

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

بررسی قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون در معادن زغال سنگ (مطالعه موردی: معدن زغال سنگ زمستان یورت)

نگارنده: ناصر جعفری

اساتید راهنما

دکتر محمد عطایی

دکتر فرهنگ سرشکی

بهمن ۱۴۰۰

تقدیم بہ:

خداوند ہستی، خانوادہ عزیزم و آنان کہ مرا علم آموختند.

شکر و قدردانی

پاس خدای بزرگ را که مریاری رساند تا بتوانم این تحقیق را به پایان برسانم. به پاس وظیفه، ادب و اخلاق بر خود واجب و ضروری می-

دانم از تمامی عزیزانی که مراد انجام این امریاری نمودند از صمیم قلب شکر و قدردانی کنم و برایشان طلب خیر و برکت نمایم. از پدر و مادر

فداکارم و خواهر عزیزم که همیشه تکیه گاه و مشوق من بوده اند و مستند شکر و قدردانی می نمایم.

از اساتید راهبهای عزیز جناب آقای دکتر محمد عطایی و آقای دکتر فرهنگ سرکشی که راهبانی این پایان نامه را پذیرفتند و مراد تمامی مراحل

تدوین این پایان نامه یاری نموده اند، مراتب پاس و قدردانی خود را صمیمانه به آن بزرگواران تقدیم می نمایم. از اساتید محترم و بزرگوار

جناب آقای دکتر رامین رفیعی و آقای دکتر مهدی نوروزی که زحمات داورانی این پایان نامه را بر عهده داشتند، نهایت پاس و قدردانی

را دارم. در نهایت از مجموعه شرکت صنعتی و معدنی شال شرق شاهرود و تمام عزیزانی که مراد انجام این تحقیق یاری رسانند، کمال شکر و

قدردانی را دارم.

تهدنامه

اینجانب ناصر جعفری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته استخراج دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون در معادن زغال سنگ، مطالعه موردی: معدن زغال سنگ زمستان یورت تحت راهنمایی آقای دکتر محمد عطایی و آقای دکتر فرهنگ سرشکی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می شود.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

مکانیزاسیون و اتوماسیون در معادن زیرزمینی زغال سنگ، نقش اساسی در بهبود شرایط معدن کاری و افزایش بهره‌وری تحت شرایط پایدار ایمنی ایفا می‌کند. در این تحقیق قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون در معدن زیرزمینی زغال سنگ زمستان یورت در سه بخش استخراج، ترابری و پایش محیط معدن مورد بررسی قرار می‌گیرد. مهم‌ترین مسئله، مستعد بودن لایه‌های زغالی برای مکانیزاسیون است. عوامل مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی شامل هفت معیار شیب، ضخامت، یکنواختی، کیفیت سنگ سقف و کف، گستردگی و آب موجود در جبهه کار به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی امتیازبندی شدند. با تعریف توابع عضویت و استفاده از عملگر تصمیم فازی، لایه‌های زغالی معدن در پنج رده تعریف شدند. لایه‌های زغالی این معدن قابلیت خیلی ضعیف برای مکانیزاسیون دارند. با بررسی بخش ترابری معدن و برای افزایش راندمان عملیات، به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی با توجه به نه معیار قابلیت دسترسی، ایمنی، تعمیر و نگهداری، هزینه انرژی و سوخت، هزینه آموزش، انعطاف‌پذیری، قیمت سرمایه اولیه، عمر مفید و ظرفیت تولید یک سامانه مناسب ترابری برای اکلن تونل سه معدن انتخاب شده است. مطالعات نشان داد سامانه نوار نقاله بهترین سامانه ترابری اکلن تونل سه است. با توجه به نحوه گازسنجی به صورت دستی در این معدن، شبکه بی سیم ZigBee معرفی شده است. به کمک نرم‌افزار OPNET یک سامانه پایش محیط برای اکلن تونل سه شبیه‌سازی شد. نتایج، پایداری شبکه با تأخیر ۰/۰۱۱ ثانیه را نشان می‌دهد. با امکان‌پذیری این سامانه، هزینه تجهیزات اولیه آن ۲۶۳/۷۱۹/۰۰۰ ریال برآورد شد. در آخر با استفاده از نرم‌افزار MATLAB یک مدل فازی با ورودی گاز نیتروژن، اکسیژن، کربن مونواکسید و متان و دمای محیط برای تعیین شدت احتراق در محیط معدن، ارائه شد. نتایج گازسنجی در سه ایستگاه پیشنهادی نشان می‌دهد که ایستگاه شماره سه در وضعیت زیاد شدت احتراق قرار دارد که این وضعیت نگران‌کننده و قابل توجه است.

کلمات کلیدی: معدن زغال سنگ زمستان یورت، مکانیزاسیون، تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، سامانه ترابری بهینه، شبیه‌سازی شبکه ZigBee، مدل‌سازی سامانه پایش محیط معدن

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات تحقیق	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- بیان مسئله.....	۲
۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق.....	۴
۱-۴- اهداف تحقیق	۵
۱-۵- مراحل انجام تحقیق.....	۶
۱-۶- ساختار تحقیق	۶
فصل ۲: مبانی نظری و پیشینه تحقیق	۹
۲-۱- مقدمه	۱۰
۲-۲- پیشینه تحقیق	۱۰
۲-۲-۱- مرور پیشینه مکانیزاسیون در معادن زغال سنگ	۱۱
۲-۲-۲- مرور پیشینه در زمینه انتخاب سامانه ترابری در معادن.....	۱۴
۲-۲-۳- مرور پیشینه سامانه‌های پایش محیط معدن	۱۶
۲-۲-۴- بحث و نتیجه پیشینه تحقیق	۱۷
۲-۳- مفاهیم مکانیزاسیون و اتوماسیون	۲۰
۲-۴- تجهیزات کندن ماده معدنی در معادن زغال سنگ.....	۲۱
۲-۵- تجهیزات نگهداری در معادن زغال سنگ	۲۲
۲-۶- تجهیزات حمل و نقل در معادن زغال سنگ.....	۲۴
۲-۶-۱- باربری با راه آهن (وینچ-واگن)	۲۵
۲-۶-۲- باربری با نوار نقاله.....	۲۷
۲-۷- سامانه پایش تحت شبکه‌های بی سیم.....	۲۸
۲-۷-۱- احتراق در معدن زغال سنگ.....	۳۰
۲-۷-۲- پیکربندی سامانه ZigBee	۳۲
۲-۷-۳- فلوچارت سامانه	۳۶
۲-۸- عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون معادن زغال سنگ	۳۸
۲-۸-۱- شیب لایه	۳۹
۲-۸-۲- ضخامت لایه	۳۹

۴۰	۲-۸-۳-یکنواختی لایه
۴۱	۲-۸-۴-کیفیت سنگ سقف
۴۳	۲-۸-۵-کیفیت سنگ کف
۴۴	۲-۸-۶-گسترده‌گی لایه
۴۴	۲-۸-۷-آب موجود در جبهه کار
۴۵	۲-۹-۹-معرفی معدن مورد مطالعه
۴۵	۲-۹-۱-موقعیت معدن زغال سنگ زمستان یورت
۴۶	۲-۹-۲-زمین شناسی معدن زغال سنگ زمستان یورت
۴۷	۲-۹-۳-عملیات استخراج معدن زغال سنگ زمستان یورت
۵۰	۲-۱۰-جمع بندی
۵۱	فصل ۳: روش تحقیق
۵۲	۳-۱-مقدمه
۵۲	۳-۲-منطق فازی
۵۳	۳-۲-۱-مجموعه های فازی
۵۵	۳-۲-۲-سامانه های فازی
۵۸	۳-۳-تصمیم گیری های چند معیاره فازی
۶۰	۳-۳-۱-روش تحلیل سلسله مراتبی فازی
۶۳	۳-۳-۱-۱-محاسبه نرخ سازگاری در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی
۶۵	۳-۳-۲-اجتماع وزنی با توابع تصمیم فازی
۶۷	۳-۴-معرفی نرم افزار شبیه سازی OPNET
۶۹	۳-۵-جمع بندی
۷۱	فصل ۴: تجزیه و تحلیل داده ها
۷۲	۴-۱-مقدمه
۷۲	۴-۲-بررسی قابلیت مکانیزاسیون لایه های زغال سنگ معدن زمستان یورت
۷۲	۴-۲-۱-معیارهای تحقیق
۷۳	۴-۲-۲-محاسبه وزن نهایی معیارهای تحقیق
۷۷	۴-۲-۳-تعریف توابع عضویت
۸۲	۴-۲-۴-تعیین رده کیفی لایه های زغالی
۸۴	۴-۳-بررسی سامانه ترابری معدن
۸۷	۴-۳-۱-انتخاب سامانه ترابری بهینه اکلن معدن زمستان یورت

۴-۳-۱-۱- تشکیل ساختار سلسله مراتبی مسئله تحقیق.....	۸۸
۴-۳-۱-۲- محاسبه وزن نهایی معیارهای تحقیق.....	۸۹
۴-۳-۱-۳- محاسبه وزن نهایی گزینه‌های تحقیق.....	۹۲
۴-۴- شبیه‌سازی سامانه پایش محیط معدن.....	۹۶
۴-۴-۱- مدل‌سازی سامانه پایش محیط معدن.....	۱۰۲
۴-۴-۱-۱- اجرای مدل سامانه پایش محیط معدن.....	۱۱۲
۴-۵- جمع‌بندی.....	۱۱۶
فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....	۱۱۷
۵-۱- مقدمه.....	۱۱۸
۵-۲- نتیجه‌گیری.....	۱۱۸
۵-۳- پیشنهادها.....	۱۱۹
مراجع.....	۱۲۱
پیوست ۱.....	۱۲۵
پیوست ۲.....	۱۲۸

فهرست جداول

جدول ۱-۲	پیشینه تحقیق در زمینه مکانیزاسیون معادن زغال سنگ	۱۱
جدول ۲-۲	پیشینه تحقیق در زمینه انتخاب سامانه ترابری در معادن	۱۴
جدول ۳-۲	پیشینه تحقیق در زمینه سامانه‌های پایش محیط معدن	۱۶
جدول ۴-۲	مقایسه شبکه‌های بی‌سیم رایج زیرزمینی	۲۹
جدول ۵-۲	محدوده مجاز مقادیر گازها در معادن زیرزمینی	۳۰
جدول ۶-۲	ارزش شاخص گراهام همراه با وضعیت احتراق	۳۱
جدول ۷-۲	طبقه‌بندی لایه زغال سنگ بر اساس شیب لایه با هدف مکانیزاسیون	۳۹
جدول ۸-۲	طبقه‌بندی لایه زغال سنگ بر اساس ضخامت لایه با هدف مکانیزاسیون	۴۰
جدول ۹-۲	طبقه‌بندی لایه زغال سنگ بر اساس یکنواختی لایه با هدف مکانیزاسیون	۴۰
جدول ۱۰-۲	مقاومت فشاری برای سنگ‌های دربرگیرنده زغال سنگ	۴۲
جدول ۱۱-۲	ضرایب مقاومت برجا، خزش و رطوبت سنگ سقف	۴۲
جدول ۱۲-۲	طبقه‌بندی سنگ سقف بلاواسطه بر اساس شاخص کیفیت	۴۲
جدول ۱۳-۲	طبقه‌بندی توان باربری کف با هدف مکانیزاسیون	۴۳
جدول ۱۴-۲	طبقه‌بندی لایه زغال سنگ بر اساس گستردگی با هدف مکانیزاسیون	۴۴
جدول ۱۵-۲	طبقه‌بندی آب موجود در جبهه کار با هدف مکانیزاسیون	۴۴
جدول ۱۶-۲	مشخصات ژئومکانیکی لایه‌های معدن زمستان یورت	۴۷
جدول ۱۷-۲	موقعیت قرارگیری تونل‌های معدن زمستان یورت	۴۸
جدول ۱۸-۲	مشخصات وینچ اکلن تونل ۳	۴۹
جدول ۱-۳	مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی بین پارامترها	۶۰
جدول ۲-۳	شاخص تصادفی روش گوگوس و بوچر	۶۵
جدول ۱-۴	معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ	۷۳
جدول ۲-۴	ماتریس ادغام شده مقایسه زوجی فازی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون	۷۴
جدول ۳-۴	نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مکانیزاسیون	۷۴
جدول ۴-۴	مقدار S_i برای سطرهای ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون	۷۵
جدول ۵-۴	مقایسه بزرگی مقادیر S_i نسبت به همدیگر	۷۵
جدول ۶-۴	وزن نهایی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون	۷۶
جدول ۷-۴	طبقه‌بندی کیفی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغالی	۷۸

جدول ۴-۸	توابع عضویت ارائه شده برای ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی	۷۸
جدول ۴-۹	توابع عضویت لایه K.....	۸۳
جدول ۴-۱۰	کمترین مقدار هر رده برای لایه K طبق عملگر دابویس-پرید.....	۸۳
جدول ۴-۱۱	طبقه‌بندی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ معدن زمستان یورت.....	۸۴
جدول ۴-۱۲	زمان سنجی‌های سامانه وینچ و واگن اکلم معدن زمستان یورت.....	۸۵
جدول ۴-۱۳	وضعیت تولیدی معدن زمستان یورت غربی.....	۸۶
جدول ۴-۱۴	راندمان عملیات معدن زمستان یورت.....	۸۶
جدول ۴-۱۵	لیست معیارهای انتخاب سامانه ترابری.....	۸۸
جدول ۴-۱۶	لیست گزینه‌های سامانه ترابری.....	۸۹
جدول ۴-۱۷	ماتریس ادغام شده مقایسه زوجی معیارهای انتخاب سامانه ترابری.....	۹۰
جدول ۴-۱۸	نرخ سازگاری مقایسه‌های زوجی معیارهای انتخاب سامانه ترابری.....	۹۱
جدول ۴-۱۹	وزن نهایی معیارهای اصلی سامانه ترابری.....	۹۱
جدول ۴-۲۰	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار قابلیت دسترسی.....	۹۳
جدول ۴-۲۱	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار ایمنی.....	۹۳
جدول ۴-۲۲	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار تعمیر و نگهداری.....	۹۳
جدول ۴-۲۳	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار هزینه انرژی و سوخت.....	۹۳
جدول ۴-۲۴	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار هزینه آموزش.....	۹۳
جدول ۴-۲۵	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار انعطاف‌پذیری.....	۹۳
جدول ۴-۲۶	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار قیمت سرمایه اولیه.....	۹۳
جدول ۴-۲۷	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار عمر مفید.....	۹۳
جدول ۴-۲۸	ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار ظرفیت تولید.....	۹۴
جدول ۴-۲۹	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار قابلیت دسترسی.....	۹۴
جدول ۴-۳۰	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار ایمنی.....	۹۴
جدول ۴-۳۱	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار تعمیر و نگهداری.....	۹۴
جدول ۴-۳۲	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار هزینه انرژی و سوخت.....	۹۴
جدول ۴-۳۳	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار هزینه آموزش.....	۹۴
جدول ۴-۳۴	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار انعطاف‌پذیری.....	۹۴
جدول ۴-۳۵	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت سرمایه اولیه.....	۹۵
جدول ۴-۳۶	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار عمر مفید.....	۹۵
جدول ۴-۳۷	وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار ظرفیت تولید.....	۹۵

جدول ۳۸-۴ امتیاز نهایی گزینه‌های سامانه ترابری	۹۵
جدول ۳۹-۴ موقعیت ایستگاه‌های پایش محیط معدن زمستان یورت	۹۶
جدول ۴۰-۴ هزینه تجهیزات اولیه لازم شبکه ZigBee	۱۰۱
جدول ۴۱-۴ مشخصان فنی تجهیزات ZigBee	۱۰۱
جدول ۴۲-۴ اطلاعات پارامترهای سامانه پایش محیط معدن	۱۰۳
جدول ۴۳-۴ پایگاه قوانین فازی سامانه پایش محیط معدن	۱۰۷
جدول ۴۴-۴ مقادیر گازسنجی در ایستگاه‌های معدن زمستان یورت	۱۱۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ ساختار پایان نامه.....	۷
شکل ۱-۲ توسعه فناوری پیشرفته در صنعت معدن کاری.....	۲۱
شکل ۲-۲ تجهیزات مکانیزه کندن زغال سنگ.....	۲۲
شکل ۳-۲ سامانه نگهداری قدرتی از نوع سپر.....	۲۴
شکل ۴-۲ باربری زغال سنگ توسط واگن و لوکوموتیو معدن زمستان یورت.....	۲۶
شکل ۵-۲ وینچ اکرن تونل ۳ معدن زمستان یورت.....	۲۷
شکل ۶-۲ باربری توسط نوار نقاله.....	۲۸
شکل ۷-۲ ساختار درخت خوشه‌ای شبکه بی‌سیم ZigBee.....	۳۳
شکل ۸-۲ صفحه Arduino.....	۳۴
شکل ۹-۲ صفحه مازول ZigBee.....	۳۴
شکل ۱۰-۲ صفحه رابط ZigBee.....	۳۵
شکل ۱۱-۲ نمونه حسگرهای تشخیص.....	۳۶
شکل ۱۲-۲ فلوچارت واحد حسگر.....	۳۷
شکل ۱۳-۲ فلوچارت واحد نظارت.....	۳۸
شکل ۱۴-۲ عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون.....	۳۹
شکل ۱۵-۲ موقعیت معدن زمستان یورت.....	۴۶
شکل ۱-۳ تابع عضویت مثلثی.....	۵۴
شکل ۲-۳ تابع عضویت دوزنقه‌ای.....	۵۴
شکل ۳-۳ تابع عضویت گاوسی.....	۵۴
شکل ۴-۳ تابع عضویت سیگموئیدالی.....	۵۴
شکل ۵-۳ نمایش یک سامانه فازی.....	۵۵
شکل ۶-۳ سامانه استنتاج فازی ممدانی با دو قانون فازی.....	۵۷
شکل ۷-۳ غیر فازی‌سازی گرانیگاه.....	۵۸
شکل ۸-۳ درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم.....	۶۲
شکل ۹-۳ محیط کاربری نرم افزار OPNET نسخه ۱۴,۵.....	۶۸
شکل ۱-۴ میزان اهمیت معیارهای مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون.....	۷۷
شکل ۲-۴ نمودار توابع عضویت معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون.....	۸۲

شکل ۳-۴ ساختار سلسله مراتبی انتخاب سامانه ترابری	۸۹
شکل ۴-۴ میزان اهمیت معیارهای سامانه ترابری	۹۲
شکل ۵-۴ موقعیت نودها در نقشه معدن زمستان یورت	۹۷
شکل ۶-۴ نحوه قرارگیری و ارسال داده نودها	۹۸
شکل ۷-۴ تنظیمات نود هماهنگ کننده	۹۹
شکل ۸-۴ نمودار تأخیر شبکه ZigBee	۱۰۰
شکل ۹-۴ نمایی از مدل فازی سامانه پایش محیط معدن	۱۰۲
شکل ۱۰-۴ نمودارهای توابع عضویت سامانه پایش محیط معدن	۱۰۵
شکل ۱۱-۴ پایگاه قوانین و غیرفازی سازی در نرم افزار MATLAB	۱۱۲

فصل ۱: کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

امروزه بهره‌گیری از منابع سرشار زیرزمینی و گسترش معادن زغال‌سنگ هم‌گام با استخراج نفت برای کشور در حال توسعه ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از اهداف برنامه توسعه معادن زغال‌سنگ ایران می‌توان به مواردی هم‌چون افزایش بهره‌وری، تولید و ایمنی اشاره کرد. بهبود وضعیت معادن زغال‌سنگ تابع عوامل مختلفی است که شامل مواردی هم‌چون شرایط زمین‌شناسی، امکانات فنی موجود و وضعیت اقتصادی است (اورعی، ۱۳۹۸). در این فصل سعی شده است با تعریف مسئله تحقیق به این امر پرداخته شود. مهم‌ترین ضرورت‌های این مسئله مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین اهداف، مراحل و ساختار این تحقیق در این فصل گنجانده شده است.

۱-۲- بیان مسئله

تأمین انرژی و حامل‌های آن در جوامع صنعتی امروز از پارامترهای مؤثر در پیشرفت هر جامعه محسوب می‌شود. امروزه یکی از مهم‌ترین عوامل پیشرفت اقتصادی هر جامعه، انرژی است که بعد از نفت و گاز، زغال‌سنگ اصلی‌ترین منبع تعیین‌کننده آن است. یکی از روش‌های مقاوم‌سازی صنایع در مقابل تغییرات جهانی قیمت‌ها در مبحث انرژی تنوع‌بخشی در تأمین مواد انرژی‌زا در کشور است. در دهه‌های اخیر، استخراج زغال‌سنگ در کشورهای در حال توسعه مانند ایران رونق زیادی داشته است که دلیل آن کاربرد زغال‌سنگ در صنایع فولاد، تولید نیرو و غیره است؛ اما تولیدات داخلی زغال‌سنگ جوابگوی مصرف نیست و سالیانه مقداری زغال‌سنگ وارد می‌شود. برای به حداقل رساندن میزان واردات زغال‌سنگ، باید استخراج این ماده معدنی از معادن داخلی افزایش داده شود. به منظور رسیدن به این هدف باید نحوه انجام عملیات معدنی، از شیوه‌های سنتی و دستی به روش مکانیزه تبدیل شود (اورعی، ۱۳۹۸).

در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری، استفاده از ماشین‌آلات به‌جای نیروی انسانی رو به گسترش بوده است. معدن‌کاری زیرزمینی از جمله مشاغل پر حادثه و با ریسک بالا برای انسان محسوب می‌شود. علاوه بر این، راندمان نیروی انسانی در مقایسه با ماشین در اکثر موارد معدنی ناچیز است. این عوامل استفاده از ماشین به‌جای نیروی انسانی را در اکثر پروژه‌های معدنی توجیه‌پذیر نموده است. استفاده از ماشین در استخراج معادن زیرزمینی با توجه به نرخ تولید بسیار بالاتر نسبت به انسان و افزایش ایمنی می‌تواند باعث کاهش هزینه تمام شده هر تن ماده معدنی استخراج شده شود و لذا توجیه اقتصادی کلی پروژه را نیز افزایش دهد. به‌منظور مکانیزه کردن یک معدن زغال‌سنگ، سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی لازم است. بدیهی است در همه معادن استفاده از فناوری و مکانیزه کردن امکان‌پذیر نبوده و مکانیزه کردن یک معدن نیاز به مطالعات تخصصی دارد. هر سامانه مکانیزه‌ای در شرایط خاصی از لایه استخراجی به کار گرفته می‌شود. از جمله این شرایط می‌توان به شیب لایه، ضخامت لایه، یکنواختی لایه، قابلیت تخریب کمربالا، خواص مقاومتی زغال، خواص مقاومتی کمربایین، میزان ذخیره، میزان آب در کارگاه‌های استخراجی، گازخیزی لایه و... اشاره کرد. لذا با توجه به کارایی ماشین‌آلات مختلف و شرایط مذکور باید قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد (Ghadernejad et al., 2019; Mikaeil et al., 2020).

در این تحقیق ۷ معیار به عنوان عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغالی انتخاب شده است. این عوامل عبارت‌اند از شیب لایه، ضخامت لایه، یکنواختی لایه، کیفیت سنگ سقف، کیفیت سنگ کف، گستردگی و آب موجود در جبهه کار. با تعیین درجه اهمیت این عوامل می‌توان با توابع تصمیم‌گیری یک اجتماع وزنی برای هر معیار محاسبه و میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌ها را طبقه‌بندی کرد. این امر کمک شایانی به شناخت لایه‌های مستعد مکانیزاسیون می‌کند. از طرفی با بررسی راندمان عملیات در بخش‌های مختلف یک معدن می‌توان به تصمیم‌گیری لازم برای بهبود آن بخشید. در این تحقیق با انتخاب یک سامانه

مناسب در بخش ترابری مورد مطالعاتی، یک راهکار برای بهبود شرایط فعلی معدن است. استفاده از فناوری- های جدید در زمینه پایش محیط معدن برخلاف روش‌های دستی منجر به افزایش سطح مکانیزاسیون و اتوماسیون در معادن می‌شود. فناوری‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم مانند ZigBee از این نمونه است که نقش مهمی در سطح ایمنی معادن ایفا می‌کند. با شبیه‌سازی و بررسی امکان‌پذیری این شبکه پایش از اجرای آن می‌توان به نتایج واقعی نزدیک شد. همچنین با توجه به عدم قطعیت در محیط معدن، یک سامانه فازی برای پایش محیط معدن ارائه شده که نقاط بحرانی معدن قابل مشاهده است. در این مدل‌سازی از گازهای رایج در معدن استفاده شده تا شدت احتراق نقاط بحرانی مشخص شود.

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

مکانیزاسیون در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ، نقش اساسی در بهبود شرایط معدن‌کاری و افزایش بهره‌وری تحت شرایط پایدار ایمنی ایفا می‌کند. در صورت استفاده از روش‌های سنتی استخراج به‌جای یک روش مکانیزه، معدن با تولید و بهره‌وری پایین همراه خواهد بود که این موجب کاهش سودآوری است. در معدن زغال‌سنگ زمستان یورت عملیات استخراج به روش سنتی انجام می‌گیرد؛ که این امر موجب می‌شود ابتدا میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی مورد بررسی قرار گیرد. با تعیین میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی می‌توان فهمید چه میزان لایه‌های زغالی مستعد شرایط مکانیزاسیون هستند که در نتیجه به تصمیم‌گیری برای استفاده از تجهیزات مکانیزه منجر خواهد شد. با بررسی راندمان عملیات در بخش‌های مختلف معدن، می‌توان به تصمیم‌گیری لازم جهت بهبود آن بخشید؛ که در معدن زغال‌سنگ زمستان یورت، تولید با توجه به محدودیت سامانه ترابری فعلی معدن انجام می‌گیرد و این سامانه باعث کاهش راندمان عملیات معدن شده است. پس انتخاب یک سامانه ترابری دارای صلاحیت فنی و اقتصادی، مهم و ضروری است. همچنین در این معدن، گازسنجی محیط به‌صورت دستی صورت می‌گیرد؛ که پایش پیوسته محیط

نادقیق و فازی معدن، باعث تضمین ایمنی و سطح خطر استخراج است. بنابراین برای معدن‌چیان لازم و ضروری است تمام بخش‌های معدن را از نظر مکانیزاسیون بررسی کنند و با انتخاب تجهیزات و فناوری‌های پیشرفته مناسب، راندمان تولید و عملیات معدن را بهبود بخشند.

۱-۴- اهداف تحقیق

کلید موفقیت شرکت‌ها و سازمان‌ها بهره‌وری است به‌طوری که عدم برخورد اصولی با موضوع بهره‌وری شکست این سازمان‌ها را به دنبال خواهد داشت. کارآیی نیروی انسانی، جایگزینی سرمایه به‌جای نیروی کار، صرفه‌جویی‌های ناشی از تولید در مقیاس وسیع و استفاده از فناوری پیشرفته مؤثرترین عوامل در ارتقای بهره‌وری هستند که بدون شک پیشرفت‌های فناورانه اهمیتی به مراتب قاطع‌تر از سایر عوامل دارد. استفاده از فناوری پیشرفته باعث افزایش میزان تولید، کاهش بهای تمام شده، افزایش سطح ایمنی و صرفه‌جویی قابل‌توجهی در عوامل تولید خواهد شد. اکثر معادن زیرزمینی کشور غیرمکانیزه هستند که این خود باعث کم شدن توان تولید و کاهش سطح ایمنی در این معادن شده است.

افزایش تولید و بهره‌وری با حفظ سطح ایمنی قابل‌قبول در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ ایران از دغدغه‌های اصلی مدیران و مهندسان است. یکی از روش‌های دستیابی به این اهداف مکانیزه کردن این معادن است. مکانیزاسیون این‌گونه معادن مستلزم انجام مطالعات دقیق و سرمایه‌گذاری قابل‌توجه است؛ بنابراین در ابتدا باید قابلیت مکانیزاسیون مورد توجه و مطالعه قرار گیرد. هدف در این تحقیق بررسی میزان قابلیت مکانیزاسیون معادن، میزان ارتقای مکانیزاسیون آن‌ها و در نهایت توجیه‌پذیری آن و ایجاد راهکارهایی برای بهبود شرایط فعلی استخراج است. برای رسیدن به این اهداف، شناخت و تعیین عوامل مؤثر، برای یک تصمیم‌گیری مناسب یک امر ضروری است. انجام این تحقیق به مسئولان و تصمیم‌گیرندگان این فرصت را خواهد داد که برای ارتقا مکانیزاسیون گام بردارند که نهایتاً منجر به افزایش راندمان معادن زیرزمینی خواهد

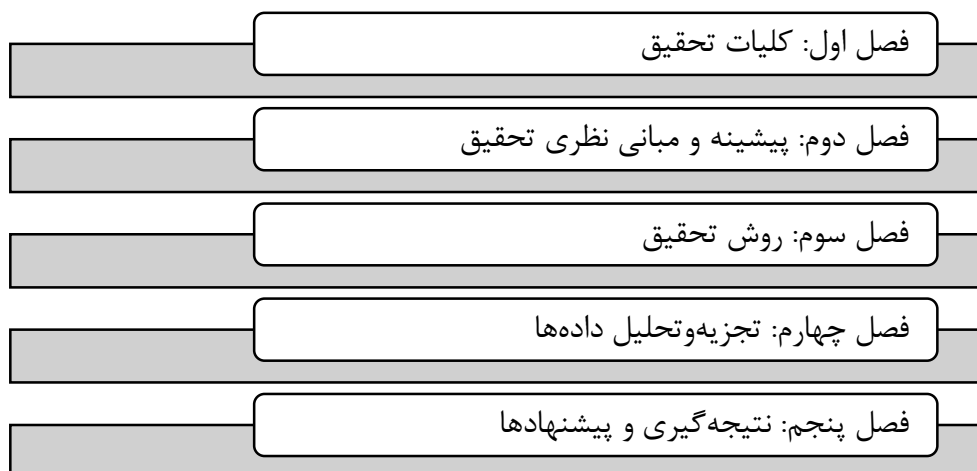
شد. پس از انجام این تحقیق، مطالعات مشابهی در سایر معادن ممکن خواهد بود.

۱-۵- مراحل انجام تحقیق

اولین مرحله، جمع‌آوری اطلاعات در زمینه انجام تحقیق است. شیوه جمع‌آوری اطلاعات تحقیق از روش ترکیبی کتابخانه‌ای-میدانی است. در روش کتابخانه‌ای از اطلاعات کتاب‌ها، مقالات علمی معتبر، منابع اینترنتی و همچنین گزارش‌های اکتشافی مطالعه موردی استفاده شده است. در روش میدانی با بازدید از مطالعه موردی به بررسی وضعیت کارگاه‌های استخراجی، رفع نواقص احتمالی موجود و برنامه‌ریزی برای گردآوری داده‌های مورد نیاز پرداخته شده است. در مرحله بعد روش‌های ممکن برای مکانیزاسیون و اتوماسیون کارگاه‌ها بررسی و راهکارهای ممکن برای بهبود شرایط فعلی استخراجی کارگاه‌ها ارائه شده است. در این مرحله برای تعیین میزان اهمیت معیارهای تحقیق، پرسش‌نامه‌هایی برای افراد خبره ارسال شده و در نهایت با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی مورد مطالعاتی تعیین شده است. همچنین با بررسی سامانه ترابری معدن یک سامانه بهینه به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انتخاب شده است. در ادامه با بررسی شبکه ZigBee، یک شبکه حسگر بی‌سیم با نرم‌افزار OPNET شبیه‌سازی و هزینه لازم این شبکه برآورد شد. همچنین با نرم‌افزار MATLAB یک مدل بر مبنای منطق فازی برای تعیین نقاط بحرانی معدن انجام گرفت. با استفاده از اطلاعات گازسنجی انجام شده در معدن مورد مطالعه، نقاط بحرانی توسط مدل فازی تعیین گردید. در مرحله آخر تمامی اطلاعات، جمع‌بندی و گزارش نهایی تهیه شده است.

۱-۶- ساختار تحقیق

این تحقیق در پنج فصل تنظیم شده که فصل‌بندی آن در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱ ساختار پایان‌نامه

در فصل اول، به کلیات تحقیق شامل تعریف و بیان مسئله، ضرورت، اهداف، جنبه نوآوری و مراحل انجام تحقیق پرداخته شده است.

در فصل دوم، ابتدا به بررسی پیشینه تحقیق در سه زمینه متناظر با مکانیزاسیون و اتوماسیون معادن پرداخته شده و پس از آن با آشنایی مفاهیم مکانیزاسیون و اتوماسیون، به معرفی تجهیزات استخراج مکانیزه و فناوری پایش محیط معدن پرداخته شده است. سپس عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون معادن زغال‌سنگ بررسی شده و در آخر مطالعه موردی تحقیق که معدن زیرزمینی زغال‌سنگ زمستان یورت است معرفی شده است.

فصل سوم مربوط روش انجام تحقیق بر مبنای منطق فازی است. ابتدا با معرفی مجموعه‌های فازی، اجزای یک سامانه فازی بیان شده و پس از آن با معرفی تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و توابع تصمیم فازی نیز بیان شده است. در آخر نرم‌افزار OPNET در این فصل به صورت مختصر معرفی شده است.

فصل چهارم با استفاده از اطلاعات مطالعه موردی، ابتدا میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی آن و سپس سامانه ترابری آن بررسی شده و در آخر یک سامانه پایش محیط معدن، شبیه‌سازی و مدل‌سازی شده است.

در فصل پنجم، نتایج حاصل از تحقیق و همچنین پیشنهادهایی به منظور بهبود کارهای آتی ارائه شده است.

فصل ۲: مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

استفاده از تجهیزات مکانیزه و فناوری‌های جدید منجر به افزایش سلامت، ایمنی، تولید و کاهش هزینه‌های عملیاتی شده است. در این فصل با تعریف مفاهیم مکانیزاسیون و اتوماسیون به معرفی تجهیزات کندن، نگهداری و حمل‌ونقل در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ و همچنین فناوری‌های جدید در زمینه پایش محیط معدن پرداخته شده است. از آنجاکه مکانیزاسیون به سطوح بالایی از سرمایه‌گذاری نیاز دارد قبل از تصمیم‌نهایی در مورد مکانیزاسیون باید به دقت مطالعات صورت گیرد؛ در ادامه معرفی تجهیزات استخراج و سامانه پایش محیط معدن، عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون معادن زغال‌سنگ بررسی شده است که کمک شایانی برای ارزیابی میزان قابلیت مکانیزاسیون در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. از این‌رو، تحقیق در مورد مکانیزه کردن معادن زغال‌سنگ به موضوع مورد علاقه پژوهشگران تبدیل شده که ابتدا در این فصل تحقیق‌های انجام شده در سه بخش مکانیزاسیون معادن زغال‌سنگ، ترابری و پایش محیط معدن مورد بررسی قرار گرفته و در آخر این فصل نیز به معرفی معدن مورد مطالعه پرداخته شده است.

۲-۲- پیشینه تحقیق

در این بخش پیشینه تحقیق به سه زمینه تقسیم می‌شود که هر زمینه یک دیدگاه متناظر با مکانیزاسیون و اتوماسیون در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ است. زمینه اول به سابقه ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون در معادن زغال‌سنگ می‌پردازد. زمینه دوم مطالعات در زمینه انتخاب سامانه ترابری در معادن را ارائه می‌کند و در زمینه سوم سامانه‌های پایش محیط معدن را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۲-۱- مرور پیشینه مکانیزاسیون در معادن زغال سنگ

جدول ۱-۲ تحقیقاتی انجام شده در زمینه ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون در معادن زغال سنگ را نشان می‌دهد. در ادامه به بررسی مختصر آن‌ها پرداخته شده است.

جدول ۱-۲ پیشینه تحقیق در زمینه مکانیزاسیون معادن زغال سنگ

ردیف	عنوان	نویسندگان	سال
۱	تعیین مکانیزاسیون معدن زغال سنگ با استفاده از منطق فازی	عطایی و همکاران	۲۰۰۹
۲	فناوری استخراج زغال سنگ تمام مکانیزه برای لایه نازک زغال- سنگ تحت شرایط پیچیده زمین‌شناسی	گیمی وانگ ^۱ و همکاران	۲۰۱۱
۳	یک روش فازی برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی زغال سنگ با در نظر گرفتن عوامل مکانیزاسیون	اوزفیرات ^۲	۲۰۱۲
۴	استفاده از منطق فازی برای تعیین مکانیزاسیون معدن زغال سنگ	ا. حسینی و همکاران	۲۰۱۲
۵	توسعه یک طبقه‌بندی جدید برای ارزیابی مکانیزاسیون معدن زغال سنگ	م. حسینی و همکاران	۲۰۱۳
۶	استفاده از تصمیم‌گیری یکپارچه بر اساس پرامیتی و دلفی فازی برای انتخاب لایه زغال سنگ بهینه برای مکانیزاسیون (مطالعه موردی: معدن زغال سنگ طزره، ایران)	قادرنژاد و همکاران	۲۰۱۹
۷	رتبه‌بندی و ارزیابی مکانیزاسیون لایه زغال سنگ معدن تحت شرایط زمین‌شناسی	میکایل و همکاران	۲۰۲۰

عطایی و همکاران در سال ۲۰۰۹، یک مدل فازی برای تعیین قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ ارائه کردند. در این تحقیق با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون در دو قالب کلی که شامل ویژگی‌های ماده معدنی (شیب، ضخامت، گستردگی، یکنواختی) و ویژگی سنگ دربرگیرنده (کیفیت سنگ سقف، کیفیت سنگ کف، آب موجود در جبهه کار) به‌عنوان ورودی مدل و تعریف توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای برای هریک از آن‌ها و تعریف تابع عضویت برای میزان قابلیت مکانیزاسیون در پنج رده (خیلی کم، کم،

^۱ Guimei Wang

^۲ Özfirat

متوسط، زیاد، خیلی زیاد) به عنوان خروجی مدل و با تعریف ۳ پایگاه قوانین فازی کلی مربوط به ویژگی‌های ماده معدنی و سنگ دربرگیرنده و قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ توانستند به ایجاد یک مدل فازی برای تعیین قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ دست یابند. در نتیجه با استفاده از مدل فازی ارائه شده، مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ معدن تخت را مورد بررسی قرار دادند.

گیمی وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰، تجهیزات مکانیزه برای استخراج لایه‌های نازک زغال سنگ (حداکثر ۹۰ سانتی متر) پیشنهاد دادند. آن‌ها با استفاده از فناوری‌هایی از جمله لیزر حرارتی و ضد حریق و با در نظر گرفتن اصطکاک زاویه‌ای و زاویه هل دادن پهنه‌ها، تجهیزات مکانیزه استخراج شامل شیر، نوار نقاله و نگهدارنده‌های هیدرولیکی را پیشنهاد دادند. اتوماسیون این تجهیزات با فناوری الکترو هیدرولیک، کنترل از راه دور و شبیه‌سازی کامپیوتری انجام گرفته است. نتایج با اجرا بر روی دو معدن زغال سنگ، استخراج کامل لایه‌های نازک زغال سنگ و عملیات معدن کاری سریع تر را نشان می‌دهد.

ازفیرات در سال ۲۰۱۲، یک مدل برای انتخاب روش استخراج تحت عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون ارائه داد. او ابتدا معیارها شامل تولید، زمین‌شناسی، مکانیک سنگ و ایمنی، زیر معیارهای مؤثر بر هر گروه و گزینه‌های استخراج شامل تولید سنتی، حفاری و آتشباری (دینامیکی) همراه با نگهداری، حفاری و آتشباری (پنوماتیکی) همراه با نگهداری، تولید نیمه مکانیزه و تولید مکانیزه را تعریف کرد. سپس با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی گزینه‌های استخراج را مورد ارزیابی قرار داد. در نتیجه با محاسبه وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها، معدن زیرزمینی زغال سنگ آماسرا را بررسی و مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد گزینه حفاری و آتشباری پنوماتیکی همراه با نگهداری بیشترین امتیاز را کسب کرده است.

۱. حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۲، کاربرد منطق فازی را در بررسی قابلیت مکانیزاسیون معادن زغالی ارائه کردند. آن‌ها معیار شیب، ضخامت و یکنواختی لایه را در قالب کلی ویژگی ماده معدنی و معیار مقاومت سنگ سقف و کف لایه را نیز در قالب کلی ویژگی سنگ دربرگیرنده در نظر گرفتند. توابع عضویت فازی هر

یک از این پارامترها بر اساس استانداردهای از قبل تعیین شده محاسبه و ۳ پایگاه قواعد فازی کلی مربوط به ویژگی‌های ماده معدنی و سنگ دربرگیرنده و قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی تعیین شد. در نهایت با استفاده از مدل فازی ارائه شده لایه‌های معدن زیرزمینی زغال‌سنگ طزره را مورد ارزیابی قرار دادند.

م. حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۳، یک سامانه طبقه‌بندی جدید برای بررسی قابلیت مکانیزاسیون معادن زغال‌سنگ ارائه کردند. برای تعیین ضریب تأثیر معیارهای مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون که شامل شیب لایه، ضخامت لایه، یکنواختی لایه، گسترده‌گی لایه، مقاومت سنگ سقف و کف لایه و دبی آب موجود در لایه می‌شود از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند و با تأثیر دادن هریک از وزن‌ها در محدوده عددی هر رده، قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های معدن زیرزمینی زغال‌سنگ تخت مورد ارزیابی قرار گرفت.

قادرنژاد و همکاران در سال ۲۰۱۹، رتبه‌بندی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال‌سنگ معدن زیرزمینی زغال‌سنگ طزره را پیشنهاد دادند. در این مقاله با در نظر گرفتن ۷ معیار مؤثر بر مکانیزاسیون (شیب لایه، ضخامت لایه، یکنواختی لایه، گسترده‌گی لایه، کیفیت سنگ سقف و کف، آب موجود در جبهه‌کار)، ابتدا وزن این معیارها به روش دلفی فازی محاسبه و سپس به روش پرامیتی گزینه‌های مسئله که همان لایه‌های زغالی هستند، مورد ارزیابی قرار گرفتند و گزینه‌ها از نظر قابلیت مکانیزاسیون رتبه‌بندی شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که لایه k19 بیش‌ترین قابلیت مکانیزاسیون با رتبه ۱ و امتیاز ۷۱/۴ درصد دارد. در نتیجه به‌عنوان بهترین گزینه برای مکانیزاسیون انتخاب شد.

میکایل و همکاران در سال ۲۰۲۰، ارزیابی و رتبه‌بندی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال‌سنگ معادن زیرزمینی زغال‌سنگ تخت، طزره و طبس را پیشنهاد دادند. در این مقاله با در نظر گرفتن معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون (شیب لایه، ضخامت لایه، یکنواختی لایه، گسترده‌گی لایه، کیفیت سنگ سقف و کف، آب موجود در جبهه‌کار)، ابتدا وزن این معیارها به روش دلفی فازی محاسبه و سپس به روش پرامیتی گزینه‌های مسئله که همان لایه‌های زغالی هستند، مورد ارزیابی قرار گرفتند و گزینه‌ها از نظر قابلیت مکانیزاسیون

رتبه‌بندی شدند. یافته‌ها، میزان قابلیت مکانیزاسیون تمامی لایه‌ها را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در نتیجه بهترین لایه برای مکانیزاسیون انتخاب شده است.

۲-۲-۲- مرور پیشینه در زمینه انتخاب سامانه ترابری در معادن

جدول ۲-۲ تحقیق‌های انجام شده در زمینه انتخاب سامانه ترابری را نشان می‌دهد. در ادامه به بررسی مختصر آن‌ها پرداخته شده است.

جدول ۲-۲ پیشینه تحقیق در زمینه انتخاب سامانه ترابری در معادن

ردیف	عنوان	نویسندگان	سال
۱	انتخاب تجهیزات بارگیری-باربری در معادن روباز با استفاده از روش تاپسیس فازی	آقاجانی و همکاران	۲۰۰۸
۲	انتخاب سامانه حمل‌ونقل در طراحی معدن با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی	دسپودوف زوران ^۱ و همکاران	۲۰۱۱
۳	انتخاب سامانه حمل‌ونقل ماده معدنی در معدن فلزی زیرزمینی	آلپر گونن ^۲ و همکاران	۲۰۱۲
۴	انتخاب سامانه حمل‌ونقل زغال‌سنگ از معدن روباز به نیروگاه حرارتی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی	ازفیرات و همکاران	۲۰۱۷
۵	انتخاب سامانه ترابری معدن زغال‌سنگ پروده با استفاده از روش-های تصمیم‌گیری چند معیاره	قصوره و همکاران	۲۰۱۹

آقاجانی و همکاران در سال ۲۰۰۸، یک مدل بر اساس روش تاپسیس فازی برای انتخاب سامانه بارگیری-باربری ارائه دادند. در این مقاله با در نظر گرفتن ۲۲ عامل مؤثر در انتخاب سامانه بارگیری-باربری، ابتدا وزن این معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه و سپس با روش تاپسیس فازی سه گزینه پیشنهادی مسئله شامل شاول-کامیون، لودر-کامیون و شاول-کامیون-نوارنقاله مورد ارزیابی قرار داده شد. در نتیجه با استفاده از مدل ارائه شده و اطلاعات معدن مس سونگون سامانه شاول-کامیون به‌عنوان بهترین گزینه با

^۱ Despodov Zoran

^۲ Alper Gonen

رتبه ۱ انتخاب شد.

دسپودوف زوران و همکاران در سال ۲۰۱۱، کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در انتخاب سامانه حمل و نقل در طراحی معادن را پیشنهاد دادند. با انتخاب ۷ معیار شامل هزینه حمل و نقل، سرمایه گذاری لازم، نیروی کار لازم، ایمنی، آلودگی هوای زیرزمینی، قابلیت دسترسی و اتوماسیون به روش تحلیل سلسله مراتبی ۵ گزینه شامل لوکوموتیو دستی، لوکوموتیو برقی، سامانه نقاله با دو نوار، سامانه نقاله با ۳ نوار و کامیون های استخراج زیرزمینی را مورد ارزیابی قرار دادند. در نهایت بیشترین وزن را گزینه سامانه نقاله با دو نوار کسب کرد و به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد.

آلپر گونن و همکاران در سال ۲۰۱۲، یک الگوریتم برای انتخاب سامانه حمل و نقل در معادن فلزی ارائه دادند. در این مقاله با در نظر گرفتن ماده معدنی و مقدار تولید سالیانه یک الگوریتم برای انتخاب سه نوع سامانه حمل و نقل شامل حمل و نقل از طریق چاه، حمل و نقل از طریق رمپ و حمل و نقل با نوار نقاله ساخته شده است. نتایج نشان می دهد عملیات معدن کاری با افزایش عمق و تولید حداکثر ۳۰۰ هزار تن در سال، سامانه حمل و نقل از طریق رمپ اقتصادی است. همچنین عملیات معدن کاری تا عمق ۲۵۰ متری، سامانه نوار نقاله اقتصادی تر است و برای معادن عمیق با ظرفیت بالا، حمل و نقل از طریق چاه مناسب است.

ازفیرات و همکاران در سال ۲۰۱۳، سامانه حمل و نقل زغال سنگ از معدن روباز به نیروگاه حرارتی را پیشنهاد کردند. در این مقاله با در نظر گرفتن ۷ معیار شامل مسافت حمل و نقل، شیب، ذخیره، عمر اقتصادی، هزینه سرمایه گذاری، ظرفیت تولید و هزینه واحد به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ۷ گزینه حمل و نقل را مورد ارزیابی قرار دادند. در نتیجه با در نظر گرفتن اطلاعات منطقه مورد مطالعه، گزینه نوار نقاله به عنوان گزینه برتر انتخاب شد.

قصوره و همکاران در سال ۲۰۱۹، سامانه ترابری مناسب معدن زغال سنگ پروده با روش های تصمیم گیری چند معیاره پیشنهاد دادند. در این مقاله ۳ سامانه ترابری شامل وینچ-واگن، لوکوموتیو-واگن و نوار

نقاله با در نظر گرفتن ۸ معیار مؤثر شامل قابلیت دسترسی، ایمنی، تعمیر و نگهداری، هزینه انرژی و سوخت، هزینه آموزش، انعطاف پذیری، هزینه دستگاه و عمر مفید با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، سلسله مراتبی-تاپسیس و سلسله مراتبی-ویکور مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس با استفاده از استراتژی‌های اولویت‌بندی روش‌های تصمیم‌گیری، سامانه ترابری نوار نقاله رتبه یک را کسب کرد. در نهایت به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شد.

۲-۲-۳- مرور پیشینه سامانه‌های پایش محیط معدن

جدول ۲-۳ تحقیق‌های انجام شده در زمینه سامانه‌های پایش محیط معدن را نشان می‌دهد. در ادامه به بررسی مختصر آن‌ها پرداخته شده است.

جدول ۲-۳ پیشینه تحقیق در زمینه سامانه‌های پایش محیط معدن

ردیف	عنوان	نویسندگان	سال
۱	بررسی سامانه ارتباطی و پایش زیرزمینی بر پایه امواج رادیویی با استفاده از ZigBee	مریدی و همکاران	۲۰۱۴
۲	توسعه سامانه ارتباطی و پایش زیرزمینی توسط ZigBee و جی-آی‌اس ^۱	مریدی و همکاران	۲۰۱۵
۳	پایش احتراق در معادن زغال‌سنگ با استفاده از شبکه بی‌سیم زیرزمینی و کنترل‌کننده فازی نوع دوم	باسو و همکاران	۲۰۱۹
۴	کاربرد منطق فازی در پیش‌بینی احتراق معدن زیرزمینی زغال-سنگ	دنیش ^۳ و اوندرا ^۴	۲۰۲۰

مریدی و همکاران در سال ۲۰۱۴، شبکه ارتباطی و پایش در معدن زیرزمینی با در نظر گرفتن ZigBee مورد ارزیابی قرار دادند. ابتدا شبکه‌های رایج در معادن زیرزمینی مقایسه شده سپس با استفاده از شبکه

^۱ GIS: Geographic Information System

^۲ Sweta Basu

^۳ Esmatullah Danish

^۴ Mustafa Onder

ZigBee آزمایش‌های تجربی انجام گرفته است. با تجزیه و تحلیل روش تجربی و شبیه‌سازی، امواج رادیویی در نزدیکی و دوری از منبع مورد ارزیابی قرار گرفته است. یافته‌ها با مطالعه بر روی معدن زیرزمینی روی نشان می‌دهد محدوده ارتباطی بی‌سیم پایدار در تونل‌های صاف ۱۰۰ متر و در تونل‌های انحنادار ۷۰ متر است.

مریدی و همکاران در سال ۲۰۱۵، یک برنامه یکپارچه متشکل از ZigBee و جی‌آی‌اس برای سامانه ارتباطی و پایش معدن زیرزمینی ارائه دادند. آن‌ها با در نظر گرفتن حد مجاز اطلاعات دریافتی از حسگرها، یک برنامه در محیط جی‌آی‌اس توسعه دادند. یافته‌ها در سه سطح ایمن، ناپایدار و ناایمن موجب می‌شود سامانه تصمیم مناسب مانند روشن و خاموش کردن فن‌ها یا ارسال پیام اضطراری اخذ کند.

باسو و همکاران در سال ۲۰۱۹، یک مدل فازی برای پایش احتراق در معادن زیرزمینی ارائه کردند. ورودی مدل، داده‌های حسگر زیرزمینی شامل کربن دی اکسید، کربن مونوکسید، اکسیژن و دما هستند. خروجی مدل بر اساس شاخص احتراق گراهام به پنج رده تعریف و پایگاه قوانین فازی به روش ممدانی تشکیل شده است. در نهایت با تجزیه و تحلیل آماری، یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از فازی نوع دوم بسیار مناسب‌تر از نوع اول است.

دنیش و اونددر در سال ۲۰۲۰، یک مدل فازی برای پیش‌بینی احتراق در معادن زیرزمینی پیشنهاد کردند. ورودی مدل، داده‌های حسگر زیرزمینی شامل کربن مونوکسید، اکسیژن، نیتروژن و دما هستند. خروجی مدل بر اساس شاخص احتراق گراهام به پنج رده تعریف و پایگاه قوانین فازی به روش ممدانی تشکیل شده است. در نهایت با پیاده‌سازی مدل بر روی مطالعه موردی یافته‌ها نشان می‌دهد در دو ایستگاه معدن وضعیت نگران‌کننده است. به دلیل عدم قطعیت در محیط معدن نتایج نشان می‌دهد مدل فازی قابل اعتماد است.

۲-۲-۴- بحث و نتیجه پیشینه تحقیق

با بررسی و تحلیل مطالعات انجام گرفته پیشین در زمینه استخراج، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در مقاله عطایی و همکاران در سال ۲۰۰۹، یک مدل فازی با در نظر گرفتن ۷ عامل مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی ارائه که در این مدل از توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای استفاده شده است. این توابع انتقال نرم و تدریجی درجه عضویت را به خوبی نشان نمی‌دهند.
 - در مقاله ا.حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۲، یک مدل فازی با در نظر گرفتن ۵ عامل مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون ارائه شده است. عامل گستردگی لایه و آب موجود در جبهه کار در این مدل نادیده گرفته شده است.
 - در مقاله م.حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۳، یک طبقه‌بندی غیرفازی برای تعیین قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی با در نظر گرفتن ۷ عامل مؤثر ارائه کرده‌اند.
 - در مقاله قادرنژاد و همکاران در سال ۲۰۱۹ و میکایل و همکاران در سال ۲۰۲۰، ۷ عامل مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغالی به روش دلفی فازی محاسبه و سپس گزینه‌ها به روش غیرفازی پرامیتی مورد ارزیابی و اولویت‌بندی قرار گرفته‌اند.
- در این تحقیق ۷ عامل مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغالی به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی امتیازبندی و سپس با استفاده از عملگر تصمیم فازی میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی در ۵ رده تعریف و برای افزایش میزان دقت در نتایج نیز از توابع عضویت غیرخطی گاوسی و سیگموئیدالی که مناسب تعریف ۵ رده کیفی هستند استفاده شده است.
- با بررسی و تحلیل مطالعات انجام گرفته پیشین در زمینه حمل‌ونقل در معادن، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- در مقاله آقاجانی و همکاران در سال ۲۰۰۸ و دسیوف و همکاران در سال ۲۰۱۱، وزن عوامل مؤثر بر انتخاب سامانه حمل‌ونقل به روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شده که این یک روش غیرفازی است.
 - در مقاله ازفیرات و همکاران در سال ۲۰۱۳، از ۷ عامل مؤثر در انتخاب سامانه حمل‌ونقل انتقال زغال سنگ به نیروگاه حرارتی شامل مسافت، شیب، ذخیره، عمر اقتصادی، هزینه سرمایه‌گذاری، ظرفیت تولید و هزینه واحد استفاده شده است.
 - در مقاله قصوره و همکاران در سال ۲۰۱۹، از ۸ عامل مؤثر در انتخاب سامانه حمل‌ونقل معدن

زیرزمینی زغال سنگ شامل قابلیت دسترسی، ایمنی، تعمیر و نگهداری، هزینه انرژی و سوخت، هزینه آموزش، انعطاف پذیری، هزینه دستگاه و عمر مفید استفاده شده است.

در این تحقیق از ۹ عامل مؤثر بر انتخاب سامانه ترابری شامل قابلیت دسترسی، ایمنی، تعمیر و نگهداری، هزینه انرژی و سوخت، هزینه آموزش، انعطاف پذیری، هزینه دستگاه، عمر مفید و ظرفیت تولید استفاده شده که این عوامل و گزینه‌های تحقیق به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با بررسی و تحلیل مطالعات انجام گرفته پیشین در زمینه پایش محیط معدن، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مریدی و همکاران در سال ۲۰۱۴، به معرفی شبکه و تجهیزات فناوری ZigBee پرداخته‌اند. از مهم‌ترین نتیجه این تحقیق می‌توان به محدوده ارتباطی بی‌سیم پایدار شبکه ZigBee در تونل-های صاف ۱۰۰ متر و در تونل‌های انحنادار ۷۰ متر اشاره کرد.

- در مقاله باسو و همکاران در سال ۲۰۱۹، ورودی مدل فازی برای تعیین شدت احتراق شامل ۴ متغیر کربن مونوکسید، کربن دی‌اکسید، اکسیژن و دما هستند. در این مدل از گاز رایج و پرخطر متان و همچنین گاز نیتروژن که یک عامل تأثیرگذار در خودسوزی زغال سنگ استفاده نشده است.

- در مقاله دنیش و اوند در سال ۲۰۲۰، ورودی مدل فازی برای تعیین شدت احتراق شامل ۴ متغیر کربن مونوکسید، نیتروژن، اکسیژن و دما هستند. در این مدل نیز از گاز رایج و پرخطر متان استفاده نشده است.

در این تحقیق با معرفی فناوری ZigBee و با استفاده از نتایج تحقیق‌های صورت گرفته یک شبیه‌سازی شبکه در نرم‌افزار OPNET با سه ایستگاه پیشنهادی برای معدن مورد مطالعه صورت گرفته و با امکان پذیری این سامانه هزینه تجهیزات اولیه آن برآورد شده است. در آخر یک مدل فازی برای تعیین شدت احتراق با ۵ متغیر ورودی شامل کربن مونوکسید، اکسیژن، نیتروژن، دما و متان ارائه شده است.

۲-۳- مفاهیم مکانیزاسیون و اتوماسیون

امروزه در صنعت، هدف اصلی، رسیدن به بالاترین میزان بهره‌وری است. در واقع، تمامی تلاش‌ها، به این منظور است تا صنعت، در کوتاه‌ترین زمان و راحت‌ترین شکل ممکن، به بالاترین میزان بازده دست پیدا کند. به همین سبب، مفاهیمی تحت عنوان اتوماسیون و مکانیزاسیون معرفی شدند. مفاهیمی که به‌طور کامل، به رسیدن به بالاترین میزان بازدهی پرداخته‌اند و به همین سبب، امروزه به‌طور قابل توجهی مورد توجه بسیاری از صنایع مختلف قرار می‌گیرند. مکانیزاسیون، مفهومی است که در آن، یک مجموعه نسبتاً بزرگ یا کوچک از تعدادی لوازم و ابزار وجود دارد؛ اما باید اشاره کرد که در مفهوم مکانیزاسیون، به‌منظور به‌کارگیری و انجام شدن امور توسط این ابزارها و لوازم، نیاز به نیروی انسانی است (www.Kolis.ir).

مکانیزاسیون هدفی است که منجر به کاهش چشم‌گیر هزینه و بالا بردن سود در معادن زیرزمینی می‌شود. به این دلیل، مهندسان معدن به دنبال راه‌های مختلف به‌خصوص مکانیزه کردن معادن زیرزمینی زغال‌سنگ هستند که قابلیت زیادی برای کاهش هزینه‌ها، افزایش ایمنی و سودآوری را فراهم می‌کند (Ataei et al., 2009)

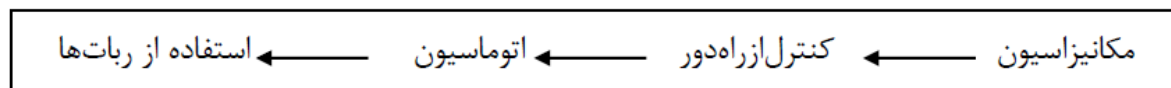
از اهداف مکانیزاسیون در معدن‌کاری زغال‌سنگ، می‌توان موارد زیر را نام برد (Hosseini et al., 2012):

- افزایش سرعت معدن‌کاری
- معدن‌کاری در شرایط ایمن
- تمرکز عملیات معدن‌کاری
- افزایش نرخ تولید به ازای هر شیفت
- معدن‌کاری با نیروی انسانی کمتر
- سرمایه‌گذاری کمتر به ازای هر تن زغال‌سنگ استخراج شده
- معدن‌کاری در شرایط سقف‌های با نگهداری
- توسعه نیروی انسانی ماهر و سازنده

اتوماسیون به نوعی، یک مفهوم است که در صنعت به کار برده می‌شود. به طور کلی کلمه اتوماسیون، به

معنای کنترل خودکار است و در نتیجه آن، کلمه اتوماسیون نیز به معنای خودکار شدن دستگاه و یا کنترل خودکار و هدایت یک دستگاه و یا مجموعه به صورت خودکار است. به کار برده شدن کلمه صنعتی در کنار کلمه اتوماسیون، به این معنا است که کنترل و هدایت دستگاه‌ها و ماشین‌آلات به صورت خودکار و همچنین دستیابی به بالاترین میزان بهره‌وری است (www.Kolis.ir).

اتوماسیون و مکانیزاسیون، مفاهیمی هستند که در هنگام در نظر گرفتن یکی از آن‌ها، دیگری نیز دخیل می‌شود. به بیان بهتر، باید اشاره کرد که به منظور مکانیزه کردن امور، از اتوماسیون نیز استفاده می‌شود. مکانیزه کردن به معنی استفاده از نیروی انسانی با ماشین‌آلات و دستگاه‌های پیشرفته است که ایشان را برای انجام بهتر کار یاری می‌کند. کنترل فعالیت ماشین از فواصل دورتر از جبهه کار را کنترل از راه دور می‌نامند. چنانچه این عمل توسط رایانه و به صورت خودکار انجام پذیرد به آن اتوماسیون گفته می‌شود (هارتمن، ۱۹۸۷، ترجمه یآوری (۱۳۸۶)). روند توسعه فناوری پیشرفته در صنعت معدن‌کاری را می‌توان به صورت شکل ۱-۲ نمایش داد:



شکل ۱-۲ توسعه فناوری پیشرفته در صنعت معدن‌کاری (هارتمن، ۱۹۸۷، ترجمه یآوری (۱۳۸۶))

۲-۴- تجهیزات کندن ماده معدنی در معادن زغال سنگ

نحوه کندن و استخراج ماده معدنی به طور مستقیم با تولید و بهره‌وری ارتباط دارد. در صورت استفاده از یک سامانه استخراج مدرن و مکانیزه، تولید و بهره‌وری بالا رفته و در صورت استفاده از یک سامانه سنتی تولید و بهره‌وری پایین خواهد آمد. در انتخاب سامانه استخراج مواد معدنی عواملی مانند ضخامت لایه، قابلیت زغال‌کنی، هزینه عملیاتی، تولید گرد و غبار، تعداد نیروی انسانی مورد نیاز، هزینه تعمیر و نگهداری، میزان تولید، شرایط زمین‌شناسی، شیب لایه و استحکام کمرها باید مورد توجه قرار گیرند. روش‌های متداول

برای کندن ماده معدنی عبارت‌اند از: روش دستی، استفاده از آتشکاری و استفاده از ماشین‌های زغال‌کُنی (عطایی، (الف) ۱۳۹۴).

در روش دستی، کندن ماده معدنی با پیکور انجام می‌شود. آسان بودن روش، ارزان بودن آن، عدم تولید گرد و غبار، قابلیت کاربرد در هر نوع ضخامت و شیب لایه و هر نوع شرایط زمین‌شناسی مزیت‌های این روش است؛ اما مهم‌ترین عیب این روش تولید و بازدهی کم آن است. از روش آتش‌کاری معمولاً در معادن فلزی که ماده معدنی سخت و توده‌ای بوده و استخراج توسط ماشین و پیکور مشکل است، استفاده می‌شود و به‌ندرت در معادن زغال‌سنگ استفاده می‌شود. در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ اغلب برای کندن ماده معدنی از تجهیزات مکانیزه مانند ماشین شیرر^۱ و رنده^۲ استفاده می‌شود. هر کدام از این ماشین‌ها در شرایط خاصی به کار گرفته می‌شوند (عطایی، (الف) ۱۳۹۴). شکل ۲-۲ (الف) ماشین رنده و (ب) ماشین شیرر است.



شکل ۲-۲ تجهیزات مکانیزه کندن زغال‌سنگ (www.Cat.com)

۲-۵- تجهیزات نگهداری در معادن زغال‌سنگ

سقف کارگاه‌ها عمدتاً توسط یکی از سه روش نگهداری چوبی^۳، نگهداری با استفاده از پایه‌های اصطکاکی^۴

^۱ Shearer

^۲ Plow

^۳ Wooden support

^۴ Friction props

یا هیدرولیکی^۱ و نگهداری قدرتی نگهداری می‌شود. در معادن زغال‌سنگ جهان تا سال ۱۹۶۰ چوب زیادی مصرف می‌شد. از آن پس به علت هزینه زیاد و عدم تحمل فشار توسط پایه‌های چوبی، استفاده از فلز مرسوم شد. در لایه‌های با شیب کم ممکن است به منظور نگهداری جبهه‌کار از پایه‌های فلزی استفاده شود. این پایه‌ها به مراتب از چوب گران‌تر بوده ولی از آنجاکه این پایه‌ها را می‌توان مجدداً مورد استفاده قرار داد و از طرفی به سهولت و به سرعت نصب می‌شوند، از نگهداری‌های چوبی اقتصادی‌ترند (عطایی، (الف) ۱۳۹۴).

گرچه نگهداری چوبی و پایه‌های اصطکاکی یا هیدرولیکی در معادن ایران به‌عنوان نگهداری اصلی کارگاه به کار می‌روند ولی این دو سامانه در معادن دنیا جای خود را به نگهداری قدرتی داده و به‌عنوان نگهدارنده‌های کمکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سامانه‌های نگهداری قدرتی از چند پایه هیدرولیکی ساخته شده است. در بالای آن‌ها، کلاهک محکم و مقاومی وجود دارد و پایین این نگهدارنده‌ها به قطعه‌های ناو زنجیری متصل است. هم‌زمان با جلو رفتن کارگاه استخراج، پایه‌های این نگهدارنده‌ها با سامانه کنترل از راه دور، کوتاه می‌شود و به سمت جلو حرکت می‌کند و ناو زنجیری را نیز به جلو می‌برد. پس از اینکه نگهدارنده در نزدیکی جبهه‌کار قرار گرفت، پایه‌های هیدرولیکی کلاهک را بالا برده و به سقف می‌چسبانند. سامانه‌های نگهداری قدرتی بر چهار نوع قاب^۲، گوه^۳، سپر^۴، سپر گوه‌ای^۵ تقسیم‌بندی می‌شوند. این تقسیم‌بندی سیر تکاملی سامانه‌های نگهداری قدرتی را نشان می‌دهد (عطایی، (الف) ۱۳۹۴). شکل ۲-۳ یک سامانه نگهداری قدرتی را نشان می‌دهد.

^۱ Hydraulic props

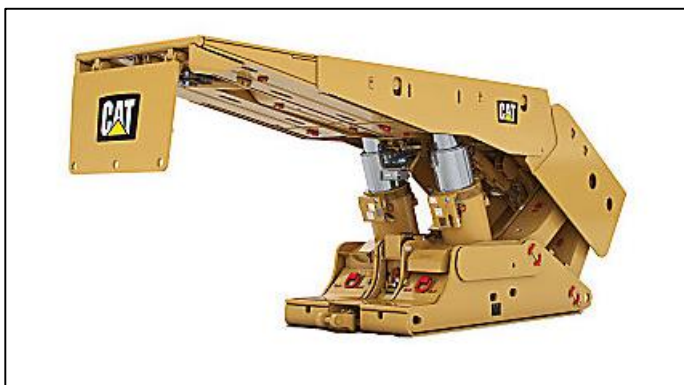
^۲ Powered Support

^۳ Frame

^۴ Chock

^۵Shield

^۶ Chock shield



شکل ۲-۳ سامانه نگهداری قدرتی از نوع سپر (www.Cat.com)

۲-۶- تجهیزات حمل و نقل در معادن زغال سنگ

حمل و نقل زیرزمینی یکی از مهم‌ترین عملیات معدن‌کاری عمقی است و در برخی از موارد می‌تواند عامل تعیین‌کننده بین سود و زیان یک معدن نیز باشد. حمل مواد از جبهه کار استخراجی، بخش عمده‌ای از زمان یک سیکل را به خود اختصاص می‌دهد و کاهش زمان آن به همراه حذف زمان‌های از دست رفته باعث بالا رفتن راندمان عملیات و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود (عطایی، (الف) ۱۳۹۴).

به کلیه عملیاتی که به بارگیری، باربری، باراندازی و انباشت و برداشت مواد معدنی، سنگ‌ها و خاک‌ها و جابه‌جایی افراد منتهی می‌شود، حمل و نقل در معادن گفته می‌شود. در این تحقیق وسایل باربری رایج در معادن مورد بحث قرار می‌گیرد. ابزار و وسایل باربری که در معادن به کار گرفته می‌شوند عبارت‌اند از: فرغون^۱ (خاک‌کش)، راه‌آهن^۲، نوار (تسمه نقاله)^۳، ناو^۴ (ثابت - زنجیری - جنبان)، تله فریک^۵ (نقاله هوایی)، لوله^۶، پله^۷ قفس و اسکپ^۸، کامیون^۹ (دمپر). هنگام باربری در سطوح مورب از پایین به بالا وسایل زیر مورد مطالعه و کاربرد قرار می‌گیرد (بصیر، ۱۳۸۷):

^۱ Barrow

^۲ Railway

^۳ Conveyors

^۴ Chutes

^۵ Ropeway

^۶ Pipe

^۷ Step

^۸ Cage and Skip

^۹ Dumpers

- ناو زنجیری
- نوار
- اسکیپ
- راه آهن (وینچ^۱-واگن)

در ادامه باربری توسط راه آهن (وینچ-واگن) و نوار نقاله به صورت مختصر توضیح داده شده است.

۲-۶-۱- باربری با راه آهن (وینچ-واگن)

باربری از طریق راه آهن توسط واگن به تنهایی و یا واگن و لوکوموتیو مشترکاً، صورت می گیرد. نوع کشش در باربری با واگن نیروی کارگر، لوکوموتیو و جرثقیل های مخصوص است. باربری افقی با واگن در گالری های اصلی و فرعی انجام می گیرد. بارگیری به داخل واگن معمولاً توسط محلی که بونکر نام دارد (محل خروج مواد) انجام می گیرد. خط سازی برای عبور واگن، قطار و نیز ماشین آلات و تجهیزاتی لازم است که روی ریل حرکت می کنند. برای ساختن راه آهن بایستی دو عمل زیرسازی و روسازی انجام گیرد. در زیرسازی مقداری سنگ به نام بالاست در کف گالری ریخته می شود و در روسازی ریل و تراورس به یکدیگر متصل شده و روی بالاست قرار می گیرد.

وزن بار در واگن ها بستگی به وزن مخصوص ظاهری ماده حمل شونده دارد. مثلاً وزن مفید باربری در

واگن های معدنی برای:

زغال سنگ ۰/۸ تا ۱/۱ تن در هر مترمکعب

سنگ یا نمک ها ۱/۴ تا ۱/۶ تن در هر مترمکعب

سنگ معدنی فلزات ۱/۵ تا ۳ تن در هر مترمکعب

است که در هر معدن مربوط به نوع بار و وزن مخصوص ماده معدنی یا سنگ متفاوت است (بصیر، ۱۳۸۷).

شکل ۲-۴ واگن های ماده معدنی در معدن زغال سنگ زمستان یورت را نشان می دهد.

^۱ Winch



شکل ۲-۴ باربری زغال سنگ توسط واگن و لکوموتیو معدن زمستان یورت

واگن‌های معدنی مربوط به تعداد، وزن، طول مسیر و تجهیزات یک معدن، با وسایل مختلف به حرکت در می‌آید. این وسایل عبارت است از:

- دستی
- جرثقیل
- لکوموتیو

در معادن کوچک و کارهای اکتشافی طرز حرکت درآوردن واگن روی ریل توسط کارگر انجام می‌گیرد. کارگر می‌تواند در خط افقی (با شیب معمولی ۳ تا ۵ در هزار) به راحتی یک واگن را به وزن کل ۲ تن حمل کند مشروط بر اینکه خط راه‌آهن هموار و چرخ‌های واگن روان باشد. عبور از پیچ‌ها و انشعابات در تونل و حمل توسط لکوموتیو صورت می‌گیرد. انواع مختلف آن برای به حرکت درآوردن در معادن زیرزمینی شامل دیزلی، الکتریکی و هوای فشرده است.

هنگامی که واگن معدنی در سطح شیب‌دار حرکت می‌کند نیروی ثقل در این حرکت اثر می‌کند و مقاومت در مقابل حرکت، افزایش یا کاهش می‌یابد. در این حالت جرثقیل‌های مخصوص باربری که وینچ

نام دارد؛ استفاده می‌شود. وینچ دارای یک موتور، جعبه دنده و استوانه مخصوص پیچش کابل و بالاخره ترمز است. ساده‌ترین طرز کار باربری با این‌گونه ماشین‌ها متصل کردن قلاب انتهای کابل به واگن یا واگن‌های قطار است. با به کار انداختن موتور وینچ، قطار یا واگن از نقطه دورتر به نزدیک محل ماشین کشیده می‌شود (بصیر، ۱۳۸۷). شکل ۲-۵ وینچ مورد استفاده در معدن زغال‌سنگ زمستان یورت را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵ وینچ اکلن تونل ۳ معدن زمستان یورت

۲-۶-۲- باربری با نوار نقاله

نوار باربری یک وسیله حمل‌ونقل دائم بشمار می‌آید که قدرت و توان باربری آن نسبت به حجمی که لازم دارد زیاد است. نوار باربری در بسیاری از موارد تنها وسیله اقتصادی حمل‌ونقل مواد از نقطه‌ای به نقطه دیگر محسوب می‌شود. استفاده از نوار نقاله در شیب حداکثر ۳۰ درجه مناسب است اما امروز نوار نقاله‌های پیشرفته برای شیب‌های بیشتر نیز طراحی شده‌اند. کاربرد نوار در کارگاه استخراج که دائم در حال تغییر محل است، استثنایی است (نوارها کوتاه و غیرثابت است). نوار برای انتقال ممتد مواد، تجهیزات و کارگران

به داخل و خارج از محیط کار در تونل‌ها و معادن زیرزمینی استفاده می‌شود. بسته به شرایط کاری می‌تواند به صورت ثابت و متحرک طراحی و به کار گرفت. در واقع نوار نقاله در معدن موجب افزایش سرعت انتقال مواد و اتوماسیون بخشی از کار می‌شود. از جمله مزایای نوار نقاله می‌توان موارد زیر را نام برد (بصیر، ۱۳۸۷):

- سهولت در استفاده
- افزایش چشم‌گیر سرعت انتقال مواد معدنی و مواد خام در معادن و در نتیجه افزایش نرخ تولید
- کاهش صدمات به نیروی انسانی به دلیل انتقال ایمن

در شکل ۲-۶ یک نوار نقاله نشان داده شده است.



شکل ۲-۶ باربری توسط نوار نقاله (Brook, 2017)

۲-۷- سامانه پایش تحت شبکه‌های بی‌سیم

در محیط معدن، ارتباط مؤثر یک مسئله برای اهداف ایمنی و استخراج معدن است. اتوماسیون با سامانه‌های کنترل از راه دور، سلامت و ایمنی محیط کار، مقرون به صرفه بودن، مدیریت مشکلات فنی و صرفه‌جویی انرژی را بهبود بخشیده است. در پاسخ به این موضوع، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به طور گسترده‌ای در سامانه‌های پایش و ارتباطی به منظور نظارت محیطی، موقعیت کارگران و تجهیزات و نظارت عملیاتی به کار گرفته شده است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای افزایش ایمنی، بهره‌وری و کاهش هزینه‌های عملیاتی در معادن

زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. این شبکه‌ها شامل فناوری بلوتوث^۱، پهنای فوق عریض^۲، وای‌فای^۳ و ZigBee است (Moridi et al., 2014). برای بررسی، ویژگی‌های اصلی این شبکه‌ها در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲ مقایسه شبکه‌های بی‌سیم رایج زیرزمینی (Moridi et al., 2014)

پارامترها	بلوتوث	پهنای فوق عریض	وای‌فای	ZigBee
فاصله ارتباطی (متر)	۱۰>	۱۰>	۵۰-۱۰۰	۵۰-۵۰۰
محدوده فرکانس (گیگاهرتز)	۲/۴	۳/۱ - ۱۰/۶	۵ یا ۲/۴	۲/۴
نرخ اطلاعات (مگابیت بر ثانیه)	۱	۱۰۰-۵۰۰	۱۱	۲۵۰×۱۰ ^{-۳}
ظرفیت شبکه (نود-ها)	۷	۱۰-۵۰۰	۳۲	۶۵۵۳۶
مصرف برق (میلی‌وات)	۱-۱۰۰	۳۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۰-۴۰
پیچیدگی	بالا	متوسط-بالا	بالا	کم

همان‌طور که مشاهده می‌شود بلوتوث به دلیل فاصله ارتباطی کوتاه و ظرفیت شبکه پایین، کاربرد محدودی دارد. شبکه‌های پهنای فوق عریض با اینکه نرخ اطلاعات و ظرفیت شبکه مناسب و مصرف برق پایینی دارد اما فاصله ارتباطی باعث ازدحام در شبکه می‌شود و ترافیک یک مسئله حیاتی در یک سامانه پهنای فوق عریض است. شبکه وای‌فای یک فناوری بی‌سیم معمولی است که این شبکه مصرف برق بالایی دارد. ZigBee یک فناوری بی‌سیم جدید است که شامل مزایای بیشتری در مقایسه با شبکه‌های دیگر در معادن زیرزمینی است و این امر باعث شده این فناوری بیشتر در سامانه‌های کنترلی مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه ابتدا نحوه اندازه‌گیری احتراق در معادن زغال‌سنگ و پس از آن اجزای سامانه پایش و ارتباطی برای معادن

¹ Bluetooth

² ultra-wideband

³ Wireless Fidelity

زیرزمینی زغال سنگ مبتنی بر عملکرد شبکه ZigBee پیشنهاد شده است.

۲-۷-۱- احتراق در معدن زغال سنگ

گازهایی که معمولاً در معادن زیرزمینی زغال سنگ یافت می‌شوند شامل اکسیژن، نیتروژن، دی‌اکسید کربن و متان هستند. گازهایی نظیر سولفید هیدروژن و کربن مونوکسید و اکسیدهای نیتروژن به ندرت اتفاق می‌افتد (Brook, 2017).

گازها در معادن به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند (Brook, 2017):

- گازهای قابل احتراق
- گازهای مضر و آزاردهنده
- اکسیژن

آتش، آلودگی هوا و جو، گرد و غبار و انفجار گاز خطرات مهمی هستند که به معادن زیرزمینی مرتبط هستند. بنابراین لازم به ذکر است که کدام منطقه باید به عنوان یک منطقه خطرناک تعریف شود تا معدن-چیان از قبل آگاه باشند. مقادیر حد مجاز به غلظت‌هایی مربوط می‌شود که در آن‌ها معدن‌چیان بدون هیچ‌گونه عوارض جانبی شناخته شده برای سلامتی و ایمنی در معرض آن قرار می‌گیرند (Brook, 2017). در جدول ۲-۵ این مقادیر مجاز برای برخی از گازهای رایج در معادن زیرزمینی نشان داده شده است.

جدول ۲-۵ محدوده مجاز مقادیر گازها در معادن زیرزمینی (Mcpherson, 2012)

شماره	نام گاز	محدوده مجاز عیار در هوا (درصد)
۱	اکسیژن	بیشتر از ۱۹/۵
۲	کربن مونوکسید	کمتر از ۰/۰۰۵
۳	متان	کمتر از ۱

بر همین اساس مکان‌هایی که بهتر است گازسنجی انجام شود عبارت‌اند از (Anas et al., 2017):

- ناحیه‌های استخراج شده
- راهروهای برگشت هوا
- نزدیکی گسل‌ها، شکستگی‌ها و هر نوع ناپیوستگی زمین‌شناسی
- مکان‌هایی که درصد مواد ارگانیک بالا است.
- نزدیکی سقف لایه‌های زغالی
- نزدیکی جبهه‌کار

یکی از روش‌های رایج برای پیش‌بینی احتراق در معادن زغال‌سنگ، استفاده از شاخص‌های گاز است؛ مانند شاخص اکسید کربن، شاخص ویلت^۱، شاخص جونز و تریکت^۲، شاخص گراهام^۳، شاخص یانگ^۴ (Brook, 2017). در این تحقیق از شاخص گراهام استفاده شده است. شاخص گراهام به‌عنوان شاخص کربن مونوکسید نیز شناخته می‌شود. در این شاخص، طبق رابطه زیر می‌توان احتراق زغال‌سنگ را تعیین کرد (Graham, 1920).

$$GR = \frac{CO}{0.265N_2 - O_2} \times 100 \quad (1-2)$$

هم‌چنین در جدول ۲-۶ وضعیت احتراق بر اساس این شاخص ارائه شده است.

جدول ۲-۶ ارزش شاخص گراهام همراه با وضعیت احتراق (Graham, 1920)

ردیف	شاخص گراهام (درصد)	وضعیت احتراق
۱	۰/۴	معمولی
۲	۱ - ۰/۴	وجود حرارت
۳	۳ - ۱	حرارت منجر به احتراق
۴	۷ - ۳	فعال شدن احتراق
۵	۷ >	احتراق گسترده

^۱Willet's Ratio

^۲Jones & Trickett Ratio

^۳Graham's Ratio

^۴Young's Ratio

همان طور که در جدول ۲-۶ مشاهده می‌شود، وضعیت احتراق در پنج رده تقسیم شده است. مقدار بزرگ‌تر از ۳ درصد نشان از احتراق فعال شده و مقدار بزرگ‌تر از ۷ یک احتراق گسترده را نشان می‌دهد.

۲-۷-۲- پیکربندی سامانه ZigBee

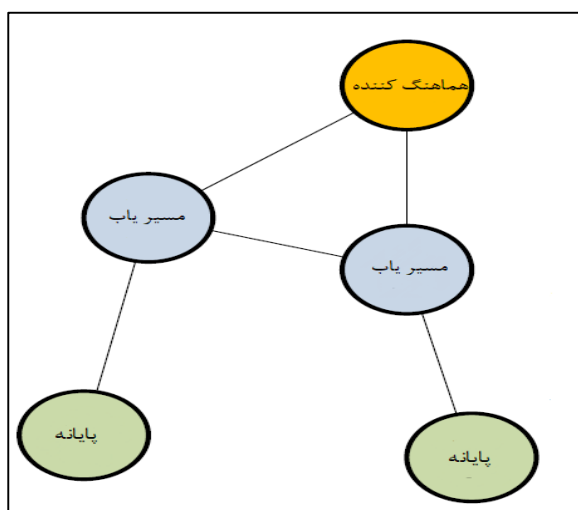
ساده‌ترین راه اتصال ماژول ZigBee به رایانه از طریق پورت یواس‌بی^۱ است. هر ماژول ZigBee می‌تواند در یک شبکه بی‌سیم دارای سه نقش باشد. ZigBee هماهنگ‌کننده^۲ که با جمع‌آوری اطلاعات، ارسال و دریافت داده‌ها، نقش مدیریت ارتباطات شبکه شامل راه‌اندازی، نگهداری و کنترل شبکه را بر عهده دارد. ZigBee مسیر یاب^۳ نقش تقویت‌کننده در شبکه را دارد و برای ارسال داده‌ها به ماژول‌های دورتر از حد مجاز به‌عنوان واسط به کار گرفته می‌شود و نقش دیگر ZigBee پایانه^۴ است. از این ماژول می‌توان برای کنترل دستگاه یا اندازه‌گیری یک کمیت استفاده کرد و شبکه این امکان را می‌دهد تا در زمان عدم نیاز، این واحد در حالت خواب باشد و مصرف برق شبکه پایین شود. ساختار حاکم بر شبکه ZigBee درخت خوشه‌ای است که می‌توان آن را به ساختار ستاره‌ای و مش تعمیم داد (www.ZigBeealliance.org). در شکل ۲-۷ نمونه ساختار درخت خوشه‌ای این شبکه نشان داده شده است.

^۱Universal Serial Bus

^۲Coordinator

^۳Router

^۴End device



شکل ۷-۲ ساختار درخت خوشه‌ای شبکه بی سیم ZigBee (www.ZigBeealliance.org)

در ادامه جزییات سخت‌افزاری مورد نیاز برای سامانه نظارت تحت شبکه بی سیم ZigBee معرفی شده است. سامانه نظارت شامل چندین اجزا مانند صفحه‌ها (Arduino، ماژول ZigBee^۱، رابط ZigBee^۲)، نمایشگر (ال‌سی‌دی^۳) و حسگرهای مختلف و دیگر اجزا الکترونیک کوچک است. توضیح مختصری از اجزا یک سامانه پایش قدم‌به‌قدم داده شده است.

۱- صفحه Arduino

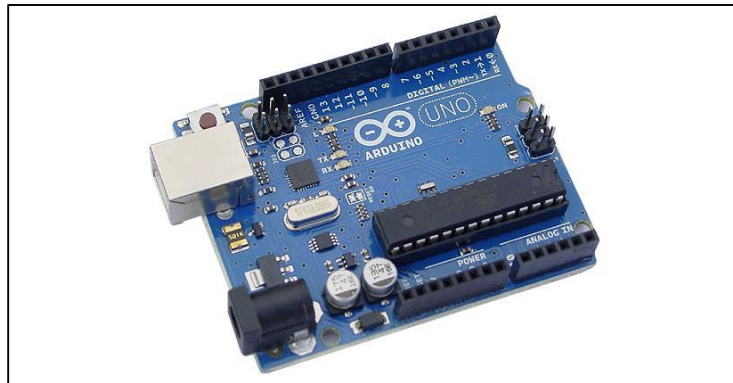
Arduino یک پلتفرم سخت‌افزار و نرم‌افزاری است که به صورت متن‌باز طراحی و میکروکنترل روی صفحه آن با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Arduino و محیط توسعه Arduino برنامه‌ریزی شده است. در بسیاری از پروژه‌های مهندسی استفاده از مدارات الکترونیک اجتناب‌ناپذیر است. نیاز به مدارات میکروکنترل برای اتوماسیون، اندازه‌گیری یا اجرای عملکرد خاص در پروژه‌ها احساس می‌شود. کمتر کسی به نحوه برنامه‌نویسی میکروکنترل‌ها و روش راه‌اندازی مدارات میکروکنترلی آشنایی دارد. هدف از طراحی این صفحه‌ها حل این مشکل است. قیمت مقرون‌به‌صرفه‌ای دارند و مستقیماً به درگاه یواس‌بی رایانه متصل شده و با باتری یا

^۱ ZigBee Module

^۲ ZigBee Interfacing

^۳ Liquid Crystal Display

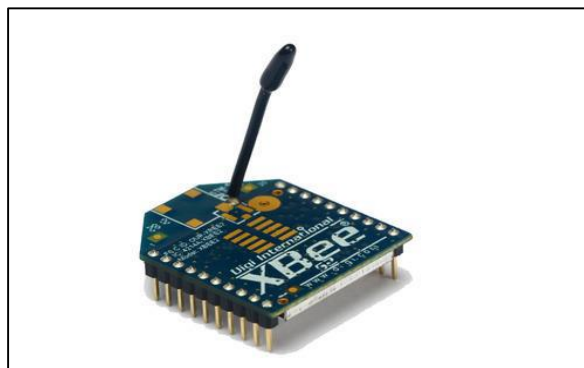
آداپتور شروع به کار می کند (Anas et al., 2017). شکل ۲-۸ یک صفحه Arduino را نشان می دهد.



شکل ۲-۸ صفحه Arduino (www.Iran-Module.ir)

۲- صفحه ماژول ZigBee

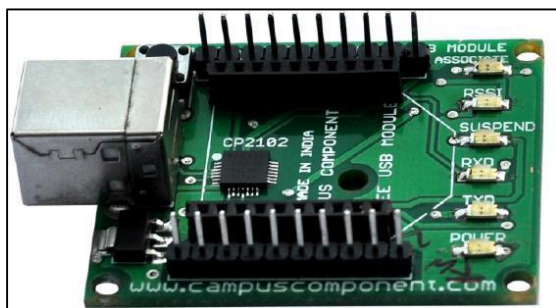
ZigBee یک فناوری ارتباط بی سیم است. با استفاده از این ماژول به راحتی می توان تبادل داده بین میکرو کنترلرها، رایانهها و دیگر سامانههای مجهز به درگاه سریال را برقرار کرد. از مزایای این فناوری قیمت مقرون به صرفه و مصرف کم انرژی است (Sharma & Pal, 2018). شکل ۲-۹ صفحه ماژول ZigBee را نشان می دهد.



شکل ۲-۹ صفحه ماژول ZigBee (www.Iran-Module.ir)

۳- صفحه رابط ZigBee

این صفحه برای ایجاد رابط بین ماژول بی سیم ZigBee با سامانه رایانه است. این صفحه به ماژول ZigBee وصل شده و رابط بین رایانه و میکرو کنترلرهای مدار است. زمانی که ZigBee از طریق سریال یا یواس بی^۱ با رایانه ارتباط برقرار می کند، به عنوان درگاه برای ارتباط عمل می کند (Sharma & Pal, 2018). شکل ۲-۱۰ صفحه رابط ZigBee را نشان می دهد.

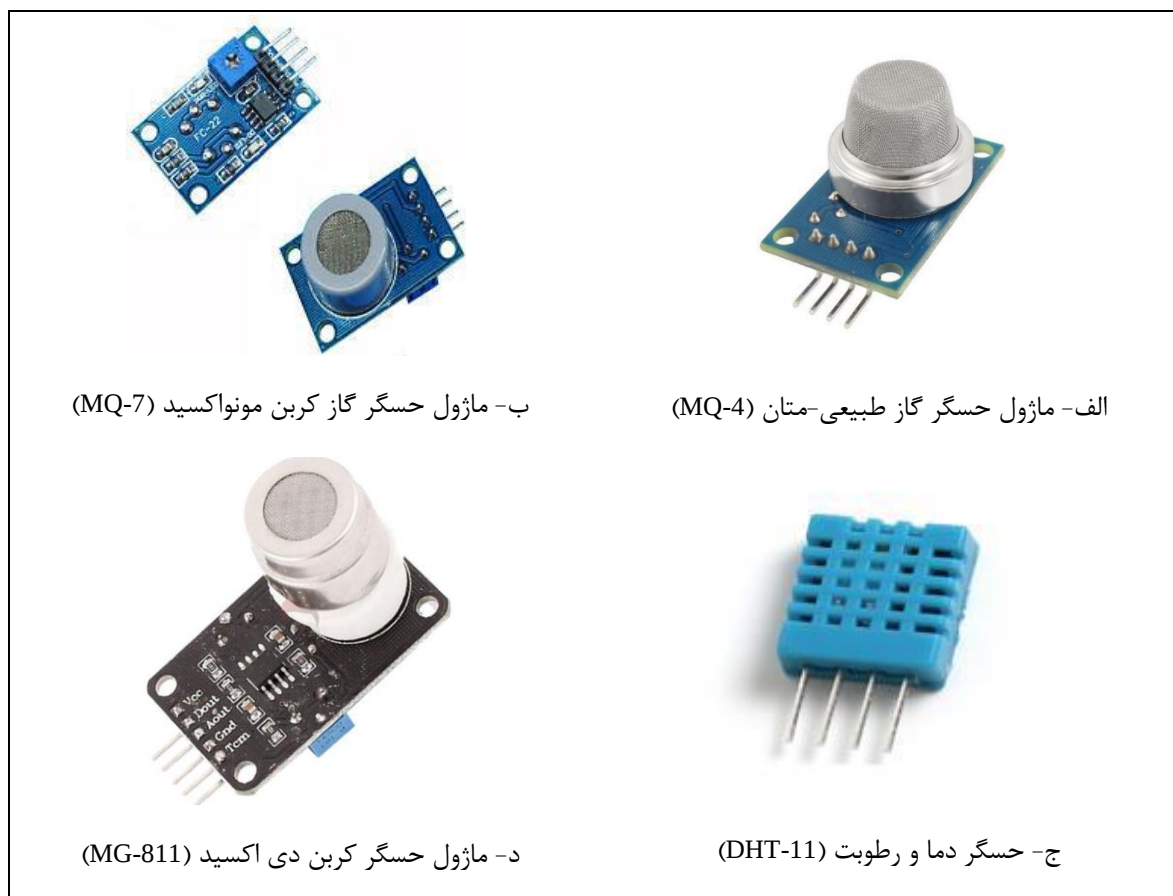


شکل ۲-۱۰ صفحه رابط ZigBee (www.Iran-Module.ir)

۴- حسگرها

حسگرهای گاز به عنوان بخشی از سامانه، وجود گازهای مختلف را در یک محدوده تشخیص می دهند. حسگرها یک واکنش الکتریکی متناسب با غلظت گاز می دهند (Sharma & Pal, 2018). از سری حسگرهای تشخیص انواع گاز، حسگرهای سری MQ است که کاربرد فراوانی دارند و با قیمت های متفاوتی و در مدل های مختلفی در بازار ایران یافت می شوند (www.Iran-Module.ir). در شکل ۲-۱۱ نمونه ای از این حسگرها نشان داده شده است.

¹ Universal Serial Bus



شکل ۱۱-۲ نمونه حسگرهای تشخیص (www.Iran-Module.ir)

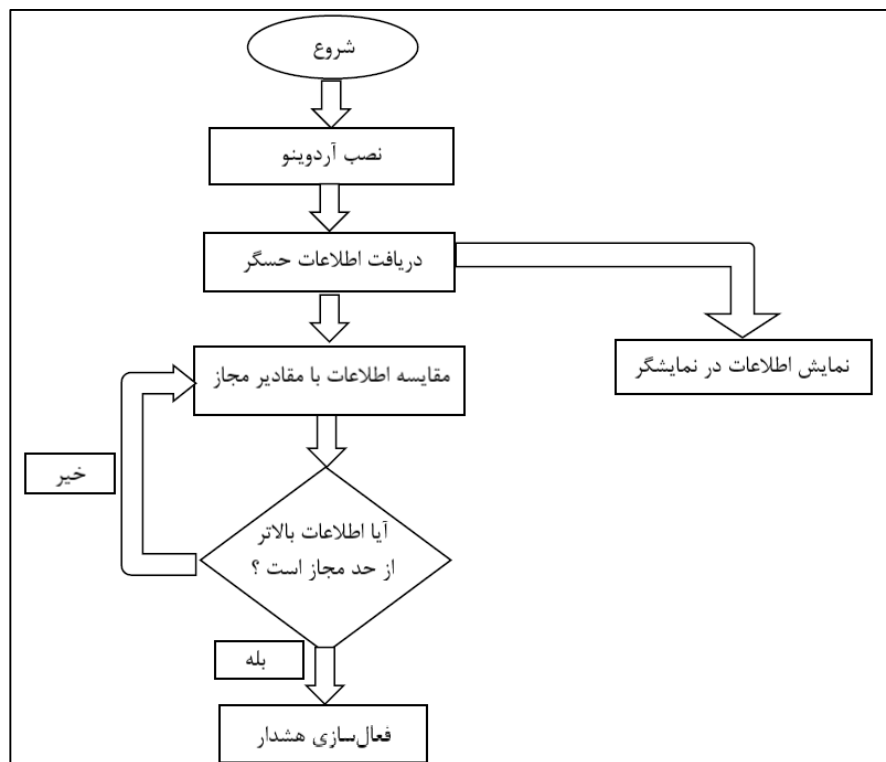
۲-۷-۳- فلوچارت سامانه

سامانه پایش شامل دو بخش، واحد حسگر و واحد نظارت است.

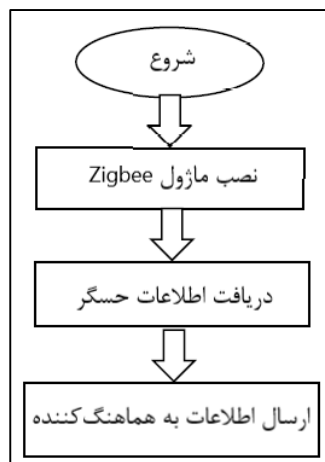
واحد حسگر خود شامل دو قسمت، واحد نمایش و واحد فرستنده است. واحد نمایش شامل مسیریاب^۱ و حسگرها است. این فرایندی است که اجزا را به هم متصل می‌کند (Anas et al., 2017). شکل ۲-۱۲ فلوچارت واحد حسگر است که (الف) فلوچارت واحد نمایش و (ب) فلوچارت واحد فرستنده است. شکل ۲-۱۳ فلوچارت واحد

^۱ Router

نظارت است.

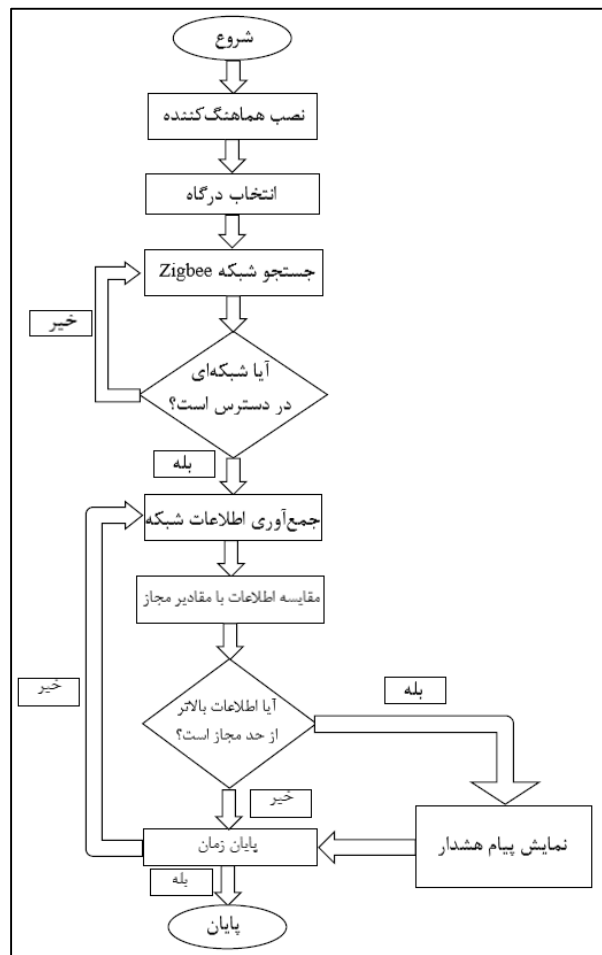


الف- فلوچارت واحد نمایش



ب- فلوچارت واحد فرستنده

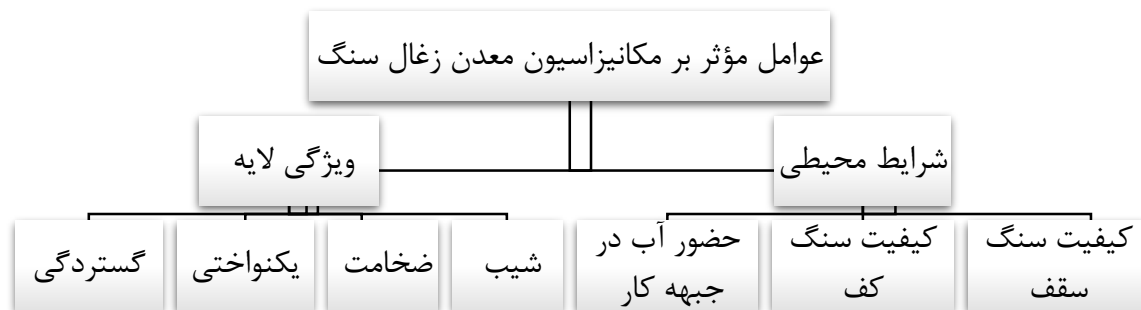
شکل ۱۲-۲ فلوچارت واحد حسگر (Anas et al., 2017)



شکل ۲-۱۳ فلوچارت واحد نظارت (Sharma & Pal, 2018)

۲-۸- عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون معادن زغال سنگ

توانایی مکانیزاسیون معدن زغال سنگ به عوامل مهمی بستگی دارد. عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون لایه زغال در قالب دو گروه کلی ویژگی‌های لایه زغال و شرایط محیطی می‌توان تقسیم کرد. ویژگی‌های لایه زغال مانند شیب، ضخامت و یکنواختی لایه و شرایط محیطی که بر مکانیزاسیون لایه زغال تأثیر می‌گذارد کیفیت سنگ سقف، کیفیت سنگ کف و حضور آب در جبهه کار است (Mikaeil et al., 2020). شکل ۲-۱۴ عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون معدن زغال سنگ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۴ عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون (Mikaeil et al., 2020)

۲-۸-۱- شیب لایه

یکی از مهم‌ترین عوامل برای ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال‌سنگ، شیب لایه است. لایه‌های زغال‌سنگ با شیب کم از صفر تا ۳۵ درجه برای مکانیزاسیون مناسب هستند. به طور کلی با افزایش شیب یک لایه قابلیت مکانیزاسیون آن کاهش می‌یابد (Mikaeil et al., 2020). جدول ۲-۷ یک طبقه‌بندی بر اساس شیب لایه است.

جدول ۲-۷ طبقه‌بندی لایه زغال‌سنگ بر اساس شیب لایه با هدف مکانیزاسیون (Hosseini et al., 2013)

شیب لایه (درجه)	افقی	کم شیب	شیب‌دار	شیب متوسط	پر شیب
	$5 >$	۵-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	$45 <$

۲-۸-۲- ضخامت لایه

ضخامت لایه یک عامل تعیین‌کننده سطح مکانیزاسیون در جبهه کار است. در لایه‌هایی با ضخامت کمتر از ۰/۶ متر قابلیت مکانیزاسیون کاهش می‌یابد. ضخامت لایه زغال‌سنگ نباید کمتر از ۰/۶ متر باشد. ضخامت مناسب برای مکانیزاسیون ۰/۶ تا ۵ متر است. (Ataei et al., 2009). جدول ۲-۸ یک طبقه‌بندی بر اساس ضخامت لایه است.

جدول ۸-۲ طبقه‌بندی لایه زغال‌سنگ بر اساس ضخامت لایه با هدف مکانیزاسیون (Hosseini et al., 2013)

ضخامت لایه (متر)	خیلی نازک	نازک	متوسط	ضخیم	خیلی ضخیم
	۰/۶ - ۱	۱ - ۱/۴	۱/۴ - ۲/۴	۲/۴ - ۴/۵	۴/۵ - ۶

۲-۸-۳- یکنواختی لایه

اگر شرایط زمین‌شناسی پیچیده مانند گسل‌ها، شکاف و درزه وجود داشته باشد، قابلیت مکانیزاسیون لایه کاهش می‌یابد (Hosseini et al., 2012).

میزان جابه‌جایی لایه زغال‌سنگ توسط گسل و تعداد گسل‌های موجود در طول لایه، از مهم‌ترین عواملی هستند که بر چگونگی عبور جبهه‌کار از گسل و قابلیت مکانیزه کردن لایه تأثیر می‌گذارند. یک طبقه‌بندی برای یکنواختی لایه بر اساس شاخص جابه‌جایی (I_t) تعریف شده است. شاخص جابه‌جایی لایه از رابطه ۲-۲ به دست می‌آید (Walsh, 1994).

$$I_t = \frac{t}{m} \quad (2-2)$$

که در این رابطه:

t : میزان جابه‌جایی لایه توسط گسل بر حسب متر

m : ضخامت لایه زغالی بر حسب متر

در جدول ۹-۲ یک طبقه‌بندی برای یکنواختی لایه بر اساس شاخص جابه‌جایی ارائه شده است.

جدول ۹-۲ طبقه‌بندی لایه زغال‌سنگ بر اساس یکنواختی لایه با هدف مکانیزاسیون (Hosseini et al., 2013)

یکنواختی لایه (I_t)	خیلی کم	کم	متوسط	بالا	خیلی بالا
	۲/۲۵ - ۳	۱/۵ - ۲/۲۵	۱ - ۱/۵	۰/۵ - ۱	۰ - ۰/۵

۲-۸-۴- کیفیت سنگ سقف

سقف باید نه زیاد سست و نه زیاد محکم باشد بلکه باید به گونه‌ای باشد که پس از اتمام یک برش و پیشروی نگهدارنده‌های قدرتی به جلو، آن قسمت از سقف که در پشت نگهدارنده‌ها قرار دارد به صورت یکنواخت و هماهنگ تخریب شده و از تمرکز تنش در سقف جلوگیری به عمل آید. عرض برش‌ها به نوع ماشین و کیفیت کمر بالا بستگی دارد (عطایی، (الف) ۱۳۹۴). آنرا^۱ج و اسلزوایلسکی^۲ یک سامانه طبقه‌بندی ارائه کردند که در آن کیفیت سنگ سقف با توجه به مقاومت فشاری سنگ سقف در حالت برجا و ضخامت سقف بلاواسطه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Unrug & Szwilski, 1982):

$$Q_r = 0.016 \times \sigma_c \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times \frac{m}{K-1} \quad (۳-۲)$$

که در این رابطه:

σ_c : مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ سقف بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

k_1 : ضریب مقاومت برجا

k_2 : ضریب خزش

k_3 : ضریب رطوبت

m : ارتفاع معدن‌کاری (سانتی‌متر)

k : ضریب تورم سنگ سقف که مقدار آن از ۱/۳ تا ۱/۵ تغییر می‌کند.

در جدول ۲-۱۰ مقدار مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ سقف و در جدول ۲-۱۱ مقادیر ضرایب مذکور

برای سنگ‌های مختلف درج شده است.

^۱ Unrug

^۲ Szwilski

جدول ۱۰-۲ مقاومت فشاری برای سنگ‌های دربرگیرنده زغال سنگ (Unrug & Szwilski, 1982)

جنس سنگ	مقاومت فشاری تک محوره سنگ		
	مگا پاسکال	کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع	تن بر متر مربع
ماسه سنگ	۸۶/۳	۸۸۰/۲۶	۸۸/۰۲۶
سیلتستون	۲۷/۸	۲۸۳/۵۶	۲۸/۳۵

جدول ۱۱-۲ ضرایب مقاومت برجا، خزش و رطوبت سنگ سقف (Unrug & Szwilski, 1982)

نوع سنگ	ماسه سنگ	گل سنگ	لای سنگ و رس سنگ
k_1	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۵
k_2	۰/۷	۰/۶	۰/۶
k_3	۰/۶	۰/۴	۰/۴

با توجه به شاخص کیفیت سنگ سقف مطابق جدول ۱۲-۲ سنگ سقف به ۶ گروه مختلف تقسیم می‌شود.

جدول ۱۲-۲ طبقه‌بندی سنگ سقف بلاواسطه بر اساس شاخص کیفیت (Unrug & Szwilski, 1982)

گروه	شاخص کیفیت سنگ سقف (تن بر متر)	توصیف سنگ سقف	طول سقف بدون نگهداری (متر)
ضعیف	۰ - ۱/۸	ریزش بلافاصله سقف پس از پیشروی	۱
کمی پایدار	۱/۸ - ۳/۵	سقف پر درزه و پر شکاف است	۱-۲
نیمه پایدار	۳/۵ - ۶	تخریب آسان	۲-۵
پایدار	۶ - ۱۳	مناسب‌ترین سقف برای تخریب	۵-۸
خیلی محکم	۱۳-۲۵	ضرورت انجام تخریب مصنوعی	>۸
فوق‌العاده محکم	>۲۵	نامناسب برای تخریب	>۸

۲-۸-۵- کیفیت سنگ کف

کف باید به اندازه کافی محکم باشد تا در برابر نفوذ مقاومت کند. نفوذ در کف نرم پیشروی را مشکل ساز می کند. هم چنین به دلیل همگرایی زیاد، کنترل سقف را مشکل ساز می کند. اگر زغال سنگ نیز سفت باشد، ممکن است مقداری زغال باقی بماند. واکنش به هر نوع تکیه گاه نصب شده، به طور قابل توجهی بر پایداری لایه ها تأثیر می گذارد (Ataei et al., 2009). به منظور اطمینان از تعادل و پایداری تکیه گاه، فشار لایه در جبهه کار باید کنترل شود. این امر مستلزم دو موضوع است: (الف) توزیع فشار یکنواخت و تغییر شکل در طول جبهه کار (ب) ظرفیت باربری کف از فشار مؤثری که از تکیه گاه وارد بر آن می شود، بیشتر باشد. توان باربری در سنگ های شکننده و کشسان مانند شیل و ماسه سنگ بر اساس تئوری مقاومت طبق رابطه ۲-۴ محاسبه می شود (Stefanko, 1983).

$$\sigma_b = 3\sigma_c \quad (۲-۴)$$

که در این رابطه:

σ_b : توان باربری سنگ کف

σ_c : مقاومت فشاری تک محوره

همان طور که مشاهده می شود توان باربری سنگ کف با مقاومت فشاری تک محوری سنگ ها رابطه مستقیم دارد. به طور کلی، یک مقاومت بالاتر نشان دهنده توان باربری بیشتر و افزایش قابلیت مکانیزاسیون لایه ها است (Hosseini et al., 2013). جدول ۲-۱۳ یک طبقه بندی بر اساس توان باربری کف است.

جدول ۲-۱۳ طبقه بندی توان باربری کف با هدف مکانیزاسیون (Hosseini et al., 2013)

توان باربری (مگاپاسکال)	خیلی ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب
۰ - ۳۰	۳۰ - ۵۰	۵۰ - ۷۰	۷۰ - ۹۰	۹۰ - ۱۰۰	۱۰۰ <

۲-۸-۶- گستردگی لایه

پهنه باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا از سامانه نگهداری قدرتی استفاده کرد. نصب این تجهیزات ۱۵ الی ۲۰ روز زمان می برد که به هزینه استخراج زغال سنگ می افزاید. هزینه نصب و راه اندازی سامانه نگهدارنده قدرتی در پهنه های بزرگ تر نسبت به پهنه های کوچک تر در هر تن استخراج زغال سنگ پایین تر است. با این حال ممکن است هزینه نگهداری از این سامانه ها در پهنه های بسیار بزرگ گران تمام شود که این مشکل، قابل حل نیست. پهنه بهینه لایه زغال بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر است (Ataei et al., 2009). جدول ۲-۱۴ طبقه بندی لایه زغال سنگ بر اساس گستردگی را نشان می دهد.

جدول ۲-۱۴ طبقه بندی لایه زغال سنگ بر اساس گستردگی با هدف مکانیزاسیون (Hosseini et al., 2013)

گستردگی لایه (متر)	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	۲۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰<

۲-۸-۷- آب موجود در جبهه کار

حضور آب در جبهه کار بسیار مضر بوده و باعث خوردگی نگهدارنده می شود. تحت این شرایط یا باید پهنه توسط حفاری خشک شود یا از نگهدارنده ضدزنگ مخصوص استفاده شود. حضور آب همیشه به عنوان یک مانع برای معدن کاری زغال مطرح بوده و معدن کاران همواره از کار کردن در شرایطی محیطی خیس بیزار هستند (Ataei et al., 2009). طبقه بندی برای ارزیابی آب موجود در جبهه کار در جدول ۲-۱۵ ارائه شده است.

جدول ۲-۱۵ طبقه بندی آب موجود در جبهه کار با هدف مکانیزاسیون (Hosseini et al., 2013)

آب موجود در جبهه کار (مترمکعب بر دقیقه)	خشک	مرطوب	خیلی مرطوب	آبدار	خیلی آبدار
	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۵۰	۵۰-۱۵۰	۱۵۰<
* مترمکعب بر دقیقه به ازای هر ده متر طول جبهه کار است.					

۲- ۹- معرفی معدن مورد مطالعه

در این بخش معدن زیرزمینی زغال سنگ زمستان یورت تحت بهره‌برداری شرکت صنعتی و معدنی شمالشرق شاهرود معرفی و در ادامه به بررسی آن پرداخته شده است.

۲- ۹- ۱- موقعیت معدن زغال سنگ زمستان یورت

معدن زمستان یورت در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال شرق شاهرود و در فاصله ۱۴ کیلومتری شهرستان آزادشهر از توابع استان گلستان قرار دارد. حوضه زغال دار این معدن دارای وسعتی حدود ۴۲ کیلومترمربع با محدوده چهارضلعی ABCD به مختصات یوتی‌ام^۱ زیر است.

$$A = [351/000,4104/600]$$

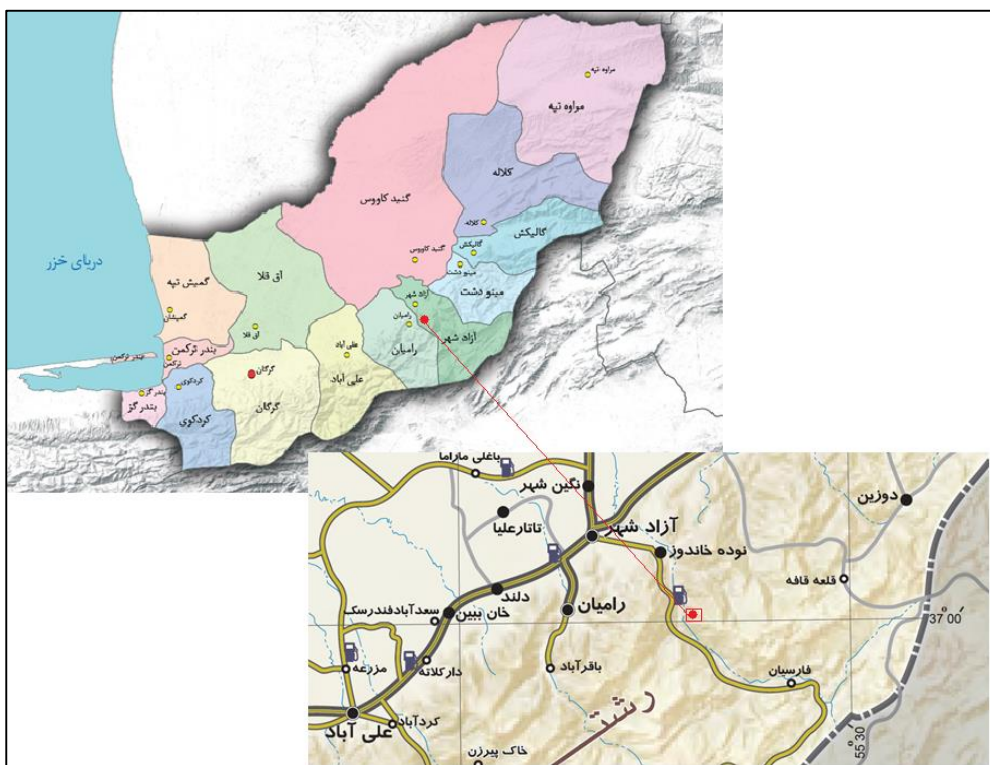
$$B = [353/650,4102/9]$$

$$C = [347/7,4094/4]$$

$$D = [344/9,4096/8]$$

پستی و بلندی در این منطقه فراوان بوده و کم‌ترین ارتفاع در محدوده عملیات اکتشافی در ابتدای دره وطن حدود ۵۰۰+ متر و مرتفع‌ترین نقطه مربوط به بلندی‌های کوه اولنگ بالغ بر ۲۹۸۰+ متر از سطح دریا اندازه‌گیری شده است. هوای منطقه در تابستان گرم و مرطوب و زمستان‌های معتدلی دارد. نزولات در این منطقه بیشتر به صورت بارش باران است که در بیشتر فصول ادامه دارد. به این دلیل از پوشش گیاهی و جنگلی برخوردار است که این مسئله کارهای نقشه‌برداری سطحی را با دشواری مواجه می‌سازد (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود). موقعیت جغرافیایی معدن زمستان یورت در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است.

¹ Universal Transverse Mercator coordinate system



شکل ۲-۱۵ موقعیت معدن زمستان یورت (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود)

۲-۹-۲- زمین‌شناسی معدن زغال‌سنگ زمستان یورت

از لحاظ زمین‌شناسی، جنس سنگ میزبان زغال‌سنگ از نوع آرژیلیت، سیلتستون و ماسه‌سنگ بوده و سن آن‌ها تریاس بالا تا ژوراسیک پایینی است (به نام سازند شمشک معروف است). زغال‌سنگ‌های این منطقه اغلب از نوع گازی، گازی چرب و کمتر از نوع کک‌شو چرب و کک‌شو هستند. مقدار گوگرد این زغال‌سنگ‌ها کم و مقدار مواد فرار و خاکستر آن‌ها متغیر است (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود).

میزان ذخیره قطعی زغال‌سنگ در این معدن در سال ۱۳۸۲ معادل ۱۲۶۵۰۰۰ تن برآورد شده است که تاکنون مقدار ۶۰۰۰۰۰ تن از این ذخیره باقی‌مانده و پس از محاسبه مجدد گزارش پایان اکتشاف حین استخراج، این ذخیره به یک میلیون تن افزایش پیدا کرده است. با توجه به وسعت منطقه، معدن به دو ناحیه شرقی، غربی تقسیم شده است که معدن زمستان یورت شرقی شامل لایه‌های K₅₉، K₆₀، K₆₂ و K₆₇ و

معدن زمستان یورت غربی شامل لایه‌های K، K₁، K₃ و K₅ است. لازم به ذکر است که ذخیره لایه K₆₇ به اتمام رسیده است. در این منطقه امتداد لایه‌بندی لایه‌ها بین ۲۵ تا ۳۰ درجه نسبت به شمال و شیب لایه‌ها ۵۵ تا ۶۰ درجه است (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود). جدول ۲-۱۶ مشخصات ژئومکانیکی لایه‌های این منطقه را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱۶ مشخصات ژئومکانیکی لایه‌های معدن زمستان یورت (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود)

ردیف	لایه	شیب درجه	ضخامت متر	یکنواختی -	کیفیت سنگ سقف	کیفیت سنگ کف	گسترده‌گی متر	آب موجود در جبهه کار
۱	K	۶۰	۰/۶	۱/۲	۶	۳۰	۲۰۰۰	۰/۱
۲	K ₁	۶۰	۰/۶۵	۱/۲	۵	۶۰	۲۰۰۰	۰
۳	K ₃	۶۰	۰/۶۵	۰/۵	۳	۷۸	۲۰۰۰	۰/۱
۴	K ₅	۶۰	۰/۷	۱/۶	۷	۳۲	۲۰۰۰	۰
۵	K ₅₉	۵۵	۰/۶	۱	۶	۵۰	۲۵۰۰	۰
۶	K ₆₀	۵۵	۱/۴	۱	۶	۴۸	۲۵۰۰	۰
۷	K ₆₂	۵۵	۰/۸	۱	۷	۴۰	۲۵۰۰	۰

۲-۹-۳- عملیات استخراج معدن زغال سنگ زمستان یورت

معادن زغال سنگ این منطقه به روش زیرزمینی استخراج و با توجه به تمرکز استخراج در ناحیه غربی، عملیات استخراج آن توضیح داده شده است.

ظرفیت استخراج سالانه مندرج در پروانه بهره‌برداری ۷۵۰۰۰ تن در سال است. این معدن برای دسترسی به لایه‌های زغالی دارای ۵ تونل اصلی (T1, T2, T3, T1A, T2A) است. دهانه تونل‌ها به علت قرار گرفتن در ارتفاعات کوه، دارای اختلاف ارتفاع از یکدیگر هستند. ارتفاع هریک از این تونل‌ها نسبت به سطح دریا در جدول ۲-۱۷ آورده شده است.

جدول ۲-۱۷ موقعیت قرارگیری تونل‌های معدن زمستان یورت (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود)

شماره	نام تونل	افق (متر)
۱	T1	+۶۰۶
۲	T2	+۵۱۷
۳	T3	+۴۳۸
۴	T1A	+۶۸۴
۵	T2A	+۷۷۴
۶	OKT3	+۳۳۵

برای دسترسی به لایه‌های زغالی ابتدا تونلی عمود بر لایه‌بندی حفر شده و پس از رسیدن و قطع لایه‌های زغال‌سنگ، امتداد تونل را در جهت امتداد لایه‌ها هدایت شده است و تونل‌های پیشروی به‌صورت تونل دنباله‌رو ادامه دارند. پیشروی در این تونل‌ها به روش چالزنی و انفجار صورت می‌گیرد. حفر چال با استفاده از پرفراتور به همراه هوای فشرده است. قطر چال به‌طور متوسط ۳۰ میلی‌متر و طول چال‌ها از ۹۰ تا ۱۶۰ سانتی‌متر است. تعداد این چال‌ها بستگی به مقطع تونل و نوع سنگ آن و ضخامت لایه زغال‌سنگ دارد. جهت چال‌ها عموماً در وسط سینه‌کار پیشروی، به‌صورت مستقیم، اطراف، کف و زاویه‌دار (۱۵ تا ۴۵ درجه) است. آتشباری چال‌ها به‌وسیله چاشنی الکتریکی (به‌صورت تأخیری) و همراه با امولایت دوغابی صورت می‌گیرد. نگهداری در این تونل‌ها به‌وسیله قاب‌های فلزی سه تکه (آرک) و یا قاب فلزی صلب (اتصال تیرآهن‌ها به شکل دوزنقه) انجام می‌گیرد. سطح مقطع تونل‌های پیشروی بستگی به موارد استفاده آن دارد (حداقل ۵/۲ مترمربع و حداکثر ۷/۲ مترمربع).

استخراج کارگاه‌ها در این معدن به روش پلکانی معکوس صورت می‌گیرد. پس از عملیات آماده‌سازی، در این روش با وصل کردن سقف تونل پایینی به کف تونل بالایی که هر دو دنباله یک لایه هستند و ایجاد کارگاه‌هایی به طول حدود ۱۰۰ متر و عرض ۱۶ متر عملیات استخراج شروع می‌شود. برای کندن زغال‌های

موجود از چکش‌های هوای فشرده استفاده می‌شود. زغال‌های کنده شده در بونکرهای تعبیه شده انباشت می‌شود. برای نگهداری این کارگاه از ستون چوبی (قطر ۱۰ سانتی‌متر) همراه با تخته‌های چوبی (ضخامت ۵ سانتی‌متر، عرض ۱۵ سانتی‌متر، طول ۱ متر) استفاده می‌شود. پس از استخراج، کارگاه به‌طور کامل تخریب می‌شود.

در حال حاضر استخراج در تونل‌های T2، T1A و T2A غیرفعال است و عملیات تهویه در سایر تونل‌ها صورت می‌گیرد. به این صورت که در ورودی تونل ۳ یک عدد فن مکشی و در همین تونل در اشتراک لایه K₃ یک عدد فن بادی ۵۰ مکشی (پیکت ۷) موجود است. در ورودی اشتراک لایه K اکلی یک عدد فن CBMS^۱ برقی دهشی نصب شده است. در ورودی اشتراک K₃ اکلی یک عدد فن CBMS-6 دهشی همراه با یک عدد فن CBMS-6 دهشی در پیکت ۶۶ نصب شده است. در تونل ۳ قسمت بلوک ۲ شمالی لایه K یک عدد فن بادی ۵۵ دهشی نصب شده است. هوا در هر تونل توسط دوپل‌ها به افق بالاتر هدایت شده و توسط تونل‌ها خارج می‌شود.

داخل تونل‌ها ریل‌کشی، باطله و زغال‌سنگ توسط واگن و لوکوموتیو حمل و به سطح زمین هدایت می‌شود. به دلیل شیب ۲۵ درجه در اکلی تونل ۳ در افق ۳۳۵+ زغال‌سنگ توسط واگن و لوکوموتیو تا پذیرگاه حمل و از آن‌جا تا بیرون توسط وینچ مدل ۱۲۰۰ حمل می‌شود. زغال‌های استخراجی از محل دپو با لودر بارگیری و توسط کامیون به کارخانه زغال‌شویی ارسال می‌شود.

جدول ۲-۱۸ مشخصات وینچ اکلی تونل ۳ (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود)

پارامترها	قطر قرقره	عرض قرقره	قدرت کشش	قطر سیم	قدرت موتور	سرعت حرکت	ملاحظات
	میلی‌متر	سانتی‌متر	کیلوگرم	میلی‌متر	کیلووات	متر بر ثانیه	
وینچ مدل ۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۰۰	۲۵۰۰ (شیب ۳۰ تا ۶۰ درجه)	۱۸	۵۵	۱/۵	۴ واگن زغال یا ۳ واگن سنگ

^۱ Community-Based Monitoring System

انباشت باطله‌ها در دو بخش صورت می‌گیرد. در بخش اول، به دلیل وجود تپه‌های متعدد در شمال این ناحیه، باطله در محل‌هایی که از نظر توپوگرافی آرام‌تر هستند، انباشته می‌شود. معمولاً پس از حمل باطله به محل دپو، آن‌ها به صورت کپه‌ای تخلیه کرده و وقتی این کپه‌ها زیاد شد، با بولدوزر و گریدر آن را صاف می‌کنند. تا محل بیشتری برای انباشت باطله آماده شود.

۲- ۱۰- جمع‌بندی

آنچه در این فصل بیان شد نشان می‌دهد مکانیزاسیون و اتوماسیون هدفی است که امروزه با پیشرفت علم و صنعت پژوهشگران توجه ویژه‌ای به آن دارند. ضمن تعریف مکانیزاسیون و اتوماسیون در این فصل می‌توان فهمید که این دو مفهوم از یکدیگر جداشدنی نیستند. پژوهشگران متعددی برای ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون در معادن گام برداشته‌اند که در قالب پیشینه تحقیق در این فصل بررسی شد. پژوهشگران عوامل مؤثری هم‌چون شیب لایه، ضخامت لایه، یکنواختی لایه، کیفیت سنگ کف، کیفیت سنگ سقف، گستردگی لایه و آب موجود در جبهه کار را مد نظر قرار دادند؛ که در این فصل عوامل مؤثر بر مکانیزاسیون معادن به‌طور کامل شرح داده شد. استفاده از فناوری‌های جدید در زمینه پایش محیط معدن مانند ZigBee و هم‌چنین تجهیزات پیشرفته استخراج در معادن زغال سنگ مانند شیرر، رنده، نگهدارنده قدرتی و نوار نقاله به طور مختصر توضیح داده شد. در آخر موقعیت، زمین‌شناسی و عملیات استخراج معدن مورد مطالعه تشریح شد.

فصل ۳: روش تحقیق

۳- ۱- مقدمه

در علم امروز، باید دقت را که به دنبال عدم قطعیت وجود دارد، متعادل کنیم. اکثر متون مهندسی به عدم قطعیت در اطلاعات، مدل‌ها و راه‌حل‌هایی که در درون مشکلات موجود در آن اشاره می‌شود، پاسخ نمی‌دهند. مدل‌سازی اطلاعات به روش فازی، یک روش برای اعمال نتایج فازی به محیط اطراف است. در بخش‌های ابتدایی این فصل سامانه‌های فازی توضیح داده شده است. با استفاده از این سامانه‌ها می‌توان شرایط محیط فازی یک معدن را مدل‌سازی کرد. تصمیم‌گیری صحیح، ماهیت یک فرایند تصمیم‌گیری است که در آن عدم قطعیت وجود دارد. در بخش‌های بعدی تصمیم‌گیری در محیط فازی بیان می‌شود که در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. توابع تصمیم فازی اهداف تصمیم‌گیرنده برای تصمیم را منعکس می‌کند که در این فصل این توابع شرح داده شده است. در انتهای فصل نرم‌افزار شبیه‌سازی OPNET توضیح مختصری داده شده است؛ که این نرم‌افزار با شبیه‌سازی شبکه، باعث می‌شود به نتایج واقعی نزدیک‌تر شد.

۳- ۲- منطق فازی

استدلال^۱ با مجموعه‌های فازی، منطق فازی نامیده می‌شود (عطایی، (ب) ۱۳۹۴). منطق فازی ابزار قدرتمندی برای تجزیه و تحلیل سامانه‌هایی است که با مقادیر نادقیق کار می‌کنند. با ورودی‌های کیفی و اطلاعات تحلیلی ساده و نادقیق و استفاده از سامانه اگر/آنگاه، با کمترین زمان محاسبات، نتایج مناسبی می‌دهد (Ataei et al., 2009). در ادامه به بررسی مختصر آن پرداخته شده است.

^۱ Reasoning

۳-۲-۱- مجموعه‌های فازی

یک مجموعه کلاسیک مجموعه‌ای است که دارای مرزهای مشخصی باشند. اگرچه مجموعه‌های کلاسیک برای بسیاری از کاربردها مناسب بوده و ابزار بسیار مهمی در ریاضیات و علوم کامپیوتری هستند، ولی قادر به انعکاس مفاهیم و افکار مجرد و نادقیق زندگی انسان نیستند. اولین بار پروفسور لطفی زاده در مقاله خود با نام (مجموعه‌های فازی) در سال ۱۹۶۵، نشان می‌دهد که این عدم دقت در تعریف مجموعه‌ها و کلاس‌ها نقش مهمی را در تفکر انسان در ارتباط با مفاهیمی نظیر طبقه‌بندی الگوها ایفا می‌کند (Zadeh, 1965). در واقع در این نوع از مجموعه‌ها، انتقال از شمول به عدم شمول به صورت تدریجی انجام می‌شود. این انتقال تدریجی و نرم توسط تابع عضویت^۱ سازمان‌دهی می‌شود (Ross, 2017).

اگر U را مجموعه‌ای از x ها در نظر بگیریم، آنگاه مجموعه فازی A در U به صورت مجموعه‌ای از زوج‌های مرتب زیر تعریف می‌شود (Ross, 2017):

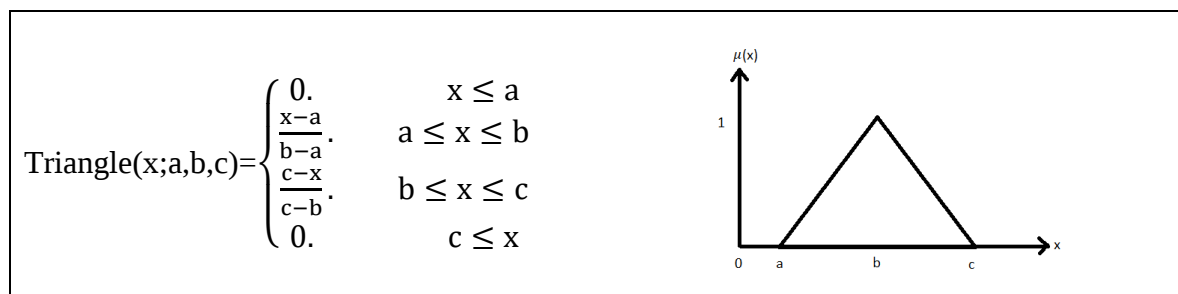
$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\} \quad (۱-۳)$$

که $\mu_A(x)$ تحت عنوان تابع عضویت مجموعه فازی A شناخته می‌شود. تابع عضویت هر عضو از U را به درجه‌ای از عضویت که یک مقدار بین ۰ و ۱ است، نگاشت می‌کند. توابع عضویت، توابعی هستند که میزان تعلق هر عنصر را به آن مجموعه نشان می‌دهند. این توابع می‌توانند به صورت پیوسته و یا گسسته تعریف گردند و به صورت ترسیمی^۲، جدول و لیست و عددی^۳ می‌توان آن را نمایش داد (عطایی، (ب) ۱۳۹۴). برخی از توابع عضویت شناخته شده در شکل‌های ۱-۳ تا ۴-۳ نشان داده شده است.

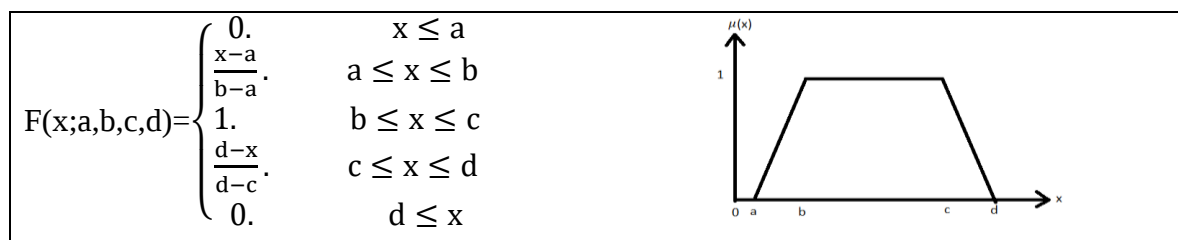
^۱Membership function (MF)

^۲ Graphical Representation

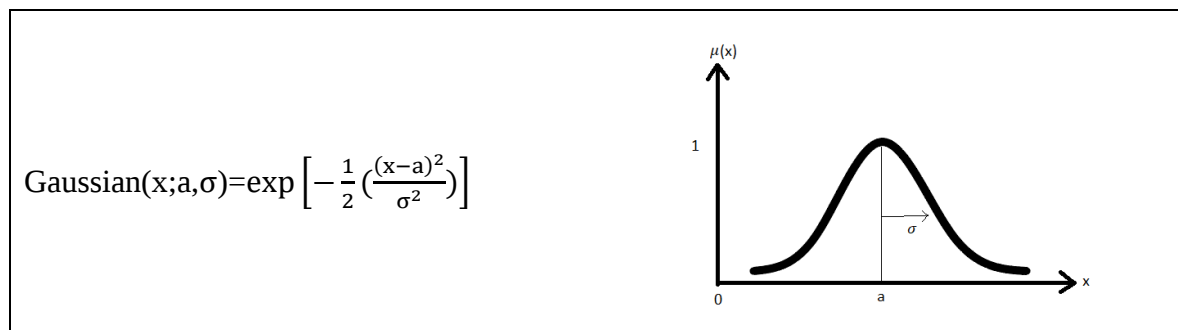
^۳ Analytic Representation



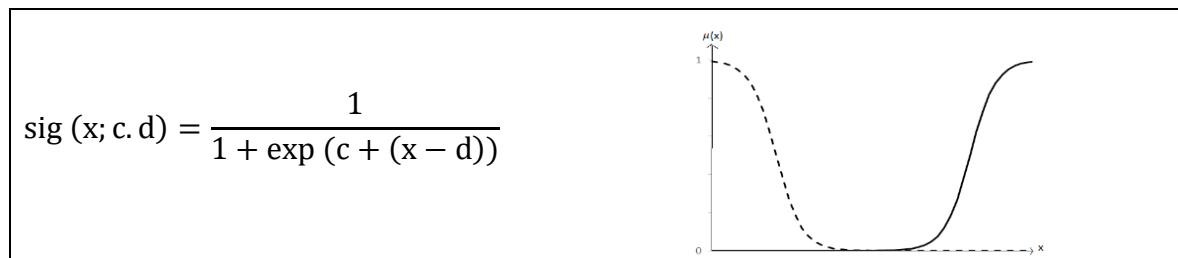
شکل ۱-۳ تابع عضویت مثلثی (Ross, 2017)



شکل ۲-۳ تابع عضویت ذوزنقه‌ای (Ross, 2017)



شکل ۳-۳ تابع عضویت گاوسی (Ross, 2017)

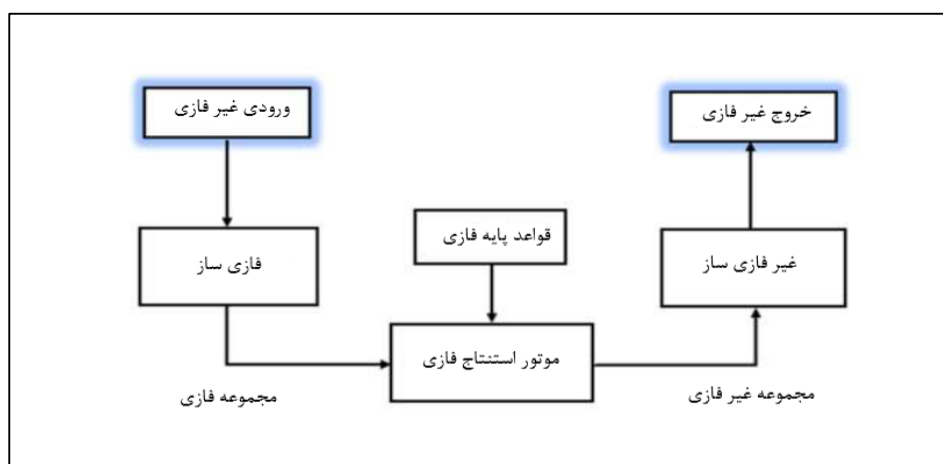


شکل ۴-۳ تابع عضویت سیگموئیدالی (Ross, 2017)

۳-۲-۲- سامانه‌های فازی

یک سامانه فازی، فرایند نگاشت ورودی‌ها به خروجی‌ها با استفاده از منطق فازی را انجام می‌دهد. در این بخش به هدف اصلی سامانه فازی یعنی مدل‌سازی پرداخته و ساختار و مراحل بیان رفتار یک سامانه به کمک رویکرد فازی در ادامه توضیح داده می‌شود.

ورودی‌های یک سامانه فازی می‌توانند از نوع فازی یا غیرفازی (قطعی) باشند. خروجی‌های این سامانه نیز با توجه به سامانه‌های فازی می‌تواند فازی یا قطعی باشند. از آنجاکه در بسیاری از کاربردها نظیر کنترل خودکار، ورودی و خروجی‌های سامانه به صورت اعداد حقیقی هستند، لذا باید واسطه‌هایی بین سامانه فازی و محیط ایجاد نمود که ورودی‌های قطعی را برای استفاده در سامانه فازی به ورودی‌های فازی تبدیل کنند و نیز خروجی‌ها را چنانچه فازی هستند، به خروجی‌های قطعی تبدیل نمایند (عطایی، (ب) ۱۳۹۴). در شکل ۳-۵ یک سامانه فازی را نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود یک سامانه فازی شامل سه بخش فازی‌ساز^۱، موتور استنتاج فازی^۲ و غیر فازی‌ساز^۳ است.



شکل ۳-۵ نمایش یک سامانه فازی (عطایی، (ب) ۱۳۹۴)

^۱ Fuzzifier

^۲ Fuzzy inference engine

^۳ Defuzzifier

الف - فازی سازی^۱

مرحله تعریف مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی و خروجی، فازی سازی نامیده می‌شود. برای تعریف این مجموعه‌های فازی باید دانش اولیه‌ای از دامنه تعریف هر کدام از این متغیرها وجود داشته باشد. در طبقه‌بندی توابع عضویت، داده‌های ورودی به صورت مجموعه‌های فازی مثل بالا، متوسط، پایین و... تقسیم می‌شود که دامنه تمام داده‌های ورودی به وسیله چنین متغیرهایی با نسبت دادن درجه عضویت تقسیم‌بندی می‌شود (عطایی، (ب) ۱۳۹۴).

ب - استنتاج فازی^۲

توصیف ارتباط بین ورودی و خروجی به وسیله قواعد فازی است. یک قاعده فازی به طور کلی از یک مقدمه منطقی (اگر...) و یک نتیجه (آنگاه...) تشکیل شده است. انتخاب سامانه استنتاج فازی برای ترکیب کردن قواعد فازی است. مدل‌های ممدانی^۳ و سوگنو^۴ از جمله مدل‌هایی هستند که در سامانه استنتاج فازی به کار گرفته می‌شوند.

در روش ممدانی، عبارت‌های زبانی بدون ساختار را به یک مجموعه ساختاریافته ترجمه می‌کند. در این سامانه هم قسمت مقدم و هم قسمت نتیجه قواعد فازی هستند. مجموعه ساختار یافته به شکل رابطه ۲-۳ است (Ross, 2017).

$$\text{If } u \text{ is } A_i \text{ and } v \text{ is } B_i \text{ then } w \text{ is } C_i, i=1,2,\dots,n \quad (2-3)$$

که در آن u و v پارامترهای ورودی، A_i و B_i عبارات زبانی (توابع عضویت فازی) و w پارامتر خروجی و n تعداد قواعد فازی است. در روش ممدانی از عملگر MIN برای AND و از عملگر MAX برای OR که به

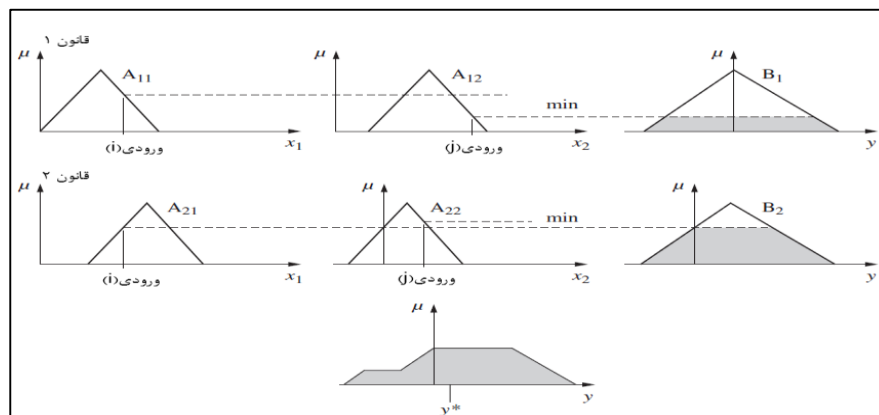
¹ Fuzzification

² Fuzzy Inference

³ Mammdani

⁴ Sugeno

روش استنتاج MIN-MAX معروف است، استفاده می‌شود. در این روش اگر عبارات قسمت اگر توسط عملگر AND به هم ارتباط داده شده باشند، برای ترکیب این عبارات و به دست آوردن خروجی واحد از قاعده مورد نظر، کمینه خروجی هریک از این عبارات محاسبه می‌شود؛ اما اگر عبارات قسمت اگر توسط عملگر OR به هم ارتباط داده شده باشند، برای ترکیب این عبارات و به دست آوردن خروجی واحد از قاعده مورد نظر، بیشینه خروجی هریک از عبارات محاسبه می‌شود. در روش دیگری تحت عنوان استنتاج SUM-PRUD از ضرب برای عملگر AND و از جمع برای عملگر OR استفاده می‌شود. در شرایطی که چند قاعده وجود داشته باشد، نتایج تمام قواعد ادغام می‌شوند و یک مجموعه فازی مرکب تشکیل می‌دهند. در شکل ۳-۶ یک سامانه استنتاج فازی ممدانی نشان داده شده است.



شکل ۳-۶ سامانه استنتاج فازی ممدانی با دو قانون فازی (Ross, 2017)

ج- غیر فازی سازی^۱

متغیر فازی ارسال شده از سوی بخش تصمیم‌گیری، در بیشتر حالات قابل استفاده در فرایند نیست و باید به صورت متغیرهای غیرفازی تبدیل گردد که این کار در غیر فازی‌ساز صورت می‌گیرد.

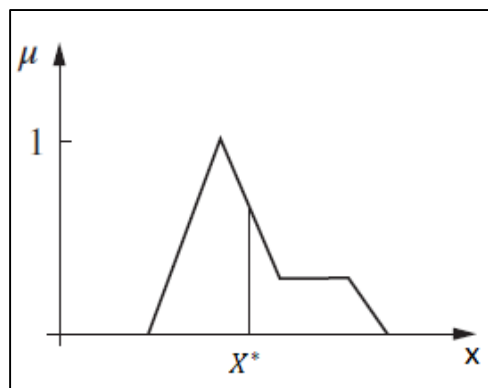
غیر فازی‌ساز نگاشتی از یک مجموعه فازی به یک مقدار قطعی است. شیوه‌های مختلفی برای غیرفازی

^۱ Defuzzification

کردن وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: روش گرانیگاه^۱، روش نصف کننده سطح^۲، روش میانگین حداکثرها^۳، روش کوچک‌ترین حداکثرها^۴ و روش بزرگ‌ترین حداکثرها^۵ (عطایی، (ب) ۱۳۹۴).

روش گرانیگاه دقیق‌ترین روش غیرفازی کردن است. اگر مجموعه فازی A طبق رابطه ۳-۱ به عنوان ورودی غیرفازی‌ساز استفاده شود، مقدار x در روش گرانیگاه، مرکز ناحیه زیر منحنی محاسبه می‌شود که به وسیله مجموعه فازی A پوشش داده می‌شود که این نقطه از رابطه ۳-۳ به دست می‌آید (عطایی، (ب) ۱۳۹۴):

$$X^* = \frac{\int x \mu_{\tilde{A}} dx}{\int \mu_{\tilde{A}} dx} \quad (3-3)$$



شکل ۳-۷ غیر فازی سازی گرانیگاه (Ross, 2017)

در شکل ۳-۷ نقطه X^* برابر است با مرکز ناحیه‌ای که به وسیله تابع تعلق $\tilde{A}$ پوشش داده شده است.

۳-۳- تصمیم‌گیری‌های چند معیاره فازی

تصمیم‌گیری شامل بیان درست اهداف، تعیین راه‌حل‌های مختلف و ممکن، ارزیابی امکان‌پذیری آنان، ردیابی

¹ Center of Area (centeriod)

² Bisector

³ Mean of Maximum=MOM

⁴ Smallest of Maximum=SOM

⁵ Largest of Maximum

عواقب و نتایج ناشی از اجرای هر یک از راه‌حل‌ها و بالاخره انتخاب و اجرای آن است (عطایی، ۱۳۹۶).

در برخی از مسائل تصمیم‌گیری شرایطی وجود دارد که جواب بهینه با در نظر گرفتن بیش از یک معیار می‌بایست تعیین گردد؛ یعنی فاکتورها و معیارهای مختلفی برای تعیین جواب بهینه لازم است، بررسی کردند. برای حل این‌گونه موارد، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ استفاده می‌شود. مسائل چند معیاره به دو دسته کلی چند شاخصه^۲ و چند هدفه^۳ تقسیم می‌شوند. مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه با توجه به اهداف چندگانه میزان هر فعالیت را مشخص می‌کند. درحالی‌که مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با توجه به عوامل چندگانه، از بین چندین گزینه یکی را انتخاب و یا گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌کند (عطایی، ۱۳۹۶).

در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره کلاسیک سعی می‌شود که تأثیر عوامل مختلف در تصمیم‌گیری با استفاده از مفاهیم ریاضی محاسبه شود؛ اما بیان بسیاری از عوامل با منطق کلاسیک امکان‌پذیر نیست. از طرف دیگر همیشه در دنیای واقعی عدم قطعیت وجود داشته و شرایط نامطمئن، همواره در مراحل مختلف مطالعه و بررسی یک مسئله وجود دارد. کاربرد تئوری مجموعه‌های فازی برای مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، یک راه مناسب برای فرایند تصمیم‌گیری در مسئله برای از بین بردن ابهام و عدم وابستگی به طرز فکر انسان است. در هر دو مدل تصمیم‌گیری چند معیاره، مفهوم اطلاعات نادقیق و فازی در برآورد پارامترها و ساختار مدل می‌تواند به کار گرفته شود (عطایی، (ب) ۱۳۹۴).

در این تحقیق برای تصمیم‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. در ادامه به توضیح این روش پرداخته شده است.

^۱ Multi Criteria Decision Making

^۲ Multiple Attribute Decision Making

^۳Multiple Objective Decision Making

۳-۳-۱- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

تئوری فازی برای اکثر پدیده‌های جهان واقع که در آن عدم قطعیت وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد و بسیاری از مجموعه‌ها، اعداد و اتفاق‌های دنیای واقعی را می‌توان با منطق فازی توجیه کرد. در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی با تعمیم مفاهیم فازی در تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی دخالت داده می‌شود. در این روش پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از تصمیم‌گیرنده (یا تصمیم‌گیرندگان) خواسته می‌شود تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه کنند و اهمیت نسبی عناصر را بیان کنند (عطایی، (ب) ۱۳۹۴). جدول ۳-۱ روش پیشنهادی ساعتی^۳ به منظور تعیین مقادیر ترجیحات است.

جدول ۳-۱ مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی بین پارامترها (Saaty, 1994)

مقیاس فازی	مقدار عددی	ترجیحات
(۱,۱,۱)	۱	اهمیت یکسان
(۱,۲,۳)	۲	اهمیت یکسان تا کمی بهتر
(۲,۳,۴)	۳	کمی بهتر
(۳,۴,۵)	۴	کمی بهتر تا بهتر
(۴,۵,۶)	۵	بهتر
(۵,۶,۷)	۶	بهتر تا خیلی بهتر
(۶,۷,۸)	۷	خیلی بهتر
(۷,۸,۹)	۸	خیلی بهتر تا کاملاً بهتر
(۸,۹,۱۰)	۹	کاملاً بهتر

در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ^۳ استفاده شده است. مراحل روش چانگ به شرح زیر است (Chang, 1996):

مرحله ۱: رسم نمودار سلسله مراتبی

مسئله به سلسله مراتبی از هدف، معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها تجزیه می‌شود. نمودار سلسله مراتب،

^۱ Fuzzy Analytical Hierarchy Process

^۲ Saaty

^۳ Chang

پایه‌ای برای پردازش فرایند تحلیل سلسله مراتبی است.

مرحله ۲: تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

مرحله ۳: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی ($\tilde{A}$) با به کارگیری اعداد فازی

ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

که این ماتریس حاوی اعداد فازی زیر است:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & i \neq j \end{cases}$$

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که

در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مؤلفه اول آن حداقل

نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین هندسی نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها است.

مرحله ۴: محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (4-3)$$

که در این رابطه i بیان‌گر شماره سطر و j بیان‌گر شماره ستون است. M_{gi}^j در این رابطه اعداد فازی مثلثی

ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند. مقادیر $\sum_{j=1}^m m_{gi}^i$ ، $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ ، $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ را می‌توان

به ترتیب از روابط زیر محاسبه کرد:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j \cdot \sum_{j=1}^m m_j \cdot \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (5-3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (6-3)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (7-3)$$

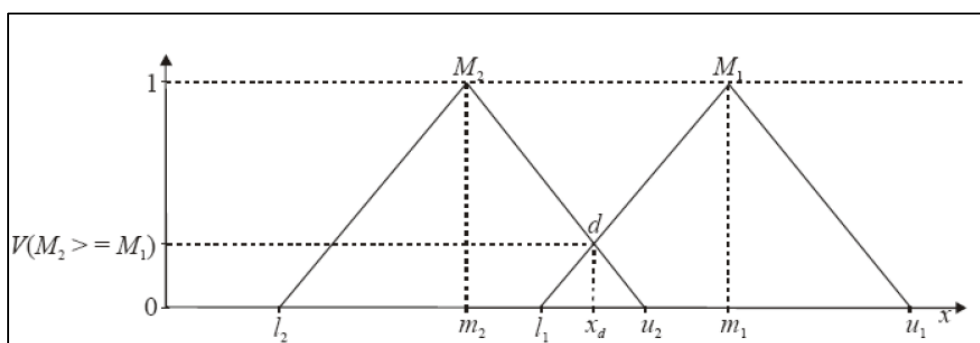
در روابط بالا l_i , m_i و u_i به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

مرحله ۵: محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر

به طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، طبق شکل ۳-۸ درجه

بزرگی M_1 نسبت به M_2 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8-3)$$



شکل ۳-۸ درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم (Chang,1996)

از طرف دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \quad (9-3)$$

$$= \text{Min } V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k$$

مرحله ۶: محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی

بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$d'(A_i) = \text{Min } V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i \quad (10-3)$$

بنابراین بردار وزن نرمالیزه نشده به صورت زیر خواهد بود:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad A_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (11-3)$$

مرحله ۷: محاسبه بردار وزن نهایی

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد؛ بنابراین:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (12-3)$$

۳-۱-۱- محاسبه نرخ سازگاری در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

دو پژوهشگر به نام گوگوس و بوچر (۱۹۹۸) روشی را برای محاسبه نرخ سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی ارائه داده‌اند که در زیر به ارائه مراحل آن پرداخته شده است (Gogus & Boucher, 1998).

مرحله ۱) تبدیل ماتریس فازی مثلثی به دو ماتریس مستقل: در این مرحله ماتریس فازی مثلثی را

به ماتریس تقسیم و با فرض اینکه عدد فازی مثلثی مانند $A_i = (l_i, M_i, U_i)$ باشد؛ ماتریس اول از اعداد میانی

ماتریس فازی مثلثی تشکیل می‌شود؛ یعنی: $A_m = [a_{ijm}]$. ماتریس دوم از میانگین هندسی حدود بالا و پایین

ماتریس فازی مثلثی تشکیل می‌شود؛ یعنی: $A_g = [a_{ijg}]$.

مرحله ۲) محاسبه بردار وزن هر ماتریس: بردار وزن هر ماتریس (W_m, W_g) را با توجه عملیات ریاضی

زیر محاسبه می‌کنیم.

۱- مجموع اعداد هر ستون از ماتریس‌های به دست آمده در مرحله یک را محاسبه کرده و سپس هر عنصر

ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌شود. ماتریس جدیدی که بدین صورت به دست می‌آید را

ماتریس نرمال شده می‌نامند.

۲- میانگین اعداد هر سطر از ماتریس نرمال شده محاسبه می شود.

۳- بزرگ ترین مقدار ویژه هر ماتریس را با استفاده از روابط زیر برای هر یک از جداول مرحله قبل محاسبه می شود. بزرگ ترین مقدار ویژه از روابط زیر به دست می آید.

$$\lambda_{max}^m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ijm} \left(\frac{W_j^m}{W_i^m} \right) \quad (13-3)$$

$$\lambda_{max}^g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{a_{iju} * a_{ijl}} \left(\frac{W_j^g}{W_i^g} \right) \quad (14-3)$$

۴- شاخص سازگاری (CI) هر یک از ماتریس ها با استفاده روابط زیر محاسبه می شود.

$$CI_m = \frac{\lambda_{max}^m - n}{n - 1} \quad (15-3)$$

$$CI_g = \frac{\lambda_{max}^g - n}{n - 1} \quad (16-3)$$

در روابط بالا n عبارت است از تعداد گزینه ها یا عوامل موجود در مسئله.

۵- محاسبه نرخ سازگاری (CR) ماتریس مسئله: برای محاسبه نرخ سازگاری، شاخص سازگاری هر یک از ماتریس ها را بر شاخص تصادفی آن ها تقسیم کرده و در صورتی که مقدار حاصل کمتر از ۰,۱ باشد ماتریس ها سازگار قلمداد می شوند و می توان به نتایج آن ها اعتماد کرد، در غیر این صورت باید پرسش نامه مربوط به این محاسبات را به خبره مورد نظر بازگرداند تا مورد بازنگری قرار دهد. نرخ سازگاری طبق روابط زیر محاسبه می شود.

$$CR_m = \frac{CI_m}{RI_m} \quad (17-3)$$

$$CR_g = \frac{CI_g}{RI_g} \quad (18-3)$$

جدول ۲-۳ مقادیر مربوط به شاخص تصادفی هر یک از ماتریس های روش گوگوس و بوچر را ارائه می کند.

جدول ۲-۳ شاخص تصادفی روش گوگوس و بوچر (Gogus & Boucher, 1998)

RI _g	RI _m	n
۰	۰	۱
۰	۰	۲
۰/۱۷۹۶	۰/۴۸۹	۳
۰/۲۶۲۷	۰/۷۹۳۸	۴
۰/۳۵۹۷	۱/۰۷۲	۵
۰/۳۸۱۸	۱/۱۹۹۶	۶
۰/۴۰۹	۱/۲۸۷۴	۷
۰/۴۱۶۴	۱/۳۴۱	۸
۰/۴۳۴۸	۱/۳۷۹۳	۹
۰/۴۴۵۵	۱/۴۰۹۵	۱۰
۰/۴۵۳۶	۱/۴۱۸۱	۱۱
۰/۴۷۷۶	۱/۴۴۶۲	۱۲
۰/۴۶۹۱	۱/۴۵۵۵	۱۳
۰/۴۸۰۴	۱/۴۹۳۱	۱۴
۰/۴۸۸	۱/۴۹۸۶	۱۵

۳-۲-۳- اجتماع وزنی با توابع تصمیم فازی

بیشتر عملگرهای تجمیعی که به عنوان توابع تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند، فرض آن‌ها بر تجمیع متقارن قضاوت‌ها است و این یعنی ترتیب قضاوت‌ها تأثیری بر روی نتیجه تجمیع ندارد مگر زمانی که مقادیر عددی قضاوت‌ها تغییر کنند؛ اما در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری، چنین تقارنی وجود ندارد. در اینجا تصمیم‌گیرنده معمولاً بعضی از شاخص‌های تصمیم‌گیری را مهم‌تر از شاخص‌های دیگر در نظر می‌گیرد. این

شاخص‌ها نسبت به سایر شاخص‌ها باید اثربخشی بیشتری بر روی نتیجه تصمیم‌گیری به دنبال داشته باشند و این یعنی بسیاری از توابع تصمیم‌گیری را نمی‌توان به شکل مستقیم در فرایند تصمیم‌گیری استفاده کرد. اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری را می‌توان از طریق معرفی پارامترهای اضافی به مدل تصمیم‌گیری (که با عنوان «عوامل وزنی» شناخته می‌شوند)، مدل‌سازی کرد. ضریب وزن $(w_i \geq 0, i = 0.1 \dots n)$ عددی است که اهمیت نسبی را نشان می‌دهد و تصمیم‌گیرنده این عدد را به یک شاخص مرتبط با سایر شاخص‌های تصمیم‌گیری اختصاص می‌دهد. در اینجا هر قدر که ضریب وزن بزرگ‌تر باشد، آنگاه شاخص مرتبط با آن نیز برای نتیجه مسئله‌ای که در مورد آن تصمیم‌گیری می‌شود، مهم‌تر فرض خواهد شد. معمولاً عناصر وزنی، در یک محدود ۰ و ۱ در نظر گرفته می‌شود و به شکل زیر نرمال‌سازی می‌کنند (Sousa & Kaymak, 2002)

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (19-3)$$

زمانی که یک شاخص مهم‌تر از شاخص‌های دیگر است، در اینجا باید تأثیر بیشتری بر روی نتیجه مسئله تصمیم‌گیری داشته باشد. به عبارت دیگر، ساختار ترجیحی تصمیم‌گیرنده را باید بیشتر از سایر شاخص‌ها تحت تأثیر قرار دهد. این تفسیر از عوامل وزنی باعث ارائه یک روش کلی برای ترکیب عوامل وزنی در عملگرهای تجمیع فازی می‌شود. دو روش اصلی به منظور افزایش اثربخشی شاخص‌های مهم بر روی تابع تصمیم‌گیری وجود دارد (Sousa & Kaymak, 2002):

۱- **تبدیل تابع تصمیم‌گیری:** در این رویکرد، وزن‌ها به نحوی به تابع تصمیم وارد می‌شوند که سهم شاخص‌های مهم‌تر در نتیجه کلی افزایش پیدا کند.

۲- **تبدیل عملوندها:** در این رویکرد، عملوندهای یک تابع تصمیم‌گیری در ابتدا تبدیل به مقادیر مختلفی می‌شوند و سپس تابع تجمیع متقارن اصلی برای ترکیب مقادیر تبدیل شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اینجا اصلاح عملوندها باید به نحوی انتخاب شود که گزینه‌هایی مهم‌تر در شاخص‌های

تصمیم‌گیری با امتیاز بالاتر، تأثیر بیشتری بر روی نتیجه داشته باشند.

برخی صاحب‌نظران روش‌هایی برای توسعه عملگرهای تجمیع فازی به همتایان وزنی خود پیشنهاد داده‌اند. در بعضی از روش‌ها، از روش تبدیل تابع تصمیم استفاده می‌شود و در بعضی دیگر، روش تبدیل عملوندها کاربرد دارد. در ادامه، همتایان وزنی تی‌نرم‌ها توصیف می‌شود. تی‌نرم‌ها بخشی از مجموعه‌های فازی هستند که بر روی هم‌پوشانی مجموعه‌ها عمل می‌کنند. عملگر زیر از مشهورترین توابع تصمیم‌گیرنده مبتنی بر تی‌نرم برای اجتماع معیارها هستند (Sousa & Kaymak, 2002).

یک روش توسط دابویس و پریدآدر سال ۱۹۸۶، ارائه شده است. این تابع تبدیل باعث حداقل و حداکثر وزن عملگرهایی می‌شود که می‌توانند در تعیین امکان‌پذیری این نظریه مورد استفاده قرار گیرند. این حداقل وزن از رابطه زیر به دست می‌آید (Dubois & Prade, 1986):

$$D^w(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m) = \bigwedge_{i=1}^m [(1 - w_i) \vee \mu_i] \quad (20-3)$$

در این رابطه w_i و μ_i به ترتیب تابع عضویت و وزن متناظر معیار است.

۳-۴- معرفی نرم‌افزار شبیه‌سازی OPNET^۳

نرم‌افزار شبیه‌ساز OPNET به‌عنوان بخشی از پروژه بود که در دانشگاه MIT و در سال ۱۹۸۷ ارائه شد و یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تحلیل شبکه‌های کامپیوتری و مخابراتی است. نرم‌افزار OPNET به کاربر اجازه می‌دهد تا شبکه‌های کامپیوتری و مخابراتی را از جنبه‌های مختلف، از لایه فیزیکی تا دیتا لینک شبیه‌سازی نماید. شبیه‌ساز OPNET به طراحان و پژوهشگران اجازه می‌دهد تا شبیه‌سازی عملکرد پروتکل‌ها، تجهیزات و معماری‌های شبکه‌ها را با دقت بسیار بالایی انجام و بررسی نمایند. پیش‌بینی‌های OPNET در مسائل شبکه به طور چشمگیری به واقعیت نزدیک است (Opnetprojects.com).

¹ T-norm

² Dubois and Prade

^۳OPNET: Optimum Network Performance

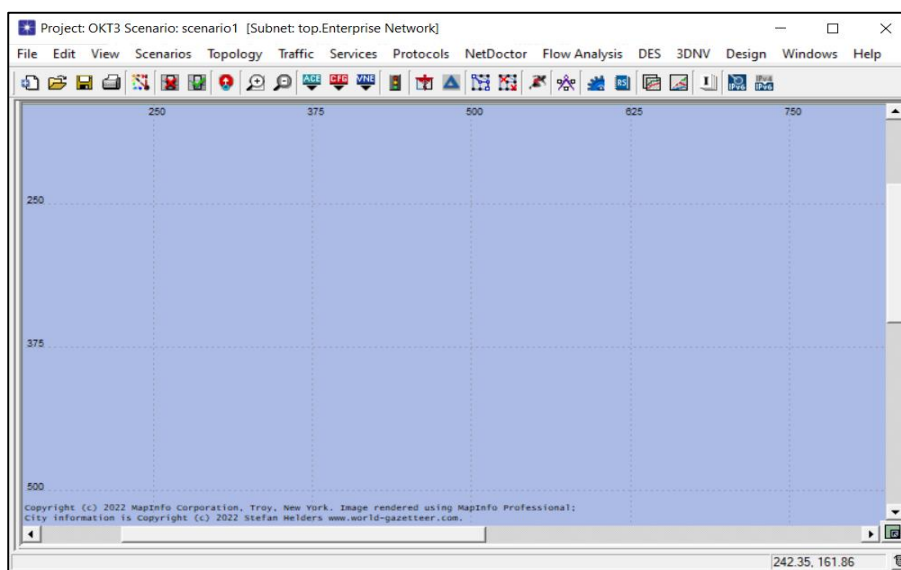
روند شبیه‌سازی در نرم‌افزار OPNET عبارت‌اند از:

- ایجاد مدل شبکه
- تهیه اطلاعات مورد نیاز
- اجرای شبیه‌سازی
- نمایش نتایج حاصل از اطلاعات پردازش شده

مراحل شبیه‌سازی در نرم‌افزار OPNET به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

- ایجاد پروژه
- ساخت یک طرح خام و یا وارد کردن یک ساختار در یکی از قالب‌های قابل قبول برنامه
- مشخص کردن مقیاس شبکه
- تعیین محل شبکه و نوع واحد اندازه‌گیری
- انتخاب فناوری‌هایی که در مدل شبیه‌سازی شده استفاده خواهد شد
- مرور تنظیمات و تأیید آن

شکل ۳-۹ محیط کاربری نرم‌افزار OPNET را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹ محیط کاربری نرم‌افزار OPNET نسخه ۱۴,۵ (Opnetprojects.com)

۳-۵- جمع‌بندی

در این فصل آنچه گفته شد نشان می‌دهد که در بسیاری از مسائل عدم قطعیت وجود دارد. با تعریف مجموعه‌های فازی می‌توان این عدم قطعیت را بیان کرد. برای بیان محیط فازی اطراف نیاز به مدل‌سازی است. ساختار یک سامانه فازی شامل فازی‌ساز، استنتاج فازی و غیرفازی‌ساز است. همان‌طور که کامل تشریح شد با استفاده از این سامانه به‌خوبی می‌توان مسائل عدم قطعیت را مدل‌سازی کرد. همچنین بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها با عدم قطعیت همراه است. روش‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری در محیط فازی پیشنهاد شده است که یکی از این روش‌ها، روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی است. همچنین توابع تصمیم در محیط فازی می‌توان تعریف کرد که مهم‌ترین آن‌ها تابع دابویس-پرید است و به‌طور کامل در این فصل بیان شد. در آخر شبیه‌سازی شبکه بی‌سیم با استفاده از نرم‌افزار OPNET توضیح داده شده است که می‌توان از آن برای شبیه‌سازی قبل از اجرای یک شبکه بهره گرفت.

فصل ۴: تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- مقدمه

مکانیزه کردن بخش‌های مختلف یک معدن نیاز به مطالعات تخصصی فنی و اقتصادی دارد. در این بخش مکانیزاسیون و اتوماسیون سه بخش استخراج، ترابری و پایش محیط معدن زمستان یورت مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا طبقه‌بندی لایه‌های زغالی معدن از نظر میزان قابلیت مکانیزاسیون مورد بررسی قرار گرفته است. با بررسی سامانه ترابری معدن، به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی یک سامانه بهینه برای ترابری معدن انتخاب شده است. در آخر یک سامانه پایش محیط برای اکلن تونل شماره ۳ در نظر گرفته شده است. با شبیه‌سازی و مدل‌سازی این سامانه کمک شایانی به ایمنی و سرمایه معدن خواهد شد.

۴-۲- بررسی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ معدن

زمستان یورت

با بررسی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی می‌توان فهمید که به چه میزان لایه‌های زغالی، مستعد شرایط مکانیزاسیون هستند. در این بخش داده‌های جمع‌آوری شده با رویکرد منطق فازی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. برای تعیین میزان قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی، ابتدا نیاز به تعیین معیارهای مؤثر و وزن آن‌ها است. برای تعیین وزن معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. در ادامه مراحل تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت گام به گام ارائه شده است.

۴-۲-۱- معیارهای تحقیق

با استفاده از پیشینه تحقیق ۷ معیار که در مکانیزاسیون لایه‌های زغالی مؤثر هستند در نظر گرفته شده است. جدول ۴-۱ لیست معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغالی استفاده شده در این تحقیق را نشان

می‌دهد.

جدول ۱-۴ معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ

شماره	معیارها	نماد
۱	شیب لایه	C ₁
۲	ضخامت لایه	C ₂
۳	یکنواختی لایه	C ₃
۴	کیفیت سنگ کف	C ₄
۵	کیفیت سنگ سقف	C ₅
۶	گسترده‌گی لایه	C ₆
۷	آب موجود در جبهه کار	C ₇

۴-۲-۲- محاسبه وزن نهایی معیارهای تحقیق

برای محاسبه وزن معیارهای تحقیق نسبت به هدف، ابتدا پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی معیارها نسبت به هدف تشکیل شد. در گام بعد میزان اهمیت هریک از معیارها با ارسال فرم پرسش‌نامه (پیوست ۱) برای ۵ کارشناس خبره (مسئول ایمنی، زمین‌شناسی، نقشه‌برداری، دفتر فنی و سرپرست استخراج معدن زغال سنگ زمستان یورت) در زمینه معادن زغالی با بهره‌گیری از روش پیشنهادی ساعتی تعیین شد. پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، نتایج حاصل برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی فازی مورد استفاده قرار گرفتند. همان‌گونه که در بحث‌های گذشته اشاره شد اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای چند عضو باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی، یک عدد فازی مثلثی است. ادغام نظرات کارشناسان خبره طبق ماتریس مقایسه زوجی فازی در جدول ۲-۴ درج شده است.

جدول ۴-۲ ماتریس ادغام شده مقایسه زوجی فازی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
C ₁	(1,1,1)	(0.16,1.37,5)	(0.2,2.35,,9)	(1,5.03,9)	(1,3.24,7)	(0.25,3.1,9)	(1,4.81,9)
C ₂	(0.2,0.73,5.98)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,5.26,9)	(1,3.65,9)	(1,2.55,4)	(1,4.19,9)
C ₃	(0.11,0.42,5)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(1,3.02,8)	(0.33,1.08,4)	(0.25,1.05,3)	(1,3.02,8)
C ₄	(0.11,0.19,1)	(0.11,0.19,1)	(0.12,0.33,1)	(1,1,1)	(0.16,0.35,1)	(0.12,0.36,1)	(0.2,0.87,3)
C ₅	(0.14,0.3,1)	(0.11,0.27,1)	(0.25,0.92,3)	(1,2.82,5.98)	(1,1,1)	(0.12,0.844,4)	(1,2.29,5)
C ₆	(0.11,0.32,4)	(0.25,0.39,1)	(0.33,0.94,4)	(1,2.77,8)	(0.25,1.18,8)	(1,1,1)	(0.33,1.89,7)
C ₇	(0.11,0.2,1)	(0.11,0.23,1)	(0.12,0.33,1)	(0.33,1.14,,5)	(0.2,0.43,1)	(0.14,0.52,3)	(1,1,1)

در جدول ۴-۳ نرخ سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی نظرات کارشناسان خبره محاسبه شده است که تمامی ماتریس‌ها در وضعیت سازگار است که می‌توان به نتایج آن اعتماد کرد.

جدول ۴-۳ نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مکانیزاسیون

ردیف	مقایسه زوجی	CR _m	CR _g	وضعیت
۱	خبره ۱	۰/۰۳۷	۰/۰۹۲	سازگار
۲	خبره ۲	۰/۰۲۶	۰/۰۷	سازگار
۳	خبره ۳	۰/۰۲۸	۰/۰۸۱	سازگار
۴	خبره ۴	۰/۰۳۳	۰/۱	سازگار
۵	خبره ۵	۰/۰۲۸	۰/۰۷۳	سازگار
۶	ماتریس ادغام شده	۰/۰۱	۰/۰۵	سازگار

پس از تشکیل ماتریس ادغام شده مقایسه زوجی، در ادامه برای محاسبه مقدار S_i ها ابتدا طبق رابطه ۳-۵ باید مجموع اعداد هر سطر محاسبه شود که به عنوان مثال برای سطر اول این مقدار برابر با (4.61,20.92,49) خواهد بود. سپس طبق رابطه ۳-۶ مجموع اعداد کل داخل ماتریس محاسبه می شود که مقدار آن برای ماتریس ادغام شده مقایسه زوجی معیارها برابر (25.61,74.67,195.97) است. سپس مقدار معکوس مجموع اعداد کل داخل ماتریس را در مجموع اعداد هر سطر ضرب باید کرد. در نهایت مقادیر S_i برای هر یک از سطرهای مقایسه زوجی در جدول ۴-۴ محاسبه شده است.

جدول ۴-۴ مقدار S_i برای سطرهای ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون

شماره سطر	S_i
۱	$S_1=(4.61,20.92,49) \otimes (0.005,0.013,0.39) = (0.023,0.28,1.91)$
۲	$S_2=(6.2,19.39,40.98) \otimes (0.005,0.013,0.39) = (0.031,0.25,1.6)$
۳	$S_3=(4.02,10.11,30) \otimes (0.005,0.013,0.39) = (0.02,0.13,1.17)$
۴	$S_4=(1.83,3.3,9) \otimes (0.005,0.013,0.39) = (0.009,0.044,0.35)$
۵	$S_5=(3.59,8.54,20.98) \otimes (0.005,0.013,0.39) = (0.018,0.1144,0.81)$
۶	$S_6=(3.3,8.51,33) \otimes (0.005,0.013,0.39) = (0.01,0.114,1.28)$
۷	$S_7=(2.023,3.88,9.13) \otimes (0.005,0.013,0.39) = (0.01,0.05,0.5)$

جدول ۴-۵ مقایسه بزرگی مقادیر S_i نسبت به همدیگر

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
$V(S_1 \geq \dots)$	-	1	1	1	1	1	1
$V(S_2 \geq \dots)$	0.98	-	1	1	1	1	1
$V(S_3 \geq \dots)$	0.88	0.9	-	1	1	1	1
$V(S_4 \geq \dots)$	0.58	0.59	0.78	-	0.82	0.82	0.97
$V(S_5 \geq \dots)$	0.82	0.84	0.97	1	-	1	1
$V(S_6 \geq \dots)$	0.88	0.89	0.98	1	0.99	-	1
$V(S_7 \geq \dots)$	0.68	0.69	0.85	1	0.88	0.88	-

سپس درجه بزرگی یک عدد فازی نسبت به یک عدد فازی دیگر طبق رابطه ۳-۸ محاسبه می شود. در

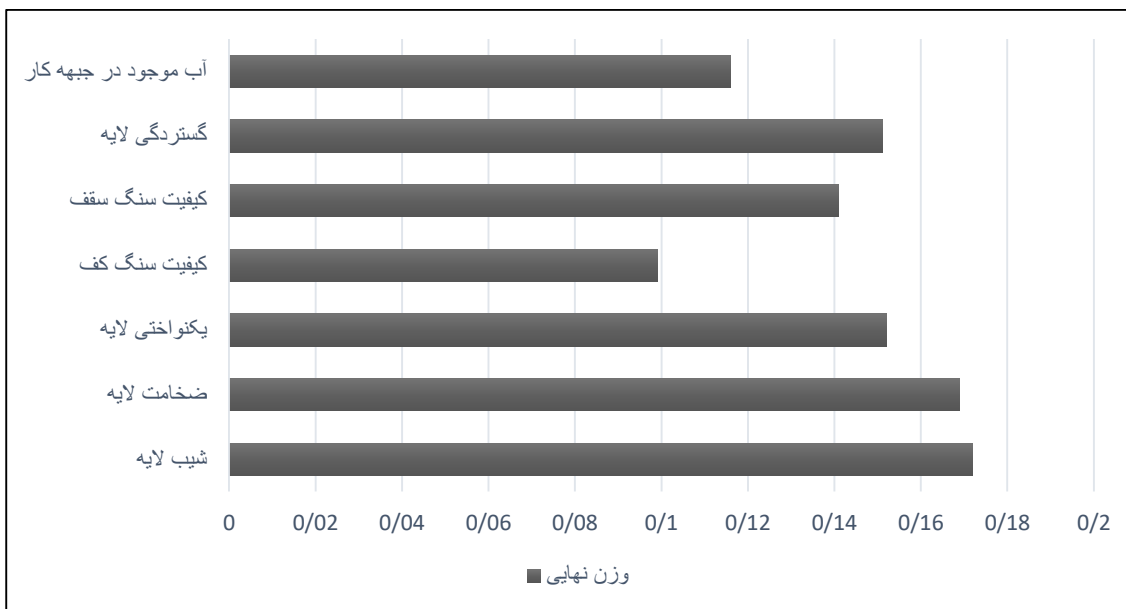
جدول ۴-۵ این مقادیر محاسبه و درج شده است. در نهایت طبق رابطه ۳-۱۰ و ۳-۱۱ وزن‌های نرمال نشده و طبق رابطه ۳-۱۲ وزن‌های نرمال شده محاسبه می‌شود که در جدول ۴-۶ این مقادیر درج شده است.

جدول ۴-۶ وزن نهایی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون

ردیف	معیارها	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده	رتبه
۱	شیب لایه	۱	۰/۱۷۱	۱
۲	ضخامت لایه	۰/۹۸۷	۰/۱۶۸۸	۲
۳	یکنواختی لایه	۰/۸۸۸	۰/۱۵۱۹	۳
۴	کیفیت سنگ کف	۰/۵۸۱	۰/۰۹۹۴	۷
۵	کیفیت سنگ سقف	۰/۸۲۸	۰/۱۴۱۵	۵
۶	گسترده‌گی لایه	۰/۸۸۴	۰/۱۵۱۱	۴
۷	آب موجود در جبهه کار	۰/۶۸	۰/۱۱۶۲	۶

شکل شماره ۴-۱ میزان اهمیت هریک از معیارهای اصلی تحقیق را بر اساس وزن آن‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود از میان معیارهای اصلی ویژگی شیب لایه بیشترین اهمیت را دارد و رتبه اول را به خود اختصاص می‌دهد و بقیه معیارها در رتبه‌های بعدی قرار دارند. وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی مستخرج و نتایج آن به‌صورت بردار زیر است.

$$w = [C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7] = [0/171, 0/1688, 0/1519, 0/0994, 0/1415, 0/1511, 0/1162]$$



شکل ۴-۱ میزان اهمیت معیارهای مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون

۴-۲-۳- تعریف توابع عضویت

همان طور که در فصل‌های قبل رده‌های کمی و کیفی برای هریک از عوامل مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون تعریف شد؛ پس از تعیین رده‌ها طبق جدول ۴-۷، توابع عضویت برای هریک از معیارها به صورت یک تابع گاوسی و سیگموئیدالی در پنج رده خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب تعریف شده‌اند. برای هریک از معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغالی، توابع عضویت گاوسی و سیگموئیدالی در جدول ۴-۸ آورده شده‌اند. در این توابع، درجه عضویت معیارها در پنج رده با $\mu(x)$ نشان داده شده است. بنابراین از لحاظ قابلیت مکانیزاسیون، لایه‌های زغالی در پنج رده ضعیف، خیلی ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۴-۷ طبقه‌بندی کیفی معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون لایه‌های زغالی

رده کیفی معیار					معیار
خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف	
۰-۱۲	۱۲-۲۴	۲۴-۳۶	۳۶-۴۸	۴۸<	شیب لایه (درجه)
۴-۵	۳-۴	۲-۳	۱-۲	۰-۱	ضخامت لایه (متر)
۰-۰/۶	۰/۶- ۱/۲	۱/۲- ۱/۸	۱/۸- ۲/۴	۲/۴-۳	یکنواختی لایه (شاخص جابه‌جایی لایه)
۱۲<	۹-۱۲	۶-۹	۳-۶	۰-۳	کیفیت سنگ سقف (مگاپاسکال)
۱۰۰<	۷۵-۱۰۰	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	۰-۲۵	کیفیت سنگ کف (مگاپاسکال)
۴۰۰۰<	۳۰۰۰-۴۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰-۱۰۰۰	گسترده‌گی لایه (متر)
۰-۳۵	۳۵-۷۰	۷۰-۱۰۵	۱۰۵-۱۴۰	۱۴۰<	آب موجود در جبهه‌کار (مترمکعب بر دقیقه)

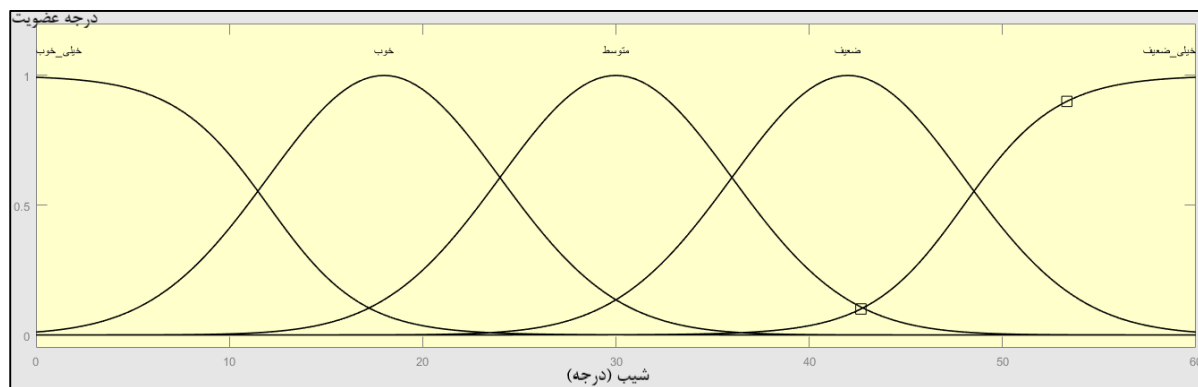
جدول ۴-۸ توابع عضویت ارائه شده برای ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی

معیار		رده‌ی کیفی
ضخامت لایه	شیب لایه	
$Q_1^1 = \frac{1}{1 + \exp((5) \times (x - 1))}$	$Q_1^1 = \frac{1}{1 + \exp((-0/5) \times (x - 48))}$	خیلی ضعیف
$Q_1^2 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 1/5}{0/5})^2]$	$Q_1^2 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 42}{6})^2]$	ضعیف
$Q_1^3 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 2/5}{0/5})^2]$	$Q_1^3 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 30}{6})^2]$	متوسط
$Q_1^4 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 3/5}{0/5})^2]$	$Q_1^4 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 18}{6})^2]$	خوب
$Q_1^5 = \frac{1}{1 + \exp((-5) \times (x - 4))}$	$Q_1^5 = \frac{1}{1 + \exp((0/5) \times (x - 12))}$	خیلی خوب
کیفیت سنگ سقف	یکنواختی لایه	رده‌ی کیفی

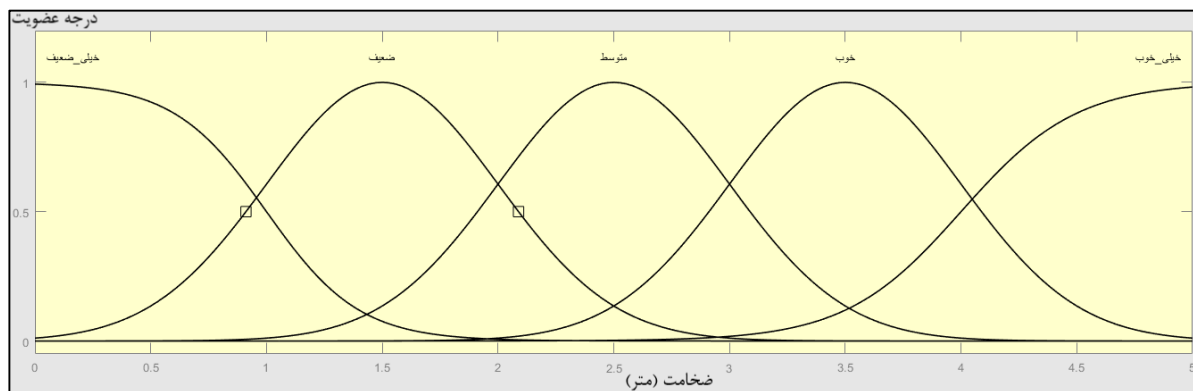
$Q_1^1 = \frac{1}{1 + \exp((2) \times (x - 3))}$	$Q_1^1 = \frac{1}{1 + \exp((-6) \times (x - 2/4))}$	خیلی ضعیف
$Q_1^2 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 4/5}{1/5})^2]$	$Q_1^2 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 2/1}{0/3})^2]$	ضعیف
$Q_1^3 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 7/5}{1/5})^2]$	$Q_1^3 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 1/5}{0/3})^2]$	متوسط
$Q_1^4 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 10/5}{1/5})^2]$	$Q_1^4 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 0/9}{0/3})^2]$	خوب
$Q_1^5 = \frac{1}{1 + \exp((-2) \times (x - 12))}$	$Q_1^5 = \frac{1}{1 + \exp((6) \times (x - 0/6))}$	خیلی خوب
گسترده‌گی لایه	کیفیت سنگ کف	رده‌ی کیفی
$Q_1^1 = \frac{1}{1 + \exp((0/004) \times (x - 1000))}$	$Q_1^1 = \frac{1}{1 + \exp((0/15) \times (x - 25))}$	خیلی ضعیف
$Q_1^2 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 1500}{500})^2]$	$Q_1^2 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 37/5}{12/5})^2]$	ضعیف
$Q_1^3 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 2500}{500})^2]$	$Q_1^3 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 62/5}{12/5})^2]$	متوسط
$Q_1^4 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 3500}{5000})^2]$	$Q_1^4 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 87/5}{12/5})^2]$	خوب
$Q_1^5 = \frac{1}{1 + \exp((-0/004) \times (x - 4000))}$	$Q_1^5 = \frac{1}{1 + \exp((-0/15) \times (x - 100))}$	خیلی خوب
آب موجود در جبهه‌کار		رده‌ی کیفی
$Q_1^1 = \frac{1}{1 + \exp((-0/15) \times (x - 140))}$		خیلی ضعیف
$Q_1^2 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 122/5}{17/5})^2]$		ضعیف
$Q_1^3 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 87/5}{17/5})^2]$		متوسط
$Q_1^4 = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x - 52/5}{17/5})^2]$		خوب

$Q_1^5 = \frac{1}{1 + \exp((0/15) \times (x - 35))}$	خیلی خوب

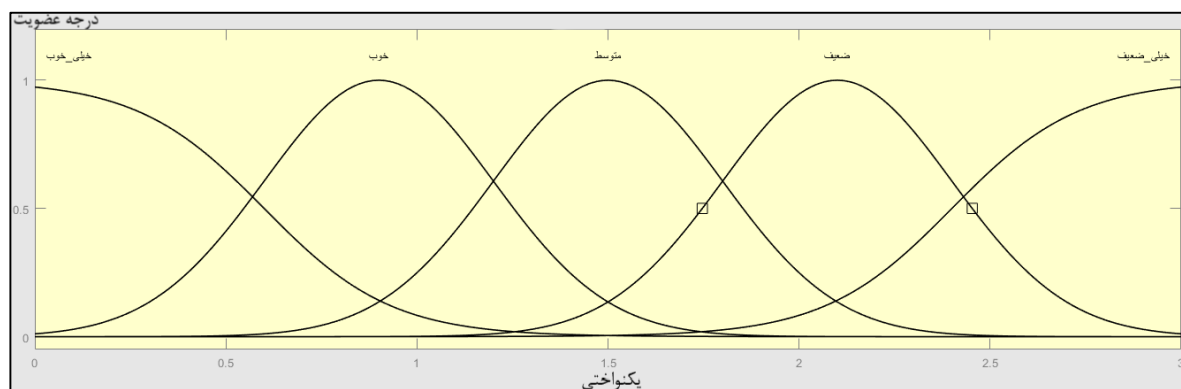
همچنین شکل ۴-۲ نمودار توابع عضویت معیارها را نشان می‌دهد. در این نمودارها محور افقی معیار مؤثر بر مکانیزاسیون و محور قائم درجه عضویت است.



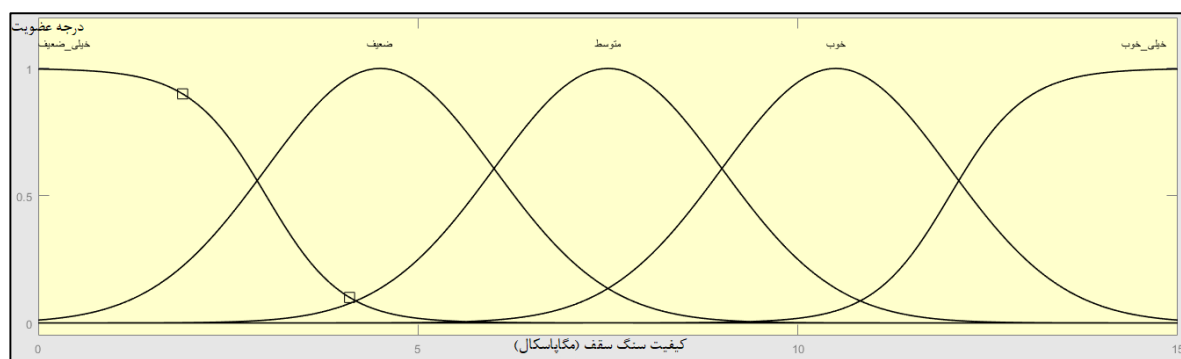
الف- توابع عضویت معیار شیب لایه



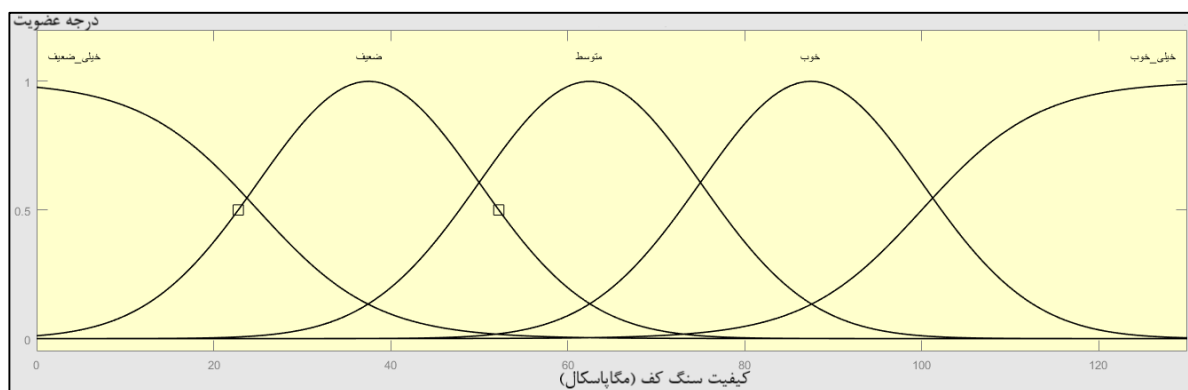
ب- توابع عضویت معیار ضخامت لایه



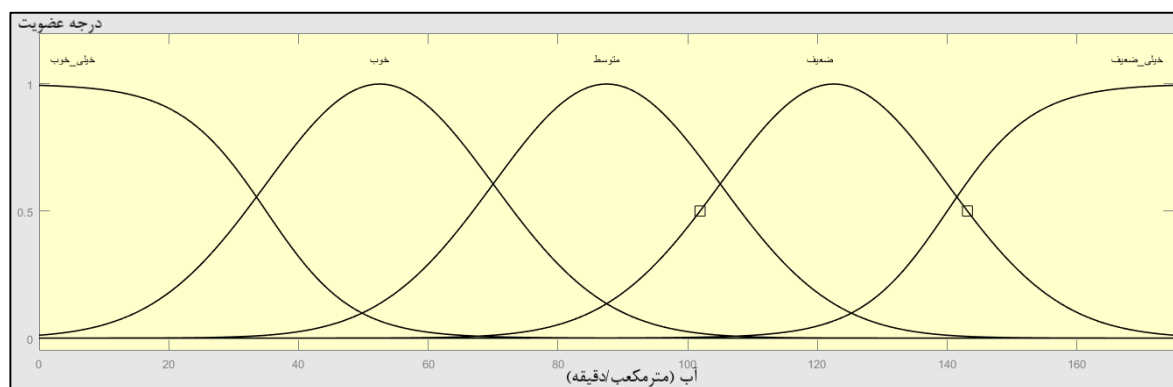
ج- توابع عضویت معیار یکنواختی لایه



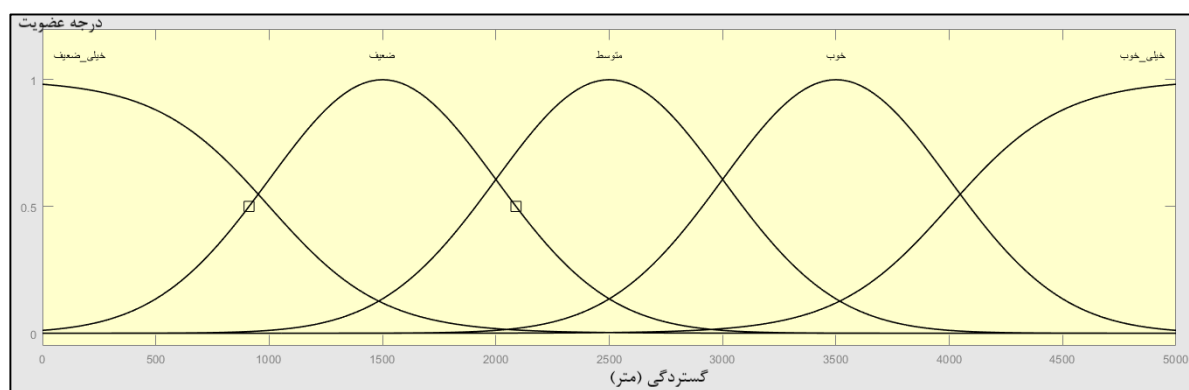
د- توابع عضویت معیار کیفیت سنگ سقف



ه- توابع عضویت معیار کیفیت سنگ کف



و- توابع عضویت معیار آب موجود در جبهه کار



ز- توابع عضویت معیار گستردگی لایه

شکل ۴-۲ نمودار توابع عضویت معیارهای مؤثر بر مکانیزاسیون

۴-۲-۴- تعیین رده کیفی لایه‌های زغالی

ابتدا ماتریس فازی برای هریک از لایه‌ها تشکیل می‌شود. درایه‌های ماتریس فازی به صورت a_{ij} نمایش داده می‌شوند که هر درایه، نشان‌دهنده درجه عضویت معیار متناظر با i در رده j از درایه مذکور است. به عنوان مثال ماتریس لایه فازی k در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۹-۴ توابع عضویت لایه k

معیار	داده‌های معدن	توابع عضویت لایه K			
		خیلی ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب
شیب	۶۰	۰/۹۹	۰	۰	۰
ضخامت	۰/۶	۰/۸۸	۰/۱۹۷	۰	۰
یکنواختی	۱/۲	۰	۰/۱۱۱	۰/۴	۰/۶۰۶
کیفیت سنگ سقف	۶	۰/۰۰۲	۰/۶	۰/۶	۰/۱۱۱
کیفیت سنگ کف	۳۰	۰/۳۲	۰/۸۳	۰/۳۴	۰
گسترده‌گی	۲۰۰۰	۰/۰۱۷	۰/۶۰۶	۰/۶۰۶	۰/۱۱۱
حضور آب در جبهه‌کار	۰/۱	۰	۰	۰	۰/۱۱۱

با استفاده از عملگر ارائه شده توسط دابویس-پرید طبق رابطه ۳-۲۰، بیش‌ترین مقدار بین مقادیر $\mu(x)$ و $1-W$ را برای هر رده محاسبه کرده و سپس کم‌ترین مقدار آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای مثال مقادیر کم‌ترین برای لایه K طبق این عملگر به‌صورت جدول زیر است.

جدول ۱۰-۴ کم‌ترین مقدار هر رده برای لایه K طبق عملگر دابویس-پرید

K	خیلی ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب
شیب	۰/۹۹	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹
ضخامت	۰/۸۸	۰/۸۳۱	۰/۸۳۱	۰/۸۳۱	۰/۸۳۱
یکنواختی	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸
کیفیت سنگ سقف	۰/۸۵۸	۰/۸۵۸	۰/۸۵۸	۰/۸۵۸	۰/۸۵۸
کیفیت سنگ کف	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹
گسترده‌گی لایه	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸	۰/۸۴۸
حضور آب در جبهه‌کار	۰/۸۸۳	۰/۸۸۳	۰/۸۸۳	۰/۸۸۳	۰/۹۹۴
کم‌ترین مقدار (B)	۰/۸۴۸	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹

در نهایت بیش‌ترین مقدار سطر آخر جدول ۴-۱۰ رده مربوط به قابلیت مکانیزاسیون لایه زغالی را تعیین می‌کند. بدین ترتیب با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی، رده مربوط به لایه K، خیلی ضعیف است.

B = (خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب) = (0/829، 0/829، 0/829، 0/829، 0/829، 0/848)

مطابق نتایج به دست آمده، لایه‌های دیگر مورد بررسی قرار گرفته و در پنج رده کیفی قرار گرفتند. نتایج

ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های معدن زمستان یورت در جدول ۴-۱۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۱۱ طبقه‌بندی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغال سنگ معدن زمستان یورت

ردیف	لایه	شاخص کیفی قابلیت مکانیزاسیون
۱	K	خیلی ضعیف
۲	K ₁	خیلی ضعیف
۳	K ₃	خیلی ضعیف
۴	K ₅	خیلی ضعیف
۵	K ₅₉	خیلی ضعیف
۶	K ₆₀	خیلی ضعیف
۷	K ₆₂	خیلی ضعیف

همان‌طور که در جدول ۴-۱۱ مشاهده می‌شود، لایه‌های زغالی معدن زمستان یورت مورد ارزیابی قرار گرفتند. این لایه‌ها از نظر قابلیت مکانیزاسیون در رده خیلی ضعیف قرار دارند.

۴-۳- بررسی سامانه ترابری معدن

همان‌طور که در فصل‌های قبل اشاره شد، حمل مواد از جبهه کار استخراجی، بخش عمده‌ای از زمان یک سیکل را به خود اختصاص می‌دهد و کاهش زمان آن به همراه حذف زمان‌های از دست رفته باعث بالا رفتن راندمان عملیات و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود.

با بررسی‌های صورت گرفته در معدن زمستان یورت غربی مواد استخراجی توسط لوکوموتیو و واگن در تونل‌ها حمل می‌شود و سپس با توجه به شیب ۲۵ درجه و طول ۲۳۰ متری اکلی تونل ۳، واگن‌ها توسط وینچ به سطح زمین کشیده می‌شود. این سیکل زمان زیادی از سامانه ترابری معدن را به خود اختصاص

داده است. در جدول ۴-۱۲ زمان سنجی سامانه ترابری فعلی این اکلن شده است.

جدول ۴-۱۲ زمان سنجی های سامانه وینچ و واگن اکلن معدن زمستان یورت

ردیف	جهت مسیر	نوع حمل	زمان حمل (دقیقه)
۱	پذیرگاه اکلن به سطح زمین	با بار	۷
۲	سطح زمین به پذیرگاه اکلن	بدون بار	۶

اکلن تونل ۳ شامل ۳ کارگاه و ۳ سینه کار پیشروی است. در هر کارگاه ۸ نفر پیکورچی در هر شیفت اختصاص یافته است. هر نفر پیکورچی در هر شیفت، ۴ متر پله با عرض سیکل ۸۰ سانتی متر به ضخامت متوسط زغال ۶۰ سانتی متر می تواند زغال بترشد که با توجه به وزن مخصوص زغال سنگ این مقدار برابر با ۲/۸۸ تن زغال سنگ است. تولید زغال سنگ در این کارگاه ها روزانه ۲۰۷/۳۶ تن و این تولید در ماه ۶۲۲۰/۸ تن خواهد بود. این مقدار تولید، فقط مربوط به این کارگاه ها است که با تولید واقعی معدن طبق جدول ۴-۱۳ اختلاف دارد.

بررسی های صورت گرفته نشان از کاهش راندمان عملیات در معدن به علت زمان ازدست رفته و محدودیت کشش باربری توسط سامانه وینچ و واگن است. به این صورت که زمان زیاد مورد نیاز ترابری و محدودیت کشش باربری توسط این سامانه باعث شده تولید در کارگاه یا پیشروی در تونل ها متوقف یا با کندی صورت گیرد. به همین دلیل تولید با توجه به محدودیت سامانه ترابری انجام می گیرد.

راندمان عملیات، میزان تولید واقعی نسبت به هدف را نشان می دهد. دانستن این مطلب به مدیران در تصمیم گیری برای راهکار جبران کمبود سطح تولید در دوره های گوناگون کمک می کند. مثلاً با استفاده از این مقادیر تصمیم به افزایش تعداد سامانه باربری یا شیفت کاری بگیرند. این میزان از تقسیم تولید واقعی به تولید هدف ضرب در صد به دست می آید. جدول ۴-۱۳ میزان تولید هدف طبق برنامه ریزی ابتدای سال و تولید واقعی معدن و جدول ۴-۱۴ راندمان عملیات معدن زمستان یورت غربی را نشان می دهد.

جدول ۴-۱۳ وضعیت تولیدی معدن زمستان یورت غربی (گزارش‌های دفتر فنی شرکت شمالشرق شاهرود)

-	سال/ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
تولید	۱۳۹۸	۳۸۰۰	۳۶۰۰	۵۵۰۰	۵۱۵۰	۴۸۵۰	۵۱۰۰	۴۴۰۰	۴۲۵۰	۴۰۵۰	۴۶۵۰	۳۹۰۰	۳۵۰۰
هدف	۱۳۹۹	۴۱۳۰	۵۳۹۰	۵۰۰۰	۵۳۹۰	۵۱۸۰	۵۱۸۰	۵۱۸۰	۴۹۷۰	۵۶۰۰	۵۳۹۰	۵۳۹۰	۴۹۷۰
(تن)	۱۴۰۰	۵۱۰۰	۷۳۰۰	۷۳۰۰	۶۲۰۰	۵۸۰۰	۵۸۰۰	۴۸۰۰	۴۳۰۰	۴۳۰۰	۴۳۰۰	۴۳۰۰	۴۳۰۰
تولید	۱۳۹۸	۲۲۶۴	۳۵۹۱	۳۷۹۰	۴۱۵۶	۳۷۹۸	۳۵۷۵	۴۰۸۳	۳۸۶۸	۵۱۲۲	۵۵۲۸	۴۵۳۷	۳۰۵۵
واقعی	۱۳۹۹	۳۱۶۶	۴۴۴۷	۴۵۸۷	۴۵۸۰	۴۰۱۴	۳۳۵۹	۴۰۲۶	۲۶۳۵	۳۷۹۵	۳۸۳۶	۳۴۳۴	۲۶۹۹
(تن)	۱۴۰۰	۲۵۵۰	۲۸۵۰	۲۹۷۰	۲۷۷۰	۲۷۸۰	۲۷۰۰	۲۸۸۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	-	-	-

جدول ۴-۱۴ راندمان عملیات معدن زمستان یورت غربی

ردیف	سال	راندمان عملیات (درصد)
۱	۱۳۹۸	۸۴
۲	۱۳۹۹	۷۲
۳	۹ ماه ابتدای ۱۴۰۰	۴۹/۱

با توجه به راندمان عملیات معدن زمستان یورت غربی و با توجه به اینکه سامانه ترابری فعلی اکلن تونل شماره ۳ محدودیت در میزان حمل ماده استخراجی دارد، می‌توان گفت یک راه‌حل استفاده از وینچ قوی‌تر است که بتواند واگن‌های بیشتری از ماده استخراجی به سطح زمین حمل کند یا اینکه با اضافه کردن یک وینچ کمکی به سامانه ترابری فعلی معدن یک خط ریلی رفت و برگشتی ایجاد تا نقص برطرف گردد. یک راه‌حل دیگر استفاده از سامانه مکانیزه مانند نوار نقاله است. به همین دلیل انتخاب یک سامانه بهینه ترابری باید بررسی گردد تا راندمان تولید بهبود بخشد. مشخصات گزینه‌های تحقیق به شرح زیر است:

- وینچ مدل ۱۶۰۰ (قطر قرقره: ۱۶۰۰ میلی‌متر، عرض قرقره: ۱۲۰ سانتی‌متر، قدرت کشش: ۴۰۰۰ کیلوگرم در شیب‌های ۳۰ تا ۶۰ درجه، قدرت موتور: ۱۶۰ کیلووات، سرعت حرکت: ۴ متر بر ثانیه،

ملاحظات: ۴ واگن سنگ یا ۵ واگن زغال)

- ایجاد خط ریلی جدید در اکرن همراه با وینچ کمکی مدل ۱۲۰۰
- نوار نقاله (عرض ۷۰ سانتی متر، نوارهای آجدار یا منجید دار، سرعت ۲ متر بر ثانیه، ظرفیت باربری: ۳۷۰ تن بر ساعت)

– محاسبات فنی نوار نقاله پیشنهادی

حداکثر اندازه دانه بندی مواد استخراجی برابر ۲۰۰ میلی متر است که با توجه به جدول و نمودار عرض نوار بر اساس نوع و اندازه ماده معدنی، عرض ۷۰ سانتی متر پیشنهاد می شود. برای محاسبه ظرفیت تولیدی نوار نیاز به تعیین سرعت است که حداکثر سرعت برای شیب ۲۵ درجه با توجه به ماده معدنی زغال سنگ برابر با ۲ متر بر ثانیه است. با افزایش شیب، یک ضریب کاهنده نیاز است که برای شیب ۲۵ درجه این مقدار ۰/۷ تعیین می شود. ظرفیت تولید نوار از رابطه زیر محاسبه می شود (Havey, 1979).

ظرفیت تولید (تن بر ساعت): سطح مقطع نوار (مترمربع) * ضریب کاهنده * سرعت (متر بر ثانیه) * وزن مخصوص (تن بر مترمکعب) * ۳۶۰۰

$$Q = \frac{0.7^2}{10} \times 0.7 \times 2 \times 1/5 \times 3600 = 370 \text{ ton/h}$$

اگر حداکثر تولید ماهانه معدن زمستان یورت برابر ۱۰۰۰۰ تن فرض شود، تولید روزانه این معدن با ۲۴ روز کاری در ماه برابر ۴۱۶/۶ تن و در هر شیفت تقریباً ۱۳۹ تن خواهد بود؛ که با توجه به محاسبات فنی، نوار نقاله پیشنهادی مناسب است.

۴-۳-۱- انتخاب سامانه ترابری بهینه اکرن معدن زمستان یورت

انتخاب سامانه ترابری بهینه باعث افزایش راندمان عملیات در معدن می شود و در انتخاب یک سامانه جدید باید معیارهای مختلف در نظر گرفته شود. پس یک تصمیم گیری چند معیاره لازم است. در ادامه سعی می شود که مراحل تجزیه و تحلیل داده ها برای انتخاب سامانه ترابری بهینه به صورت گام به گام بر اساس روش

تحلیل سلسله مراتبی فازی چانگ ارائه شود.

۴-۳-۱-۱- تشکیل ساختار سلسله مراتبی مسئله تحقیق

اولین گام از گام‌های روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تشکیل ساختار سلسله مراتبی یا درخت سلسله مراتبی است. برای تشکیل ساختار سلسله مراتبی مسئله ابتدا باید هدف، معیارها و گزینه‌های تحقیق شناسایی شوند. همان‌طور که در فصول قبل ارائه شد با استفاده از پیشینه تحقیق و نظرات خبرگان معیارهای مؤثر در فرایند انتخاب سامانه ترابری بهینه شناسایی، غربال‌سازی و دسته‌بندی شد. پس از شناسایی و دسته‌بندی معیارهای تحقیق، به شناسایی گزینه‌های تحقیق پرداخته شد. در این مطالعه گزینه‌ها، سامانه بهینه برای ترابری زغال‌سنگ استخراجی اکلی تونل ۳ در معدن زمستان یورت است. پس از بررسی‌های لازم ۳ سامانه به عنوان گزینه‌های تحقیق انتخاب شدند. جداول ۴-۱۵ و ۴-۱۶ به ترتیب لیست معیارها و گزینه‌های تحقیق و نمادهای استفاده شده برای آن را نشان می‌دهد.

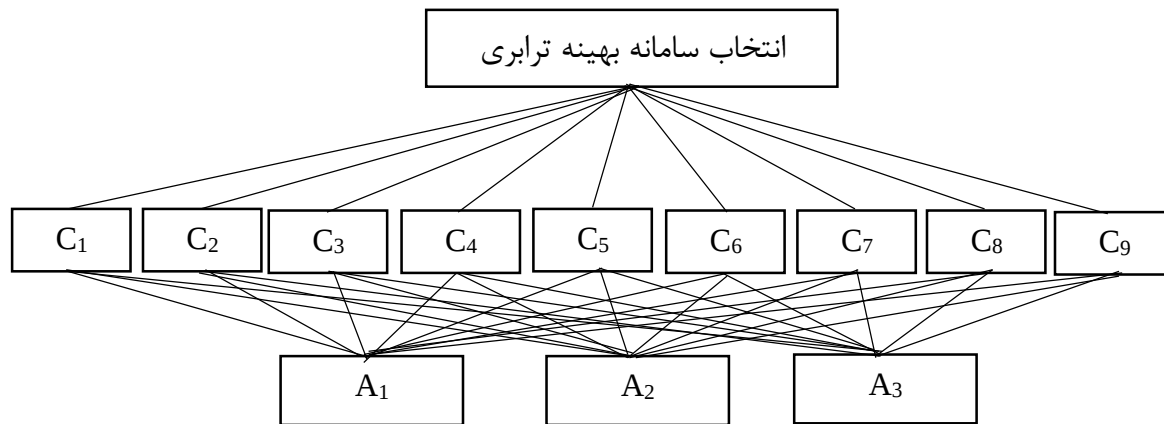
جدول ۴-۱۵ لیست معیارهای انتخاب سامانه ترابری

شماره	معیارها	نماد
۱	قابلیت دسترسی	C ₁
۲	ایمنی	C ₂
۳	تعمیر و نگهداری	C ₃
۴	هزینه انرژی و سوخت	C ₄
۵	هزینه آموزش	C ₅
۶	انعطاف‌پذیری	C ₆
۷	قیمت سرمایه اولیه	C ₇
۸	عمر مفید	C ₈
۹	ظرفیت تولید	C ₉

جدول ۱۶-۴ لیست گزینه‌های سامانه ترابری

شماره	گزینه‌ها	نماد
۱	نوار نقاله	A_1
۲	وینچ-واگن	A_2
۳	وینچ-واگن رفت و برگشتی	A_3

در این مرحله با شناسایی معیارها و گزینه‌ها می‌توان ساختار سلسله مراتبی مسئله را تشکیل داد. شکل شماره ۳-۴ ساختار سلسله مراتبی تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴ ساختار سلسله مراتبی انتخاب سامانه ترابری

۴-۳-۱-۲- محاسبه وزن نهایی معیارهای تحقیق

پس از شناسایی ساختار سلسله مراتبی تحقیق، به محاسبه و ارزیابی وزن معیارهای تحقیق نسبت به هدف پرداخته شده است. برای محاسبه وزن معیارهای تحقیق نسبت به هدف، ابتدا پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی معیارها نسبت به هدف تشکیل شد. در گام بعد میزان اهمیت هریک از معیارها با ارسال فرم پرسش‌نامه (پیوست ۲) برای ۵ کارشناس خبره (مسئول ایمنی، زمین‌شناسی، نقشه‌برداری، دفتر فنی و سرپرست استخراج معدن زغال‌سنگ زمستان یورت) در زمینه معادن زغالی با بهره‌گیری از روش پیشنهادی ساعتی

تعیین شد. سپس به محاسبه وزن معیارهای اصلی تحقیق با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی چانگ پرداخته شد. در جدول شماره ۴-۱۷ ادغام نظرات کارشناسان خبره محاسبه و درج شده است.

جدول ۴-۱۷ ماتریس ادغام شده مقایسه زوجی معیارهای انتخاب سامانه ترابری

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
C ₁	(1,1,1)	(0.16,0.72,4)	(0.16,1.26,5)	(0.33,1.08,4)	(1,3.81,9)	(0.33,1.14,3)	(0.16,0.4,1)	(0.2,0.57,3)	(0.11,0.37,1)
C ₂	(0.25,1.37,5.98)	(1,1,1)	(0.33,2.14,9)	(0.33,1.93,4)	(1,5.63,9)	(1,2.26,6)	(0.2,0.66,3)	(0.33,1.24,4)	(0.2,0.66,3)
C ₃	(0.2,0.79,5.98)	(0.11,0.46,3)	(1,1,1)	(0.16,0.83,3)	(1,3.03,5)	(0.2,1,3)	(0.14,0.37,1)	(0.2,0.57,1)	(0.16,0.33,1)
C ₄	(0.25,0.92,3)	(0.25,0.51,3)	(0.33,1.2,5.98)	(1,1,1)	(1,3.39,6)	(0.33,0.94,4)	(0.25,0.45,1)	(0.33,0.75,1)	(0.2,0.4,1)
C ₅	(0.11,0.26,1)	(0.11,0.17,1)	(0.2,0.33,1)	(0.16,0.29,1)	(1,1,1)	(0.14,0.29,1)	(0.11,0.16,0.33)	(0.12,0.17,0.33)	(0.11,0.12,0.2)
C ₆	(0.33,0.87,3)	(0.16,0.44,1)	(0.33,0.99,5)	(0.25,1.05,3)	(1,3.35,6)	(1,1,1)	(0.16,0.5,1)	(0.2,0.46,1)	(0.25,0.36,1)
C ₇	(1,2.45,5.98)	(0.33,1.51,5)	(1,2.69,6.93)	(1,2.21,4)	(3,6.21,9)	(1,1.97,5.98)	(1,1,1)	(0.33,1.43,5)	(0.16,0.83,4)
C ₈	(0.33,1.74,5)	(0.25,0.8,3)	(1,1.73,5)	(1,1.31,3)	(3,5.88,8)	(1,2.16,5)	(0.2,0.69,3)	(1,1,1)	(0.2,0.46,1)
C ₉	(1,2.63,9)	(0.33,1.51,5)	(1,2.99,5.98)	(1,2.48,5)	(5,7.93,9)	(1,2.76,4)	(0.25,1.2,5.98)	(1,2.16,5)	(1,1,1)

در جدول ۴-۱۸ نرخ سازگاری مقایسه‌های زوجی محاسبه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نظرات کارشناسان خبره در وضعیت سازگار قرار دارد و می‌توان به نتایج آن اعتماد کرد. به علت حجم زیاد محاسبات مراحل، تنها وزن معیارهای اصلی تحقیق در جدول ۴-۱۹ محاسبه و درج شده است.

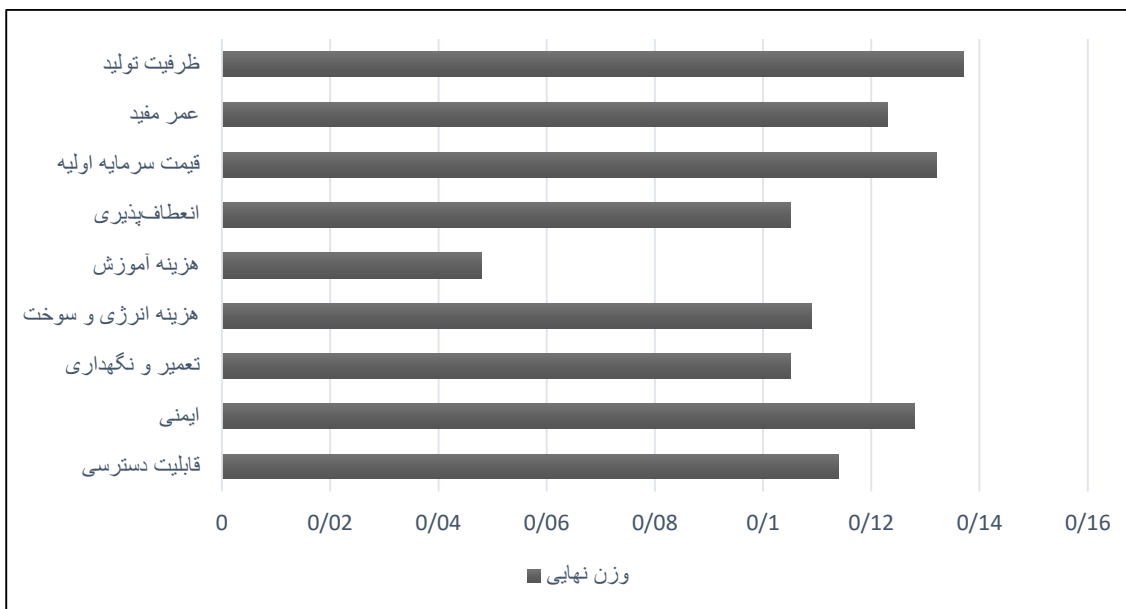
جدول ۴-۱۸ نرخ سازگاری مقایسه‌های زوجی معیارهای انتخاب سامانه ترابری

ردیف	مقایسه زوجی	CR _m	CR _g	وضعیت
۱	خبره ۱	۰/۰۳۶	۰/۱	سازگار
۲	خبره ۲	۰/۰۴۵	۰/۰۹۸	سازگار
۳	خبره ۳	۰/۰۳۹	۰/۱	سازگار
۴	خبره ۴	۰/۰۳۵	۰/۱	سازگار
۵	خبره ۵	۰/۰۳۶	۰/۰۹۹	سازگار
۶	ماتریس ادغام شده	۰/۰۰۵	۰/۰۳۷	سازگار

جدول ۴-۱۹ وزن نهایی معیارهای اصلی سامانه ترابری

شماره	معیارها	وزن نهایی	رتبه
۱	قابلیت دسترسی	۰/۱۱۴	۵
۲	ایمنی	۰/۱۲۸	۳
۳	تعمیر و نگهداری	۰/۱۰۵	۷
۴	هزینه انرژی و سوخت	۰/۱۰۹	۶
۵	هزینه آموزش	۰/۰۴۸	۸
۶	انعطاف‌پذیری	۰/۱۰۵	۷
۷	قیمت سرمایه اولیه	۰/۱۳۲	۲
۸	عمر مفید	۰/۱۲۳	۴
۹	ظرفیت تولید	۰/۱۳۶	۱

شکل شماره ۴-۴ میزان اهمیت هریک از معیارهای اصلی تحقیق را بر اساس وزن آن‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود از میان معیارهای اصلی ویژگی ظرفیت تولید بیشترین اهمیت را دارد و رتبه اول را به خود اختصاص می‌دهد و بقیه معیارها در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۴-۴ میزان اهمیت معیارهای سامانه ترابری

۴-۳-۱-۳- محاسبه وزن نهایی گزینه‌های تحقیق

پس از محاسبه وزن معیارهای تحقیق باید به محاسبه وزن نهایی گزینه‌های تحقیق نسبت به معیارهای اصلی پرداخت. برای محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیارهای اصلی ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی با توجه به فرم پرسش‌نامه خبرگان (پیوست ۲) تشکیل داد و به انجام سایر محاسبات پرداخت. جداول شماره ۴-۲۰ تا ۴-۲۸ ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها نسبت به هر معیار نشان داده شده است. تمامی ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارها از نظر نرخ سازگاری در وضعیت سازگار قرار دارند. به علت حجم زیاد محاسبات مراحل، تنها محاسبات نهایی مربوط به وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار در جداول شماره ۴-۲۹ تا ۴-۳۷ ارائه شده است.

جدول ۲۰-۴ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و

معیار قابلیت دسترسی

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.25,2.18,6)	(1,3.13,6)
A ₂	(0.16,0.45,4)	(1,1,1)	(1,1.38,6)
A ₃	(0.16,0.31,1)	(0.16,0.72,1)	(1,1,1)

جدول ۲۱-۴ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار

ایمنی

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(2,6.02,9)	(4,6.25,9)
A ₂	(0.11,0.16,5)	(1,1,1)	(0.25,1.05,3)
A ₃	(0.11,0.16,0.25)	(0.33,0.94,4)	(1,1,1)

جدول ۲۲-۴ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و

معیار تعمیر و نگهداری

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.16,0.78,4)	(0.33,1.14,5)
A ₂	(0.25,1.27,5.98)	(1,1,1)	(0.33,1.97,7)
A ₃	(0.2,0.87,3)	(0.14,0.5,3)	(1,1,1)

جدول ۲۳-۴ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و

معیار هزینه انرژی و سوخت

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.16,1.24,6)	(0.33,2.64,9)
A ₂	(0.16,0.8,5.98)	(1,1,1)	(0.33,2.22,7)
A ₃	(0.11,0.37,3)	(0.14,0.45,3)	(1,1,1)

جدول ۲۴-۴ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و

معیار هزینه آموزش

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.16,1.63,8)	(0.2,2.18,9)
A ₂	(0.12,0.65,5.98)	(1,1,1)	(1,1.43,4)
A ₃	(0.11,0.45,5)	(0.25,0.69,1)	(1,1,1)

جدول ۲۵-۴ ماتریس مقایسه زوجی

گزینه‌ها و معیار انعطاف پذیری

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.12,0.32,1)	(0.11,0.27,1)
A ₂	(1,3.07,8)	(1,1,1)	(0.33,0.87,1)
A ₃	(1,3.65,9)	(1,1.14,3)	(1,1,1)

جدول ۲۶-۴ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و

معیار قیمت سرمایه اولیه

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.12,0.76,6)	(0.33,1.93,9)
A ₂	(0.16,1.3,8)	(1,1,1)	(1,2.7,7)
A ₃	(0.11,0.51,3)	(0.14,0.37,1)	(1,1,1)

جدول ۲۷-۴ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و

معیار عمر مفید

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.16,0.75,4)	(0.25,0.97,5)
A ₂	(0.25,1.33,5.98)	(1,1,1)	(1,1.14,3)
A ₃	(0.2,1.02,4)	(0.33,0.87,1)	(1,1,1)

جدول ۴-۲۸ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و

معیار ظرفیت تولید

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(3,6,18,9)	(1,2,86,7)
A ₂	(0.11,0.16,0.33)	(1,1,1)	(0.14,0.38,1)
A ₃	(0.14,0.34,1)	(1,2.6,6.93)	(1,1,1)

جدول ۴-۳۰ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

ایمنی

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۱	۰/۶۳۷	A ₁
۳	۰/۱۶۲	A ₂
۲	۰/۲۰۱	A ₃

جدول ۴-۲۹ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

قابلیت دسترسی

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۱	۰/۴۱۸	A ₁
۲	۰/۳۵۸	A ₂
۳	۰/۲۲۴	A ₃

جدول ۴-۳۲ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

هزینه انرژی و سوخت

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۱	۰/۳۵۴	A ₁
۲	۰/۳۴۵	A ₂
۳	۰/۳۰۱	A ₃

جدول ۴-۳۱ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

تعمیر و نگهداری

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۲	۰/۳۳۳	A ₁
۱	۰/۳۵۴	A ₂
۳	۰/۳۱۳	A ₃

جدول ۴-۳۴ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

انعطاف پذیری

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۳	۰/۲۰۴	A ₁
۲	۰/۳۸۸	A ₂
۱	۰/۴۰۸	A ₃

جدول ۴-۳۳ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

هزینه آموزش

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۱	۰/۳۶	A ₁
۲	۰/۳۳۵	A ₂
۳	۰/۳۰۵	A ₃

جدول ۴-۳۶ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

عمر مفید

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۲	۰/۳۳	A ₁
۱	۰/۳۴۵	A ₂
۳	۰/۳۲۵	A ₃

جدول ۴-۳۵ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

قیمت سرمایه اولیه

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۲	۰/۳۵۳	A ₁
۱	۰/۳۶۶	A ₂
۳	۰/۲۸۱	A ₃

جدول ۴-۳۷ وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار

ظرفیت تولید

رتبه	وزن نهایی	گزینه‌ها
۱	۰/۵۴	A ₁
۳	۰/۰۸۵	A ₂
۲	۰/۳۷۵	A ₃

در نهایت وزن نهایی هر گزینه از جمع حاصل ضرب وزن نهایی معیارها در وزن نهایی هر معیار نسبت به گزینه‌ها به دست می‌آید. وزن نهایی سایر گزینه‌ها محاسبه شده و در جدول ۴-۳۸ درج شده است.

جدول ۴-۳۸ امتیاز نهایی گزینه‌های سامانه ترابری

ردیف	گزینه	نماد	امتیاز نهایی	رتبه
۱	نوار نقاله	A ₁	۰/۴۰۲	۱
۲	وینچ-واگن	A ₂	۰/۳۰۳	۲
۳	وینچ رفت و برگشتی	A ₃	۰/۲۹۴	۳

همان‌طور که مشاهده می‌شود از میان گزینه‌های سامانه ترابری، گزینه اول یعنی نوار نقاله بیشترین وزن را به دست آورده است و در نتیجه به‌عنوان سامانه بهینه ترابری برای اکلن تونل ۳ معدن زمستان یورت انتخاب شد.

۴-۴- شبیه‌سازی سامانه پایش محیط معدن

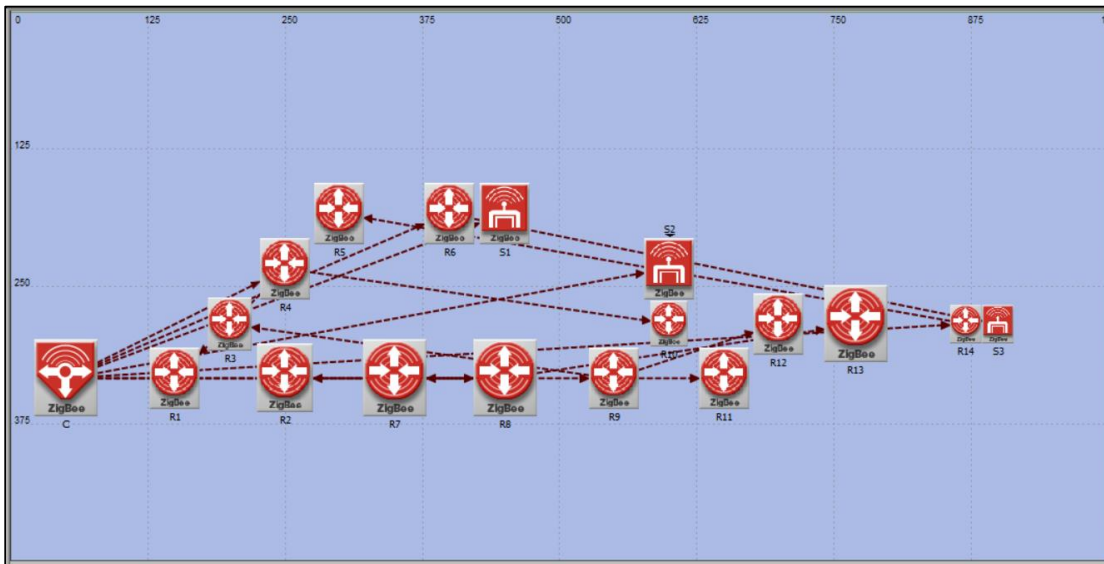
در این بخش شبیه‌سازی شبکه بی‌سیم ZigBee با استفاده از نرم‌افزار OPNET انجام می‌گیرد. در ابتدا نیاز به یک طرح پیشنهادی است. بر اساس نظر مسئول ایمنی معدن زمستان یورت، ۳ ایستگاه پایش محیط برای گازسنجی اکسن تونل شماره ۳ معدن تعریف شد. موقعیت هر ایستگاه در جدول ۴-۳۹ ذکر شده است.

جدول ۴-۳۹ موقعیت ایستگاه‌های پایش محیط معدن زمستان یورت

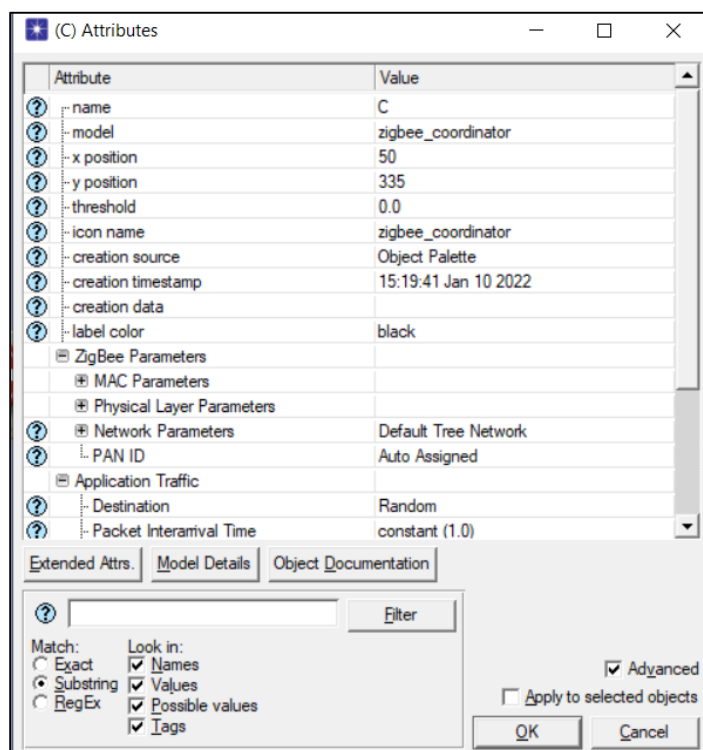
شماره	نام ایستگاه	موقعیت نصب
۱	S ₁	سینه‌کار و بونکر زغالی کارگاه لایه K اکسن تونل ۳
۲	S ₂	بونکر زغالی کارگاه لایه K ₁ اکسن تونل ۳
۳	S ₃	سینه‌کار و بونکر زغالی لایه K ₃ اکسن تونل ۳

هم‌چنین موقعیت نودها در شکل ۴-۵ بر روی نقشه معدن زمستان یورت نشان داده شده است؛ که موقعیت هماهنگ‌کننده به دلیل توان بالا و در حالت آماده بودن دائم نیاز به برق مستقیم دارد. موقعیت این نود در انتهای اکسن فرض شده است. انتهای اکسن دارای برق‌کشی برای روشنایی و تهویه مناسب است. با استفاده از کابل می‌توان اطلاعات هماهنگ‌کننده را به سطح زمین انتقال داد. برای ایجاد واسطه بین نود هماهنگ-کننده با نود پایانه از مسیریاب استفاده شده که بر روی نقشه معدن مشخص شده است.

این طرح نیاز به سه عدد نود به عنوان پایانه دارد؛ که فاصله نودها در تونل‌های دارای انحنا ۷۰ متر و در تونل‌های صاف ۱۰۰ متر فرض شده است. در نرم‌افزار OPNET با انتخاب فناوری ZigBee یک پروژه جدید ایجاد باید کرد. سپس نودهای مورد استفاده انتخاب و با توجه به موقعیت آن‌ها، هر نود در صفحه جایگذاری می‌شود. سپس با انتخاب هر نود، تنظیمات مربوط به آن وارد می‌شود. در شکل ۴-۷ تنظیمات مربوط به نود هماهنگ‌کننده و در شکل ۴-۶ نحوه قرارگیری نودها و مسیر ارسال داده‌ها نشان داده شده است. سایر تنظیمات از پیش فرض شبکه ZigBee استفاده شده است.

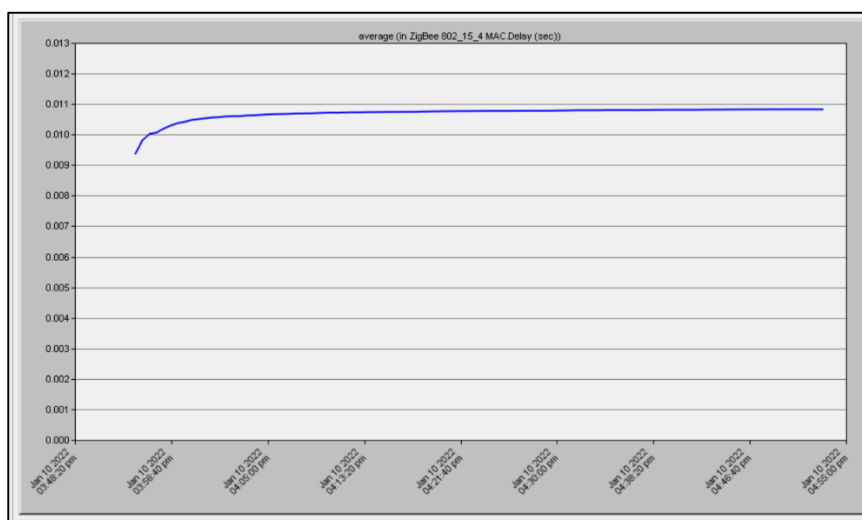


شکل ۴-۶ نحوه قرارگیری و ارسال داده نودها



شکل ۷-۴ تنظیمات نود هماهنگ کننده

در قسمت نتایج شبکه می توان نمودارهای مهمی را مشاهده کرد. از پرکاربردترین نمودارهای این نرم افزار نمودار تأخیر در شبکه است. در شکل ۸-۴ این نمودار نشان داده شده است. در این شکل محور عمودی تأخیر شبکه بر حسب ثانیه و محور افقی زمان های شبیه سازی نرم افزار است.



شکل ۴-۸ نمودار تأخیر شبکه ZigBee

یک سامانه زمان واقعی دارای یک تأخیر پایدار و ثابت است؛ تا بتواند پاسخ مناسب در برابر تغییرات دهد. با توجه به منحنی نمودار تأخیر در شبکه و سیر صعودی و سپس ثابت این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که تأخیر به حالت پایدار و تقریباً ۰/۰۱۱ ثانیه می‌رسد. این تأخیر پایدار و ثابت برای یک سامانه زمان واقعی قابل اعتماد است.

با امکان‌پذیری این شبکه، هزینه تجهیزات اولیه لازم برای ایجاد این شبکه بر مبنای فناوری ZigBee مورد بررسی قرار گرفت. در هر ایستگاه پایش ۳ حسگر پیشنهاد و با توجه مسافت تونل‌ها ۱۴ مسیر یاب لازم است. در نتیجه نیاز به ۱۸ صفحه و رابط ZigBee و یک صفحه Arduino برای هماهنگ‌کننده نیاز است. در جدول ۴-۴۰ تعداد و قیمت سخت‌افزار مورد نیاز شبکه درج شده است. قیمت سخت‌افزارها بر اساس قیمت‌های موجود در بازار و قابل دسترس در سایت www.Iran-Module.ir است.

جدول ۴-۴ هزینه تجهیزات اولیه لازم شبکه ZigBee (www.Iran-Module.ir)

شماره	نوع سخت افزار	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۱	صفحه Arduino	۱	۱/۹۹۹/۰۰۰	۱/۹۹۹/۰۰۰
۲	صفحه ماژول ZigBee	۱۸	۱۰/۹۵۰/۰۰۰	۱۹۷/۱۰۰/۰۰۰
۳	صفحه رابط ZigBee	۱۸	۳/۳۴۰/۰۰۰	۶۰/۱۲۰/۰۰۰
۴	حسگر تشخیص گاز	۹	۵۰۰/۰۰۰	۴/۵۰۰/۰۰۰
	مجموع			۲۶۳/۷۱۹/۰۰۰

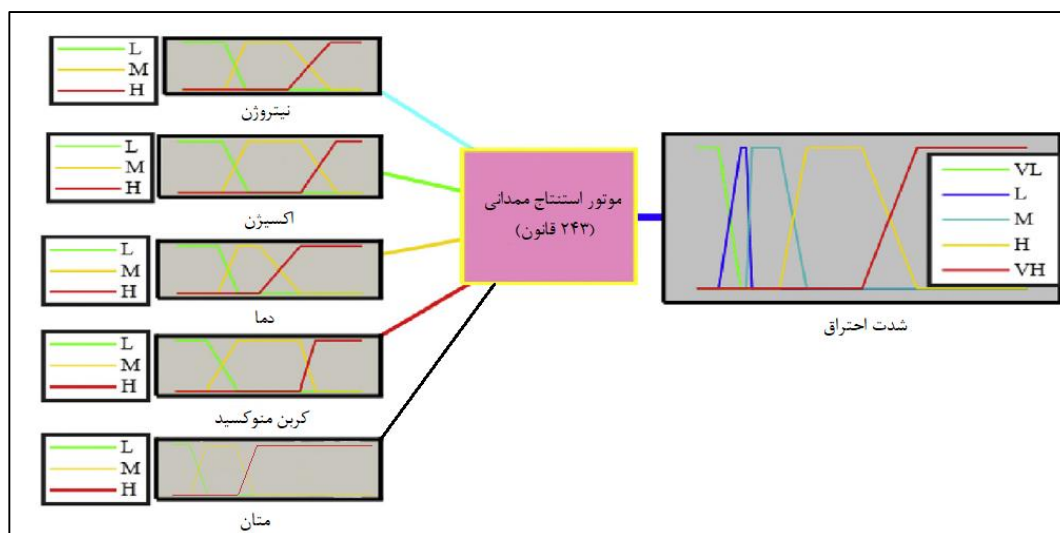
همان طور که در جدول ۴-۴ مشاهده می شود هزینه تجهیزات اولیه لازم برای ایجاد شبکه پیشنهادی اکلن تونل ۳ برابر با ۲۶۳/۷۱۹/۰۰۰ ریال است. در جدول ۴-۴ مشخصات فنی نودهای مورد استفاده درج شده است.

جدول ۴-۴ مشخصات فنی تجهیزات ZigBee (www.Iran-Module.ir)

ردیف	پارامتر	صفحه ماژول ZigBee سری (S2CTH)	صفحه رابط ZigBee (WRL-11373)	صفحه Arduino (ARD-00001)
۱	ولتاژ کاری (ولت)	۲/۱ – ۳/۶	۳/۳	۷-۱۲
۲	جریان دریافت (میلی آمپر)	۳۲	۳۲	۴
۳	فرکانس (گیگاهرتز)	۲/۴	۲/۴	-
۴	حداکثر فاصله (متر)	۱۲۰	-	-
۵	تعداد پایه های خروجی/ورودی دیجیتال	۸	۸	۱۲
۶	حافظه (کیلوبایت)	۲۵۰	۲۵۰	۳۲

۴-۴-۱- مدل سازی سامانه پایش محیط معدن

برای مدل سازی، از نرم افزار MATLAB در قسمت فازی استفاده شده است. پارامترهای ورودی مقادیر گازهای رایج در معادن زغال سنگ است. داده های ورودی برای مدل سازی شامل گازهای اکسیژن، نیتروژن، کربن مونوکسید، متان و دمای محیط و همچنین خروجی مدل، شدت احتراق بر مبنای شاخص گراهام است. در نرم افزار MATLAB در قسمت فازی متغیرهای ورودی و خروجی تعریف شد. شکل ۴-۹ نمایی از این مدل فازی را نشان می دهد.

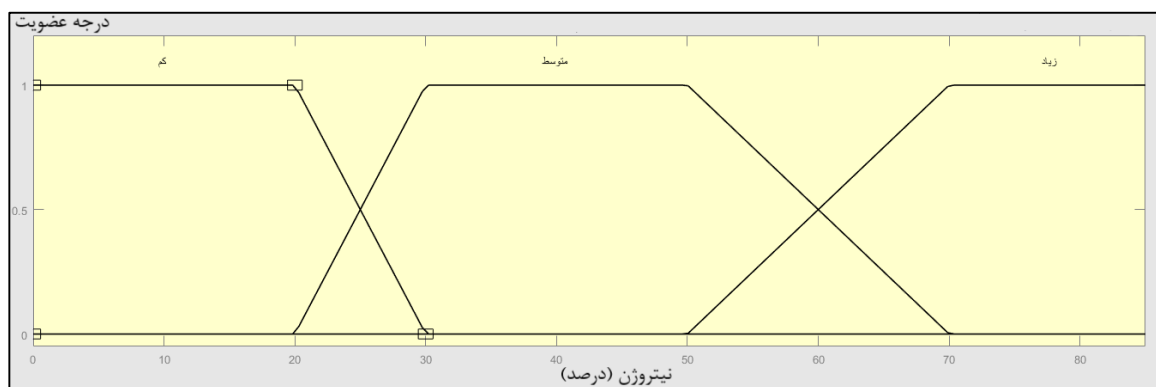


شکل ۴-۹ نمایی از مدل فازی سامانه پایش محیط معدن

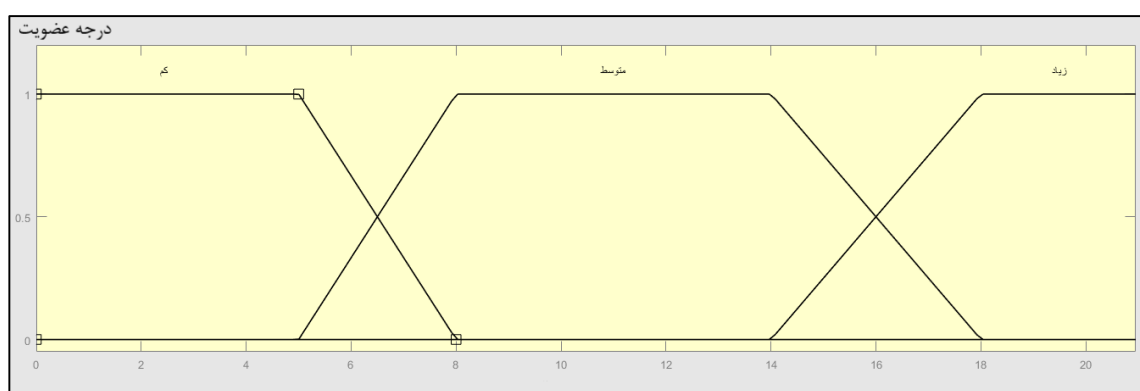
در سامانه فازی به هریک از پارامترها، با توجه به مقدار ارزشی که در آن سامانه دارند، یک درجه عضویت تعلق می گیرد. توابع عضویتی که در سامانه فازی وجود دارند بررسی و توابع عضویت دوزنقه ای استفاده شده است. توابع عضویت متغیرهای ورودی در سه رده به صورت کم، متوسط و زیاد و متغیر خروجی در پنج رده خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تعریف شده است. جدول ۴-۴۲ اطلاعات متغیرها را نشان می دهد. در شکل ۴-۱۰ نیز این توابع به صورت نمودار نشان داده شده است.

جدول ۴-۴۲ اطلاعات پارامترهای سامانه پایش محیط معدن (Danish & Onder, 2020)

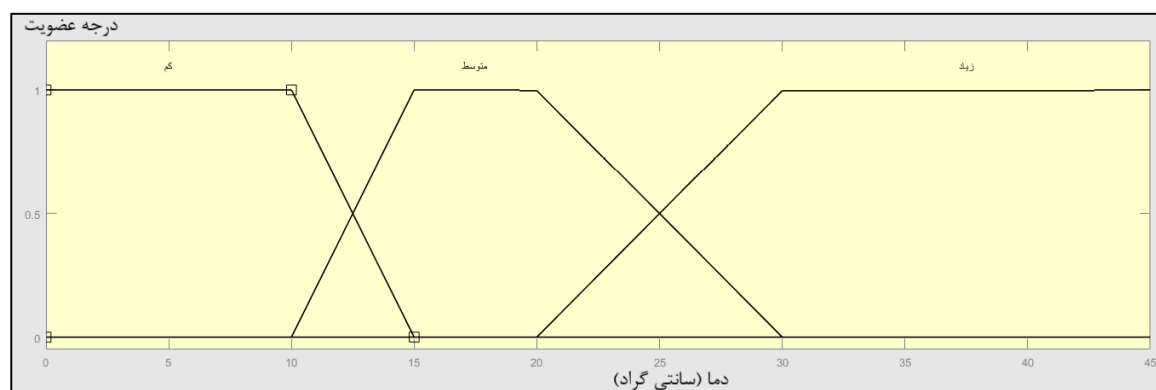
متغیرها		ارزش زبانی	محدوده	پارامترهای توابع عضویت
متغیرهای ورودی	نیتروژن	کم	(۰ – ۸۵)	(۰،۰،۲۰،۳۰)
		متوسط		(۲۰،۳۰،۵۰،۷۰)
		زیاد		(۵۰،۷۰،۸۵،۸۵)
	اکسیژن	کم	(۰ – ۲۰/۹۵)	(۰،۰،۵،۸)
		متوسط		(۵،۸،۱۴،۱۸)
		زیاد		(۱۴،۱۸،۲۰/۹۵،۲۰/۹۵)
	دما	کم	(۰ – ۴۵)	(۰،۰،۱۰،۱۵)
		متوسط		(۱۰،۱۵،۲۰،۳۰)
		زیاد		(۲۰،۳۰،۴۵،۴۵)
	کربن مونوکسید	کم	(۰ – ۰/۰۰۶)	(۰،۰،۰/۰۰۱،۰/۰۰۲)
		متوسط		(۰/۰۰۲،۰/۰۰۴،۰/۰۰۴۵) (۰/۰۰۱)
		زیاد		(۰/۰۰۴۵،۰/۰۰۶،۰/۰۰۶) (۰/۰۰۴
متان	کم	(۰-۱۵)	(۰،۰،۰/۵،۱)	
	متوسط		(۰/۵،۱،۳،۴)	
	زیاد		(۳،۴،۱۵،۱۵)	
متغیر خروجی	شاخص احتراق	خیلی کم	(۰ – ۳)	(۰،۰،۰/۲،۰/۴)
		کم		(۰/۲،۰/۴،۰/۴۵،۰/۵)
		متوسط		(۰/۴۵،۰/۵،۰/۷۵،۱)
		زیاد		(۰/۷۵،۱،۱/۵،۲)
		خیلی زیاد		(۱/۵،۲،۳،۳)



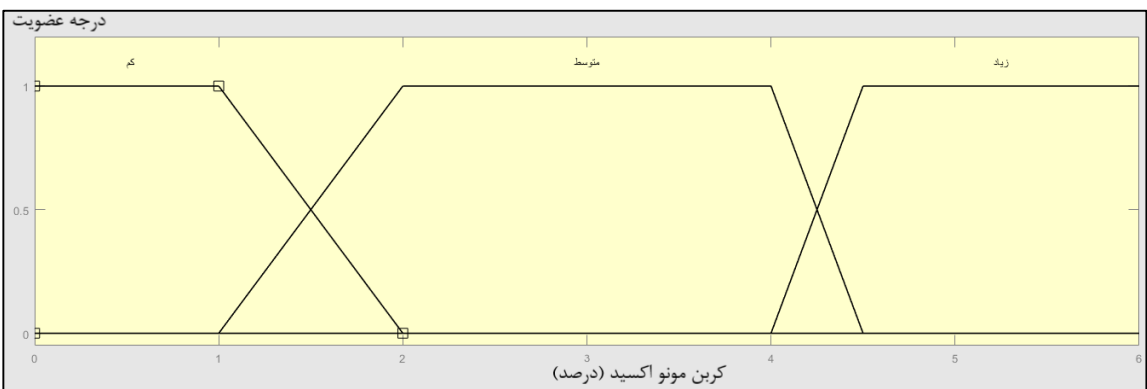
الف- توابع عضویت متغیر ورودی نیترژن



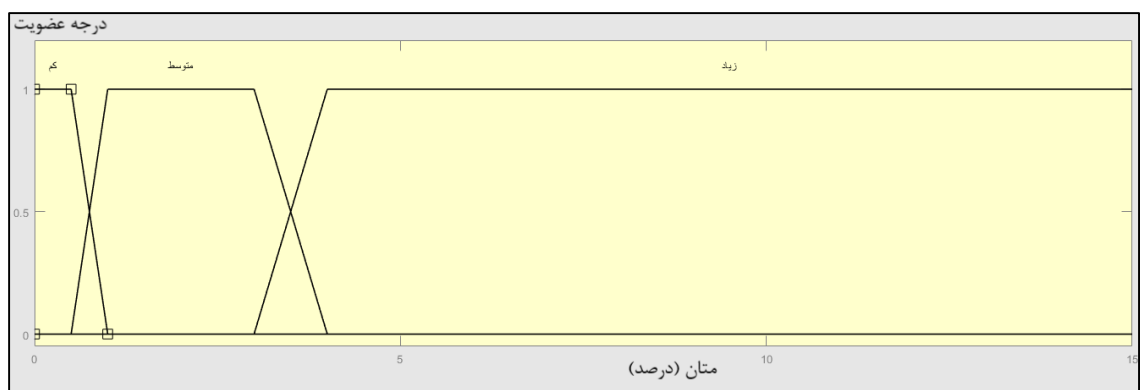
ب- توابع عضویت متغیر ورودی اکسایش



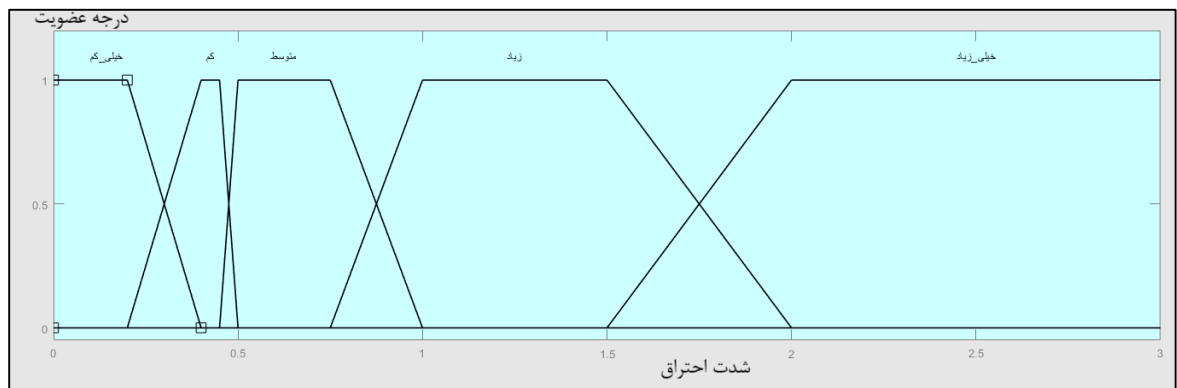
ج- توابع عضویت متغیر ورودی دما



د- توابع عضویت متغیر ورودی کربن مونواکسید



ه- توابع عضویت متغیر ورودی متان



و- توابع عضویت متغیر خروجی (شدت احتراق)

شکل ۴-۱۰ نمودارهای توابع عضویت سامانه پایش محیط معدن

مرحله بعد ایجاد پایگاه قوانین اگر/آنگاه است. با استفاده از دانش حوزه و افراد خبره در زمینه مورد بررسی، ۲۴۳ قانون به کار گرفته شده است. سپس از سامانه استنتاج فازی ممدانی که یکی از معمول‌ترین روش ترکیب روابط فازی است، استفاده شده است. جدول ۴-۴۳ پایگاه قوانین سامانه فازی پیشنهادی را نشان می‌دهد که متغیرهای زبانی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب با نشانه‌های VL, L, M, H و VH تعریف شده است. نشانه‌های N_2 , O_2 , T, CO, CH_4 و FI به ترتیب بیانگر گاز نیتروژن، گاز اکسیژن، دما، گاز مونوکسید کربن، گاز متان و شدت احتراق است.

جدول ۴-۴۳ پایگاه قوانین فازی سامانه پایش محیط معدن

ردیف	ورودی					خروجی	ردیف	ورودی					خروجی	ردیف	ورودی					خروجی
	N ₂	O ₂	T	CO	CH ₄			N ₂	O ₂	T	CO	CH ₄			N ₂	O ₂	T	CO	CH ₄	
1	L	L	L	H	L	H	82	L	L	H	M	L	VH	163	L	M	H	H	M	VH
2	L	L	L	H	M	H	83	L	L	H	L	L	L	164	L	M	H	H	H	VH
3	L	L	L	H	H	VH	84	L	L	H	L	M	M	165	L	M	H	M	L	H
4	L	L	L	M	L	M	85	L	L	H	L	H	H	166	L	M	H	M	M	VH
5	L	L	L	M	M	M	86	L	M	L	H	L	M	167	L	M	H	M	H	VH
6	L	L	L	M	H	H	87	L	M	L	H	M	H	168	L	M	H	L	L	L
7	L	L	L	L	L	VL	88	L	M	L	H	H	VH	169	L	M	H	L	M	M
8	L	L	L	L	M	L	89	L	M	L	M	L	L	170	L	M	H	L	H	H
9	L	L	L	L	H	M	90	L	M	L	M	M	M	171	L	H	L	H	L	H
10	L	L	M	H	L	H	91	L	M	L	M	H	H	172	L	H	L	H	M	H
11	L	L	M	H	M	H	92	L	M	L	L	L	VL	173	L	H	L	H	H	VH
12	L	L	M	H	H	VH	93	L	M	L	L	M	L	174	L	H	L	M	L	M
13	L	L	M	M	L	H	94	L	M	L	L	H	H	175	L	H	L	M	M	M
14	L	L	M	M	M	H	95	L	M	M	H	L	VH	176	L	H	L	M	H	H
15	L	L	M	M	H	VH	96	L	M	M	H	M	VH	177	L	H	L	L	L	L
16	L	L	M	L	L	M	97	L	M	M	H	H	VH	178	L	H	L	L	M	H
17	L	L	M	L	M	M	98	L	M	M	M	L	M	179	L	H	L	L	H	VH

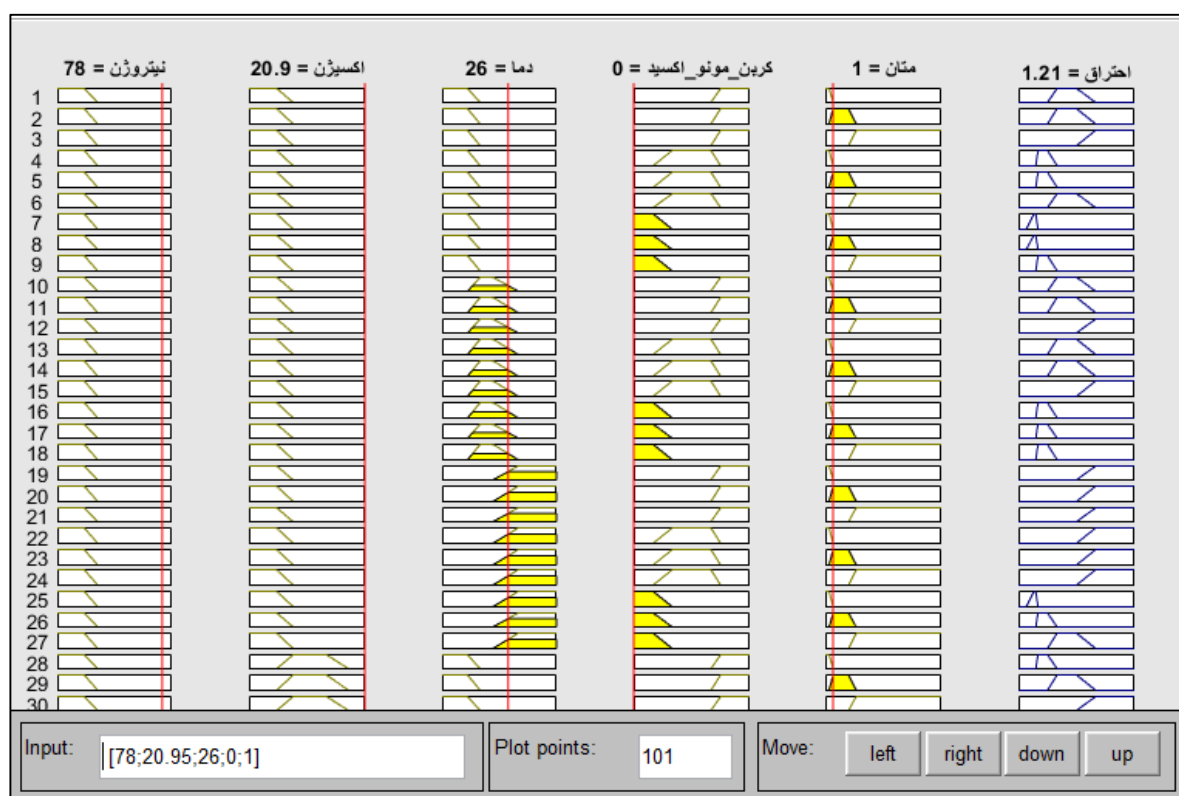
18	L	L	M	L	H	M	99	L	M	M	M	M	H	180	L	H	M	H	L	M
19	L	L	H	H	L	VH	100	L	M	M	M	H	VH	181	L	H	M	H	M	H
20	L	L	H	H	M	VH	101	L	M	M	L	L	M	182	L	H	M	H	H	VH
21	L	L	H	H	H	VH	102	L	M	M	L	M	M	183	L	H	M	M	L	L
22	L	L	H	M	L	VH	103	L	M	M	L	H	VH	184	L	H	M	M	M	M
23	L	L	H	M	M	VH	104	L	M	H	H	L	VH	185	L	H	M	M	H	H
24	L	H	M	L	L	VL	105	M	L	H	H	L	VH	186	M	M	H	M	L	H
25	L	H	M	L	M	L	106	M	L	H	H	M	VH	187	M	M	H	M	M	H
26	L	H	M	L	H	H	107	M	L	H	H	H	VH	188	M	M	H	M	H	VH
27	L	H	H	H	L	VH	108	M	L	H	M	L	H	189	M	M	H	L	L	M
28	L	H	H	H	M	VH	109	M	L	H	M	M	H	190	M	M	H	L	M	H
29	L	H	H	H	H	VH	110	M	L	H	M	H	VH	191	M	M	H	L	H	VH
30	L	H	H	M	L	L	111	M	L	H	L	L	M	192	M	H	L	H	L	H
31	L	H	H	M	M	M	112	M	L	H	L	M	M	193	M	H	L	H	M	H
32	L	H	H	M	H	H	113	M	L	H	L	H	M	194	M	H	L	H	H	VH
33	L	H	H	L	L	L	114	M	M	L	H	L	H	195	M	H	L	M	L	L
34	L	H	H	L	M	M	115	M	M	L	H	M	VH	196	M	H	L	M	M	M
35	L	H	H	L	H	H	116	M	M	L	H	H	VH	197	M	H	L	M	H	VH
36	M	L	L	H	L	VH	117	M	M	L	M	L	M	198	M	H	L	L	L	L
37	M	L	L	H	M	VH	118	M	M	L	M	M	H	199	M	H	L	L	M	M

38	M	L	L	H	H	VH	119	M	M	L	M	H	VH	200	M	H	L	L	H	H
39	M	L	L	M	L	M	120	M	M	L	L	L	M	201	M	H	M	H	L	M
40	M	L	L	M	M	H	121	M	M	L	L	M	H	202	M	H	M	H	M	H
41	M	L	L	M	H	H	122	M	M	L	L	H	VH	203	M	H	M	H	H	VH
42	M	L	L	L	L	L	123	M	M	M	H	L	H	204	M	H	M	M	L	M
43	M	L	L	L	M	M	124	M	M	M	H	M	VH	205	M	H	M	M	M	H
44	M	L	L	L	H	M	125	M	M	M	H	H	VH	206	M	H	M	M	H	VH
45	M	L	M	H	L	VH	126	M	M	M	M	L	M	207	M	H	M	L	L	L
46	M	L	M	H	M	VH	127	M	M	M	M	M	H	208	M	H	M	L	M	M
47	M	L	M	H	H	VH	128	M	M	M	M	H	VH	209	M	H	M	L	H	H
48	M	L	M	M	L	H	129	M	M	M	L	L	M	210	M	H	H	H	L	M
49	M	L	M	M	M	H	130	M	M	M	L	M	H	211	M	H	H	H	M	H
50	M	L	M	M	H	H	131	M	M	M	L	H	VH	212	M	H	H	H	H	VH
51	M	L	M	L	L	L	132	M	M	H	H	L	VH	213	M	H	H	M	L	M
52	M	L	M	L	M	L	133	M	M	H	H	M	VH	214	M	H	H	M	M	M
53	M	L	M	L	H	M	134	M	M	H	H	H	VH	215	M	H	H	M	H	VH
54	M	H	H	L	L	L	135	H	L	H	L	M	M	216	H	M	H	L	H	M
55	M	H	H	L	M	M	136	H	L	H	L	H	H	217	H	H	L	H	L	M
56	M	H	H	L	H	H	137	H	M	L	H	L	H	218	H	H	L	H	M	M
57	H	L	L	H	L	H	138	H	M	L	H	M	H	219	H	H	L	H	H	H

58	H	L	L	H	M	H	139	H	M	L	H	H	VH	220	H	H	L	M	L	M
59	H	L	L	H	H	VH	140	H	M	L	M	L	L	221	H	H	L	M	M	H
60	H	L	L	M	L	L	141	H	M	L	M	M	M	222	H	H	L	M	H	VH
61	H	L	L	M	M	M	142	H	M	L	M	H	H	223	H	H	L	L	L	M
62	H	L	L	M	H	M	143	H	M	L	L	L	VL	224	H	H	L	L	M	H
63	H	L	L	L	L	VL	144	H	M	L	L	M	VL	225	H	H	L	L	H	VH
64	H	L	L	L	M	L	145	H	M	L	L	H	L	226	H	H	M	H	L	M
65	H	L	L	L	H	L	146	H	M	M	H	L	L	227	H	H	M	H	M	H
66	H	L	M	H	L	VH	147	H	M	M	H	M	M	228	H	H	M	H	H	VH
67	H	L	M	H	M	VH	148	H	M	M	H	H	M	229	H	H	M	M	L	M
68	H	L	M	H	H	VH	149	H	M	M	M	L	L	230	H	H	M	M	M	H
69	H	L	M	M	L	H	150	H	M	M	M	M	M	231	H	H	M	M	H	VH
70	H	L	M	M	M	H	151	H	M	M	M	H	M	232	H	H	M	L	L	L
71	H	L	M	M	H	H	152	H	M	M	L	L	VL	233	H	H	M	L	M	M
72	H	L	M	L	L	L	153	H	M	M	L	M	L	234	H	H	M	L	H	H
73	H	L	M	L	M	M	154	H	M	M	L	H	M	235	H	H	H	H	L	H
74	H	L	M	L	H	M	155	H	M	H	H	L	H	236	H	H	H	H	M	VH
75	H	L	H	H	L	VH	156	H	M	H	H	M	H	237	H	H	H	H	H	VH
76	H	L	H	H	M	VH	157	H	M	H	H	H	VH	238	H	H	H	M	L	M
77	H	L	H	H	H	VH	158	H	M	H	M	L	M	239	H	H	H	M	M	H

78	H	L	H	M	L	VH	159	H	M	H	M	M	M	240	H	H	H	M	H	VH
79	H	L	H	M	M	VH	160	H	M	H	M	H	M	241	H	H	H	L	L	M
80	H	L	H	M	H	VH	161	H	M	H	L	L	L	242	H	H	H	L	M	H
81	H	L	H	L	L	L	162	H	M	H	L	M	M	243	H	H	H	L	H	VH

موتور استنتاج، خروجی‌ها را در قالب متغیرهای زبانی بیان می‌کند. برای همین غیر فازسازی باید صورت گیرد. در این تحقیق عملیات غیر فازسازی با روش مرکز جرم یا همان گرانیگاه صورت می‌گیرد. روش غیر فازسازی با محاسبه دقیق درجه عضویت خروجی، مجموعه خروجی را تعیین کرده و در نهایت مقدار دقیق آن را نیز محاسبه می‌کند. شکل ۴-۱۱ پایگاه قوانین فاز و غیر فازسازی برای ایستگاه شماره ۳ معدن زمستان یورت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۱ پایگاه قوانین و غیر فازسازی در نرم‌افزار MATLAB

۴-۴-۱-۱-۱ اجرای مدل سامانه پایش محیط معدن

در این بخش برای اعتبارسنجی مدل ساخته شده، از اطلاعات گازسنجی معدن زمستان یورت که توسط دستگاه دستی دیجیتال Altair ساخته کمپانی آمریکایی MSA در سه ایستگاه پیشنهادی S_1 ، S_2 و S_3 و

هم‌چنین از اطلاعات سامانه پایش محیط معدن زغال‌سنگ طبس استفاده شده است. در معدن زمستان یورت پس از ثبت مقادیر گازسنجی، مسئول ایمنی معدن تصمیم‌گیری‌های لازم را انجام می‌دهد؛ که این تصمیم‌گیری شامل سه گزارش وضعیت عادی، وضعیت نگران‌کننده و درنهایت ترک کار است. سامانه پایش محیط معدن زغال‌سنگ طبس با توجه به مقادیر گازهای اندازه‌گیری شده، دو وضعیت سبز و نارنجی را نشان می‌دهد. وضعیت سبز، نشان‌دهنده وضعیت عادی است که کار در این محیط بلامانع است؛ اما در وضعیت نارنجی، وضعیت غیرعادی تلقی شده و مسئول ایمنی معدن زغال‌سنگ طبس، تصمیم به توقف کار می‌گیرد. در جدول ۴-۴۴ مقادیر گازهای ثبت شده و هم‌چنین نتیجه ورودی مدل پیشنهادی و گزارش وضعیت محیط معدن درج شده است.

جدول ۴-۴۴ وضعیت گازسنجی ایستگاه‌های معدن

معدن	موقعیت ایستگاه	تاریخ	دما (سانتی‌گراد)	نیتروژن (درصد)	اکسیژن (درصد)	کربن مونوکسید (درصد)	متان (درصد)	نتیجه مدل پیشنهادی		گزارش وضعیت موقعیت
زمستان یورت	S ₁	۰۰/۰۷/۲۰	۲۶	۷۸	۲۰	۰	۰/۲۵	متوسط	۰/۶۱۲	عادی
		۰۰/۰۸/۰۹	۲۶	۷۸	۲۰/۸	۰/۰۰۱	۰/۵	متوسط	۰/۶۱۲	عادی
		۰۰/۰۹/۲۳	۲۴	۷۷	۲۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۵	متوسط	۰/۵۷۳	عادی
		۰۰/۱۰/۰۷	۲۵	۷۷	۲۰/۴	۰/۰۰۳	۰/۵	متوسط	۰/۷۰۳	عادی
	S ₂	۰۰/۰۷/۲۰	۲۴/۵	۷۹	۲۰/۹	۰	۰/۵	متوسط	۰/۵۸۴	عادی
		۰۰/۰۸/۰۹	۲۴	۷۹	۲۰/۳	۰	۰/۵	متوسط	۰/۵۷۳	عادی
		۰۰/۰۹/۲۳	۲۶	۷۹	۲۰/۲	۰	۰/۲۵	متوسط	۰/۶۱۲	عادی
		۰۰/۱۰/۰۷	۲۴	۷۷	۲۰/۱	۰	۰/۲۵	متوسط	۰/۵۷۳	عادی
	S ₃	۰۰/۰۷/۲۰	۲۶	۷۸	۲۱	۰	۱	زیاد	۱/۲۱	نگران کننده
		۰۰/۰۸/۰۹	۲۶	۷۸	۲۰/۹	۰	۰/۷۵	زیاد	۱/۰۸	عادی
		۰۰/۰۹/۲۳	۲۵	۷۸	۲۰/۸	۰	۰/۷۵	زیاد	۱/۰۶	عادی
		۰۰/۱۰/۰۷	۲۵	۷۷	۲۰/۸	۰	۱	زیاد	۱/۱۷	نگران کننده
پروده طبس	Stop1	۰۰/۰۳/۱۱	۳۲	۷۹	۲۰	۰/۰۰۱	۰/۵	متوسط	۰/۶۸۲	عادی
		۰۰/۰۴/۰۵	۳۳	۷۸	۲۰	۰/۰۰۱	۰/۷۵	زیاد	۱/۱۷	توقف کار
		۰۰/۰۹/۱۳	۳۲	۷۸	۲۰	۰/۰۰۰۹	۰/۲۵	متوسط	۰/۶۸۲	عادی
		۰۰/۱۱/۲۴	۳۲	۷۹	۲۰	۰/۰۰۰۹	۰/۲۵	متوسط	۰/۶۸۲	عادی

عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۲۵	۰/۰۰۰۹	۲۰/۵	۷۸	۳۲	۰۰/۱۱/۲۵	
توقف کار	زیاد	۱/۳۲	۱	۰/۰۰۰۹	۲۱	۷۹	۳۳	۰۰/۰۳/۱۱	
عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۲۵	۰/۰۰۰۹	۲۰/۵	۷۹	۳۳	۰۰/۰۴/۰۵	
عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۲۵	۰/۰۰۰۹	۲۰/۵	۷۹	۳۱	۰۰/۰۹/۱۳	
عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۲۵	۰/۰۰۰۹	۲۰/۵	۷۸	۳۰	۰۰/۱۱/۲۴	
عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۲۵	۰/۰۰۰۹	۲۱	۷۸	۳۰	۰۰/۱۱/۲۵	
توقف کار	زیاد	۱/۳۲	۱/۲۵	۰/۰۰۱۸	۲۰/۵	۷۷	۳۳	۰۰/۰۳/۱۱	
توقف کار	زیاد	۱/۱۷	۰/۷۵	۰/۰۰۰۹	۲۱	۷۸	۳۲	۰۰/۰۴/۰۵	
عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۵	۰/۰۰۱	۲۰/۵	۷۷	۳۰	۰۰/۰۹/۱۳	
عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۵	۰/۰۰۱	۲۰	۷۸	۳۰	۰۰/۱۱/۲۴	
عادی	متوسط	۰/۶۸۲	۰/۵	۰/۰۰۱	۲۰/۵	۷۷	۳۰	۰۰/۱۱/۲۵	
توقف کار	زیاد	۱/۳۲	۱/۲۵	۰/۰۰۱۹	۲۱	۷۷	۳۲	۰۰/۰۳/۱۱	
توقف کار	زیاد	۱/۳۲	۱/۲۵	۰/۰۰۱	۲۱	۷۹	۳۲	۰۰/۰۴/۰۵	
توقف کار	زیاد	۱/۳۲	۱	۰/۰۰۱	۲۰/۵	۷۸	۳۱	۰۰/۰۹/۱۳	
عادی	متوسط	۱/۱۷	۰/۷۵	۰/۰۰۰۹	۲۰	۷۸	۳۰	۰۰/۱۱/۲۴	
عادی	متوسط	۱/۱۷	۰/۷۵	۰/۰۰۰۹	۲۰	۷۷	۳۰	۰۰/۱۱/۲۵	

همان طور که در جدول ۴-۴۴ مشاهده می شود گاز متان و کربن مونوکسید از مؤثرترین پارامترها در تعیین سطح خطر محیط معدن زغال سنگ هستند. با مقایسه نتایج مدل پیشنهادی و گزارش وضعیت موقعیت ایستگاه های پیشنهادی در معدن زمستان یورت می توان این نتیجه را گرفت که وضعیت کم، خیلی کم و متوسط مدل پیشنهادی یک وضعیت عادی در محیط معدن است؛ اما ایستگاه شماره ۳ این معدن، طبق مدل پیشنهادی شامل ۴ وضعیت زیاد شدت احتراق است که در ۲ تاریخ، گزارش وضعیت این موقعیت، عادی تلقی شده است. همچنین طبق مقایسه های وضعیت توقف کار در معدن زغال سنگ طبس با نتیجه مدل پیشنهادی، می توان به این نتیجه رسید که وضعیت های زیاد و خیلی زیاد مدل پیشنهادی یک وضعیت غیرعادی را نشان می دهد. این وضعیت زیاد و خیلی زیاد قابل توجه و نگران کننده است. در نهایت با مقایسه های صورت گرفته با واقعیت می توان به نتایج مدل فازی اعتماد کرد.

۴-۵- جمع بندی

در این فصل بخش های مختلف معدن زمستان یورت مورد بررسی قرار گرفت. طبقه بندی لایه های زغالی معدن نشان داد که لایه های معدن در شرایط خیلی ضعیف برای مکانیزاسیون قرار دارند. با بررسی راندمان عملیات و سامانه ترابری فعلی معدن نتایج نشان می دهد سامانه نوار نقاله یک سامانه بهینه برای اکلو تونل شماره ۳ خواهد بود. در زمینه پایش محیط با شبیه سازی سامانه پیشنهادی تأخیر ۰/۰۱۱ ثانیه دست یافته شد. با امکان پذیری این سامانه هزینه تجهیزات برابر با ۲۶۳/۷۱۹/۰۰۰ ریال برآورد شد. با مدل سازی فازی، شدت احتراق هر ایستگاه گازسنجی پیش بینی شد. شدت احتراق ایستگاه شماره ۳ در وضعیت زیاد قرار دارد که این وضعیت قابل توجه است.

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادها

۵- ۱- مقدمه

مکانیزاسیون و اتوماسیون امری جداناپذیر هستند. با مکانیزه کردن عملیات یک معدن می‌توان به بالاترین میزان بهره‌وری و تولید دست یافت. با مکانیزه کردن تحت شرایط پایدار ایمنی، سرمایه یک معدن حفظ می‌شود. در این فصل نتایج حاصل از بررسی قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون در معدن زمستان یورت مورد بحث قرار می‌گیرد. در آخر پیشنهادهایی برای بهبود کارهای آتی ارائه شده است.

۵- ۲- نتیجه‌گیری

از جمله مهم‌ترین نتایجی که در این تحقیق به دست آمده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی معدن زمستان یورت در رده خیلی ضعیف قرار دارند. این مستعد بودن خیلی کم باعث شده روش استخراج سنتی انجام گیرد و استفاده از ماشین‌آلات استخراج مکانیزه مانند رنده و شیرر امکان‌پذیر نیست.

۲- با پیشروی در تونل‌ها و کارگاه‌ها زمان مورد نیاز ترابری افزایش می‌یابد و محدودیت کشتش باربری توسط سامانه وینچ-واگن فعلی معدن باعث شده است که راندمان عملیات طی سال‌های اخیر تاکنون کاهش گیرد.

۳- با پیشنهاد سه گزینه ترابری به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی با توجه به ۹ معیار قابلیت دسترسی، ایمنی، تعمیر و نگهداری، هزینه انرژی و سوخت، هزینه آموزش، انعطاف‌پذیری، قیمت سرمایه اولیه، عمر مفید و ظرفیت تولید گزینه نوار نقاله به عنوان سامانه ترابری بهینه اکلن تونل ۳ معدن زمستان یورت انتخاب شد. این سامانه قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون بالایی دارد و با توجه به ظرفیت بالای تولید یک راهکار برای بهبود راندمان عملیات معدن است.

۴- با معرفی شبکه بی‌سیم ZigBee، یک سامانه پایش محیط معدن با سه ایستگاه پیشنهادی برای

گازسنجی اکلن تونل ۳ معدن زمستان یورت به کمک نرم افزار OPNET شبیه سازی شد. با شبیه سازی شبکه می توان به نتایج واقعی نزدیک تر شد. نتایج این شبیه سازی یک شبکه پایدار با تأخیر ۰/۰۱۱ ثانیه را نشان می دهد.

۵- با بررسی امکان پذیری شبکه بی سیم ZigBee، هزینه لازم تجهیزات اولیه سامانه پایش محیط معدن برای اکلن تونل ۳ برابر با ۲۶۳/۷۱۹/۰۰۰ ریال است.

۶- با استفاده از نرم افزار MATLAB یک مدل فازی برای تعیین شدت احتراق محیط معدن با پنج متغیر ورودی نیتروژن، اکسیژن، دما، کربن مونوکسید و متان به کمک ۲۴۳ قانون به روش ممدانی مدل سازی شد. ۷- با استفاده از اطلاعات گازسنجی در سه ایستگاه پیشنهادی اکلن تونل ۳ معدن زمستان یورت، به کمک مدل فازی ساخته شده، شدت احتراق این ایستگاه ها تعیین شد. نتایج نشان می دهد در ایستگاه شماره ۳ با توجه به وضعیت زیاد شدت احتراق، وضعیت این محیط نگران کننده است و نیاز به توجه دارد.

۵-۳-پیشنهادهای

به منظور ارزیابی دقیق تر قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون در معدن زغال سنگ زمستان یورت و رسیدن به نتایج مطلوب تر در مطالعات بعدی، پیشنهادهایی ارائه شده است که می توان از آن ها بهره گرفت.

۱- قابلیت مکانیزاسیون لایه های زغالی معدن از نظر فنی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به قابلیت مکانیزاسیون خیلی ضعیف لایه ها، بهتر است آماده سازی در تونل ها و کارگاه های غیرفعال صورت گیرد. با فعال شدن استخراج در دیگر بخش ها می توان به تولید بالاتر و آینده نگری بهتری دست یافت.

۲- برای اجرای سامانه نوار نقاله برای اکلن تونل ۳ دو کار می توان انجام داد: ۱- عریض تر کردن سطح مقطع اکلن از ۷/۲ به ۹/۲ مترمربع ۲- حفر اکلن موازی اکلن فعلی معدن. در این صورت هم زمان سامانه وینچ-واگن و نوار نقاله فعال است.

۳- پیشنهاد می‌شود با استفاده نرم‌افزارهای طراحی تونل، تونل جدیدی برای اجرای سامانه نوار نقاله طراحی و هزینه سرمایه‌گذاری لازم برآورد و اقتصادی بودن طرح بررسی شود.

۴- با توجه به حوادث ناشی از گازهای خطرناک در محیط معدن، پیشنهاد می‌شود هر چه سریع‌تر عملیات آماده‌سازی و نصب تجهیزات سامانه پایش محیط معدن آغاز و عملیات تهویه یا دویل‌ها در موقعیت ایستگاه شماره ۳ معدن زمستان یورت بررسی شود.

۵- ورودی‌های مدل سامانه پایش محیط شامل دما، اکسیژن، نیتروژن، کربن مونوکسید و متان است. می‌توان مدل‌های فازی دیگری با استفاده از دیگر گازها و هیدروکربن‌ها ارائه کرد.

۶- با توجه به اینکه این تحقیق بیشتر بر روی موضوع امکان‌پذیری مکانیزاسیون و اتوماسیون در زمینه استخراج و ترابری متمرکز شده است، پیشنهاد می‌شود بر روی مباحث اتوماسیون و مکانیزاسیون تهویه معدن زمستان یورت مطالعات بیشتری صورت گیرد.

۷- هیچ‌گونه بانک اطلاعاتی از قیمت انواع ماشین‌آلات استخراجی و فناوری‌های پیشرفته مورد استفاده در روش‌های مکانیزه در کشور وجود ندارد. شایسته است در قالب کارهای اجرایی جدید تهیه چنین بانک‌هایی مد نظر قرار گیرد.

اورعی، ک. (۱۳۹۸). "روش‌های استخراج زیرزمینی (زغال سنگ)". چاپ پنجم. انتشارات صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). تهران.

بصیر، ح. (۱۳۸۷). "ترابری در معادن". چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان.
شرکت صنعتی و معدنی شمالشرق شاهرود. اطلاعات و گزارش‌های دفتر فنی معدن زمستان یورت عطایی، م. ((الف(۱۳۹۴)). "روش‌های تخریبی در معدن‌کاری زیرزمینی". چاپ اول. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. شاهرود.

عطایی، م. (۱۳۹۶). "تصمیم‌گیری چند معیاره". چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. شاهرود.
عطایی، م. ((ب(۱۳۹۴)). "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی". چاپ دوم. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. شاهرود.

هارتمن، ه. (۱۹۸۷). "اصول مهندسی معدن". ترجمه مهدی یآوری (۱۳۸۶). چاپ دوم. انتشارات دانشگاه صنایع و معادن. تهران.

Anas, M., Haider, S. & Sharma, P. (2017). "Gas monitoring and testing in underground mines using wireless technology". **International Journal of Engineering Research and Technology**, V6, p.130-134.

Ataei, M., Khalokakaei, R. & Hossieni, M. (2009). "Determination of coal mine mechanization using fuzzy logic". **Mining Science and Technology (China)**, V19, p.149-154.

Basu, S., Pramanik, S., Dey, S., Panigrahi, G. & Jana, D. (2019). "Fire monitoring in coal mines using wireless underground sensor network and interval type-2 fuzzy logic controller". **International Journal of Coal Science and Technology**, V6, p.130-141.

- Brook, M. S. (2017). “**Sensing and monitoring technologies for mines and hazardous areas**”, by G.M. Chaulya & S. Prasad. Elsevier. UK.
- Chang, D. Y. (1996). “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”. **European Journal of Operational Research**, V95, p.649-655.
- Danish, E. & Onder, M. (2020). “Application of fuzzy logic for predicting of mine fire in underground coal mine”. **Safety and Health at Work**, V11, p.322-334.
- Despodov, Z., Mitic, S. & Peltecki, D. (2011). “Application of the AHP method for selection of a transportation system in mine planning”. **Underground Mining Engineering**, V19, p.93-99.
- Dubois, D. & Prade, H. (1986). “Weighted minimum and maximum operations in fuzzy set theory”. **Information Sciences**, V39, p.205-210.
- Ghadernejad, S., Jafarpour, A. & Ahmadi Navareh, P. (2019). “Application of an integrated decision-making approach based on FDAHP and PROMETHEE for selection of optimal coal seam for mechanization; A case study of the Tazareh coal mine complex, Iran”. **International Journal of Mining and Geo-Engineering**, V53, p.15-23.
- Ghasvareh, M., Safari, M. & Nikkhah, M. (2019). “Haulage system selection for Parvadeh coal mine using multi-criteria decision making methods”. **Mining Science**, V26, p.68-89.
- Gogus, O. & Boucher, T. O. (1998). “Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons”. **Fuzzy Sets and Systems**, V94, p.133-144.
- Gonen, A., Malli, T. & Kose, H. (2012). “Selection of ore transport system for a metalliferous underground mine”. **Archives of Mining Sciences**, V57, p.779-785.
- Graham, J. I. (1920). “The normal production of carbon monoxide in coal mines”. **Transaction Institution of Mining Engineers**, V60, p.222-234.
- Havey, C. R. (1979). “**Belt conveyors for bulk materials**”, The Conveyor Equipment Manufacturers Association. USA.
- Hosseini, S., Ataei, M., Hosseini, S. M. & Akhyani, M. (2012). “Application of fuzzy logic for determining of coal mine mechanization”. **Journal of Coal Science and Engineering (China)**, V18, p.225-231.
- Hosseini, S. M., Mikaeil, R., Ataei, M. & Khalokakaei, R. (2013). “Development a new classification for assessing the coal mine mechanization”. **Archives of Mining**

- Sciences**, V58, p.217-226.
- Mcpherson, M. J. (2012). “**Subsurface ventilation and environmental engineering**”, Springer Netherlands. Berkeley.
- Mikaeil, R., Gharahasanlou, E. & Jafarpour, A. (2020). “Ranking and evaluating the coal seam mechanization based on geological conditions”. **Geotechnical and Geological Engineering**, V38, p.150-172.
- Moridi, M. A., Kawamura, Y., Sharifzadeh, M., Chanda, E. K. & Jang, H. (2014). “An investigation of underground monitoring and communication system based on radio waves attenuation using ZigBee”. **Tunnelling and Underground Space Technology**, V43, p.362-369.
- Moridi, M. A., Kawamura, Y., Sharifzadeh, M., Chanda, E. K., Wagner, M., Jang, H. & Okawa, H. (2015). “Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS”. **International Journal of Mining Science and Technology**, V25, p.811-818.
- Özfirat, M. K. (2012). “A fuzzy method for selecting underground coal mining method considering mechanization criteria”. **Journal of Mining Science**, V48, p.533-544.
- Özfirat, P., Özfirat, M. & Malli, T. (2017). “Selection of coal transportation mode from the open pit mine to the thermic power plant using FAHP”. **Transport**, V33, p.502-509.
- Ross, T. J. (2017). “**Fuzzy Logic with Engineering Applications**”, Fourth Edition, by John Wiley & Sons. University of New Mexico. USA.
- Saaty, T. L. (1994). “How to make a decision-The analytic hierarchy process”. **Institute of Operation Research and the Management Sciences**, V24, No. 6, p.19-43.
- Sharma, S., Pal, B. K. (2018). “Wireless sensor network application in monitoring mine gas using ZigBee technology”. **International Journal of Advanced Computational Engineering and Networking**. V6, p.450-454.
- Soltanmohammadi, H., Aghajani Bazzazi, A. & M, O. (2008). “Loading-haulage equipment selection in open pit mines based on fuzzy-TOPSIS method”. **World Mining Congress 2008**, V24, p.88-102.
- Sousa, J. M. C. & Kaymak, U. (2002). “**Fuzzy decision making in modeling and control**”, V27. World Scientific Publishing Company. USA.
- Stefanko, R. (1983). “**Coal mining technology: Theory and practice**”, Society of Mining

Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers. Littleton, CO.

Unrug K., Szwilski B. (1982), “**Method of roof quality prediction**”, State of The Art of Ground Control in long Wall Mining and Mining Subsidence.

Walsh J. W. (1994), “**New method of fault projection for coal mine planning**”, p.209-219.

Wang, G., Jiao, S. & Cheng, G. (2011). “Fully mechanized coal mining technology for thin coal seam under complicated geological conditions”. **Energy Exploration & Exploitation**, V29, p.169-177.

www.Cat.com (Date: 2021/06/01)

www.Iran-Module.ir (Date: 2021/09/01)

www.Kolis.ir (Date: 2021/05/01)

www.Opnetproject.com (Date: 2021/08/01)

www.ZigBeealliance.org (Date: 2021/07/01)

Zadeh, L. A. (1965). “**Fuzzy sets. Information and Control**”, V8, p.338-353.

به نام خدا

پرسش نامه اولویت بندی عوامل مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون لایه های زغالی

صاحب نظر گرامی

با سلام و احترام

پرسش نامه پیش رو، در راستای انجام پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون در معادن زغال سنگ؛ مطالعه موردی: معدن زغال سنگ زمستان یورت" به راهنمایی آقای دکتر عطایی و آقای دکتر سرشکی است. خواهشمند است با صرف وقت و ارائه پاسخ مناسب، محقق را در انجام شایسته این تحقیق یاری نمایید. پیشاپیش از همکاری ارزشمند شما سپاس گزارم. شماره تماس:

مشخصات پاسخگو:

پست سازمانی:

میزان تحصیلات: لیسانس ☐ فوق لیسانس ☐ دکتری ☐

سن:

تجربه کاری در حوزه مربوطه: سال

راهنمای تکمیل پرسش نامه

لطفاً به سؤالات این پرسش نامه با توجه به طیف زیر و مثال ذکر شده پاسخ دهید.

درجه اهمیت بر اساس مقایسات زوجی عوامل					
ترجیح یکسان	کمی بهتر	بهرتر	خیلی بهتر	کاملاً بهتر	بینابین
۱	۳	۵	۷	۹	۸-۶-۴-۲

در مقایسات زوجی، به هنگام مقایسه دو عامل، در صورتی که ترجیح با مورد سمت چپ (عامل A) است؛ در

یکی از خانه‌های واقع در سمت چپ جدول و در صورتی که ترجیح با مورد سمت راست (عامل B) است؛ در یکی از خانه‌های سمت راست جدول، با توجه به میزان اهمیت ذکر شد در جدول فوق، علامت‌گذاری خواهد شد.

معیار B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	معیار A
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------

توجه: پاسخ‌دهنده توجه داشته باشید به علت وجود عاملی به نام نرخ ناسازگاری در پرسش‌نامه مقایسات زوجی در تکمیل پرسش‌نامه باید به مقایسه‌های قبلی خود نیز توجه داشته باشید تا مقایسات شما از نظر سازگاری قابل قبول باشد؛ یعنی چنانچه از نظر شما A سه برابر B اهمیت دارد و B دو برابر C اهمیت دارد؛ بنابراین باید توجه داشت که چون A از B مهم‌تر بود و خود B نیز از C مهم‌تر بود بنابراین A از C نیز اهمیت بیشتری خواهد داشت. پس هنگام مقایسه بین A نسبت به C باید عددی نزدیک به $(2 \times 3 = 6)$ مثلاً ۴ یا ۵ یا ۶ یا ۷ را علامت بزنید.

– مقایسات معیارهای اصلی مؤثر بر قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی

به نظر شما کدام یک از معیارهای اصلی زیر که بر قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی تأثیرگذار است؛ نسبت به یکدیگر ارجحیت بیشتری دارند؟ به چه میزان؟

معیار B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	معیار A
شیب لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ضخامت لایه
شیب لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	یکنواختی لایه
شیب لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کیفیت سنگ کف
شیب لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کیفیت سنگ سقف
شیب لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گسترده‌گی لایه
شیب لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آب موجود در جبهه کار
ضخامت لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	یکنواختی لایه
ضخامت لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کیفیت سنگ کف

ضخامت لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کیفیت سنگ سقف
ضخامت لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گسترده‌گی لایه
ضخامت لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آب موجود در جبهه کار
یکنواختی لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کیفیت سنگ کف
یکنواختی لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کیفیت سنگ سقف
یکنواختی لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گسترده‌گی لایه
یکنواختی لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آب موجود در جبهه کار
کیفیت سنگ کف	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کیفیت سنگ سقف
کیفیت سنگ کف	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گسترده‌گی لایه
کیفیت سنگ کف	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آب موجود در جبهه کار
کیفیت سنگ سقف	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گسترده‌گی لایه
کیفیت سنگ سقف	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آب موجود در جبهه کار
گسترده‌گی لایه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	آب موجود در جبهه کار

با تشکر

به نام خدا

پرسش نامه انتخاب سامانه بهینه ترابری

صاحب نظر گرامی

با سلام و احترام

پرسش نامه پیش رو، در راستای انجام پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی قابلیت مکانیزاسیون و اتوماسیون در معادن زغال سنگ؛ مطالعه موردی: معدن زغال سنگ زمستان یورت" به راهنمایی آقای دکتر عطایی و آقای دکتر سرشکی است. خواهشمند است با صرف وقت و ارائه پاسخ مناسب، محقق را در انجام شایسته این تحقیق یاری نمایید. پیشاپیش از همکاری ارزشمند شما سپاس گزارم. شماره تماس:

مشخصات پاسخگو:

پست سازمانی:

میزان تحصیلات: لیسانس ☐ فوق لیسانس ☐ دکتری ☐

سن:

تجربه کاری در حوزه مربوطه: سال

راهنمای تکمیل پرسش نامه

لطفاً به سؤالات این پرسش نامه با توجه به طیف زیر و مثال ذکر شده پاسخ دهید.

درجه اهمیت بر اساس مقایسات زوجی عوامل					
ترجیح یکسان	کمی بهتر	بهتر	خیلی بهتر	کاملاً بهتر	بینابین
۱	۳	۵	۷	۹	۸-۶-۴-۲

در مقایسات زوجی، به هنگام مقایسه دو عامل، در صورتی که ترجیح با مورد سمت چپ (عامل A) است؛ در

یکی از خانه‌های واقع در سمت چپ جدول و در صورتی که ترجیح با مورد سمت راست (عامل B) است؛ در یکی از خانه‌های سمت راست جدول، با توجه به میزان اهمیت ذکر شد در جدول فوق، علامت‌گذاری خواهد شد.

معیار A	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	معیار B
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------

توجه: پاسخ‌دهنده توجه داشته باشید به علت وجود عاملی به نام نرخ ناسازگاری در پرسش‌نامه مقایسات زوجی در تکمیل پرسش‌نامه باید به مقایسه‌های قبلی خود نیز توجه داشته باشید تا مقایسات شما از نظر سازگاری قابل قبول باشد؛ یعنی چنانچه از نظر شما A سه برابر B اهمیت دارد و B دو برابر C اهمیت دارد؛ بنابراین باید توجه داشت که چون A از B مهم‌تر بود و خود B نیز از C مهم‌تر بود بنابراین A از C نیز اهمیت بیشتری خواهد داشت. پس هنگام مقایسه بین A نسبت به C باید عددی نزدیک به $(۳ \times ۲ = ۶)$ مثلاً ۴ یا ۵ یا ۶ یا ۷ را علامت بزنید.

– مقایسه معیارهای اصلی انتخاب سامانه ترابری

به نظر شما کدام یک از معیارهای اصلی زیر که بر انتخاب سامانه ترابری تأثیرگذار است؛ نسبت به یکدیگر ارجحیت بیشتری دارند؟ به چه میزان؟

معیار A	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	معیار B
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی
تعمیر و نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی
هزینه انرژی و سوخت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی
هزینه آموزش	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی
انعطاف پذیری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی
قیمت سرمایه اولیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی
عمر مفید	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی
ظرفیت تولید	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قابلیت دسترسی

ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تعمیر و نگهداری
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هزینه انرژی و سوخت
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هزینه آموزش
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	انعطاف پذیری
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قیمت سرمایه اولیه
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عمر مفید
ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ظرفیت تولید
تعمیر و نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هزینه انرژی و سوخت
تعمیر و نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هزینه آموزش
تعمیر و نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	انعطاف پذیری
تعمیر و نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قیمت سرمایه اولیه
تعمیر و نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عمر مفید
تعمیر و نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ظرفیت تولید
هزینه انرژی و سوخت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هزینه آموزش
هزینه انرژی و سوخت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	انعطاف پذیری
هزینه انرژی و سوخت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قیمت سرمایه اولیه
هزینه انرژی و سوخت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عمر مفید
هزینه انرژی و سوخت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ظرفیت تولید
هزینه آموزش	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	انعطاف پذیری
هزینه آموزش	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قیمت سرمایه اولیه
هزینه آموزش	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عمر مفید
هزینه آموزش	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ظرفیت تولید
انعطاف پذیری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	قیمت سرمایه اولیه
انعطاف پذیری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عمر مفید
انعطاف پذیری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ظرفیت تولید
قیمت سرمایه اولیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عمر مفید
قیمت سرمایه اولیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ظرفیت تولید
عمر مفید	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ظرفیت تولید

– مقایسات گزینه ها نسبت به معیار های اصلی

به نظر شما کدام یک از گزینه های تحقیق با توجه به معیار ذکر شده نسبت به یکدیگر ارجحیت بیشتری

دارند ؟ و به چه میزان؟

جدول مقایسه گزینه ها نسبت به معیار قابلیت دسترسی

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه ها نسبت به معیار ایمنی

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه ها نسبت به معیار تعمیر و نگهداری

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه ها نسبت به معیار هزینه انرژی و سوخت

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه‌ها نسبت به معیار هزینه آموزش

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه‌ها نسبت به معیار انعطاف پذیری

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت سرمایه اولیه

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه‌ها نسبت به معیار عمر مفید

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

جدول مقایسه گزینه‌ها نسبت به معیار ظرفیت تولید

گزینه B	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گزینه A
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ-واگن
نوار نقاله	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی
وینچ-واگن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وینچ رفت و برگشتی

باتشکر

Abstract

Mechanization and automation in underground coal mines play an essential role in improving mining conditions and increasing productivity under stable safety conditions. In this research, the capability of mechanization and automation in Zemestan Yurt coal underground mine is investigated in three parts: extraction, transportation and monitoring of the mine environment. The most important issue for mechanization is the susceptibility of coal layers to mechanization. Factors affecting the mechanization capability of coal layers including seven criteria of slope, thickness, uniformity, quality of roof and floor stone, extent and water in the work front were scored by FAHP. By defining membership functions and fuzzy decision performance, Mine coal layers were defined in five categories. The coal layer of this mine has a very weak ability for mechanization. By examining the transportation sector of the mine and to increase efficiency, by FAHP according to nine criteria of accessibility, safety, maintenance, energy and fuel costs, training costs, flexibility, initial capital price, useful life and production capacity an optimal transportation system suitable for incline Tunnel 3 has been selected. Studies have shown that the conveyor system is the best transportation system in incline Tunnel 3. Due to the manual gas metering method in this mine, ZigBee wireless network has been introduced. With the help of OPNET software, an environmental monitoring system was simulated for the incline Tunnel 3. The results show network stability with a delay of 0.011 seconds. With the possibility of this system, the cost of its basic equipment was estimated at 263719000 Rial. Finally, using MATLAB software, a fuzzy model with the input of nitrogen, oxygen, carbon monoxide and methane gas and ambient temperature was presented to determine the intensity of combustion in the mine environment. The results of gas measurement in the three proposed stations show that station number three is in the mode of moderate combustion intensity, which is a worrying and significant situation.

Keywords: Zemestan Yurt coal mine, Mechanization, FAHP, Optimal transportation system, ZigBee network simulation, Modeling of mining environment monitoring system



Shahrood University of
Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

Investigation of mechanization and automation capability in coal mines, Case study: Zemestan Yurt coal mine

By: Naser Jafari

Supervisor:
Dr. Mohammad Ataei
Dr. Farhang Sereshki

January 2022