱۷ نفر از کارشناسان مجتمع در تکمیل این فرم همکاری نمودند. توافقات در خصوص ریسک‌های زیست‌محیطی در واحد معدن، بیشتر بر کاهش حریم و تنوع جانداران، از بین رفتن پوشش گیاهی و تخریب چشم‌انداز محیطی متمرکز بود. در واحد کارخانه بیشتر روی ریسک آلودگی محیطی ناشی از غبارهای آلاینده توافق حاصل شد. در واحد معدن فقط یک نفر به تشکیل زهاب اسیدی آن هم با احتمال کم به علت آهکی بودن محدوده آهک چالداغ اشاره کرده بود. همچنین در این مرحله با استفاده از pH متر مذکور، در بازدیدهای صحرائی چند نمونه‌گیری در محیط‌های مشکوک به تشکیل زهاب اسیدی انجام شد که نتیجه آن در ادامه ذکر می‌گردد.

در این جلسات و بازدیدها، کارشناسان HSEE ادعای کامل کنترل آلاینده‌ها و حفاظت از محیط‌زیست را با توجه به وجود بگ فیلترها، سیستم اسکرابر و لایه‌های نفوذناپذیر سد باطله داشتند و در ارزیابی کیفی ریسک‌ها نیز نسبت به سایر متخصصین محافظه‌کارتر بودند. در فرم‌های گردآوری شده شناسایی اولیه ریسک‌ها، هیچکدام از کارشناسان به گرمایش زمین ناشی از معدن کاری اشاره نکرده بودند. تعداد ریسک‌های ثبت شده توسط کارشناسان در فرم شماره ۱ پیوست از دو ریسک تا هشت ریسک متغیر بود.



شکل ۴-۱. تصویر pH متر مدل Az8686 ساخت شرکت تایوانی Az Instrument مورد استفاده در بازدید صحرایی

با استفاده از این سه منبع، فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در مجتمع طلای زرشوران برای سه واحد معدن، فرآوری و سد باطله به شرحی که در ادامه می‌آید، تهیه شد. در فهرست ریسک‌ها از ساختار فرازبان (بخش ۴-۲-۲) در عبارت ریسک (اول ذکر عامل، بعد احتمال وقوع و بعد حوزه تأثیر) و کدبندی‌ها آن‌ها مطابق جدول ۴-۱، استفاده شده است. کد ZGM برای کل مجموعه اختصاص داده شده که برای جلوگیری از طولانی شدن عنوان کدها، از آن استفاده نشده است. معدن با کد MIN، کارخانه با کد FAC و سد باطله فرآوری با کد TAI مشخص شده‌اند. در سطح دوم SOI کد خاک، WAT کد آب، AIR کد هوا و LIV برای موجودات زنده اختصاص داده شده است. کد سطح سوم شماره‌ای دو رقمی برای عدد ریسک است. به عنوان مثال ریسک با کد FAC-WAT-09، کد ریسکی است در ردیف شماره ۹ حوزه تأثیرپذیر آب در فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی واحد کارخانه.

۴-۳. شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی واحدهای مجتمع

۴-۳-۱. ریسک‌های زیست‌محیطی واحد معدن

با توجه به پاراژتز کانسار طلا-آرسنیک زرشوران و حضور پیریت‌های آرسنیک‌دار به عنوان کانی‌های منشاء آرسنیک منطقه و وجود حجم بالایی از کانی‌های پیریت و آرسنوپیریت در کانسار زرشوران، انتظار تشکیل زهاب اسیدی در این معدن منطقی است.

به شرحی که در بخش ۴-۴-۱ گذشت، محیط‌زیست محدوده معدن طلای زرشوران از تنوع بصری، گیاهی و جانوری گسترده‌ای برخوردار است که متأسفانه فعالیت‌های معدن‌کاری و فرآوری در این مجتمع، تعادل طبیعی چشم‌اندازها و زیستگاه‌ها را برهم زده و انتظار می‌رود با افزایش عمر معدن، تخریب زیست‌محیطی این محدوده باز بیشتر شود؛ چرا که با توجه به سولفیدی بودن کانسار زرشوران از طرفی و نسبت بالای باطله‌برداری به ماده معدنی (۱۷/۷ به ۱) از طرف دیگر، انتظار می‌رود که

چشم‌اندازها بیشتر تخریب شوند، کوه‌های باطله مرتفع‌تر، گسترش غبارهای آرسنیک از این کوه‌ها و محیط مجتمع گسترده‌تر و آثار زیان‌بار زهاب اسیدی معدن وسیع‌تر.

در شکل ۴-۲ یکی از ده‌ها نمونه لغزش زمین ناشی از وزن بالای دیوهای باطله معدنی و ناپایداری فیزیکی آن در معدن زرشوران آمده شده است. با توجه به محدودیت زمین در محدوده پروانه معدن زرشوران به دلیل تپه‌ها و معارضات محلی و همچنین دوری زمین‌های مسطح از نظر مسافت با معدن، حجم گسترده‌ای از باطله و مواد معدنی کم‌عیار در ارتفاعات و بالادست پیت جاری به‌صورت پُرکننده دره‌ها دپو شده‌اند که هر سال با بارش برف و باران قسمتی از آن‌ها ریزش نموده و در پایین دست حریم رودها، رسوب می‌کنند. همچنین شیب دیوهای ایجاد شده با باطله‌ها و ماده معدنی کم‌عیار در زرشوران بالای ۳۰ درجه و گاهی حدود ۴۵ درجه، مثلاً در دامپ PD2، است و قابلیت ایجاد پوشش گیاهی در برنامه بازسازی معدن در آینده را بسیار مشکل نموده است.

در ماه‌های شهریور و مهر که باد سرعت بیشتری دارد، بوی تند گوگرد به‌ویژه هنگام تشکیل گردبادها در معدن و محوطه کمپ‌ها، بسیار آزاردهنده است. با توجه به جهت باد غالب، از جنوب غربی به شمال شرقی، گردوغبار برخواسته از بالای دامپ‌های باطله و ماده معدنی بیشتر به معدن برمی‌گردد و خوشبختانه از این نظر میزان گسترش غبارهای حاوی ترکیبات آرسنیک و دیگر فلزات سنگین غالباً به سمت معدن است تا روستاهای اطراف. این بوی تند گوگرد علاوه بر اینکه نشانه رایجی از اکسایش کانی‌های سولفیدی دیپوی باطله‌ها و مواد معدنی است، خود نیز اهمیت لزوم پوشش مناسب دامپ‌ها و جلوگیری از فرسایش آن‌ها را بیان می‌کند. در اطراف دامپ باطله‌های معدنی، شوره ناشی از تشکیل کانی‌های ثانویه نیز گاهی مشاهده می‌شود.

فرسایش بادی و آبی دامپ‌های باطله و مواد معدنی کم‌عیار در مجتمع زرشوران می‌تواند باطله‌ها را از محل دپو به محل اطراف پراکنده نموده و شستشوی آن‌ها توسط بارش ممکن است آلاینده‌ها را به محیط اطراف رها و آن‌ها را پس از ورود به خاک‌ها و رودهای منطقه پراکنده نموده و تا چندکیلومتری پایین دست مجتمع را تحت تأثیر قرار داد. مطالعات ذکر شده در بخش ۱-۶ (سابقه تحقیق) جملگی بیانگر بالا بودن غلظت آرسنیک، سرب، روی، مس، کادمیوم و در بعضی قسمت‌ها جیوه، بیشتر از استانداردهای جهانی به دلیل قرار گرفتن حجم زیادی از باطله‌های معدنی در معرض هوازگی و پس‌زمینه بالای غیرعادی عناصر سنگین در منطقه معدن هستند که معدن‌کاری می‌تواند غلظت آن‌ها را از طریق ایجاد دامپ‌های باطله و تولید باطله فرآوری بالا ببرد.



شکل ۴-۲. نمونه‌ای از لغزش زمین ناشی از حجم بالای باطله (دامپ PR) و ریزش آن به مسیر رودخانه

در بخش ۳-۲-۳ گفته شد که در بالاترین تراز پیت جاری معدن طلای زرشوران، ارتفاع ۲۶۷۰ متری از سطح دریا، دامپ باطله معدنی، WD3 و دامپ کم‌عیار PD3، قرار دارند. مطابق شکل ۴-۳، در ارتفاعات فوقانی PD3، سرچشمه آب بارشی شروع شده و پس از عبور از داخل این دامپ‌ها به سمت پایین دست (شمال غرب پیت) حرکت نموده و به صورت چشمه‌ای زیر دامپ کم‌عیار PD3 خارج می‌شود. آب این چشمه با پیوستن به آب‌های محدوده معدن کاری به سمت رودخانه غربی معدن حرکت می‌کند که در بالادست این رودخانه نیز حجم بالایی از ماده معدنی کم‌عیار، PD1، در این نُه سال دپو شده است. pH آب در این مسیر و پایین دست محل تونل قدیمی زرنیخ، برابر ۷/۵۵ اندازه‌گیری شد. همچنین pH چشمه دامپ PD3 در تراز ۲۶۳۲ متری برابر ۸/۱۵ اندازه‌گیری شد. اما مشاهدات صحرایی در طول سال، شکل ۴-۴، تشکیل ذهاب اسیدی به صورت ته‌نشست‌های قرمز-قهوه‌ای رنگ (غنی از آهن) در مناطق تراوشی در بستر جوی‌های مسیر شمال غربی معدن و فراوانی لجن‌های جلبکی در مسیر تونل قدیمی زرنیخ را نشان می‌دهند.^۱ پس به نظر می‌رسد این مقادیر pH نزدیک به خنثی و تا حدودی قلیایی، ناشی از خنثی شدن زهاب این چشمه با کانی‌های کربناته و رسی موجود در PD3 باشد؛ که انتظار می‌رود با اندازه‌گیری یون‌های سولفات و کاتیون نمونه آب این چشمه، تشکیل زهاب اسیدی ناشی از اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی این دامپ محرز گردد؛ چرا که با توجه به آثاری مبنی بر ترسیب آهن سه‌ظرفیتی (آهن فریک) به صورت هیدروکسید آهن سه‌ظرفیتی در مسیر جریان آب، به نظر می‌رسد که کانی‌های سولفیدی موجود در دامپ PD3 در حال اکسید شدن بوده و زهاب اسیدی تولید می‌کنند. همچنین در مسیر پایین دست معدن، آب به طور غیرعادی شفاف می‌شود که نشان از ته‌نشینی نمک‌ها به دلیل افزایش غلظت آهن دارد.

^۱ مقادیر بالای سولفات در آب‌های معدن برای رشد جلبک‌ها مطلوب است.

در تراز ۲۳۶۱ معدن، ترانشه‌ای زهکش ایجاد شده است که با اندازه‌گیری pH آب جمع شده در آن، عدد ۵.۲۰ حاصل شد هرچند در اینجا آثاری از رسوبات هیدروکسیدهای آهن مشاهده نشد اما مقدار pH و هدایت بالای الکتریکی آن ($1370 \mu S/cm$)^۱ و دمای $32.20^\circ C$ نشان از فراهم شدن شرایط اکسیداسیون و تشکیل زهاب اسیدی ناشی از آن بود. این دمای آب موجب تشدید فرآیندهای اکسایش و تولید زهاب اسیدی است چرا که محیط، مستعد فعالیت‌های بیولوژیکی هوازی است. تشکیل این زهاب باعث انحلال سنگ‌ها و رهاسازی عناصر سمی به‌ویژه آرسنیک خواهد شد؛ که لازم است با لایه‌روبی مستمر از راکد ماندن آب ممانعت به عمل آورد.

به‌طور کلی انتظار می‌رود در ترازهای بالای ۲۰۷۰ معدن با وضعیت جاری، زهاب اسیدی تشکیل گردد. در سایر قسمت‌های معدن که شرایط اکسایش سولفید و تولید زهاب اسیدی فراهم است اما pH آب به دلیل خنثی‌سازی توسط خاک رسی و یا کربناتی، بالا است، رسوبات هیدرواکسید آهن سه‌ظرفیتی مشاهده می‌شود که از اکسایش آهن دو ظرفیتی (فرو) به فریک و به دنبال آن هیدرولیز فریک و ترسیب کمپلکس‌های ناپایدار هیدرواکسیدهای آهن سه‌ظرفیتی ناشی می‌شود.

با مشاهده داده‌های حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌های آب در محدوده پیت معدن طلای زرشوران، مشاهده می‌شود که پتانسیل تولید زهاب اسیدی در این معدن نسبتاً بالا است که نیاز به استقرار سیستم تصفیه و پایش مستمر در این معدن را ضروری می‌سازد. به نظر می‌رسد که معدن طلای زرشوران تا به حال موضوع تشکیل زهاب اسیدی را جدی نگرفته است؛ چرا که به‌تازگی (مرداد ۱۴۰۳) شروع به مطالعات هیدروژئولوژیکی و نمونه‌گیری آب معدن نموده است و تا کنون اقدامی برای زهکشی مسیرهای طبیعی آب و یا ایجاد ترانشه زهکش با سنگ‌های آهکی ننموده است.

با توجه به ترکیبات کانسار زرشوران و اکسایش آن‌ها در دامپ‌های باطله، انتظار می‌رود که حتی با توقف معدن‌کاری در زرشوران، تولید زهاب اسیدی به دلیل مقدار بالای سولفید در توده‌های باطله زرشوران، ادامه یابد. علاوه بر این ممکن است به دلیل حضور کانی‌های ثانویه ناشی از اکسایش در افق‌های بالای خاک، رسوبات رودخانه‌ای و نیز خود دامپ‌های باطله، مشکلات زیست‌محیطی دیگری ایجاد شود چون‌که برخی از این کانی‌های ثانویه ممکن است در اثر انحلال خود به‌عنوان منبعی برای رهاسازی زهاب اسیدی و فلزات سنگین عمل کنند.

^۱ هدایت الکتریکی نمونه آب اخذ شده در این ترانشه توسط کارشناسان مشاور معدن اندازه‌گیری شد.



شکل ۳-۴. سرچشمه چشمه دامپ PD3، عکس بالای دامپ PD3 با دید به سمت شمال در تراز ۲۶۷۰ متری گرفته شده است.



شکل ۴-۴. نشانه‌های صحرایی تولید زهاب اسیدی در بخش شمال غربی پیت جاری در فصول مختلف سال (چپ: ته‌نشست‌های غنی از آهن و راست: فراوانی جلبک‌ها در زمستان)

با این توضیحات می‌توان گفت که دامپ‌های باطله معدنی معدن طلای زرشوران نه پایداری فیزیکی دارند نه شیمیایی و نه بیولوژیکی. علاوه بر تأثیرات زیست‌محیطی باطله‌های معدن طلای زرشوران، با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی از پیت جاری، تشکیل زهاب اسیدی داخل محدوده حتمی است و آب این محدوده نیز به علت وجود سولفید آرسنیک آلوده می‌شود. همچنین انحلال سولفات آرسنیک و سولفید آهن توسط آب برف و باران در طول ماه‌های بارندگی صوت می‌گیرد. مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی محدوده پیت می‌تواند سبب ناپایداری شب معدن نیز شوند.

علاوه بر حجم بالای آرسنیک در هوای منطقه باید به آلودگی نیتراتی در هنگام عملیات آتش‌باری در محدوده معدن ناشی از گردوغبار حاوی پتاس و نیترات آمونیم نیز اشاره داشت. این هوای آلوده علاوه بر تأثیر مستقیم بر سلامت انسان بر فرآیند فتوسنتز گیاهان محدوده و نیز حیوانات و چرخه غذایی منطقه تأثیرات مخرب خواهد داشت. صدای انفجار عملیات آتش‌باری و تردد ماشین‌آلات سنگین می‌تواند عاملی بر مهاجرت گونه‌های جانوری و کاهش میزان زادوولد آن‌ها باشد.

- با توجه به آنچه گفته شد، می‌توان اثرات زیست‌محیطی باطله‌های معدن طلای زرشوران را به‌صورت زیر برشمرد و آنها را به صورت فهرست جدول ۳-۴ لیست نمود.
- از بین رفتن چشم‌انداز طبیعی و تغییرات ژئومورفولوژیکی در منطقه؛
 - از بین رفتن تعادل حیات آبی و پوشش گیاهی منطقه؛
 - هوازدگی نامحدود باطله‌های سولفیدی این معدن و پتانسیل بالای تولید زهاب اسیدی؛
 - آلودگی آب، خاک و رسوبات منطقه به فلزات سنگین ناشی از اکسایش کانی‌های سولفیدی؛
 - اسیدی شدن رودها و خاک‌های منطقه؛
 - انحلال کانی‌های ثانویه ناشی از اکسایش در رسوبات رودخانه‌ای و دامپ‌های باطله به‌عنوان منبعی برای رهاسازی زهاب اسیدی و فلزات سنگین؛
 - استفاده از نیترا آمونیوم در عملیات آتش‌باری و احتمال آلودگی نیتراتی در هوای منطقه؛
 - آلودگی سامانه‌های زهکش طبیعی به فلزات سنگین و گسترش آنها به پایین دست؛
 - تراز بالای صوتی ماشین‌آلات و عملیات معدنی و برهم زدن تعادل زیستی.

۲-۳-۴. ریسک‌های زیست‌محیطی واحد کارخانه فرآوری

عوامل محیطی خاک، آب، هوا و بیوسفر تحت تأثیر فعالیت‌های فرآوری قرار می‌گیرند و آبخوان‌ها و آب‌های سطحی در اثر ورود مواد محلول سمی آلوده می‌شوند. این آلودگی به‌تدریج به محیط خاک و بیوسفر نیز منتقل می‌شود. به‌علاوه فرآیندهای فرآوری، انتشار ذرات معلق در هوا، آلودگی‌های صوتی و تخریب ظاهری محیط را سبب می‌شوند که این تأثیرات از دیگر عوارض فعالیت‌های کانه‌آرایی در مجتمع طلای زرشوران است. با توجه به تنوع فرآیندهای استحصال طلا در این کارخانه فرآوری، به‌طور کلی می‌توان منابع آلوده‌کننده محیطی در این واحد را مطابق جدول ۲-۴ تقسیم‌بندی نمود.

جدول ۲-۴. عمده منابع آلاینده در واحد فرآوری طلای زرشوران

نوع منبع	عوامل آلاینده	منشاء
شیمیایی	عناصر سنگین سمی (آرسنیک، و ...)	باطله معدنی و فرآوری
	مواد شیمیایی خطرناک	اسیدها و افزودنی‌ها
	گازهای سمی	بخارات لچینگ، آلوشن و ...
	سیانیدها	لچینگ، فلوتاسیون
فیزیکی	گردوغبار	خردایش و آسیاب و انتقالات
	ذرات معلق	پساب فرآیندها
	پسماند	سرریز فرآیندها
	صدا	خردایش، آسیاب، لچینگ و ...

به شرحی که در فصل ۳ آمد، در ابتدای کارخانه استحصال طلای زرشوران دپوهای ماده معدنی با عیار متوسط به بالا جهت تهیه خوراک سنگ‌شکن استفاده می‌شوند. با ورود این خوراک به سنگ‌شکن‌های اولیه و ثانویه، که فرآیند خردایش آن‌ها خشک است، با غبارهای حاوی آرسنیک در کل فرآیند استحصال طلا در کارخانه، محوطه اداری، سدهای باطله و روستاهای اطراف مواجه خواهیم شد. عمده تأثیرات این عنصر سمی و بی‌بو بر محیط‌های تأثیرپذیر (هوا، آب و خاک) و همچنین تأثیرات محتمل آرسنیک بر سلامت انسان به‌صورت خلاصه در جدول ۲-۶ آمد.

عنصر بسیار سمی آرسنیک یکی از عناصر تشکیل‌دهنده کانی‌های اورپیمنت (As_2S_3)، رالگار (AsS) و سینابر (HgS) در کانسنگ سولفیدی طلا-آرسنیک زرشوران است و در بسیاری از کانی‌هایی نظیر پیریت (FeS_2)، آرسنوپیریت ($FeAsS$)، کالکوپیریت ($CuFeS_2$)، گالن (PbS) و آسفالریت (ZnS) وجود دارد. نوع معدنی این عنصر از نوع آلی آن (ایجاد شده توسط میکروارگانیزم‌ها) بسیار خطرناک‌تر است. در جهان مشکلات زیست‌محیطی آرسنیک در معادن طلا مکرراً گزارش شده است. آرسنیک ۳ ظرفیتی بسیار سمی‌تر از آرسنیک ۵ ظرفیتی است و ۰/۱ گرم تری اکسید آرسنیک، موجب مرگ انسان می‌شود [۲۴]. قرار گرفتن در معرض آرسنیک موجب ایجاد عوارض مختلف در سیستم‌های تنفسی، گوارشی، نازایی و سقط‌جنین در زنان، آسیب به DNA، کاهش مقاومت در برابر ویروس‌ها، فشارخون، آسیب مغزی و کاهش تولید سلول‌های سفید و قرمز خون می‌شود [۵۳].

افزایش تمرکز آرسنیک در محیط‌های طبیعی در اثر فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاری بیشتر در افزایش میزان تمرکز آرسنیک در آب‌های زیرزمینی و آشامیدنی گزارش شده‌اند. در بخش ۱-۶ گفته شد که پیرو پژوهش آقای غضبان و همکارانشان در سال ۲۰۱۸ با نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل خاک‌های اطراف معدن زرشوران، مشاهده شد که میانگین غلظت، As , Cu , Zn , Cd و Pb (به‌صورت mg/kg) بسیار بالاتر از میانگین جهانی است [۲۷]. سمیت مزمن آب آشامیدنی توسط آرسنیک باعث بیماری آرسینیکوسیس^۱ می‌شود. گسترش این بیماری در بسیاری از کشورها گزارش شده است. بیشتر این بیماری‌ها به دلیل فساد ناشی از نرسیدن خون به اعضای بدن است. آثار ورود بیش از اندازه آرسنیک به بدن در تایوان به شکل بیماری موسوم به پای سیاه^۲ که شکلی از قانقاریا است گزارش شده است [۹۷]. به‌علاوه، مطالعات آسیب‌شناسی گوناگونی در کشورهای مختلف در ارتباط با آب‌های آلوده به آرسنیک و اختلالات پوستی ناشی از آن به‌صورت سرطان پوست، شش و کلیه انجام شده است. بر اساس دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی میزان مجاز آرسنیک در آب‌های آشامیدنی

¹ Arsenicosis

² Blackfoot Disease

۰/۰۱ میلی گرم در لیتر تعیین شده است. در حالی که در بسیاری کشورهای پیشرفته میزان قبول آن صفر است.^۱ [۲۴]

بررسی تأثیرات آرسنیک بر روی انسان با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانسار طلا-آرسنیک زرشوران و پیش‌بینی بیماری‌های ناشی از آن در آینده با توجه به اینکه این معدن هنوز در ابتدای راه است، موضوعی است حیاتی که هر روز نیاز به انجام آن بیشتر حس می‌شود. بر اساس مصاحبه با یکی از پرسنل اهل روستای ۴۱ خانواری ینگگی کند دو کودک زیر ۵ سال به سرطان خون مبتلا شده‌اند که برای یکی از آن‌ها پیوند مغز استخوان انجام شده است. این روستا که در ۵۰۰ متری سد باطله فرآوری قرار دارد (شکل ۴-۶) احتمالاً بیشترین آسیب را از فعالیت‌های این مجتمع می‌بیند. اثبات اینکه گسترش سرطان در منطقه ناشی از آرسنیک انتشار یافته در محیط به علت معدن کاری است، نیازمند مطالعات جامع زمین‌شناسی پزشکی و بررسی آلاینده‌های ناشی از معدن کاری و فرآوری طلای آن است.

نتایج آزمایش خون در معاینات دوره‌ای سال ۱۴۰۱ پرسنل کارخانه فرآوری طلای زرشوران نشان می‌دهد که بسیاری از پرسنل شاغل در این کارخانه میزان بالایی از آرسنیک را در خون خود دارند. هر چند واحد HSEE برای غلبه بر این مشکل، گردش شغلی نیروهای کارخانه را اجرا می‌کند، اما در عمل این گردش شغلی ناپذیر است چرا که احتمالاً غبارهای حاوی آرسنیک و فلزات سنگین در کل محدوده وجود داشته باشند و تغییر محل شغل پرسنل در واحدهای کارخانه چندان مؤثر نخواهد بود. پرسنل هم به این موضوع چندان اهمیت نمی‌دهند و حضور آن‌ها در کارخانه در بیشتر اوقات بدون استفاده از ماسک و تجهیزات حفاظت فردی مشاهده می‌شود. شاید عدم رعایت این موضوع بیشتر به بی‌بودن آرسنیک برگردد.

علاوه بر وجود آرسنیک در هوای منطقه، باید به وجود گازهای مونواکسید کربن و دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق تجهیزات کارخانه و سوخت مازوت، یون‌های فلزی در بخارات آب و همچنین بخارات سولفیدی خروجی از دودکش‌های کارخانه اشاره داشت که در آن‌ها احتمال حضور فلزات سنگین نیز می‌رود. بررسی ترکیبات این گازهای خروجی و تأثیرات آن‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست خود نیازمند پژوهش جداگانه‌ای است.

^۱ حد مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی مطابق با استاندارد شماره ۱۰۵۳ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر است. حداکثر میزان مجاز آرسنیک در تخلیه به آب‌های سطحی، مصارف کشاورزی و آبیاری و تخلیه به آب‌های زیرزمینی ۰/۱ میلی گرم در لیتر است.

احتمال تنفس غبارت آلوده، تنها ریسک کارخانه فرآوری طلای زرشوران نیست. آلودگی صوتی در این واحد یکی دیگر از ریسک‌های زیست‌محیطی مهم است. با توجه به خردایش خوراک کارخانه در واحدهای سنگ‌شکن (بلاخص در سنگ‌شکن ثانویه که چکشی است) و واحد آسیاب، تراز صوتی در این واحدها بالا است. با دسترسی به پایش‌های سه‌ماهه زیست‌محیطی میزان صدا در سنگ‌شکن، آسیاب و لچینگ نزدیک حد مجاز تراز صوتی، ۸۵dB گزارش شده است هرچند در این واحدها کارگران کمتر از ۸ ساعت مستمراً حضور دارند، اما گزارش باشگاه خبرنگاران جوان در مورخ ۱۰ اسفند ۱۳۹۸، با بررسی پرونده معاینات دوره‌ای سال ۱۳۹۶ پرسنل، نشان می‌دهد که ۱۱۴ نفر از پرسنل شاغل در این کارخانه دچار مشکل شنوایی شده‌اند که از این تعداد ۱۶ نفر آن‌ها طبق نتیجه معاینات دوره‌ای مشروط به ادامه فعالیت در ترازهای صوتی پایین‌تر از ۸۰dB می‌باشند [۹۸].

در این گزارش همچنین اشاره شده است که مطابق معاینات دوره‌ای پرسنل شاغل در کارخانه، در آزمایش بیولوژیکی خون ۴۸ نفر از ایشان، بالاتر از حد مجاز جیوه موجود بوده و در خون ۶ نفر آرسنیک و برای ۱۸ نفر نیز سرب بالاتر از حد مجاز بوده است. همچنین در این گزارش به سندی اشاره شده است که مطابق آزمایش‌های انجام شده، میزان اسیدکلریدریک در آزمایشگاه معدن، میزان سرب در آزمایشگاه خاک ($30\mu g/dL$)، میزان آرسنیک در واحد فیلتراسیون ($35\mu gAs/L$)، میزان آمونیاک در واحدهای لچینگ، اکسیداسیون و فیلتر پرس، میزان آرسنیک در لچینگ و اکسیداسیون، میزان کادمیوم در واحد فیلتراسیون و میزان جیوه در واحدهای آزمایشگاه خاک و فیلتراسیون بیشتر از حد مجاز بوده است [۹۸].

از آنجا که نوع فرآوری کانسنگ سولفیدی طلای زرشوران اکسیداسیون قلیایی انتخاب شده است، باید به غبارهای حاوی آهک از واحد تغذیه آسیاب به بعد نیز اشاره داشت. با توجه حضور آهک در فرآیندهای کارخانه استحصال طلای زرشوران، pH آب در گردش، انتظار می‌رود اسیدی باشد که با اندازه‌گیری آن از ابتدای مدار تا الوشن، این مقدار بین ۸ تا ۸.۵ متغیر بود. مشکل زیست‌محیطی اصلی در این کارخانه آبر بودن فرآوردها است و اشاره شد که تولید یک کیلوگرم طلای استخراجی از کانسنگ‌ها به طور متوسط به ۲۶۵,۰۰۰ لیتر آب نیاز دارد [۴۶] و با توجه به اینکه گاهی کارخانه مجبور به خریداری آب است، ریسک ایجاد تنش آبی در منطقه منتفی نخواهد بود. از طرف دیگر با توجه به احتمال حضور عناصر سنگین و مزاحم در بخارات خروجی واحد اکسیداسیون، احتمال حضور دی‌اکسید سولفور در هوای کارخانه و استفاده از اسیدها در استحصال طلای زرشوران، انتظار می‌رود شدت ریسک اسیدی شدن بارش‌های محدوده بالا باشد.

با ورود سیانور به لچینگ، یکی دیگر از ریسک‌های زیست‌محیطی با شدت بالا در این مجتمع ایجاد می‌شود. در این کارخانه به ازاء هر تن خوراک ورودی به واحد لچینگ از ۰۷ تا ۱.۲ کیلوگرم سیانور اضافه می‌شود و با توجه ورود روزانه حدود یک‌هزار تن ماده معدنی به کارخانه، روزانه بالای یک تن سیانور در آن مصرف می‌شود و همین موضوع اهمیت احداث سد باطله فرآوری با لایه‌بندی خاک و استفاده از عایق‌های نفوذناپذیر ژئوممبرین را می‌رساند. علاوه بر آلوده شدن آب در گردش کارخانه به سیانور، در مرحله اسیدشویی با اسید کلریدریک در واحد الوشن جهت حذف ترکیبات کلسیم و دیگر ناخالصی‌ها به علت اسیدی شدن محیط، گاز HCN در محیط کارخانه منتشر می‌شود. همچنین در اتاق‌های طلا و نقره با به‌کارگیری اسیدها، ریسک آلودگی محیط ناشی از این اسیدها بروز می‌کند.

هر چند واحد HSEE مجتمع طلای زرشوران، ریسک‌های زیست‌محیطی کارخانه را کنترل می‌کند اما گاهی این سیستم‌های کنترلی کارایی لازم را ندارند. مثلاً باید به عدم کارایی فیلتربگ‌ها در واحدهای آسیاب و یا سنگ‌شکن به دلیل نگهداری و تعمیرات (نت)^۱ نامناسب آن‌ها و نیز به عدم تر بودن سیستم اسکرابر اتاق طلا اشاره نمود. علی‌رغم خوردگی بالای تجهیزات کارخانه بخصوص در هیدروسیکلون‌های واحد آسیاب و مخازن واحد اکسیداسیون، متأسفانه برنامه جامعی در کارخانه فرآوری طلای زرشوران جهت مدیریت نگهداری و تعمیرات سیستم وجود ندارد و عدم وجود این سیستم نت علاوه بر کاهش بهداشت سیستم، کاهش عمر آن در برنامه ۵۰ ساله و در نتیجه افزایش ضایعات تجهیزات را در بر خواهد داشت.

با این توضیحات فهرست مهم‌ترین آثار زیست‌محیطی ناشی از استحصال طلای زرشوران در محیط این کارخانه را می‌توان به شرح جدول ۳-۴ فهرست نمود.

۳-۳-۴. ریسک‌های زیست‌محیطی واحد سد و باطله‌های فرآوری

در این واحد علاوه بر غبارهای آلوده به گازها و فلزات سنگین انتشار یافته از فرآیندهای کارخانه، منشأ آلوده‌کننده آب‌و خاک به‌صورت پالپ خروجی از آخرین مخزن لچینگ وجود دارد. به شرحی که در فصل سوم آمد، این پالپ جهت خشک شدن ابتدا با نیروی پرس و سپس عبور از فیلترها در واحد فیلتراسیون با رطوبت حداکثری ۳۰ درصدی وارد مجموعه شده و در سد باطله دپو و به کمک آبگیر این سد تا حد ممکن در حالت اشباع نگه داشته می‌شوند.

¹ Maintanance

هر چند اخیراً مجتمع طلای زرشوران با توسعه سد باطله خود به وسعت ۵۰ هکتار و تکمیل لایه‌سازی زیر فیدرهای خروجی فیلتراسیون از طرفی و با ایجاد سد جمع‌آوری آب‌های سطحی در پایین دست سد باطله، حوضچه‌های تبخیر و سایت پسماند و لایه‌بندی مجموعه به کمک ژئوتکستایل و ژئوممبران از طرف دیگر تا حد قابل قبولی شدت ریسک‌های انتشار سیانور و دیگر آلاینده‌ها به آب‌و خاک محیط پیرامون را کاهش داده است؛ اما حذف کامل این منابع آلوده‌کننده ممکن نیست چرا که در ابتدای راه‌اندازی کارخانه و عدم تکمیل لایه‌های زیرسازی، بنابر نتایج تحقیقات ذکر شده در سابقه علمی تحقیق، آب‌و خاک محیط به سیانور و فلزات سنگین آلوده شده و بخارات آلوده به سیانور و ذرات معلق از محدوده سد انتشار محیطی دارند و از طرفی دیگر مخاطرات طبیعی مانند سیل، زمین‌لرزه و لغزش زمین، علی‌رغم مطالعات زمین‌شناسی در انتخاب محل سد، ممکن است باعث خرابی سد باطله و گسترش سیانور و فلزات سنگین در پایین دست مجتمع شوند. اهمیت این موضع با توجه به نزدیکی باغات روستای ینگ‌ی‌کند (شکل ۴-۵) و فاصله ۵۰۰ متری روستای ینگ‌ی‌کند به سد باطله (شکل ۴-۶) دوچندان می‌شود.



شکل ۴-۵. مماس بودن باغات روستا با سد باطله مجتمع طلای زرشوران

(محدوده شمال شرقی سد باطله: ۱. حوضچه تبخیری ۲، ۲. سد باطله ۸ هکتاری، ۳. یکی از باغات و حوض‌های آب مردم روستای قینرجه)



شکل ۴-۶. همجواری روستای ینگ‌ی‌کند با محدوده سد باطله فرآوری مجتمع طلای زرشوران

(محدوده جنوبی سد باطله فرآوری: ۱. حوضچه تبخیری شماره ۱، ۲. دیوار مجتمع، ۳. روستا. با توجه به مقیاس خطی نقشه، فاصله روستای ینگ‌ی‌کند با مجموعه سد باطله حدود ۵۰۰ متر است.)

به‌طور کلی، مهم‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی مرتبط با سدهای باطله فرآوری عبارتند از [۴]:

- اثر بصری مربوط به ساختارهای بزرگ مهندسی؛
- پایداری ساختار سد و امکان رها شدن باطله فرآوری به محیط ناشی از شکست سیستم و نشت از سد؛
- ناتوانی در پوشش دوباره گیاهی محدوده پس از بسته‌شدن معدن؛
- آلودگی هوا و خاک در اثر تولید غبار و استنشاق ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون یا انتقال آن‌ها به گیاهان منطقه و اسیدی شدن خاک به علت انحلال و هوازگی این غبارها؛
- تراوش از خاک‌ریزها و قاعده سدهای باطله فرآوری به آب‌های سطحی و زیرزمینی.

در بحث ریسک‌های زیست‌محیطی سد باطله باید به ریسک جورش‌دگی هیدرولیکی^۱ نیز اشاره داشت. بنابر مکانیسم جورش‌دگی هیدرولیکی، ذرات جامد باطله فرآوری درشت‌دانه در نزدیکی محل تخلیه و ذرات ریزدانه به طرف سرریز حوضچه سرازیر می‌شوند. این نحوه توزیع، سبب افزایش هدایت هیدرولیکی توده باطله فرآوری شده که عمیق‌تر شدن سطح آب زیرزمینی در نزدیکی دیواره سد را موجب می‌شود.

محدوده مجموعه سد باطله فرآوری و حوضچه‌های مجتمع طلای زرشوران به طور کامل با رعایت استانداردهای حراستی حصار کشی شده و ورود افراد بدون مجوز به آن ممکن نیست. به‌علاوه ورود پستانداران به این مجموعه امکان‌پذیر نیست. اما پرندگان به‌صورت گروهی در اطراف حوضچه‌های تبخیری تجمع دارند که ممکن است جمعیت آن‌ها به علت تجمع آلاینده‌ها در این مجموعه تغییر یابد.

با این توضیحات می‌توان ریسک‌های این واحد را بدین‌صورت نام برد:

- تغییر چشم‌انداز منطقه به دلیل فضای بالای حاوی باطله،
- کاهش زمین طبیعی و کاهش پوشش گیاهی ناشی از آن،
- کاهش احتمال پوشش دوباره گیاهی به طور مناسب پس از پایان معدن‌کاری،
- نشت از سد باطله، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه،
- کاهش سطح ایستایی آب، نفوذ فلزات سنگین و سیانیدها به آب‌و‌خاک،
- آلودگی هوا ناشی از انتشار سیانور و ذرات معلق، پراکنش مواد ریزدانه از سطح سد باطله،
- تخریب زیستگاه‌های حیوانات و پرندگان و آلودگی‌های ناشی از اکسایش و انحلال غبارها.

ریسک‌های واحد مجموعه سد باطله فرآوری در جدول ۴-۵ فهرست شده‌اند.

¹ The hydraulic sorting

جدول ۳-۴. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در معدن طلای زرشوران

سطح ۱: واحدها	سطح ۲: حوزه محیطی	کد ریسک H_a	سطح ۳: عنوان ریسک
	خاک	MIN-SOI-01	حجم بالای عملیات معدنی و برهم زدن زندگی انسان‌ها و دیگر موجودات منطقه
		MIN-SOI-02	حجم بالای باطله‌برداری و احتمال تغییر چشم‌انداز و منظر منطقه
		MIN-SOI-03	حجم بالای باطله‌برداری و احتمال تغییرات در واحدهای ژئومورفولوژیک
		MIN-SOI-04	حجم بالای باطله‌برداری و احتمال تغییرات در فرآیندهای ژئومورفولوژیک
		MIN-SOI-05	موقعیت نامناسب دپوهای باطله و افزایش گسترش آلاینده‌ها در خاک منطقه
		MIN-SOI-06	هوازدهی نامحدود باطله‌های سولفیدی و تولید زهاب اسیدی و آلودگی خاک
		MIN-SOI-07	روبره‌برداری و احتمال کاهش خاک نباتی و عدم برنامه برای استفاده مجدد از خاک
		MIN-SOI-08	شیب تند دمپ‌های باطله و عدم امکان گیاه‌پالایی و فرسایش بیشتر دامپ‌ها
		MIN-SOI-09	انحلال کانی‌های ثانویه و احتمال رهاسازی عناصر سمی به‌ویژه آرسنیک در خاک منطقه
		MIN-SOI-10	احداث جاده‌های دسترسی و احتمال از بین رفتن خاک نباتی
		MIN-SOI-11	فعالیت ماشین‌های معدنی در مراحل اکتشاف، استخراج و انتقال و انتشار آلاینده
		MIN-SOI-12	اتمام عملیات معدنی و رها سازی احجام عظیم باطله، راه‌های دسترسی و پیت‌ها
واحد معدن کد: MIN	آب	MIN-WAT-01	حجم بالای عملیات خاکی و از بین رفتن تعادل طبیعی آب و تغییرات در آب‌خوان‌ها
		MIN-WAT-02	هوازدهی نامحدود کانسنگ و تولید زهاب اسیدی در معدن و آلودگی آب
		MIN-WAT-03	هوازدهی نامحدود باطله‌های سولفیدی و تولید زهاب اسیدی و آلودگی آب
		MIN-WAT-04	تشکیل کانی‌های ثانویه و گسترش آرسنیک و فلزات سنگین در آب منطقه
		MIN-WAT-05	شیب تند منطقه در بالادست حوزه آبریز زرينه‌رود و احتمال گسترش زهاب اسیدی در رودخانه‌های حوزه زرينه‌رود
		MIN-WAT-06	شیب تند منطقه در بالادست حوزه آبریز زرينه‌رود و احتمال آرسنیک و فلزات سنگین در رودخانه‌های حوزه زرينه‌رود
		MIN-WAT-07	تجمع فلزات سنگین در حوزه آبریز زرينه‌رود به دلیل معادن فلزی متعدد
هوا		MIN-AIR-01	فعالیت ماشین‌های معدنی در مراحل اکتشاف، استخراج و انتقال و انتشار CO2
		MIN-AIR-02	برخاستن آرسنیک و فلزات سنگین از روی دامپ‌های باطله و انتشار در هوا
		MIN-AIR-03	فعالیت آتش‌باری و احتمال انتشار گردوغبار نیتروآکسید و NOx ها در هوا
		MIN-AIR-04	حضور ماشین‌آلات سنگین در مراحل معدن‌کاری و آلودگی صوتی ناشی از آن‌ها
موجودات زنده		MIN-LIV-01	حجم بالای عملیات معدنی در مراحل مختلف و کاهش پوشش گیاهی
		MIN-LIV-02	از بین رفتن گیاهان بومی به علت عملیات معدنی و کاهش تنوع گیاهی
		MIN-LIV-03	نشست غبارها روی گیاهان و احتمال تداخل فرآیند فتوسنتز در آن‌ها
		MIN-LIV-04	شیب بالای ۳۰ درجه دامپ‌ها و عدم امکان اجرای گیاه‌پالایی روی آن‌ها
		MIN-LIV-05	فعالیت‌های معدنی و احتمال کاهش جمعیت جانوران و تنوع زیستی

جدول ۴-۴. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در محیط کارخانه طلای زرشوران

سطح ۱: واحدها	سطح ۲: حوزه محیطی	کد ریسک H_a	سطح ۳: عنوان ریسک
واحد کارخانه کد: FAC	خاک	FAC-SOI-01	احداث فضای ۱۳۹ هکتاری صنعتی و احتمال تغییر چشم‌انداز و منظر منطقه
		FAC-SOI-02	وجود آرسنیک در خوراک فرایندها و احتمال نفوذ آن به خاک منطقه
		FAC-SOI-03	وجود فلزات سنگین در خوراک فرایندها و احتمال نفوذ آن به خاک منطقه
		FAC-SOI-04	استفاده از اسیدها در فرایندهای فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به خاک منطقه
		FAC-SOI-05	استفاده از قلیاکننده‌ها در فرایندهای فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به خاک
		FAC-SOI-06	وجود سولفورها در فرایندها و احتمال نفوذ باران اسیدی به خاک منطقه
		FAC-SOI-07	استفاده از سیانور در لچینگ و احتمال نفوذ سیانور به خاک منطقه
		FAC-SOI-08	تولید پسماند در فرایندهای کارخانه و احتمال نفوذ آن‌ها به خاک منطقه
		FAC-SOI-09	خرابی تجهیزات و افزایش ضایعات تولیدی و احتمال نفوذ به خاک
		FAC-SOI-10	رها سازی حجم عظیمی از تجهیزات صنعتی پس از اتمام ذخیره کارخانه
	آب	FAC-WAT-01	آب‌بر بودن فرایندهای کارخانه و احتمال ایجاد تنش آبی در منطقه
		FAC-WAT-02	وجود آرسنیک در خوراک فرایندها و احتمال نفوذ آن به آب منطقه
		FAC-WAT-03	وجود فلزات سنگین در خوراک فرایندها و احتمال نفوذ آن به آب منطقه
		FAC-WAT-04	استفاده از اسیدها در فرایندهای فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به آب منطقه
		FAC-WAT-05	استفاده از قلیاکننده‌ها در فرایندهای فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به آب منطقه
		FAC-WAT-06	وجود سولفورها در فرایندها و احتمال نفوذ باران اسیدی به آب منطقه
		FAC-WAT-07	استفاده از سیانور در لچینگ و احتمال نفوذ سیانور به آب منطقه
	هوا	FAC-AIR-01	ایجاد گردوغبار در طول فرایندها و احتمال گسترش آرسنیک در منطقه
		FAC-AIR-02	ایجاد گردوغبار در طول فرایندها و احتمال گسترش فلزات سنگین در منطقه
		FAC-AIR-03	استفاده از مازوت در سوخت ژنراتورها و احتمال آلودگی هوای منطقه
		FAC-AIR-04	وجود ذرات معلق در فرایندها و احتمال نفوذ آن‌ها به هوای منطقه
		FAC-AIR-05	انتشار بخارات و گازهای خروجی از فرایندها و احتمال نفوذ آن‌ها به هوای منطقه
		FAC-AIR-06	انتشار یون‌های فلزی در بخارات آب در کارخانه فرآوری طلای زرشوران
		FAC-AIR-07	انتشار اکسید نیتروژن و گوگرد در فرایندهای اتاق طلا
		FAC-AIR-08	تراز بالای صوتی تجهیزات واحدهای فرآوری و ایجاد آلودگی صوتی
		FAC-AIR-09	انتشار گاز HCN در کارخانه و احتمال سمی شدن هوای محیط
	انسان	FAC-LIV-01	صدای بالای تجهیزات کارخانه و احتمال کاهش شنوای پرسنل
		FAC-LIV-02	گسترده‌گی فلزات سنگین در خوراک کارخانه و احتمال تنفس آن توسط انسان
		FAC-LIV-03	وجود غبارهای آرسنیک در خوراک کارخانه و افزایش احتمال سرطان در انسان
		FAC-LIV-04	انتشار گاز سمی HCN و احتمال بی‌هوشی یا مسمومیت پرسنل
		FAC-LIV-05	ارتعاش و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و احتمال ایجاد آسیب و بیماری
		FAC-LIV-06	استفاده از هیدرازین در اتاق طلا و احتمال ایجاد تحریکات و بیماری در انسان
		FAC-LIV-07	کار با اسیدها و احتمال ایجاد آسیب و بیماری برای پرسنل

جدول ۴-۵. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در محیط سد باطله فرآوری طلای زرشوران

سطح ۱: واحدها	سطح ۲: حوزه محیطی	کد ریسک H_a	سطح ۳: عنوان ریسک
واحد باطله فرآوری کد: TAI	خاک	TAI-SOI-01	احداث فضای ۵۰ هکتاری مجموعه سد و احتمال تغییر چشم‌انداز و منظر منطقه
		TAI-SOI-02	احتمال نشت آلاینده‌ها به خاک به علت شکستن لوله‌ها
		TAI-SOI-03	احتمال نشت آلاینده‌ها به خاک به علت شکستن سد
		TAI-SOI-04	دپوی باطله‌های فرآوری در محدوده‌ای وسیع و کاهش احتمال پوشش گیاهی دوباره
		TAI-SOI-05	انحلال مجدد و هوازگی غبارها در خاک منطقه ناشی از تهنشست آن‌ها
		TAI-SOI-06	احداث مجموعه و کاهش خاک مناسب و کاهش پوشش گیاهی ناشی از آن
		TAI-SOI-07	کاهش خاک مناسب و پوشش گیاهی به دلیل انحلال مجدد غبارها در خاک
		TAI-SOI-08	وجود سایندها در باطله فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به خاک
		TAI-SOI-09	وجود فلزات سنگین در باطله فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به خاک
	آب	TAI-WAT-01	احداث مجموعه و برهم زدن سیستم‌های طبیعی زهکش ناشی از آن
		TAI-WAT-02	احتمال نشت آلاینده‌ها به آب به علت شکستن لوله‌ها
		TAI-WAT-03	احتمال نشت آلاینده‌ها به آب به علت شکستن سد
		TAI-WAT-04	خاصیت جورشدهگی هیدرولیکی در باطله فرآوری و تغییر سطح ایستایی آب
		TAI-WAT-05	وجود سایندها در باطله فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به آب
		TAI-WAT-06	وجود فلزات سنگین در باطله فرآوری و احتمال نفوذ آن‌ها به آب
		TAI-WAT-07	گسترش آلاینده‌ها از آب منطقه به حوزه آبریز زربنه‌رود
	هوا	TAI-AIR-01	احداث مجموعه و احتمال گسترش غبارها در هوا
		TAI-AIR-02	وجود سیانور در باطله و احتمال نفوذ آن به هوای منطقه
		TAI-AIR-03	وجود فلزات سنگین در باطله و احتمال نفوذ آن به هوای منطقه
		TAI-AIR-04	وجود ذرات معلق در باطله و احتمال نفوذ آن به هوای منطقه
	پرندهگان	TAI-LIV-01	حضور پرندهگان در مجموعه و احتمال تغییرات جمعیتی در آن‌ها

۴-۴. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران

ریسک‌های فهرست شده در بخش ۴-۳، در سه سطح فهرست شده بودند. در صورت گسترش این سه سطح به پنج سطح، انتظار می‌رود تعداد ریسک‌ها بالغ بر ۳۰۰ ریسک شود که برای ارزیابی کیفی آن‌ها روش‌های ارزیابی کیفی، جهت اجرای روزانه عملیات برنامه مدیریت ریسک، کافی خواهد بود. با توجه به محاسبات طولانی روش PFVIKOR فهرست ریسک‌های سه سطحی شناسایی شده در بخش ۴-۳، در ریسک‌های یک سطحی به گونه‌ای دسته‌بندی شده‌اند که همه ریسک‌های شناسایی شده را پوشش دهند. به عنوان مثال همه ریسک‌های احتمال گسترش آرسنیک در محیط خاک، آب و هوای محیط متأثر در واحدهای معدن، فرآوری و سد باطله به ریسک یک سطحی "احتمال نفوذ آرسنیک در

محیط منطقه "جهت ارزیابی کمی تجمع شده‌اند. نتیجه این تجمع یک سطحی، به‌عنوان ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران در ۱۶ ریسک مطابق جدول ۴-۶ آمده است که مبنای ارزیابی و کمی‌سازی آن‌ها در ادامه این پژوهش خواهد بود.

جدول ۴-۶. فهرست ریسک‌های تجمع شده جهت کمی‌سازی آن‌ها

عنوان ریسک	کد RP_z	کد H_a ریسک‌های گروه (حوزه تأثیر)
حجم بالای باطله‌ها و احتمال تغییر چشم‌انداز و منظر منطقه	RP_1	MIN-SOI-02 .MIN-SOI-01 .FAC-SOI-01 .TAI-SOI-01 .MIN-SOI-05
حجم بالای باطله‌برداری و احتمال تغییرات در واحدهای ژئومورفولوژیک	RP_2	MIN-SOI-04 .MIN-SOI-03
از بین رفتن تعادل طبیعی آب، سیستم‌های طبیعی زهکش، تشکیل زهاب اسیدی و باران اسیدی ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری	RP_3	MIN-SOI-06 .MIN-WAT-01 .MIN-WAT-02 .FAC-WAT-06 .MIN-WAT-05 .MIN-WAT-03 .TAI-WAT-01 .TAI-WAT-03 .TAI-WAT-04 .TAI-SOI-01 .FAC-SOI-02 .TAI-WAT-02 .WAT-07
ایجاد تغییر در pH آب ناشی از معدن‌کاری	RP_4	FAC-SOI-04 .FAC-SOI-01 .FAC-WAT-06 .FAC-SOI-01 .FAC-SOI-04 .FAC-WAT-07 .WAT-05
احتمال نفوذ آرسنیک به محیط منطقه، تشکیل کانی‌های ثانویه، گسترش در حوزه آبریز و ایجاد بیماری برای انسان به دلیل معدن‌کاری و فرآوری طلای زرشوران	RP_5	FAC-SOI-09 .MIN-SOI-09 .FAC-SOI-02 .FAC-WAT-06 .FAC-SOI-02 .MIN-SOI-09 .MIN-AIR-01 .AIR-01 .MIN-WAT-04 .FAC-LIV-03 .TAI-SOI-02 .TAI-SOI-03 .TAI-SOI-03 .TAI-SOI-02 .MIN-WAT-06 .FAC-AIR-01 .TAI-AIR-04 .TAI-WAT-02 .WAT-03 .FAC-AIR-01 .01
احتمال نفوذ فلزات سنگین به محیط منطقه، تشکیل کانی‌های ثانویه، گسترش در حوزه آبریز و ایجاد بیماری برای انسان ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	RP_6	FAC-SOI-03 .FAC-SOI-01 .FAC-AIR-01 .FAC-WAT-06 .FAC-SOI-03 .TAI-AIR-03 .TAI-WAT-06 .TAI-SOI-09 .LIV-02 .TAI-SOI-03 .TAI-SOI-02 .MIN-WAT-07 .TAI-AIR-01 .TAI-SOI-05 .TAI-WAT-02 .WAT-03 .FAC-AIR-01 .FAC-AIR-01 .FAC-AIR-01 .04
احتمال نفوذ سیانور به محیط منطقه، گسترش در حوزه آبریز و ایجاد بیماری برای انسان ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	RP_7	TAI-SOI-03 .FAC-SOI-03 .FAC-WAT-06 .FAC-SOI-03 .TAI-WAT-05 .TAI-SOI-08 .SOI-03 .FAC-LIV-04 .FAC-AIR-01 .02
ایجاد گردوغبار نیتراتی ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلا	RP_8	MIN-AIR-03
ایجاد گردوغبار ناشی از ماشین‌آلات معدنی و تولیدی	RP_9	FAC-AIR-01 .MIN-AIR-01 .MIN-SOI-11
آلودگی صوتی و دیگر عوامل زیان‌آور ناشی از معدن‌کاری و معدن‌کاری و فرآوری	RP_{10}	FAC-AIR-01 .MIN-AIR-04 .FAC-LIV-05 .FAC-AIR-01 .LIV-01
کار با اسیدها و مواد شیمیایی ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلا	RP_{11}	FAC-AIR-01 .FAC-LIV-06 .FAC-LIV-07
حجم بالای پسماندهای غیرفرآیندی ناشی از معدن‌کاری و فرآوری	RP_{12}	FAC-SOI-06 .FAC-SOI-04 .FAC-SOI-05
کاهش خاک نباتی و پوشش و تنوع گیاهی ناشی از معدن‌کاری و فرآوری طلای زرشوران	RP_{13}	MIN-SOI-07 .MIN-SOI-07 .TAI-SOI-07 .MIN-SOI-07 .TAI-SOI-04 .MIN-LIV-03 .MIN-LIV-02 .LIV-01 .TAI-SOI-05 .TAI-SOI-06
محدودیت‌های ایجاد شده برای اجرای گیاه‌پالایی	RP_{14}	MIN-SOI-12 .MIN-SOI-06
کاهش جمعیت جانوران به علت فعالیت‌های معدنی	RP_{15}	TAI-LIV-01 .MIN-LIV-04
حجم بالای عملیات معدنی و برهم زدن زندگی انسان‌ها و موجودات	RP_{16}	MIN-SOI-01

- سطح (۱) نیاز به اقدام فوری
- سطح (۲) تهیه برنامه اصلاحی
- سطح (۳) پایش مستمر

برای اختصاص هر ریسک در یک سطح واکنشی، شاخص‌های ویکور ریسک‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. به این شرح که ریسکی که کمترین مقادیر S_a, R_a, Q_a را دارد بالاترین رتبه و برعکس ریسک با بیشترین مقادیر در شاخص‌های ویکور، کمترین رتبه را در برنامه واکنشی خواهند داشت. ریسک‌های بین این دو نیز به عنوان ریسک‌هایی که نیاز به برنامه اصلاحی دارند، دسته‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال در مجموعه ریسک‌های PR_1 چشم‌انداز ناشی از احداث کارخانه و سد باطله بالاترین رتبه‌ها را دارند.

در این پژوهش برای ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی شناسایی شده در مجتمع طلای زرشوران، با توجه به اینکه بسیاری از ریسک‌های شناسایی شده در هر سه محیط خاک، آب و هوا تأثیرگذار خواهند بود، ساختار شکست یک سطحی مذکور در جدول به عنوان یک ریسک PR در نظر گرفته شده و با این ساختار شکست یک سطحی، محاسبات ۵ مرحله‌ای روش PFVIKOR اجرا شده است. با تفکیک برنامه واکنشی به ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران، جدول نهایی به صورت جدول ۴-۲۸ خواهد بود. در این جدول سطح واکنش به ریسک در سه سطح واکنشی مذکور تفکیک شده و مهم‌ترین برنامه‌های پیشنهادی برای واکنش به آن‌ها پیشنهاد شده است.

برنامه‌های پیشنهادی برای ریسک‌های نیازمند اقدام فوری عبارتند از اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های بازسازی معدن همزمان با معدن‌کاری، تعیین محل جدید دیوهای باطله، گیاه‌پالایی، سیستم زهکش با گرانول‌های آهکی پرعیار، تثبیت شیمیایی و فیزیکی باطله‌ها، کاهش شیب دامپها و خنثی‌سازی زهاب اسیدی. در سطح برنامه اصلاحی هم به دفن مناسب پسماندها و ضایعات، تفکیک باطله‌ها، پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریتی برای نگهداری و تعمیرات کارخانه و ماشین‌آلات، گردش شغلی نیروها، آموزش‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی اشاره شده است. پایش مستمر آلاینده‌ها، آب‌پاشی مستمر مسیرهای تردد و اجرای پژوهش‌های زیستی و زمین‌شناسی پزشکی در واحد طرح و توسعه نیز از جمله برنامه‌های واکنشی پیشنهادی در سطح سوم هستند.

جدول ۴-۲۸. فهرست ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع زرشوران بر حسب اولویت واکنش

سطح واکنش	عنوان ریسک	اقدام کنترلی پیشنهادی
۱	حجم بالای باطله‌ها و احتمال تغییر چشم‌انداز و منظر منطقه	تعیین محل جدید برای دپوها، گیاه‌پالایی
۱	حجم بالای باطله‌برداری و احتمال تغییرات در واحدهای ژئومورفولوژیک	دپوی باطله‌ها در محدوده تراورتن‌دار مجتمع، شروع گیاه‌پالایی
۱	از بین رفتن تعادل طبیعی آب، سیستم‌های طبیعی زهکش، تشکیل زهاب اسیدی و باران اسیدی ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری	زهکشی با مصالح آهکی، ممانعت از راکد ماندن آب، استفاده از روش‌های خنثی‌سازی زهاب اسیدی
۱	ایجاد تغییر در pH آب ناشی از معدن‌کاری	زهکشی، پایش مستمر
۱	احتمال نفوذ آرسنیک به محیط منطقه، تشکیل کانی‌های ثانویه، گسترش در حوزه آبریز و ایجاد بیماری برای انسان به دلیل معدن‌کاری و فرآوری طلای زرشوران	استفاده از پوشش باطله‌ها، زهکشی، استفاده از پساب لبنیات، پایش سد و باطله‌ها
۱	احتمال نفوذ فلزات سنگین به محیط منطقه، تشکیل کانی‌های ثانویه، گسترش در حوزه آبریز و ایجاد بیماری برای انسان ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	استفاده از پوشش باطله‌ها، زهکشی، استفاده از پساب لبنیات، پایش سد و باطله‌ها
۱	احتمال نفوذ سیانور به محیط منطقه، گسترش در حوزه آبریز و ایجاد بیماری برای انسان ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	استفاده از پوشش باطله‌ها، زهکشی، استفاده از پساب لبنیات، پایش سد و باطله‌ها
۱	محدودیت‌های ایجاد شده برای اجرای گیاه‌پالایی	کاهش شیب دامپ‌های باطله
۲	ایجاد گردوغبار نیتراتی ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	نت مستمر فیلتر بگ‌ها، اسکرابرها و سیستم‌های تهویه، نصب اینترلاک در اسکرابر
۳	آلودگی صوتی و دیگر عوامل زیان‌آور ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	کاهش زمان حضور پرسنل و گردش شغلی، نصب آلام‌های تجهیزات و آتش باری
۲	کار با اسیدها و مواد شیمیایی ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	استفاده کامل از تجهیزات حفاظت فردی و آموزش MSDS مواد و دفن در محل پسماند
۲	حجم بالای پسماندهای غیرفرآیندی ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	دفن در سایت پسماند و پایش مستمر سایت
۲	کاهش خاک نباتی و پوشش و تنوع گیاهی ناشی از معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	دپوی جداگانه خاک نباتی، همزمانی معدن‌کاری با گیاه‌پالایی
۳	ایجاد گردوغبار ناشی از ماشین‌آلات معدن‌کاری و استحصال طلای زرشوران	آب‌پاشی مستمر مجتمع و مسیرهای تردد
۳	کاهش جمعیت جانوران به علت فعالیت‌های معدنی	انجام پژوهش‌های زیستی در واحد R&D
۳	حجم بالای عملیات معدنی و برهم زدن زندگی انسان‌ها و دیگر موجودات منطقه	انجام پژوهش‌های زیستی در واحد R&D

۴-۷. نتایج ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران

در ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران، ابتدا ۲۹ ریسک در واحد معدن، ۳۳ ریسک در واحد فرآوری و ۲۱ ریسک در واحد سد باطله فرآوری (مجموعاً ۸۳ ریسک) شناسایی شده و سپس این ریسک‌ها در ساختار شکستی یک سطحی، مطابق فهرست جدول ۴-۶، به کمک گام‌های روش PFVIKOR آنالیز و پس از آن با تعریف برنامه واکنشی در سه سطح، ارزیابی شدند. نتایج این فهرست اولویت‌بندی شده در جدول ۴-۲۸ ارائه شد. این فهرست نشان می‌دهد که دامپ‌های ایجاد شده ناشی از باطله‌برداری، عامل ایجاد بسیاری از ریسک‌های زیست‌محیطی این مجتمع هستند چرا که با تأثیر بر حوزه‌های محیطی خاک، آب، هوا و موجودات زنده عامل ایجاد پیامدهایی چون تغییرات در چشم‌اندازها، در واحدهای ژئومورفولوژیک (مثل کوه‌ها و حریم رودخانه‌ها) و فرآیندهای ژئومورفولوژیک (مثل سیل و طوفان) می‌شوند. علاوه بر این با توجه به ترکیبات کانسنگ زرشوران و وجود کانی‌های حاوی آرسنیک و دیگر فلزات سنگین در باطله‌ها، دیوهای باطله عامل تشکیل زهاب اسیدی و گسترش فلزات سنگین در خاک، هوا، آب و در پی آن در چرخه زیستی موجودات زنده می‌باشند. دیوی غیراستاندارد این دامپ‌های باطله با توجه به شیب بالای ۳۰٪ در آن‌ها و جانمایی نامناسب به‌صورت پراکنده دره‌ها، احتمال بازسازی مناسب در آینده را نیز کاهش داده است.

به‌کارگیری سیانور و دیگر مواد افزودنی در واحدهای فرآوری از دیگر منشأهای ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران می‌باشند. به‌علاوه صدای ناشی از ماشین‌آلات سنگین معدنی و تجهیزات واحد فرآوری از دیگر عوامل مهم ایجاد آلودگی‌های صوتی در محیط می‌باشند. گردوغبار حاوی مواد سمی ناشی از استخراج کانسنگ و مواد افزودنی و تأثیر عملیات معدنی و فرآوری بر چرخه زیست‌محیطی هر یک به‌گونه‌ای منشأهای ریسک این مجتمع می‌باشند.

مطابق اولویت‌های پیشنهاد شده در جدول ۴-۲۸ نتیجه می‌شود که مجتمع طلای زرشوران جهت مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی مجموعه خود و ممانعت از گسترش آلاینده‌ها در آینده و رعایت توسعه پایدار منطقه، نیازمند طراحی و پیاده‌سازی فوری برنامه‌های بازسازی و گیاه‌پالایی همزمان با فعالیت‌های معدن‌کاری و فرآوری طلای زرشوران است تا به این طریق بتوان به‌صورت مستمر ریسک‌ها را کنترل نموده و از انتشار محیطی آلاینده‌ها بخصوص در روستاهای اطراف و حوزه آبریز زرينه‌رود ممانعت به عمل آورد. بدیهی است در صورت عدم اجرای برنامه‌ی بازسازی و گیاه‌پالایی همزمان با فعالیت‌های جاری مجتمع، مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی و کاهش انتشار فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌های ناشی از این مجتمع در آینده مشکل خواهد بود و حوزه محیطی زرينه‌رود را با چالش‌های زیست‌محیطی فراوانی روبه‌رو می‌سازد.

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱. مقدمه

در این فصل بر اساس فهرست اولویت‌بندی شده ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران (جدول ۴-۲۸)، ابتدا نتایج این فهرست (سطح ریسک‌ها و نوع ریسک‌ها) بیان شده و در ادامه اقدامات کنترلی پیشنهاد شده در این جدول بررسی و فهرستی از پیشنهادهایی جهت بهبود وضع موجود مجتمع طلای زرشوران از نظر زیست‌محیطی ارائه می‌گردد. در پایان پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده در خصوص تکمیل موضوع این پژوهش آمده است.

۵-۲. نتیجه‌گیری

فهرست اولویت‌بندی شده ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران بر حسب اولویت واکنشی در جدول ۴-۲۸ آمد. واکنشهای لازم برای کنترل و مدیریت این ریسک‌ها در سه سطح نیاز به اقدام فوری، نیاز به تهیه برنامه اصلاحی و نیازمند بهبود مستمر اولویت‌بندی شدند. در این بخش نتایج ارزیابی ریسک‌های موضوع این پژوهش در این سه سطح واکنشی بررسی می‌شوند.

سطح ۱) ریسک‌های زیست‌محیطی با اولویت نیاز به اقدام فوری

در این فهرست مشاهده می‌شود که تمامی ریسک‌های موجود در سطح اول، ناشی از ایجاد باطله می‌باشند. همه ریسک‌های این سطح بجز ریسک‌های ناشی از ایجاد باطله فرآوری، از عوامل تغییرات طبیعی ناشی از دپوی باطله‌های معدنی ایجاد می‌گردند. تغییر چشم‌انداز طبیعی و منظر منطقه و ایجاد تغییرات ژئومورفولوژیکی به دلیل حجم بالای باطله‌برداری از این جمله‌اند. همچنین در این سطح، ریسک‌های از بین رفتن تعادل آب و سیستم‌های طبیعی زهکش، تغییر در pH آب، نفوذ آرسنیک و دیگر فلزات سنگین به آب، خاک و هوای منطقه، تشکیل کانی‌های ثانویه و زهاب اسیدی وجود دارند. با تولید باطله فرآوری و دیگر پسماندهای کارخانه و دپوی آن در سد باطله، ریسک‌های دیگری مثل گسترش محیطی سیانور و دیگر مواد سمی حاصل از واحدهای فرآوری در این سطح ایجاد می‌شوند که احتمال گسترش آلودگی به محیط‌زیست منطقه را افزایش می‌دهند.

سطح ۲) ریسک‌های زیست‌محیطی با اولویت نیاز به تهیه برنامه اصلاحی

در این سطح از نتایج (اولویت دوم ارزیابی)، ریسک‌های ارزیابی شده‌ای وجود دارند که منشاء آن‌ها به فعالیت‌های آتش‌باری، ماشین‌آلات معدنی، بکارگیری مواد شیمیایی، تولید پسماندهای غیرفرآیندی و از بین رفتن خاک نباتی در مجتمع برمی‌گردد و انتظار می‌رود با تهیه برنامه‌های اصلاحی مهندسی و ایجاد سیستم‌های مدیریت در حوزه HSE، شدت این ریسک‌ها کاهش یابد.

سطح ۳) ریسک‌های زیست‌محیطی با اولویت نیاز به بهبود مستمر

در سطح سوم فهرست اولویت‌بندی شده ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران، ریسک‌هایی ارزیابی شده‌اند که نیازمند کنترل روزانه و مستمر هستند. ریسک‌هایی مثل ایجاد گردوغبار ناشی از فعالیت ماشین‌آلات معدنی و تجهیزات فرآوری، کاهش جمعیت و تنوع زیستی و سلب آرامش در این سطح‌اند که مدیریت آنها نیازمند کنترل روزانه تجهیزات فنی جهت کاهش عوامل زیان‌آور و مطالعات زیستی و اجتماعی در مجتمع و منطقه جهت ممانعت از کاهش تنوع زیستی و جمعیت جانداران بومی و نارضایتی‌های اجتماعی می‌باشند.

۳-۵. پیشنهادها

۳-۵-۱. پیشنهادهایی برای بهبود وضعیت موجود

با توجه به فهرست اولویت‌بندی شده حاصل از ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران در این پژوهش، مشاهده می‌شود که فعالیت‌های مرتبط با باطله‌برداری از نظر زیست‌محیطی مسئله اول نیازمند کنترل‌های زیست‌محیطی مجتمع طلای زرشوران هستند چرا که با توجه به حجم بالای باطله‌برداری در این معدن، نیاز به اجرای برنامه‌های بازسازی و گیاه‌پالایی همزمان با فعالیت‌های معدن لازم است. علاوه بر توجه به اینکه واحد معدن تا کنون هیچ‌گونه برنامه‌ای برای بازسازی معدن نداشته است، لازم است جهت امکان برنامه‌های بازسازی و گیاه‌پالایی در آینده، شرایطی تعبیه شود تا خاک سطحی و نباتی محدوده در عملیات معدنی و راه‌سازی در محلی مناسب جمع‌آوری شده و برای پوشش دامپ‌های باطله و یا گیاه‌پالایی از آنها استفاده شود.

برای جلوگیری از فرسایش بادی و نفوذ غبارهای حاوی آرسنیک و فلزات سنگین در شرایط جاری، لازم است ابتدا محل مناسب در محدوده با پتانسیل تراورتن (جنوب معدن و پایین دست جاده دسترسی) تعبیه و از ریختن باطله بر روی دامپ‌های موجود ممانعت شود. همچنین جهت واکنش مناسب به این دسته از ریسک‌ها لازم است دامپ‌های موجود و بخصوص دامپ‌های کم‌عيار با خاک و شیب پوشانده شوند.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته در خصوص روش‌های خنثی‌سازی زهاب اسیدی و تشکیل کانی‌های ثانویه، از نتایج این تحقیقات توسط واحد R&D جهت تثبیت شیمیایی و فیزیکی باطله‌ها استفاده شود. مثلاً استفاده از پسماندهای آلی با تزریق تلقیح مصنوعی (مثل پساب کارخانه لبنیات) جهت تشکیل بیوفیلم روی سطح کانی‌های سولفیدی باطله‌ها.

جهت اصلاح فلزات سنگین توسط گونه‌های گیاهی بومی کشت شده در منطقه پیشنهاد می‌شود نسبت به راهکارهای گیاه‌پالایی در پژوهش خانم تربتی و همکاران/ایشان که در آن سه گونه گیاهی ممکن برای تمیز کردن فلزات سنگین از خاک منطقه در مکان‌های آلوده را پیشنهاد شده است، استفاده شود.

جهت جلوگیری از اسیدی شدن آب معدن، لازم است به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که به هیچ وجه آب داخل ترانشه زهکشی جمع نشود و با هدایت آن به سمت پایین دست برای مصرف کارخانه و یا آب‌پاشی مسیرها استفاده گردد و با توجه به ریزدانه بودن سنگ‌ها در پله‌های معدن و عدم ظرفیت طبیعی آن‌ها برای رهاسازی آب و در نتیجه بالا رفتن فشار آب منفذی، زهکشی مستمر از طریق ترانشه پیشنهاد می‌گردد. با عنایت به اینکه معدن کاری نوین در زرشوران حدود ده سال است که آغاز شده، نیاز به برنامه جامع مدیریت زهاب اسیدی یا پیمایش مستمر چاه‌ها و مطالعات هیدروژئولوژی بصورت اولیاتی فوری پیشنهاد می‌شود. لذا نیاز به استقرار گروه هیدروژئولوژی و تجهیز چاه‌های پیمایشی در معدن و مطالعات و اقدامات مستمر و سیستم پایش زهاب اسیدی لازم است. همچنین همزمان با اجرای این برنامه باید با ایجاد کانال‌هایی طولی، که در کف آن‌ها گراول‌های آهکی با عیار بالا قرارداد شده است، در مسیرهایی که در آنها احتمال تشکیل زهاب اسیدی می‌رود، احداث گردد تا از طریق آن زهاب اسیدی خنثی شده و تحت شرایط قلیایی، آرسنیک و فلزات محلول را رسوب دهد.

با توجه به آب‌بر بودن فرآیندهای فرآوری، محدودیت آب در منطقه، جلوگیری از ایجاد تنش آبی و همپوشانی فعالیت‌های آب با گروه مطالعات هیدروژئولوژی، پیشنهاد می‌شود واحد انرژی از بخش HSEE جدا و یا حداقل از نظر سازمانی تقویت شود.

در مستندات واحد HSEE سیستم مدیریت و ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی پیمانکاران مشاهده نشد که پیشنهاد می‌شود پیمانکاران نیز به این برنامه ورود نمایند. همچنین پیشنهاد می‌شود در سیستم‌های موجود، برنامه‌های تشویقی در راستای شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی و مدیریت آن‌ها گنجانده شود. در خصوص نت مناسب سیستم‌های زیست‌محیطی پیشنهاد می‌شود برنامه نت خودگردان و نظافت صنعتی مجموعه مستمراً اجرا شود. نظافت صنعتی علاوه بر بهبود کارایی و عمر سیستم از افزایش پسماندها و ضایعات ممانعت به عمل آورده و نوعی بازرسی است که صحت و سلامت اجزا را تضمین می‌کند. همچنین برنامه نت خودگردان می‌تواند کارایی سیستم‌های ایمنی و بهداشتی و زیست‌محیطی را افزایش دهد چرا که به عنوان مثال در صورت کاهش کارایی بگ فیلترها و یا تر نبودن اسکرابر، سیستم نت و بازرسی مستمر معایب آن‌ها را رفع می‌نماید. به عنوان مثال در برنامه مدیریت نت پیشنهاد می‌شود که با نصب تجهیز اینترلاک روی مدار اسکرابر از اجرای عملیات اسید شویی در واحد

الوشن تا کسب اطمینان از صحت اسکرابر و کارکرد تهویه تر آن ممانعت می‌کند. همچنین در این برنامه پیشنهاد می‌شود که اجرای هر نوع عملیاتی با پرمیت HSEE در ابتدا آغاز شود.

با این توضیحات، جهت بهبود وضع موجود مجتمع طلای زرشوران از نظر زیست‌محیطی و کنترل ریسک‌های زیست‌محیطی مجتمع و ممانعت از انتشار محیطی آلاینده‌ها بخصوص در روستاهای اطراف و حوزه آبریز زرينه‌رود پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد. با این امید که با اجرای این راهکارها چالش‌های آتی زیست‌محیطی در این منطقه کاهش یابد:

- ممانعت از دیوی باطله‌های معدنی در محل‌های موجود با توجه به نحوه دیو، شیب و محل نامناسب آنها؛
- طراحی محل جدید باطله‌های معدنی و دیوی اصولی آنها؛
- طراحی برنامه جامع بازسازی و گیاه‌پالایی و پیاده‌سازی فوری آن در مجتمع؛
- استفاده از گیاه‌پالایی با به‌کارگیری گیاهان بومی جهت تمیز کردن فلزات سنگین از خاک منطقه؛
- اجرای برنامه جامع مدیریت زهاب اسیدی یا پیمایش مستمر چاه‌ها و مطالعات لازم؛
- ایجاد کانال‌هایی طولی در طی مسیر با پوشش کف کانال به وسیله گراول‌های آهکی پرعیار جهت خنثی‌سازی زهاب اسیدی تحت شرایط قلیایی و رسوب آرسنیک و فلزات محلول؛
- جمع‌آوری خاک سطحی و نباتی محدوده در عملیات معدنی و راه‌سازی در محلی مناسب برای استفاده از آن در پوشش دامپ‌های باطله و یا گیاه‌پالایی؛
- تثبیت شیمیایی و فیزیکی باطله‌های معدنی موجود با استفاده از پژوهش‌های جدید به کمک واحد R&D؛
- ممانعت از راکد ماندن آب داخل ترانشه زهکشی با هدایت آن به سمت پایین دست برای مصرف کارخانه و یا آب‌پاشی مسیرها و اجرای سیستم زهکشی مستمر از طریق ترانشه؛
- اجرای پژوهش‌های اجتماعی و مطالعات زمین‌شناسی پزشکی در واحد R&D جهت بررسی تأثیرات معدن‌کاری زرشوران بر سلامت انسان و جانداران منطقه؛
- تقکیک واحد انرژی از بخش HSEE و یا حداقل تقویت آن از نظر سازمانی؛
- مشارکت دادن پیمانکاران در سیستم ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی؛
- برنامه نت خودگردان و نظافت صنعتی مجموعه ؛
- سیستم تشویقی برای مشارکت جمعی در مدیریت ریسک؛

- استقرار و پیاده‌سازی استانداردهای ISO 3100 و HSO 18000 در واحد HSEE.

۵-۳-۲. پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی

در این بخش پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی در خصوص حل مسائل زیست‌محیطی معدن و کارخانه فرآوری طلای زرشوران ارائه می‌شود:

- بررسی تأثیرات آرسنیک بر روی انسان با در نظر گرفتن ویژگی‌های کانسار زرشوران و پیش‌بینی بیماری‌های ناشی از آن؛
- بررسی واکنش‌های خنثی‌کننده زهاب اسیدی در معدن طلای زرشوران؛
- بررسی گازهای خروجی از فرآیندهای کارخانه فرآوری طلای زرشوران؛
- بررسی کانی‌های سولفیدی زرشوران با هدف بررسی چرخه اکسیداسیون آن‌ها؛
- بررسی آب‌های معدنی زرشوران با هدف بررسی اکسایش سولفیدها؛
- بررسی چگونگی جلوگیری از تشکیل زهاب‌های اسیدی زرشوران با بررسی فرآیندهای میکروبی؛
- برآورد میزان تولید زهاب اسیدی در معدن طلای زرشوران و پیش‌بینی مسیر انتشار آن؛
- بررسی درصد فراوانی کانی‌های اصلی در انواع دیپوهای معدن طلای زرشوران؛
- بررسی پوشش و تنوع گیاهی در زرشوران و انتظار طوفان‌های آلوده در آینده؛
- برآورد کربن معادن انتشار یافته در مجتمع طلای زرشوران؛
- بررسی ریسک‌های ژئوپولیسیکی معادن طلای تکاب و تأثیرات اجتماعی آنها؛
- بررسی تأثیرات اجتماعی معدن کاری در شهرستان تکاب؛
- بررسی تأثیرات معادن طلای منطقه بر میراث جهانی تخت سلیمان.

مراجع

- [1] R. R. Tatiya, *Surface and Underground Excavations - Methods, Techniques and Equipment*. 2005.
- [2] علی پور، کرامت الله، *تاریخ زمین شناسی و معدن در ایران*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۳۸۰.
- [3] اچ. کاترینه و و. سکینر، *زمین شناسی و سلامت*، مترجم: پریسا بیروزفر. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۳۹۲.
- [4] B. Lottermoser, *Mine Wastes*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. doi: 10.1007/978-3-642-12419-8.
- [5] J. J. B. M. C. L. S. J T. bulletin Zhou, "Establishing the process mineralogy of gold ores," *Technical bulletin*, Mar. 2004.
- [6] M. S. Prasad, R. Mensah-Biney, and R. S. Pizarro, "Modern trends in gold processing — overview," *Miner Eng*, vol. 4, no. 12, pp. 1257–1277, Jan. 1991, doi: 10.1016/0892-6875(91)90171-Q.
- [7] سید علیزاده گنجی، سید محمد و عزیزی، اصغر، *هیدرومتالورژی طلا*. دانشگاه لرستان، خرم آباد ۱۳۹۶.
- [8] سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، *اطلس زمین شناسی پزشکی ایران*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران ۱۴۰۰.
- [9] اردبیلی، امید و بدری گلولو، نازنین، *ذخایر طلای ایران*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۳۹۵.
- [10] Mike D. Adams, *Gold Ore Processing: Project Development and Operations*, 2nd ed. Elsevier Science, 2016.
- [11] دفتر پایگاه ملی داده های علوم زمین، *گزارش آماری وضعیت طلا در ایران*، تهران، ۱۴۰۱.
- [12] سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، *اطلس ملی نقشه های پتانسیل مواد معدنی ایران*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۳۹۶.
- [13] V. I. Lakshmanan, R. Roy, and B. Gorain, "Gold and Silver Extraction," in *Innovations and Breakthroughs in the Gold and Silver Industries*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 79–110. doi: 10.1007/978-3-030-32549-7_5.
- [14] S. Mahajan, A. Gupta, and R. Sharma, "Bioleaching and Biomining," in *Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future*, Singapore: Springer Singapore, 2017, pp. 393–423. doi: 10.1007/978-981-10-1866-4_13.
- [15] محمدی، فاطمه، معانی جو، محمد، براتی، مهرداد و اروجی، عباس، *ارزیابی اثرات زیست محیطی پراکندگی سیانید در اثر استخراج معدن طلای زرشوران*، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۱۳۹۸.
- [16] A. Műezzinog˘lu, "A Review of Environmental Considerations on Gold Mining and Production," *Crit Rev Environ Sci Technol*, vol. 33, no. 1, pp. 45–71, Jan. 2003, doi: 10.1080/10643380390814451.

- [17] دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، *ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح توسعه کارخانه و سد باطله طلای زرشوران*، تهران، ۱۴۰۰.
- [18] هیلبرگ، سیلک، *زمین شناسی زیست محیطی: معرفی، اساس و عملکرد*، مترجم: هایده دانشمند، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۶.
- [19] S. E. Kesler and A. C. Simon, *Mineral Resources, Economics and the Environment*. Cambridge University Press, 2015. doi: 10.1017/CBO9781139871426.
- [20] L. J. D. Fred G. Bell, *Mining and its Impact on the Environment*. CRC Press, 2006.
- [21] B. G. Lottermoser, "Recycling, Reuse and Rehabilitation of Mine Wastes," *Elements*, vol. 7, no. 6, pp. 405–410, Dec. 2011, doi: 10.2113/gselements.7.6.405.
- [22] دبیری، مینو؛ بشیری، سهاره، آلودگی محیط زیست (هوآ آب خاک صوت)، ویرایش چهارم، نشر آیلا، تهران، ۱۳۹۷.
- [23] هیات وزیران، *آیین نامه ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح ها*، ۱۳۹۰.
- [24] فریدون، غضبان، *زمین شناسی زیست محیطی*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۹۷.
- [25] سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، گزارش تهیه نقشه زمین شناسی زرشوران، ۱۳۸۹.
- [26] شرکت تحقیق و گسترش صنایع معدنی پارس کانی، گزارش پایانی عملیات اکتشاف معدن طلای زرشوران، تکاب، ۱۴۰۰.
- [27] F. Ghazban, A. Parizanganeh, A. Zamani, and S. Baniardalan, "Evaluation of Heavy Metal Contamination of Surface Soils in Zarshouran Gold District, Northwestern Iran," *Int J Environ Res*, vol. 12, no. 6, pp. 843–860, Dec. 2018, doi: 10.1007/s41742-018-0139-2.
- [28] H. Asadi Haroni, "The Zarshuan gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in Iran," Delft University of Technology (TU Delft), Delft, 2000.
- [29] معصومی فر، الهام، علیپور، رضا و طالع فاضل، ابراهیم، *ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت های نوین معدنکاری در روستاهای یار عزیز و زرشوران*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۱۳۹۷.
- [30] مر، فرید، مدبریف، سروش و یعقوب پور، عبدالمجید، *سازوکار انتقال آلاینده های فلزی از کانسار آرسنیک طلای زرشوران تکاب*، هشتمین همایش سالانه انجمن زمین شناسی ایران، ۱۳۸۴.
- [31] کریمی، مهرداد، رخداد کانی گچلیت در کانسار طلا و آرسنیک زرشوران تکاب، *مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران*، vol. 17, no. 2, 1388.
- [32] عباسی، بهنام، ملکی، رامین و پیرخراطی، حسین، *مطالعه تأثیر معدنکاری و استخراج طلا بر میزان آلودگی آب ها به آرسنیک و جیوه در منطقه زرشوران تکاب*، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، vol. 40, no. 10, pp. 37–50, 1396.
- [33] Y. A. Y. and S. Modabberi. Rahimsouri, "Geochemical distribution of arsenic, antimony and mercury in surface waters and bed sediments from Aq-Darreh river, Takab, northwest Iran.," *ournal of Environmental Science and Water Resources* 2.3, vol. 3, no. 2, pp. 57–88, 2013.

- [34] گروه هیدروژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، *اطلس هیدروژئوشیمی استان آذربایجان غربی*، تهران، ۱۳۹۸.
- [35] بالی، علی و بهمن پور، آرش، نقشه پراکنش مناطق چهارگانه و شکارممنوع سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۱.
- [36] سازمان حفاظت محیط‌زیست، دفتر ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، *دستورالعمل تخصصی مطالعات ارزیابی آثار و پیامدهای زیست‌محیطی معدنکاری و فرآوری طلا*، نشر کلام ماندگار، تهران، ۱۳۹۹.
- [37] دفتر مطالعات زیر بنایی معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مجلس شورای اسلامی، *توسعه پایدار در بخش معادن و صنایع معدنی، (بخش ۲) بررسی قوانین و مقررات محیط زیستی حاکم بر فعالیت‌های معدنی*، تهران، ۱۳۹۷.
- [38] A. Karbassi, T. Nasrabadi, M. Rezai, and S. Modabberi, "POLLUTION WITH METALS (As, Sb, Hg, Zn) IN AGRICULTURAL SOIL LOCATED CLOSE TO ZARSHURAN GOLD MINE, IRAN," *Environ Eng Manag J*, vol. 13, no. 1, pp. 115–120, 2014, doi: 10.30638/eemj.2014.014.
- [39] S. Modabberi and F. Moore, "Environmental geochemistry of Zarshuran Au-As deposit, NW Iran," *Environmental Geology*, vol. 46, no. 6–7, pp. 796–807, Oct. 2004, doi: 10.1007/s00254-004-1065-5.
- [40] موسوی، سیده پریسا، مختاری، میرعلی اصغر، خسروی، یونس، رفیعی، علی و حسین زاده، رضا، *بررسی آلودگی زیست‌محیطی رسوبات آبراه‌های به عناصر سنگین در منطقه زرشوران - آغدره (شمال تکاب)*، نشریه علوم آب و خاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی vol. 2, no. 22, pp. 127–141, 1396.
- [41] م. حسینی نژاد، *ارزیابی آلودگی فلز سنگین جیوه در رسوبات معدن طلای زرشوران-تکاب، اولین همایش زیست‌شناسی و علوم زمین*، ۱۴۰۰.
- [42] بهرامی، عطاالله، علی قارداشی، ابوالقاسم، پرویزیان، آرمین، کاکایی، حسین و کاظمی، فاطمه، "بررسی فرایند حذف سیانید از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران با استفاده از ذغالسنگ (بررسی موردی)"، فصلنامه علوم محیطی، vol. 2, no. 16, pp. 133–148, 1397.
- [43] M. K. Poshtegal and S. A. Mirbagheri, "The Heavy Metals Pollution Index and Water Quality Monitoring of the Zarrineh River, Iran," *Environmental and Engineering Geoscience*, vol. 25, no. 2, pp. 179–188, May 2019, doi: 10.2113/EEG-1996.
- [44] R. Sharifi, F. Moore, and B. Keshavarzi, "Potential health risks of arsenic, antimony and mercury in the Takab geothermal field, NW Iran," *International Journal of Environmental Studies*, pp. 1–19, Jun. 2014, doi: 10.1080/00207233.2014.919734.
- [45] S. Torbati, S. Esmailbegi Kermani, and A. Abedini, "Remediation of heavy metals by native plant species grown in Iran's richest gold mine and study of plants' pollution tolerance strategies," *Front Earth Sci (Lausanne)*, vol. 12, Mar. 2024, doi: 10.3389/feart.2024.1304497.

- [46] S. Lezak, C. Wilson, A. Ansar, and M. Bazilian, "The case against gold mining," *Environmental Research Letters*, vol. 18, no. 1, p. 011001, Jan. 2023, doi: 10.1088/1748-9326/ac9f26.
- [47] صیادی، احمد رضا، منجزی، مسعود، و شریفی، محمد رضا، ارائه رویکردی جهت ارزیابی ریسک در معادن روباز با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS و FAHP، نشریه علمی-پژوهشی روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، vol. 6, pp. 45–58, 1392.
- [48] مقصودی، منیژه، مطالعات اجتماعی در معدن طلا، اندیشه احسان، تهران، ۱۴۰۱.
- [49] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، راهنمای ملاحظات زیست محیطی در فعالیتهای، اکتشافی (نشریه شماره ۴۹۸)، تهران، ۱۳۸۸.
- [50] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، راهنمای ملاحظات زیست محیطی در فعالیت های استخراجی (نشریه شماره ۶۱۱)، تهران، ۱۳۹۱.
- [51] سازمان برنامه و بودجه کشور، راهنمای ملاحظات زیست محیطی در فعالیتهای کانه آرای، (نشریه شماره ۷۵۷)، تهران، ۱۳۹۸.
- [52] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، راهنمای ارزیابی سیستم ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن، (نشریه شماره ۶۶۹)، تهران، ۱۳۹۸.
- [53] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، دستورالعمل کنترل و خنثی سازی آرسنیک، سولفید و، سیانید در آزمایشگاه های فرآوری، (نشریه شماره ۶۵۱)، تهران ۱۳۹۳.
- [54] عطایی، محمد، تصمیم گیری چند معیاره فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۱۳۹۴.
- [55] حسینی، سید کامران، فرآید: معرفی مدلی جهت مدیریت ریسکهای اچ اس ایی در پروژه های عمرانی، انتشارات فن آوران، تهران، ۱۳۹۲.
- [56] Project Management Institute, *A guide to the project management body of knowledge*, Sixth Edition. Pennsylvania: Project Management Institute, 2017.
- [57] S. K. Chaulya and G. M. Prasad, "Application of Cloud Computing Technology in Mining Industry," in *Sensing and Monitoring Technologies for Mines and Hazardous Areas*, Elsevier, 2016, pp. 351–396. doi: 10.1016/b978-0-12-803194-0.00007-6.
- [58] N. S. Caetano, F. F. Martins, and G. M. Oliveira, "Life cycle assessment of renewable energy technologies," *The Renewable Energy-Water-Environment Nexus: Fundamentals, Technology, and Policy*, pp. 37–79, Jan. 2024, doi: 10.1016/B978-0-443-13439-5.00002-8.
- [59] ISO, *Risk Management: Guidelines INTERNATIONAL STANDARD ISO 31000 ISO 31000:2018(E) ii Published in Switzerland*. Switzerland, 2018.
- [60] نظری، احمد، فرصت کار، احسان و کیافر بهرداد، مدیریت ریسک در پروژه ها، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، تهران، ۱۳۸۷.
- [61] عطایی، محمد، مدیریت ریسک، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ۱۳۹۵.
- [62] عطایی، محمد، تصمیم گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ۱۳۹۶.

- [63] G.-H. Tzeng and J.-J. Huang, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. CRC Press, 2011.
- [64] D. M. Roijers and S. Whiteson, *Multi-Objective Decision Making*. in Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-031-01576-2.
- [65] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," 1965.
- [66] L. A. Zadeh, "Communication Fuzzy Algorithms," 1968.
- [67] R. E. Bellman and L. A. Zadeh, "Decision-Making in a Fuzzy Environment," *Manage Sci*, vol. 17, no. 4, p. B-141-B-164, Dec. 1970, doi: 10.1287/mnsc.17.4.b141.
- [68] L. A. Zadeh, "FUZZY SETS AS A BASIS FOR A THEORY OF POSSIBILITY," 1978.
- [69] L. A. Zadeh, "Discussion: Probability Theory and Fuzzy Logic Are Complementary Rather Than Competitive," *Computer Science Division*, 1995, [Online]. Available: www.worldscientific.com
- [70] A. Guleria and R. Bajaj, "T-spherical Fuzzy Soft Sets and its Aggregation Operators with Application in Decision Making," *Scientia Iranica*, vol. 0, no. 0, pp. 0–0, Jun. 2019, doi: 10.24200/sci.2019.53027.3018.
- [71] H. Garg, *Pythagorean Fuzzy Sets*. Singapore: Springer Singapore, 2021. doi: 10.1007/978-981-16-1989-2.
- [72] K. T. Atanassov, "Intuitionistic fuzzy sets," *Fuzzy Sets Syst*, vol. 20, no. 1, pp. 87–96, Aug. 1986, doi: 10.1016/S0165-0114(86)80034-3.
- [73] R. R. Yager and A. M. Abbasov, "Pythagorean Membership Grades, Complex Numbers, and Decision Making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 28, no. 5, pp. 436–452, May 2013, doi: 10.1002/int.21584.
- [74] رضایی، کامران و رضایی، حسن، مروری بر مجموعه های فازی فیثاغورثی و معیارهای فاصله و شباهت برای آنها "JFSA_Volume 3_Issue 1_Pages 95-119,"
- [75] S. Opricovic and G. H. Tzeng, "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS," *Eur J Oper Res*, vol. 156, no. 2, pp. 445–455, Jul. 2004, doi: 10.1016/S0377-2217(03)00020-1.
- [76] S. Opricovic and G.-H. Tzeng, "Extended VIKOR method in comparison with outranking methods," *Eur J Oper Res*, vol. 178, no. 2, pp. 514–529, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.ejor.2006.01.020.
- [77] S. Opricovic, "Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning," *Expert Syst Appl*, vol. 38, no. 10, pp. 12983–12990, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2011.04.097.
- [78] M. Gul, M. F. Ak, and A. F. Guneri, "Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry," *J Safety Res*, vol. 69, pp. 135–153, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jsr.2019.03.005.
- [79] F.-B. Cui, X.-Y. You, H. Shi, and H.-C. Liu, "Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations Using Pythagorean Fuzzy VIKOR Approach," *Math Probl Eng*, vol. 2018, pp. 1–12, Jun. 2018, doi: 10.1155/2018/9262067.
- [80] M. A. F. Ros-Tonen, J. J. Aggrey, D. P. Somuah, and M. Derkyi, "Human insecurities in gold mining: A systematic review of evidence from Ghana," *Extr Ind Soc*, vol. 8, no. 4, p. 100951, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.exis.2021.100951.
- [81] S. Ulrich, A. Trench, and S. Hagemann, "Gold mining greenhouse gas emissions, abatement measures, and the impact of a carbon price," *J Clean Prod*, vol. 340, p. 130851, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130851.

- [82] M. G. Macklin *et al.*, "A geomorphological approach to the management of rivers contaminated by metal mining," *Geomorphology*, vol. 79, no. 3–4, pp. 423–447, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.geomorph.2006.06.024.
- [83] ج.ام. هوک، ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، ترجمه: محمد جعفر زمریدیان، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت)، تهران، ۱۳۸۵.
- [84] انصاری جعفری، مجید و علوی قره باغ، احسان، اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری طلا، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی، ۱۳۹۷.
- [85] S. Ebbs, "Biological degradation of cyanide compounds," *Curr Opin Biotechnol*, vol. 15, no. 3, pp. 231–236, Jun. 2004, doi: 10.1016/J.COPBIO.2004.03.006.
- [86] A. Akcil, "Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments," *Biotechnol Adv*, vol. 21, no. 6, pp. 501–511, Sep. 2003, doi: 10.1016/S0734-9750(03)00099-5.
- [87] V. M. Ngole-Jeme and P. Fantke, "Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil," *PLoS One*, vol. 12, no. 2, p. e0172517, Feb. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0172517.
- [88] R. Koenig, "Wildlife Deaths Are a Grim Wake-Up Call in Eastern Europe," *Science* (1979), vol. 287, no. 5459, pp. 1737–1738, Mar. 2000, doi: 10.1126/science.287.5459.1737.
- [89] R. Eisler, *Biogeochemical, Health, and Ecotoxicological Perspectives on Gold and Gold Mining*. New York: CRC PRESS, 2010.
- [90] H. F. de Souza Neto *et al.*, "Environmental and human health risks of arsenic in gold mining areas in the eastern Amazon," *Environmental Pollution*, vol. 265, p. 114969, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114969.
- [91] S. K. Mensah, E. K. Siabi, P. Donkor, and N. Kurantin, "Assessing the safety and health practices in the artisanal and small-scale gold mining sector of Ghana: A case of Ntotroso," *Environmental Challenges*, vol. 6, p. 100443, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.envc.2022.100443.
- [92] محرابی، علیرضا، عباسیان، قاسم، و نیک منش، سروش، تاثیر مخاطرات زیست‌محیطی معدن‌کاری طلای آق‌دره از منظر ژئوپلیتیکی با تاکید بر امنیت کشور، نشریه جغرافیایی سرزمین. vol. 69, no. 18, pp. 81–101, 1400.
- [93] S. Dalby, "Environmental Geopolitics in the Twenty-first Century," *Alternatives: Global, Local, Political*, vol. 39, no. 1, pp. 3–16, Feb. 2014, doi: 10.1177/0304375414558355.
- [94] برارپور، کوروش، بررسی علل و پیامدهای وقوع چرخه تخریب محیط‌زیست درکلاردشت (آسیب‌شناسی، عارضه‌یابی و نظریه‌پردای، محیط شناسی، vol. 34, no. 45, pp. 121–137, 1387.
- [95] A. Farina, "Sonic Patterns I: The Noise," in *Soundscape Ecology*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2014, pp. 143–192. doi: 10.1007/978-94-007-7374-5_6.
- [96] شرکت معدن زمین، طراحی پیت نهایی و برنامه‌ریزی تولید معدن طلای زرشوران، تکاب، ۱۴۰۰.
- [97] C.-H. Tseng, "Blackfoot Disease and Arsenic: A Never-Ending Story," *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*, vol. 23, no. 1, pp. 55–74, Apr. 2005, doi: 10.1081/GNC-200051860.

- [98] باشگاه خبرنگاران جوان، "وضعیت نابسامان کارگران معدن زرشوران: ۱۲۲ نفر از کارگران معدن در آستانه ناشنوا شدن"، ۱۰ اسفند ۱۳۹۸.
- [99] F. Habashi, "Mineral resources and geo-engineering," *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, vol. 49, no. 2, pp. 221–233, 2015, doi: 10.22059/ijmge.2015.56108.
- [100] L. Robb, *Introduction to Ore-Forming Processes*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2004.

پوست

پيوست: فرم‌های ارزیابی اولیه ریسک با مشارکت متخصصین

فرم شماره ۱

صفحه از صفحه

فرم شماره: 1

شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی

واحد:

مجتمع طلای زرشوران

پژوهش ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی

معدن طلای زرشوران با بکارگیری مجموعه‌های فازی توسعه یافته

دانشگاه صنعتی شاهرود

ردیف	منبع ریسک	شرح ریسک	پیامدها
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			
۷			
۸			
۹			
۱۰			
۱۱			
۱۲			

تاریخ تکمیل:

تاریخ ثبت در دفتر:

سابقه کار در زرشوران:

سابقه کار در معادن و یا کارخانه های فراوری استحصال فلزات:

تحصیلات تکمیل کننده:

جایگاه سازمانی تکمیل کننده:

فرم شماره ۲

[illegible]

Abstract

Zarshouran gold complex includes gold-arsenic mine and processing plant and processing tailings dam, one of Iran's metal mines, which requires continuous environmental risk management due to the presence of sulfide minerals in this deposit and the use of cyanide to extract its gold. Fuzzy methods developed with regard to the use of multi-criteria decision-making models are widely used today to determine priorities. The set of Pythagorean fuzzy numbers has been used in this research to determine the prioritized list of environmental risks of Zarashoran gold complex due to the wider search space in them. PFVIKOR method has been used for the implementation of risk management steps and the steps of identifying, analyzing and evaluating environmental risks have been implemented according to VIKOR steps so that in addition to identifying environmental risks, they can be prioritized with the participation of experts and categorized for necessary reactive measures. To continuously manage these risks and reduce the level of environmental pollutants and their emissions. The results of this research show that the visual and geomorphological changes, the loss of the natural balance of the water system, the environmental expansion of arsenic and other heavy elements, and the formation of acidic sewage are the first level of reactions that require the mine to implement plant remediation and reconstruction programs simultaneously with mining. . In the second level, there is a reactive program with the need for corrective measures for the risks of noise pollution, emission of dust containing heavy elements, reduction of vegetable soil and plant diversity, and in the third level of this category of risks, there are pollution caused by mining machinery and reduction of biodiversity.

Keywords: Environmental risks, Zarshoran Gold complex, Risk Assessment, Risk Prioritization, Pythagorean Fuzzy, PFVIKOR



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mining engineering - mining and environment

Environmental Risks Assessment in Zarshouran gold mine by using Extended fuzzy sets

By:

Seyed-Kamran Hosseini

Supervisors:

Dr. Kumars Seifpanahi-Shabani

Dr. Mohammad Ataei

September 2024