نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره یازدهم، شماره ۳۳، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۸۱ تا ۹۳
Vol.11, No. 33, 2017, pp81-93

ارزیابی اثرات زیست محیطی در معدن روباز سنگ آهن سنگان خواف

الیاس ایلخانی[۱]؛ محمد عطایی[۲*]؛ رضا خالوکاکایی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج، دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک؛ elyas.ilkhani@gmail.com
۲- استاد دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک؛ ataei@shahroodut.ac.ir
۳- استاد دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک؛ kakaie@shahroodut.ac.ir

(دریافت ۱۶ آبان ۱۳۹۴، پذیرش ۱۵ آذر ۱۳۹۵)

چکیده

توسعه پایدار، ایجاد تعادل میان توسعه و محیط‌زیست است و از سه اصل مهم محیط‌زیست، اجتماع و اقتصاد تشکیل شده است. هر سه این پارامترها در ارتباط با یکدیگر بوده و عدم تعادل در هر یک، موجب بر هم خوردن تعادل در سایر بخش‌ها خواهد شد. صنایع معدنی از مهم‌ترین ابزارهای رشد اقتصادی و رفاه اجتماعی در بسیاری از کشورها است. در عین حال، آثار زیست‌محیطی بسیار از قبیل تأثیر بر منابع آب، فرسایش خاک، آلودگی هوا و غیره، همچنین ایجاد تبعات مختلف اجتماعی و اقتصادی سبب شده است تا توسعه پایدار وارد بخش معدن‌کاری شود. توجه به توسعه پایدار در فعالیت‌های معدن‌کاری می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی را کاهش دهد و آثار مثبت اجتماعی و اقتصادی به دنبال داشته باشد. در معدن‌کاری مدرن، شاخص‌های توسعه پایدار مورد توجه ویژه قرار گرفته است و استخراج و فرآوری مواد معدنی به گونه‌ای است که توسعه پایدار برقرار باشد و همین موضوع باعث شده است تا کشورهای صنعتی از رفاه و ثروت بیشتری داشته باشند. بنابراین با توجه ویژه به توسعه پایدار در صنایع معدنی می‌توان از محیط‌زیستی سالم و اقتصادی پویا همراه با رفاه اجتماعی برخوردار شد. در این مقاله، با استفاده از نتایج ارزیابی آثار زیست‌محیطی معدن سنگ آهن سنگان خواف به ارزیابی پایداری این مجموعه پرداخته شده است. با توجه به نتایج، معدن مورد مطالعه سطح پایداری ضعیف دارد که باید بر اساس درصد آسیب مؤلفه‌های مختلف تمهیدات لازم پیش‌بینی و اجرا شود.

کلمات کلیدی

توسعه پایدار، ارزیابی آثار زیست‌محیطی، معدن سنگ آهن سنگان خواف

۱- مقدمه

مفهوم توسعه پایدار اولین بار به‌طور رسمی توسط کمیته جهانی محیط‌زیست و توسعه در سال ۱۹۸۷ در گزارش "آینده مشترک ما[۱]" مطرح شد. این گزارش که به‌عنوان گزارش برونداند[۲] شناخته می‌شود، توسعه پایدار را به‌صورت "رفع نیازهای نسل امروز بدون به خطر انداختن توانایی‌های نسل‌های آینده برای رفع نیازهای خود" تعریف می‌کند[۱]. توسعه پایدار در کنار رشد اقتصادی و توسعه بشری در یک جامعه، سعی در تحصیل توسعه مستمر از طریق توجه همزمان به سه بخش اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارد. کشورهای توسعه یافته در ابتدای مسیر توسعه به واسطه‌ی تکیه بر منابع طبیعی و معدنی و استخراج آن‌ها توانستند گام‌های ابتدایی توسعه را بردارند. به مرور زمان و بر اثر بی‌توجهی به مسائل زیست‌محیطی و تبعات اجتماعی و نگاه صرفاً اقتصادی به موضوع، مشکلاتی ایجاد شد که به‌تدریج، توجه به این مسائل در کنار جنبه‌های اقتصادی این فعّالیت‌ها، موجب شد موضوع و مفهوم توسعه پایدار مطرح شود.

معدن‌کاری به‌عنوان یکی از فعّالیت‌هایی که منابع معدنی را مورد بهره‌برداری قرار می‌دهد نقشی حیاتی در بسیاری از کشورها دارد به‌گونه‌ای که بهره‌برداری از مواد معدنی فلزی و غیر فلزی و صنایع وابسته به آن‌ها بخش عمده درآمد و اشتغال‌زایی این کشورها را تشکیل می‌دهد. بهره‌برداری از این منابع علاوه بر اقتصاد، در توسعه اجتماعی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. در عین حال معادن و صنایع معدنی آثار زیست‌محیطی بسیار گسترده‌ای بر منابع آب، خاک، هوا و موجودات زنده دارند[۲]. بنابراین، به منظور حفاظت از محیط‌زیست، کنترل تبعات اجتماعی و ایجاد یک اقتصاد پویا توسعه پایدار وارد بخش معدن‌کاری شده است.

۲- توسعه پایدار و معدن‌کاری

کنفرانس سازمان ملل در رابطه با توسعه و محیط‌زیست (UNCED[۳]) که در سال ۱۹۹۲ در ریودوژانیرو[۴] برگزار شد، دستورالعمل ۲۱ را به‌عنوان برنامه توسعه پایدار در قرن ۲۱ ارائه کرد. بعد از انتشار این بیانیه، برنامه محیط‌زیست سازمان ملل (UNEP[۵]) از تعدادی از کشورهای عضو درخواست کرد که یک دستورالعمل زیست‌محیطی جامع برای معدن‌کاری و توسعه پایدار تهیه کنند. نخستین ویرایش از "دستوالعمل زیست‌محیطی برای فعّالیت‌های معدنی" در سال ۱۹۹۴ منتشر شد که در حقیقت دنباله و نسخه تجدید نظر شده "دستورالعمل برلین، ۱۹۹۱" تحت عنوان "معدن‌کاری و محیط‌زیست" بود[۳]. وان بیلو توسعه پایدار در معدن را تنها از طریق اکتشاف مداوم، نوآوری در فناوری و احیای محیط‌زیست می‌داند[۴]. کراوسون[۶] معتقد است که "ذخایر معدنی محدود هستند و دیر یا زود تمام می‌شوند؛ بنابراین فعّالیت‌های معدن‌کاری پایدار محسوب نمی‌شوند"[۵]. گزارش توسعه پایدار معدن‌کاری و مواد معدنی (MMSD[۷]) در سال ۲۰۰۲ بیان کرد که "هدف از توسعه پایدار در معدن‌کاری، حداکثر کردن رفاه نسل کنونی است، به‌طوری که منافع و هزینه‌های آن عادلانه توزیع شود بدون این‌که پتانسیل آن برای برآورده کردن نیازهای نسل آینده کاهش یابد"[۶]. باسو و کومار[۸] مهم‌ترین جزء اجرای مفاهیم توسعه پایدار را حکومت می‌دانند که در آن فعّالیت‌هایی مانند آموزش و توسعه استانداردهای اندازه‌گیری و همچنین استخراج صحیح معادن، بسیار مهم است[۷].

۳- ارزیابی و تفسیر پایداری

ارزیابی آثار زیست‌محیطی (EIA[۹]) ابزاری است که می‌تواند برای ارزیابی همه مسائل مربوط به توسعه پایدار مورد استفاده قرار گیرد. تحولات اخیر و بهبود در روش‌های EIA، ارزیابی‌های کمّی‌تری را برای تعیین آثار عملیات معدن‌کاری فراهم کرده است. هیلسون[۱۰]، یک مرور کلی از سیاست‌گذاری توسعه پایدار و معدنکاری در کانادا را ارائه داد که در آن دولت کانادا پس از سال‌ها تحقیق و برنامه‌ریزی دقیق توسعه پایدار، در نهایت با ارائه پیش‌نویس اولیه، مفهوم توسعه پایدار عملیاتی در صنعت معدن را بیان کرد [۸]. همچنین هیلسون بیان می‌کند که اگر دولت و صنعت همکاری بیشتری از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای جامعه و شیوه‌های صحیح مدیریت زیست‌محیطی داشته باشند، پیشرفت‌های بیشتری را می‌توان به‌دست آورد. واتالیس[۱۱] با ارائه شاخص کیفیت زیست‌محیطی (EQI[۱۲])، وضعیت محیط‌زیست را بررسی کرد. این روش در یک حوزه زغال سنگ اغلب صنعتی در شمال غرب مقدونیه (یونان) استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که این شاخص جدید ممکن است به‌عنوان یک ابزار قابل اعتماد برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیست در مناطق مختلف استفاده شود[۹]. جینگ یو و همکاران[۱۳]، یک مفهوم جدید از توسعه پایدار منابع معدنی (DSDMR[۱۴]) را ارائه کردند که قابلیت ارزیابی توسعه پایدار را در معادن دارد. DSDMR به توانایی برآوردن نیازهای نسل حاضر و آینده در تأمین منابع معدنی با توزیع منطقی و جایگزینی آن‌ها اشاره دارد[۱۰].

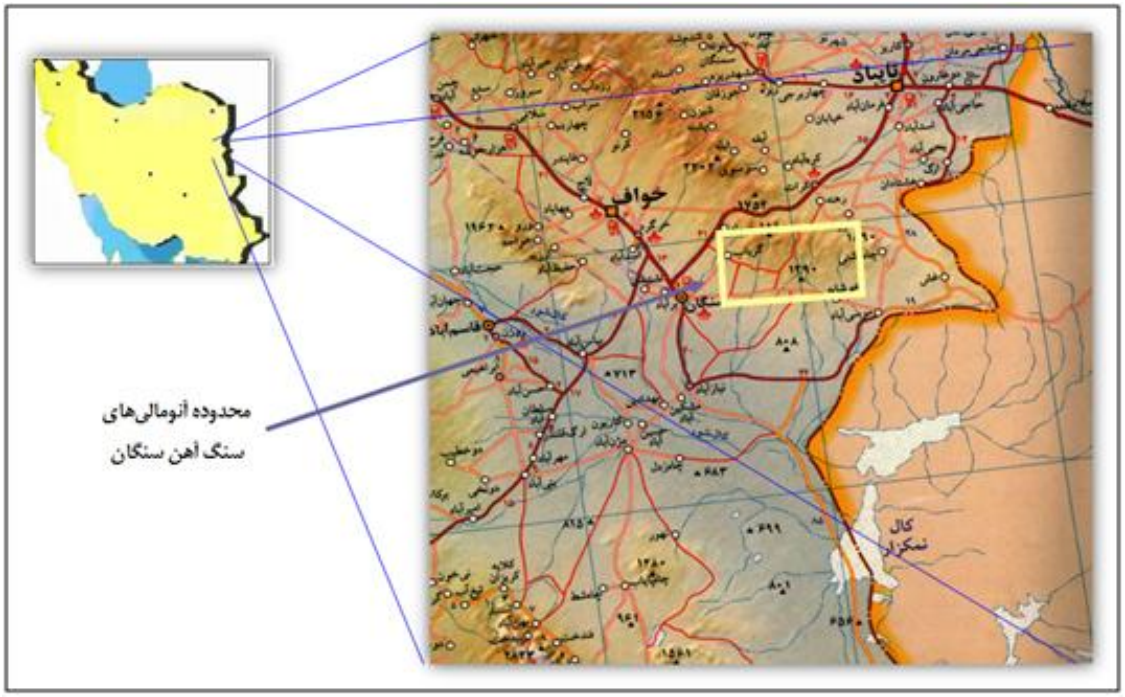
بیشتر تفاسیر توسعه پایدار بر اساس ارزیابی‌های ذهنی انجام می‌شود. از این رو، فیلیپس[۱۵] با ارائه یک مدل ریاضی به تعریف اصول توسعه پایدار پرداخته است. این مدل، شاخص‌های توسعه پایدار را به‌صورت کمّی بیان می‌کند. در مدل ارائه شده به‌منظور تعیین سطح و ماهیت توسعه پایدار در پروژه‌ها و عملیات‌ها از نتایج EIA به‌عنوان ورودی مدل استفاده می‌شود [۱۵-۱۱]. در این مقاله، ارزیابی آثار زیست‌محیطی با روش ماتریس انجام، و به‌عنوان ورودی در مدل استفاده شده است. سپس، ارزیابی سطح و ماهیت توسعه پایدار در معدن سنگ آهن سنگان خواف انجام گرفته است.

۴- منطقه مورد مطالعه

کانسار سنگ آهن سنگان خواف در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد، ۶۸ کیلومتری جنوب غرب تایباد، ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی خواف، ۱۸ کیلومتری شمال شرقی شهرستان سنگان و ۴۰ کیلومتری مرز افغانستان قرار دارد (شکل ۱). معادن سنگ آهن سنگان در قسمت شرقی رشته کوه ولایت قرار دارد. در این منطقه آنومالی‌های زیادی از آهن وجود دارد که به نام آنومالی‌های غربی، مرکزی و شرقی معرفی شده‌اند. محدوده در برگیرنده این مجموعه کانساری به شکل مستطیل به طول تقریبی ۲۲ کیلومتر و عرض ۱۰ کیلومتر می‌باشد که شامل کانسارهای غربی (تپه قرمز، A، B و C شمالی و C جنوبی)، کانسارهای مرکزی (دو کانسار باغک و دردوی) و کانسارهای شرقی (شش کانسار شماره I تا VI) است[۱۶].

معادن سنگ آهن سنگان یکی از بزرگ‌ترین معادن سنگ آهن در خاورمیانه است که به‌صورت روباز پلکانی استخراج می‌شود و در کنار کارخانه گندله‌سازی سنگان و خط آهن خواف - سنگان - هرات به‌عنوان بزرگ‌ترین پروژه ملی شرق کشور معرفی شده است. از جمله مشخصات این کانسار عیار بالا، گسترش زیاد و حجیم بودن مواد معدنی همراه با مقادیر بسیار ناچیز عناصر مضر از جمله فسفر است که اهمیّت ویژه‌ای به کانسار داده است [۱۶].

حداکثر ارتفاع منطقه ۱۸۱۲ متر است. این منطقه آب و هوای کویری خشک و با متوسط بارندگی سالیانه ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر همراه با وزش بادهای تقریباً دائمی دارد که در ۶ ماهه اول سال سرعت آن به بیش از ۵۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد. حداکثر درجه حرارت ۳۵ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن ۱۱- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است[۱۶].



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه اکتشافی (بدون مقیاس)[۱۶]

۵- ارزیابی آثار زیست‌محیطی

بررسی، تجزیه و تحلیل و ارزیابی فعّالیت‌های برنامه‌ریزی شده برای اطمینان از صحت زیست‌محیطی و توسعه پایدار در هر منطقه، ارزیابی آثار زیست‌محیطی(EIA) نامیده می‌شود. EIA به‌عنوان یک ابزار مدیریت زیست‌محیطی، به‌منظور شناخت آثار احتمالی یک پروژه و اطمینان یافتن از اجرای مناسب و صحیح آن به‌کار می‌رود [۱۸،۱۷]. در واقع، ارزیابی آثار زیست‌محیطی عبارت است از ارائه روشی برای تعیین، پیش‌بینی و تفسیر آثار زیست‌محیطی یک پروژه بر کل محیط‌زیست، بهداشت عمومی و سلامت اکوسیستم‌هایی که زندگی بشر به آن‌ها وابسته است.

نگاهی گذرا بر وضعیت محیط‌زیست در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که فعّالیت‌های انسانی مؤثرترین و مهم‌ترین علل تغییرات زیست‌محیطی است که ضمن ایجاد تغییرات مفید و مناسب، موجبات تخریب را هم فراهم می‌آورد. از جمله این فعّالیت‌ها می‌توان به استخراج و فرآوری مواد معدنی اشاره کرد که نقشی کلیدی در ایجاد مشکلات زیست‌محیطی از قبیل از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش تنوع زیستی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، آلودگی شدید جو، فرسایش خاک و غیره ایفا می‌کنند. در میان مواد معدنی، سنگ آهن یکی از فراوان‌ترین عناصر فلزی موجود در زمین است که مشکلات زیست‌محیطی مختلفی دارد. از جمله این مشکلات می‌توان به تغییراتی که در محیط‌زیست به‌علت وسیع بودن عملیات معدن‌کاری ایجاد می‌شود، حجم زیاد باطله‌های معدنی و دپوی آن‌ها، گرد و غبار به وجود آمده در اثر حفاری و انفجار، آلودگی صوتی ناشی از انفجار و فعّالیت تجهیزات معدنی، انتشار گازهای سمّی در هوا، از بین رفتن اراضی و مناظر طبیعی، تفاله حاصل از تولید فولاد، گاز یا گرد و غبار زیان‌آور کوره‌های تولید فولاد و غیره اشاره کرد.

معدن سنگ آهن سنگان خواف، یکی از بزرگ‌ترین معادن سنگ آهن در خاورمیانه است که به‌دلیل فعّالیت گسترده و عدم توجّه به مسائل زیست‌محیطی، آسیب‌هایی را

به محیط‌زیست منطقه وارد کرده است. از این رو، باید به منظور شناسایی مشکلات زیست‌محیطی این معدن و بررسی پیامدهای آن ارزیابی آثار زیست‌محیطی انجام شود.

ارزیابی‌های زیست‌محیطی اغلب با استفاده از روش ماتریس انجام می‌شود که در آن یک بعد ماتریس فاکتورهای مؤثر (IF[16]) و بعد دیگر آن مؤلفه‌های زیست‌محیطی (EC[17]) است که توسط فاکتورهای مؤثر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. روش‌های ماتریس با توجه به آزمایش‌های مختلف برای ارزیابی آثار زیست‌محیطی توسعه یافته‌اند و به‌دلیل سادگی و قابل فهم بودن استفاده می‌شود.

به‌منظور ارزیابی آثار زیست‌محیطی معدن سنگ آهن سنگان خواف، ابتدا فاکتورهای مؤثر و مؤلفه‌های زیست‌محیطی تعیین و سپس آثار زیست‌محیطی آن ارزیابی قرار شده است. مراحل ارزیابی آثار زیست‌محیطی در معدن سنگ آهن سنگان خواف به شرح زیر است:

۵-۱- جمع‌آوری اطلاعات

در این مرحله، به منظور ارزیابی آثار زیست‌محیطی اطلاعاتی همچون زمین‌شناسی، ژئوتکنیک، هیدرولوژی، آب و هوا و غیره از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری و بررسی شده است.

۵-۲- شناسایی فاکتورهای مؤثر و مؤلفه‌های زیست‌محیطی

به‌منظور بررسی تأثیر فعّالیت‌های معدنی، ابتدا باید فاکتورهای مؤثر و مؤلفه‌های زیست‌محیطی را تعیین کرد. فاکتورهای مؤثر شامل آن دسته از عواملی هستند که در طول معدن‌کاری می‌توانند شرایط زیست‌محیطی از پیش موجود را تغییر دهند. به‌منظور ارزیابی آثار زیست‌محیطی معدن سنگ آهن سنگان خواف، ۱۹ فاکتور مؤثر در نظر گرفته شده است که در جدول ۱ درج شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود امتیاز اکثر این فاکتورها بین ۰ و ۱۰ تغییر می‌کند که صفر به معنی بدون تأثیر بودن فاکتور مؤثر و ۱۰ نشان دهنده‌ی وضعیت بحرانی است. برخی از فاکتورها مانند مسائل اقتصادی و فرهنگی دارای مقداری بین ۱۰- و ۱۰ می‌باشند که علامت منفی، اثر مثبت فاکتور را نشان می‌دهد.

مؤلفه‌های زیست‌محیطی معدن‌کاری بخش‌هایی از محیط‌زیست هستند که تحت تأثیر فاکتورهای مؤثر قرار می‌گیرند و بیشترین تأثیر را بر تولید ناشی از استخراج دارند.

این مؤلفه‌ها به دو گروه مؤلفه‌های محیطی (E[18]) و مؤلفه‌های انسانی (H_{NI}[19]) تقسیم‌بندی می‌شوند.

مؤلفه‌های محیطی (E) عبارتند از:

- اتمسفر[20]: کیفیت هوا (A_1)، آرامش صوتی (A_2)
- بیوسفر[21]: اکولوژی (B_1)
- هیدروسفر[22]: آب‌های سطحی (H_1)، آب‌های زیرزمینی (H_2)
- لیتوسفر[23]: کاربری منطقه (L_1)، تأسیسات سطحی (L_2)، تأسیسات زیرزمینی (L_3)، چشم‌انداز منطقه (L_4)، خاک منطقه (L_5)

مؤلفه‌های انسانی (H_{NI}) عبارتند از: سلامتی و ایمنی انسان (H_{NI1})، مسائل اجتماعی (H_{NI2}) و مسائل اقتصادی (H_{NI3})

جدول ۱: فاکتورهای مؤثر و محدوده امتیاز آن‌ها

فاکتورهای مؤثر	محدوده امتیاز
۱. تغییر در کاربری منطقه	۱۰ - ۰
۲. وضعیت رؤیت محدوده معدن‌کاری	۱۰ - ۰
۳. تداخل با آب‌های سطحی	۱۰ - ۰
۴. تداخل با آب‌های زیرزمینی	۱۰ - ۰
۵. پساب‌های خروجی از کارخانه فرآوری	۱۰ - ۰
۶. افزایش در ترافیک منطقه	۱۰ - ۰
۷. انتشار گرد و غبار	۱۰ - ۰
۸. انتشار آلاینده‌های سمّی در هوا	۱۰ - ۰
۹. آلودگی صوتی	۱۰ - ۰
۱۰. لرزش زمین	۱۰ - ۰
۱۱. پرتاب سنگ	۱۰ - ۰
۱۲. مواد موجود در باطله	۱۰ - ۰
۱۳. روش تخلیه مواد باطله	۱۰ - ۰
۱۴. میزان اشتغال‌زائی بومی	۱۰ تا ۱۰-
۱۵. کنترل جمعیت	۱۰ تا ۱۰-
۱۶. توسعه فرهنگی و اجتماعی	۱۰ تا ۱۰-
۱۷. ناپایداری فضاهای ایجاد شده	۱۰ - ۰
۱۸. تمهیدات زیست‌محیطی	۱۰ تا ۱۰-
۱۹. روشنایی	۱۰ - ۰

۵-۳- تعیین امتیاز فاکتورهای مؤثر

به‌منظور امتیازدهی فاکتورهای مؤثر سناریوها و جدول‌هایی برای هر یک از فاکتورها تهیه شده است. فاکتورهای مؤثر به چند بخش تقسیم شده و سناریوها و جدول‌های مختص هر بخش در اختیار کارشناسان و افراد خبره قرار گرفته‌اند. از این رو، امتیاز فاکتورهایی از قبیل تغییر در کاربری منطقه، تداخل با آب‌های سطحی، پرتاب سنگ و غیره توسط کارشناسان بخش استخراج شاغل در معدن و امتیاز فاکتورهای اجتماعی و فرهنگی از قبیل کنترل جمعیت، توسعه فرهنگی و اجتماعی و غیره توسط افراد کارشناس و آشنا با مسائل اجتماعی از جمله شهردار، شورا شهر و غیره تعیین شده است. بدین ترتیب، تمامی فاکتورهای مؤثر توسط افراد متخصص و آشنا با مسائل مربوطه امتیازدهی و مقادیر آن‌ها در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲: امتیاز فاکتورهای مؤثر معدن سنگ آهن سنگان خواف

فاکتورهای مؤثر	امتیاز
۱. تغییر در کاربری منطقه	۱/۴۹
۲. وضعیت رؤیت محدوده معدن‌کاری	۳/۷
۳. تداخل با آب‌های سطحی	۳/۲۶
۴. تداخل با آب‌های زیرزمینی	۲/۹۳
۵. پساب‌های خروجی از کارخانه فرآوری	۱۰
۶. افزایش در ترافیک منطقه	۷/۵۳
۷. انتشار گرد و غبار	۴/۷۸
۸. انتشار آلاینده‌های سمّی در هوا	۱۰
۹. آلودگی صوتی	۴/۴۴
۱۰. لرزش زمین	۱
۱۱. پرتاب سنگ	۱
۱۲. مواد موجود در باطله	۳
۱۳. روش تخلیه مواد باطله	۳/۸۹
۱۴. میزان اشتغال‌زائی بومی	۱/۷۶
۱۵. کنترل جمعیت	۰/۵۳
۱۶. توسعه فرهنگی و اجتماعی	-۰/۲
۱۷. ناپایداری فضاهای ایجاد شده	۰/۵۴
۱۸. تمهیدات زیست‌محیطی	۰/۲۲
۱۹. روشنایی	۳/۱۵

۵-۴- تشکیل ماتریس مقادیر وزنی

در مرحله‌ی بعد، باید تأثیر فاکتورهای مؤثر بر مؤلفه‌های زیست‌محیطی را بررسی کرد. این کار با استفاده از روش ماتریس انجام می‌شود که در آن یک بعد ماتریس فاکتورهای مؤثر و بعد دیگر آن مؤلفه‌های زیست‌محیطی است. تأثیر هر فاکتور مؤثر بر هر مؤلفه زیست‌محیطی توسط شش عبارت، بی تأثیر ($N^{۲۴}$)، بسیار کم ($VL^{۲۵}$)، کم ($L^{۲۶}$)، متوسط ($M^{۲۷}$)، زیاد ($H^{۲۸}$) و بسیار زیاد ($VH^{۲۹}$) و به‌ترتیب به صورت مقادیر کمّی ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ بیان می‌شود.

در این بخش نیز، تأثیر فاکتورهای مؤثر معدنی و اجتماعی و فرهنگی بر هر یک از مؤلفه‌های زیست‌محیطی توسط افراد کارشناس تعیین شده است.

۵-۵- بی‌مقیاس‌سازی

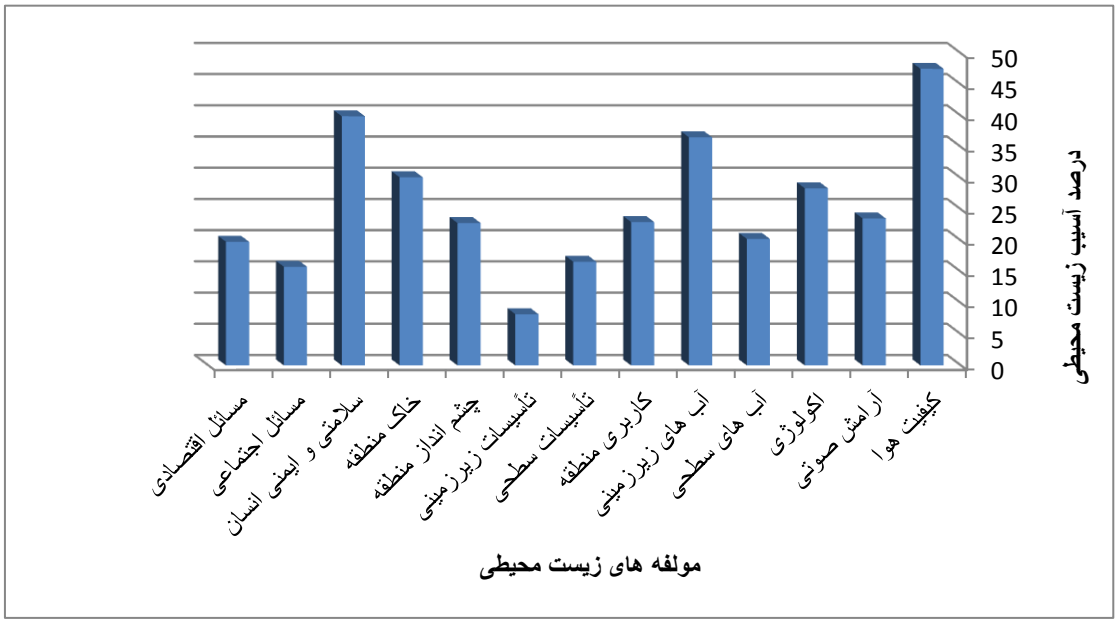
به‌منظور نرمال‌سازی ماتریس مقادیر وزنی، عناصر بردار ستونی با هم جمع و هر یک از این عناصر بر این مجموع تقسیم می‌شود. همچنین با توجه به بازه در نظر گرفته شده برای محدوده امتیاز فاکتورهای مؤثر، مقادیر بدست آمده در عدد ۱۰ ضرب شده‌اند که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

۵-۶- ارزیابی آثار زیست‌محیطی

به‌منظور به‌دست آوردن امتیاز تأثیر هر مؤلفه زیست‌محیطی، باید مقدار به‌دست آمده برای هر فاکتور مؤثر را در ردیف مربوط به آن در ماتریس مقادیر وزنی ضرب کرد. بدین ترتیب تأثیر هر فاکتور مؤثر بر هر یک از مؤلفه‌های زیست‌محیطی به‌دست می‌آید. به‌عنوان مثال، مقدار وزنی برای فاکتور تغییر در کاربری منطقه با توجه به مؤلفه سلامتی و ایمنی انسان برابر ۰/۵۴ (۰/۵۴ = ۱/۴۹ × ۰/۳۶) است.

در ماتریس به‌دست آمده مجموع اعداد هر ستون آن بیانگر درصد آسیب زیست‌محیطی برای هر مؤلفه زیست‌محیطی است که نتایج در جدول ۴ و شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مؤلفه‌های کیفیت هوا، سلامتی و ایمنی انسان و آب‌های زیرزمینی به ترتیب با امتیازهای ۴۷/۵۲، ۳۹/۹۲ و ۳۶/۵۵ درصد، بیش از سایر مؤلفه‌ها دچار آسیب شده‌اند.

اکنون با توجّه به نتایج ارزیابی آثار زیست‌محیطی در معدن سنگ آهن سنگان خواف، می‌توان پایداری در این معدن را ارزیابی کرد که به‌منظور انجام این ارزیابی از یک مدل ریاضی پایداری استفاده شده است.



شکل ۲: ارزیابی درصد آسیب مؤلفه‌های زیست‌محیطی در معدن سنگ آهن سنگان خواف

جدول ۳: مقادیر وزنی اثر هر فاکتور مؤثر بر هر مؤلفه زیست‌محیطی در معدن سنگ آهن سنگان خواف

مؤلفه‌های زیست‌محیطی / فاکتورهای مؤثر	مؤلفه‌های محیطی (E)									مؤلفه‌های انسانی (H_{NI})		
	اتمسفر		بیوسفر	هیدروسفر		لیتوسفر						
	کیفیت هوا	آرامش صوتی	اکولوژی	آب‌های سطحی	آب‌های زیرزمینی	کاربری منطقه	تأسیسات سطحی	تأسیسات زیرزمینی	چشم انداز منطقه	خاک منطقه	سلامتی و ایمنی انسان	مسائل اجتماعی	مسائل اقتصادی
	A_1	A_2	B_1	H_1	H_2	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	H_{NI1}	H_{NI2}	H_{NI3}
۱. تغییر در کاربری منطقه	M	L	M	L	H	H	VL	N	H	M	VL	M	N
	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۸۸	۲/۵	۱/۶۷	۱/۴۳	۰/۶۷	۰	۱/۸۲	۱/۸۸	۰/۳۶	۱/۳	۰
۲. وضعیت رؤیت محدوده معدن‌کاری	N	N	N	N	N	N	N	N	VL	N	N	N	N
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۵	۰	۰	۰	۰
۳. تداخل با آب‌های سطحی	N	N	VL	M	M	VL	N	N	VL	VL	VL	N	N
	۰	۰	۰/۶۳	۳/۷۵	۱/۲۵	۰/۳۶	۰	۰	۰/۴۵	۰/۶۳	۰/۳۶	۰	۰
۴. تداخل با آب‌های زیرزمینی	N	N	L	N	H	L	VL	VL	N	L	M	L	L
	۰	۰	۱/۲۵	۰	۱/۶۷	۰/۷۱	۰/۶۷	۱	۰	۱/۲۵	۱/۰۷	۰/۸۷	۱
۵. پساب‌های خروجی کارخانه فرآوری	N	N	VL	N	M	N	N	N	N	L	L	N	N
	۰	۰	۰/۶۳	۰	۱/۲۵	۰	۰	۰	۰	۱/۲۵	۰/۷۱	۰	۰
۶. افزایش در ترافیک منطقه	VH	L	N	N	N	L	N	N	VL	N	M	VL	VL
	۱/۸۵	۱/۱۱	۰	۰	۰	۰/۷۱	۰	۰	۰/۴۵	۰	۱/۰۷	۰/۴۳	۰/۵
۷. انتشار گرد و غبار	VH	N	L	N	N	M	M	N	M	N	H	L	M
	۱/۸۵	۰	۱/۲۵	۰	۰	۱/۰۷	۲	۰	۱/۳۶	۰	۱/۴۳	۰/۸۷	۱/۵
۸. انتشار آلاینده‌های سمّی در هوا	VH	N	N	N	L	VL	N	N	N	N	L	N	N
	۱/۸۵	۰	۰	۰	۰/۸۳	۰/۳۶	۰	۰	۰	۰	۰/۷۱	۰	۰
۹. آلودگی صوتی	N	H	VL	N	N	N	N	N	N	N	VL	N	N
	۰	۲/۲۲	۰/۶۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۶	۰	۰
۱۰. لرزش زمین	N	N	VL	N	N	N	VL	M	L	VL	N	N	N
	۰	۰	۰/۶۳	۰	۰	۰	۰/۶۷	۳	۰/۹۱	۰/۶۳	۰	۰	۰
۱۱. پرتاب سنگ	N	N	N	N	N	N	N	N	L	N	N	N	N
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۱	۰	۰	۰	۰
۱۲. مواد موجود در باطله	L	N	L	VL	M	VL	N	N	N	M	L	N	N
	۰/۷۴	۰	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۰/۳۶	۰	۰	۰	۱/۸۸	۰/۷۱	۰	۰
۱۳. روش تخلیه مواد باطله	VL	N	N	N	N	N	N	N	VL	VL	N	N	N
	۰/۳۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۵	۰/۶۳	۰	۰	۰
۱۴. میزان اشتغال زایی بومی	N	M	N	N	N	L	L	N	N	N	VL	H	H
	۰	۱/۶۷	۰	۰	۰	۰/۷۱	۱/۳۳	۰	۰	۰	۰/۳۶	۱/۷۴	۲
۱۵. کنترل جمعیت	H	L	N	N	L	M	M	N	N	N	L	H	M
	۱/۴۸	۱/۱۱	۰	۰	۰/۸۳	۱/۰۷	۲	۰	۰	۰	۰/۷۱	۱/۷۴	۱/۵
۱۶. توسعه فرهنگی و اجتماعی	N	L	N	N	VL	L	L	N	N	N	L	H	M
	۰	۱/۱۱	۰	۰	۰/۴۲	۰/۷۱	۱/۳۳	۰	۰	۰	۰/۷۱	۱/۷۴	۱/۵
۱۸. ناپایداری فضاهای ایجاد شده	N	N	N	N	N	L	N	M	VL	N	N	N	N
	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۷۱	۰	۳	۰/۴۵	۰	۰	۰	۰
۱۹. تمهیدات زیست‌محیطی	L	M	M	L	L	VH	L	M	H	M	M	M	M
	۰/۷۴	۱/۶۷	۱/۸۸	۲/۵	۰/۸۳	۱/۷۹	۱/۳۳	۳	۱/۸۲	۱/۸۸	۱/۶۷	۱/۳	۱/۵
روشنایی	N	N	N	N	N	N	N	N	L	N	N	N	VL
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۱	۰	۰	۰	۰/۵
مجموع	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰

جدول ۴: تأثیرات کلی فاکتورهای مؤثر بر مؤلفه‌های زیست‌محیطی در معدن سنگ آهن سنگان خواف

مؤلفه‌های زیست‌محیطی / فاکتورهای مؤثر	مؤلفه‌های محیطی (E)									مؤلفه‌های انسانی (H_{NI})		
	اتمسفر		بیوسفر	هیدروسفر		لیتوسفر						
	کیفیت هوا	آرامش صوتی	اکولوژی	آب‌های سطحی	آب‌های زیرزمینی	کاربری منطقه	تأسیسات سطحی	تأسیسات زیرزمینی	چشم انداز منطقه	خاک منطقه	سلامتی و ایمنی انسان	مسائل اجتماعی	مسائل اقتصادی
	A_1	A_2	B_1	H_1	H_2	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	H_{NI1}	H_{NI2}	H_{NI3}
۱. تغییر در کاربری منطقه	۱/۶۵	۱/۶۵	۲/۸	۳/۷۳	۲/۴۹	۲/۱۳	۱	۰	۲/۷۱	۲/۸	۰/۵۴	۱/۹۴	۰
۲. وضعیت رؤیت محدوده معدنی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۶۷	۰	۰	۰	۰
۳. تداخل با آب‌های سطحی	۰	۰	۲/۰۵	۱۲/۲۳	۴/۰۸	۱/۱۷	۰	۰	۱/۴۷	۲/۰۵	۱/۱۷	۰	۰
۴. تداخل با آب‌های زیرزمینی	۰	۰	۳/۶۶	۰	۴/۸۹	۲/۰۸	۱/۹۶	۲/۹۳	۰	۳/۶۶	۳/۱۴	۲/۵۵	۲/۹۳
۵. پساب‌های خروجی کارخانه	۰	۰	۶/۳	۰	۱۲/۵	۰	۰	۰	۰	۱۲/۵	۷/۱	۰	۰
۶. افزایش در ترافیک منطقه	۱۳/۹۳	۸/۳۶	۰	۰	۰	۵/۳۵	۰	۰	۳/۳۹	۰	۸/۰۶	۳/۲۴	۳/۷۷
۷. انتشار گرد و غبار	۸/۸۴	۰	۵/۹۸	۰	۰	۵/۱۱	۹/۵۶	۰	۶/۵	۰	۶/۸۴	۴/۱۶	۷/۱۷
۸. انتشار آلاینده‌های سمّی در هوا	۱۸/۵	۰	۰	۰	۸/۳	۳/۶	۰	۰	۰	۰	۷/۱	۰	۰
۹. آلودگی صوتی	۰	۹/۸۶	۲/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۶	۰	۰
۱۰. لرزش زمین	۰	۰	۰/۶۳	۰	۰	۰	۰/۶۷	۳	۰/۹۱	۰/۶۳	۰	۰	۰
۱۱. پرتاب سنگ	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۹۱	۰	۰	۰	۰
۱۲. مواد موجود در باطله	۲/۲۲	۰	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۱/۰۸	۰	۰	۰	۵/۶۴	۲/۱۳	۰	۰
۱۳. روش تخلیه مواد باطله	۱,۴۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱,۷۵	۲,۴۵	۰	۰	۰
۱۴. میزان اشتغال‌زایی بومی	۰	۲/۹۴	۰	۰	۰	۱/۲۵	۲/۳۴	۰	۰	۰	۰/۶۳	۳/۰۶	۳/۵۲
۱۵. کنترل جمعیت	۰/۷۸	۰/۵۹	۰	۰	۰/۴۴	۰/۵۷	۱/۰۶	۰	۰	۰	۰/۳۸	۰/۹۲	۰/۸
۱۶. توسعه فرهنگی و اجتماعی	۰	-۰/۲۲	۰	۰	-۰/۰۸	-۰/۱۴	-۰/۲۷	۰	۰	۰	-۰/۱۴	-۰/۳۵	-۰/۳
۱۷. ناپایداری فضاهای ایجاد شده	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۸	۰	۱/۶۲	۰/۲۴	۰	۰	۰	۰
۱۸. تمهیدات زیست‌محیطی	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۵۵	۰/۱۸	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۶۶	۰/۴	۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۳۳
۱۹. روشنایی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۸۷	۰	۱/۱۳	۰	۱/۵۸
مجموع	۴۷/۵۲	۲۳/۵۵	۲۸/۳۸	۲۰/۲۶	۳۶/۵۵	۲۲/۹۷	۱۶/۶۱	۸/۲۱	۲۲/۸۲	۳۰/۱۴	۳۹/۹۲	۱۵/۸۱	۱۹/۸

۶- مدل ریاضی پایداری

مدل ریاضی پایداری، توسط فیلیپس و همکاران در سال ۲۰۱۳ توسعه داده شده است. در این مدل، پارامترها و محدودیت‌های مؤلفه‌های کلیدی و همچنین شرایطی که تحت آن پایداری و یا ناپایداری می‌تواند رخ دهد، بیان شده است[۱۵]. در این مدل، مقادیر E و H_{NI} ، با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند. مقدار بیشینه برای هر مؤلفه محیطی و انسانی ۱۰۰ (درصد) در نظر گرفته شده است.

$$E = \frac{E_{max}-\sum E}{\sum E_{max}} = \frac{(\sum A_{max}-\sum A)+(\sum B_{max}-\sum B)+(\sum H_{max}-\sum H)+(\sum L_{max}-\sum L)}{\sum A_{max}+\sum B_{max}+\sum H_{max}+\sum L_{max}} \quad (۱)$$

$$H_{NI} = \frac{\sum H_{NImax}-\sum H_{NI}}{\sum H_{NImax}} = \frac{[(H_{NI1}+H_{NI2})+(H_{NI3max}-H_{NI3})]}{\sum H_{NImax}} \quad (۲)$$

در رابطه ۱، A معرف اتمسفر و مؤلفه‌های آن یعنی کیفیت هوا و آرامش صوتی است. A_{max} مقدار بیشینه اتمسفر است که از جمع مقادیر حداکثر مؤلفه‌های کیفیت هوا و آرامش صوتی بدست می‌آید. B معرف بیوسفر و اکولوژی منطقه است و B_{max} نیز مقدار حداکثر اکولوژی است. H بیانگر هیدروسفر و مؤلفه‌های آن یعنی آب‌های سطحی و زیرزمینی است. همچنین، H_{max} مقدار ماکزیمم هیدروسفر است که از جمع مقادیر حداکثر مؤلفه‌های آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی به‌دست می‌آید. L بیانگر لیتوسفر است و L_{max} که مقدار ماکزیمم L است از جمع مقادیر حداکثر مؤلفه‌های کاربری منطقه، تاسیسات سطحی، تأسیسات زیرزمینی، چشم‌انداز منطقه، و خاک منطقه به‌دست می‌آید. E معرف مؤلفه‌های محیطی و E_{max} مقدار ماکزیمم E است که از جمع مقادیر حداکثر اتمسفر، بیوسفر، هیدروسفر و لیتوسفر به‌دست می‌آید.

در رابطه ۲، H_{NI} معرف مؤلفه‌های انسانی و H_{NImax} مقدار ماکزیمم H_{NI} است که از جمع مقادیر حداکثر مؤلفه‌های سلامتی و ایمنی انسان (H_{NI1})، مسائل اجتماعی (H_{NI2}) و مسائل اقتصادی (H_{NI3}) به‌دست می‌آید.

به‌منظور بررسی پایداری پروژه می‌توان از مقادیر E و H_{NI} بهره گرفت. بدین ترتیب که اگر مقدار به‌دست آمده برای E بزرگتر از مقدار به‌دست آمده برای H_{NI} باشد، پروژه پایدار و اگر کوچکتر مساوی آن باشد پروژه ناپایدار است.

$$E > H_{NI} \leftrightarrow S > 0$$
$$E \leq H_{NI} \leftrightarrow S \leq 0$$

در صورت پایداری پروژه باید مقدار S که از رابطه (۳) بدست می‌آید، محاسبه شود.

$$S = E - H_{NI} \quad (۳)$$

در نهایت با توجه به دامنه تعریف شده در جدول ۵ می‌توان سطح و ماهیت پایداری پروژه را بر اساس مقدار محاسبه شده S مشخص کرد.

جدول ۵: تعیین میزان پایداری

پایداری	دامنه
خیلی قوی	۰/۷۵۱ – ۱
قوی	۰/۵۰۱ – ۰/۷۵۰
ضعیف	۰/۲۵۱ – ۰/۵۰۰
خیلی ضعیف	۰/۰۰۱ – ۰/۲۵۰

۷- ارزیابی توسعه پایدار در معدن سنگ آهن سنگان خواف

به‌منظور ارزیابی توسعه پایدار در معادن، ابتدا باید ارزیابی آثار زیست‌محیطی انجام شود. همان‌گونه که در بخش ۵ ملاحظه شد؛ ارزیابی آثار زیست‌محیطی معدن سنگ آهن سنگان خواف با روش ماتریس انجام شده است. این نتایج که مبنای کاربرد مدل در محاسبات سطح و ماهیت توسعه پایدار در معدن می‌باشد؛ در سطر آخر جدول ۴ ارائه شده است.

در مرحله بعد باید حداکثر امتیاز ممکن برای مؤلفه‌های محیطی و انسانی تعیین شود. بدین ترتیب، مقادیر A_{max}،

B_{max}، H_{max}، L_{max}، E_{max} و H_{NImax} با توجه به تعداد مؤلفه‌های آن‌ها به ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۳۰۰ است.

سپس، با استفاده از روابط ۱ و ۲ مقادیر E و H_{NI} محاسبه شده‌اند.

$$E = \frac{E_{max} - \sum E}{\sum E_{max}}$$

$$= \frac{\left(\sum A_{max} - (A_1 + A_2)\right) + \left(\sum B_{max} - (B_1)\right) + \left(\sum H_{max} - (H_1 + H_2)\right) + \left(\sum L_{max} - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5)\right)}{\sum A_{max} + \sum B_{max} + \sum H_{max} + \sum L_{max}}$$

$$E = \frac{(128.93) + (71.62) + (143.19) + (399.25)}{200 + 100 + 200 + 500} = \frac{742.99}{1000} = 0.7430$$

$$H_{NI} = \frac{(39.92 + 15.81) + (100 - 19.8)}{300} = \frac{135.93}{300} = 0.4531$$

با توجه به مقادیر محاسباتی، $E > H_{NI}$ است و بنابراین پروژه پایدار ارزیابی می‌شود.

$$E > \mathrm{H}_{NI} \leftrightarrow \mathrm{S} > 0$$

در نهایت با بکارگیری رابطه ۳، میزان پایداری (S) معدن سنگ آهن سنگان خواف محاسبه شده است که میزان پایداری آن برابر ۰/۲۸۹۹ است.

$$S = E - H_{NI} = 0.7430 - 0.4531 = 0.2899$$

همچنین، مقایسه مقدار محاسبه شده S و محدوده مشخص شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که میزان پایداری معدن سنگ آهن سنگان خواف در کلاس ضعیف قرار دارد.

۸- نتیجه‌گیری

صنایع معدنی از پویاترین بخش‌های صنعتی در جهان به‌شمار می‌روند و به دلیل داشتن مزایای بالای اقتصادی به‌عنوان یکی از محورهای توسعه اقتصادی مطرح هستند. در عین حال، ممکن است معدن‌کاری آثار زیست‌محیطی و تبعات اجتماعی مختلفی به همراه داشته باشد. از این رو، توسعه پایدار به منظور حفاظت از سرمایه‌های طبیعی، اجتماعی و انسانی وارد بخش معدن‌کاری شده است.

معدن سنگ آهن سنگان خواف یکی از بزرگ‌ترین معادن سنگ آهن در خاورمیانه است که به‌صورت روباز پلکانی استخراج می‌شود و بر اقتصاد، محدوده جمعیتی و محیط‌زیست اطراف خود تأثیر قابل توجهی دارد. در این مطالعه، با استفاده از نتایج ارزیابی آثار زیست‌محیطی این معدن و با بهره‌گیری از مدل ریاضی فیلیپس، پایداری این مجموعه ارزیابی شده است. با توجه به این‌که مقدار به‌دست آمده برای مؤلفه‌های زیست‌محیطی بزرگ‌تر از مقدار بدست آمده برای مؤلفه‌های انسانی ($E > H_{NI}$) است؛ پروژه پایدار ارزیابی می‌شود. همچنین با استفاده از رابطه $S = E - H_{NI}$ ، میزان پایداری معدن برابر۰/۲۸۹۹ به‌دست آمد که با توجّه به جدول ۵ بیانگر پایداری ضعیف این مجموعه است. از این رو، می‌توان این پایداری ضعیف را ناشی از درصد آسیب بالا برای مؤلفه‌های زیست‌محیطی کیفیت هوا، سلامتی و ایمنی انسان و آب‌های زیرزمینی دانست که با توجّه به ارزیابی آثار زیست‌محیطی به ترتیب دارای مقادیر ۴۷/۵۲، ۳۹/۹۲ و ۳۶/۵۵ درصد می‌باشند. بنابراین این مؤلفه‌ها باید مورد توجّه ویژه قرار گیرند و تمهیدات لازم برای آن‌ها اندیشیده شود.

۹- تشکر و قدردانی

نویسندگان این تحقیق بر خود لازم می‌دانند از کارشناسان معدن سنگ آهن سنگان خواف برای پاسخگویی به فرم‌های نظرسنجی و ارائه تجربیات خود کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

مراجع

[1]. WCED (World Commission on Environment and Development), 1987, "*Our Common Future (Brundlandt Report)*", World Commission on Environment and Development, Oxford, Oxford University Press.

[2]. Giannopoulou, I. P., & Panias, D., 2006, "*Sustainable development of mining and metallurgy in relation*", Acta Metallurgica Slovaca, 12.

[3]. National Academy of Sciences, 1996, "*Mineral Resources and Sustainability; Challenges for Earth Scientists, Commission on Geosciences, Environment and Resources*", National Academy Press, Washington.

[4]. von Below, M., 1993, "*Sustainable mining development hampered by low mineral prices*", RESOURCES POLICY, 177-183.

[5]. Crowson, P., 1998, "*Mining and sustainable: measurement and indicators*", Raw Materials Report 13(1), 27-33.

[6]. IIED and WBCSD, 2002, "*Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development*" Final Report on the Mining, Minerals and Sustainable Development Project (MMSD). Publ by Earthscan for the International Inst for Environment and Development (IIED) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), London.

[7]. BASU, A., & KUMAR, U., 2004, "*Innovation and Technology Driven Sustainability Performance Management Framework (ITSPM) for the Mining and Minerals Sector*", International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 135-149.

[8]. Hilson, G., 2000, "*Sustainable development policies in Canada's mining sector: an overview of government and industry efforts*", Environmental Science & Policy 3, 201-211.

[9]. Vatalis, K.., & Kaliampakos, D., 2006, "*An Overall Index of Environmental Quality in Coal Mining Areas and Energy Facilities*", Environ Manage, 1031-1045.

[10]. Yu, J., Yao, S., Chen, R., Zhu, K., & Yu, L., 2005, "*A quantitative integrated evaluation of sustainable development of mineral resources of a mining city: a case study of Huangshi, Eastern China*", Resources Policy 30, 7-19.

[11]. Phillips, J., 2011, "*The conceptual development of a geocybernetic relationship between sustainable development and Environmental Impact Assessment*", Applied Geography, 969-979.

[12]. Phillips, J., 2010, "*The advancement of a mathematical model of sustainable development*". Sustain Sci, 5: 127-142.

[13]. Phillips, J., 2012, "*The level and nature of sustainability for clusters of abandoned limestone quarries in the southern Palestinian West Bank*", Applied Geography, 376-392.

[14]. Phillips, J., 2012, "*Using a mathematical model to assess the sustainability of proposed bauxite mining in Andhra Pradesh, India from a quantitative-based environmental impact assessment*", Environ Earth Sci, 67:1587–1603.

[15]. Phillips, J., 2013, "*The application of a mathematical model of sustainability to the results of a semi-quantitative Environmental Impact Assessment of two iron ore opencast mines in Iran*", Applied Mathematical Modelling, 7839-7854.

[۱۶]. گزارش فنی شرکت کانی‌کاوان، ۱۳۹۱.

[17]. Perdicoúlis, A., & Glasson, J., 2006, "*Causal networks in EIA*", Environmental Impact Assessment Review, 26, 553-569.

[18]. Kuma, J., Younger, P., & Bowell, R., 2002, "*Expanding the hydrogeological base in mining EIA studies A focus on Ghana*", Environmental Impact Assessment Review, 22, 273-287.

* نویسنده مسئول مکاتبات

[1] Our Common Future
[2] Brundlandt Report
[3] United Nations Conference on Environment & Development
[4] Rio de Janerio
[5] United Nations Enviroment Programme
[6] Crowson
[7] Mining, Minerals and Sustainable Development
[8] BASU & KUMAR
[9] Enviromental Impact Assessment
[10] Hilson
[11] Vatalis
[12] Environmental Quality Index
[13] Jing Yu at al
[14] Degree of Sustainable Development of Mineral Resources
[15] Phillips
[16] Impact Factor
[17] Enviromental Component
[18] Environmental
[19] Human
[20] Atmosphere
[21] Biosphere
[22] Hydrosphere
[23] Lithosphere
[24] Nil
[25] Very Low
[26] Low
[27] Medium
[28] High
[29] Very High