

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک

گروه استخراج معدن

تعیین بار خردکننده مناسب مدار خردایش باد نظر گرفتن پارامترهای عملیاتی برای مجتمع فسات اسفوردی

دانشجو:

حمیدروشنی

اساتید راهنما:

دکتر رضا خالوکا کانی - دکتر محمد کارآموزیان

استاد مشاور:

مهندس علی حافظی فر

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

دی ماه ۱۳۸۹

شماره: ۶۱۷۶۷
تاریخ: ۱۸/۱/۸۹
ویرایش:

بسمه تعالی



فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حمید روشنی رشته مهندسی معدن گرایش استخراج معدن تحت عنوان تعیین بار خردکننده مناسب مدار خردایش با در نظر گرفتن پارامترهای عملیاتی برای مجتمع فسفات اسفوردی که در تاریخ ۸۹/۱۰/۱۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u> امتیاز: ۱۷-)
--------------------------------	------------------------------------	--

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	رضا خالوکاکی	۱- استاداراهنما
	استادیار	محمد کارآموزیان	۲- استاد راهنما
	استادیار	حسین میرزایی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	محمد عطایی	۴- استاد ممتحن
	استادیار	فرهنگ سرشکی	۵- استاد ممتحن

تأیید رئیس دانشکده:

تقدیم بہ

والدین مہربانم کہ دعایشان بدرقہ مسیر زندگی ام است

روح پاک برادرم

و

ہمسفر عزیزم

تشکر و قدردانی

اینجانب بر خود لازم می‌دانم که در این چند خط محدود از تلاش‌ها و کمک‌های بی‌حد و حصر اساتید راهنمای خودم آقایان دکتر رضا کاکایی و دکتر محمد کارآموزیان کمال تشکر را داشته باشم، که در مسیر تهیه و ارائه این پروژه کمال همکاری را با اینجانب داشته‌اند.

در ادامه از جناب آقایان مهندس محمد قدیری، مرتضی کاظمی، رضا افروغ، بهزاد سعیدی و حبیب عشقی کمال تشکر را داشته که اینجانب را در انجام این تحقیق یاری کردند.

همچنین از تمامی کارکنان کارخانه فسفات اسفوردی علی‌الخصوص مهندس احمد توکلی تشکر و سپاسگزاری را دارم.

در انتها از خانواده‌ام که در تمامی مراحل زندگی یار و همراه من بودند تشکر و قدردانی می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب *محمد علی...* دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته *استخراج معدن* دانشگاه *فردوسی* صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه *تاثیر سولفات بر خواص سیمان* تحت راهنمایی *دکتر کارآموزیان* 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 تأثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- 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 *۸۹/۱۰/۱۴*

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.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد

چکیده

خردایش از نظر آزادسازی کانی‌های با ارزش، کاهش هزینه‌های فرآوری، کاهش مصرف مواد شیمیایی و تجهیزات و کاهش زمان فرآوری جایگاه ویژه‌ای در صنعت فرآوری مواد معدنی دارد. برای خردایش بسته به نوع بار خردکننده از انواع مختلف آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در این آسیاها، گلوله‌ها یا میله‌ها در ضمن کار، شکل اصلی خود را بر اثر سایش از دست می‌دهند. این امر باعث افت شدید کارایی آسیا شده و هزینه هنگفتی را به کارخانه کانه‌آرایی تحمیل می‌نماید. به دلیل ترکیبات متفاوت سنگ‌های معدنی و تنوع خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها، استفاده از گلوله‌ها یا میله‌هایی با شرایط خاص ضرورت پیدا می‌کند.

هدف از این تحقیق انتخاب بار خردکننده مناسب برای معدن فسفات اسفوردی می‌باشد که در آن ابتدا عوامل موثر و تاثیر هر کدام از این عوامل را در انتخاب بار خردکننده شناسایی و سپس با استفاده از تکنیک‌های مختلفی که توانایی تصمیم‌گیران را برای تعیین گزینه مناسب افزایش می‌دهند، با کنار هم قرار دادن این عوامل و روش‌ها اقدام به انتخاب بار خردکننده مناسب کرده و در نهایت نتایج حاصله به صورت خروجی نمایش داده می‌شود. به منظور تعیین بار خردکننده مناسب با توجه به انواع محدود گلوله‌ها و میله‌های تولید شده توسط کارخانه‌های سازنده و پس از بررسی‌های انجام شده در رابطه با امکان استفاده از این گلوله‌ها و میله‌ها در معدن فسفات اسفوردی چهار نوع گلوله و چهار نوع میله انتخاب گردید. در مرحله بعد با توجه به پارامترهای مربوط به بار خردکننده شامل ابعاد، سختی، دانسیته، قیمت و پارامترهای مربوط به خوراک ورودی به آسیا شامل ابعاد خوراک ورودی، سختی ماده معدنی، دانسیته ماده معدنی و پارامترهای مربوط به شرایط عملیاتی آسیا شامل سرعت آسیا، دبی بار ورودی، اندیس کار، اندیس سایش، درصد مواد جامد، درصد پرتشنگی آسیا، درصد شارژ بار خردکننده و توان مصرفی آسیا و با

استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی گزینه مناسب انتخاب شده است. از آن جا که برای انتخاب گلوله و میله از دو روش AHP و FAHP استفاده شد، لذا برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از روش‌های ادغام جواب‌ها (روش میانگین رتبه‌ها) استفاده شده است که در نهایت گلوله فولادی کروم‌دار، محصول شرکت داکتیل ماشین و میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توکیو انتخاب شده است.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، بار خردکننده، گلوله، میله، آسیا

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱-مقدمه.....
۳	۲-۱-تاریخچه کارهای انجام شده.....
۴	۳-۱-طرح مساله.....
۴	۴-۱-اهداف و روش تحقیق.....
۵	۵-۱-جمع‌آوری اطلاعات.....
۶	۶-۱-فصل‌بندی مطالب.....

فصل دوم: بررسی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

۸	۱-۲-مقدمه.....
۹	۲-۲-روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره.....
۱۰	۱-۲-۲-مدلهای تصمیم‌گیری چند هدفه.....
۱۰	۲-۲-۲-مدلهای تصمیم‌گیری چند شاخصه.....
۱۰	۳-۲-روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه.....
۱۲	۱-۳-۲-روش مجموع وزن دار ساده.....
۱۴	۲-۳-۲-روش تسلط تقریبی ۱.....
۲۰	۲-۳-۲-روش تسلط تقریبی ۲.....
۲۳	۲-۳-۲-روش تسلط تقریبی ۳.....
۲۷	۳-۳-۲-روش شباهت به گزینه ایده‌آل.....
۳۲	۴-۳-۲-فرایند تحلیل سلسله مراتبی.....
۳۷	۴-۲-روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی.....
۳۷	۱-۴-۲-تئوری مجموعه‌های فازی.....
۴۰	۲-۴-۲-روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی.....
۴۴	۳-۴-۲-روش تحلیل سلسله مراتبی فازی.....

فصل سوم: ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

۵۱	۱-۳-مروری بر تاریخچه مطالعات انجام شده.....
۵۱	۲-۳-موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۲	.....۳-۳-زمین شناسی عمومی منطقه.....
۵۳	.....۳-۴- ناخالصی های شیمیایی همراه آپاتیت.....
۵۴	.....۳-۴-۱- کلر.....
۵۴	.....۳-۴-۲-فلوئورین.....
۵۴	.....۳-۴-۳-منیزیم.....
۵۴	.....۳-۴-۴- آهن، آلومینیوم و کلسیم.....
۵۵	.....۳-۴-۵- عناصر خاکی.....
۵۵	.....۳-۵- منشأ کانسار فسفات اسفوردی.....
۵۶	.....۳-۶- هندسه و نحوه گسترش افقهای معدنی کانسار فسفات اسفوردی.....
۵۷	.....۳-۸- استخراج معدن.....
۵۸	.....۳-۹- مراحل راه اندازی کارخانه.....
۵۹	.....۳-۱۰- واحدهای کارخانه.....
۵۹	.....۳-۱۰-۱- واحد سنگ شکنی.....
۶۱	.....۳-۱۰-۲- واحد آسیا.....
۶۷	.....۳-۱۱- کارخانه فرآوری اسفوردی.....
۶۹	.....۳-۱۲- مروری بر پروژه های انجام شده در واحد فرآوری آپاتیت فسفات اسفوردی.....

فصل چهارم: پارامترهای موثر بر کارایی آسیاها جهت انتخاب بار خردکننده

۷۱	.....۴-۱-مقدمه.....
۷۱	.....۴-۲- عوامل موثر بر آهنگ خردایش و کارایی آسیاها.....
۷۱	.....۴-۲-۱- ابعاد واسطه.....
۷۵	.....۴-۲-۱-۱- توزیع ابعاد گلوله.....
۷۶	.....۴-۲-۱-۲- ابعاد گلوله های جایگزین.....
۷۷	.....۴-۲-۱-۳- طول میله.....
۷۸	.....۴-۲-۱-۴- قطر میله.....
۷۹	.....۴-۲-۱-۵- قطر میله جایگزین.....
۷۹	.....۴-۲-۲- نوع واسطه.....
۸۰	.....۴-۲-۳- سختی واسطه ها.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸۰	.....۴-۲-۴-چگالی واسطه
۸۲	.....۴-۲-۵-سایش گلوله
۸۳	.....۴-۲-۶-ابعاد خوراک ورودی
۸۵	.....۴-۲-۶-۱-کنترل خرج ویژه
۸۵	.....۴-۲-۶-۲-کنترل عملیات سنگ‌شکنی
۸۵	.....۴-۲-۷-سختی ماده معدنی
۸۶	.....۴-۲-۸-دانسیته ماده معدنی
۸۷	.....۴-۲-۹-سرعت آسیا
۸۸	.....۴-۲-۱۰-دبی بار ورودی
۸۸	.....۴-۲-۱۱-اهمیت اندیس کار و اندیس سایش
۸۹	.....۴-۲-۱۲-درصد مواد جامد
۸۹	.....۴-۲-۱۳-توان مصرفی آسیا
۹۰	.....۴-۲-۱۴-پرشدگی آسیا
۹۱	.....۴-۲-۱۵-میزان pH
۹۱	.....۴-۲-۱۶-حجم بار گلوله‌ای
۹۲	.....۴-۳-۳-معیارهای مؤثر برای انتخاب بار خردکننده مناسب آسیاهای مدار فرآوری معدن فسفات اسفوردی
۹۳	.....۴-۳-۱-گزینه‌های پیشنهادی انتخاب گلوله و میله
۹۴	.....۴-۳-۲-گزینه‌های پیشنهادی انتخاب گلوله
۹۴	.....۴-۳-۳-گزینه‌های پیشنهادی انتخاب میله

فصل پنجم: انتخاب بار خردکننده مناسب برای مجتمع فسفات اسفوردی

۹۶	.....۵-۱-مقدمه
۹۷	.....۵-۲-انتخاب گلوله مناسب برای آسیای گلوله‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی
۱۱۴	.....۵-۳-انتخاب میله مناسب برای آسیای میله‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی
۱۲۲	.....۵-۴-تعیین گلوله مناسب برای آسیای گلوله‌ای معدن فسفات اسفوردی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی
۱۲۴	.....۵-۴-۱-انتخاب گلوله برای آسیای گلوله‌ای معدن فسفات اسفوردی با استفاده از روش FAHP

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۵۰	۵-۵- انتخاب میله برای آسیای میله‌ای معدن فسفات اسفوردی با استفاده از روش FAHP.....
۱۷۰	۵-۶- جمع‌بندی فصل.....

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۷۳	۶-۱- نتیجه‌گیری.....
۱۷۴	پیشنهادات.....
۱۷۶	منابع.....

فهرست شکل‌ها

۳۹	شکل ۲-۲- عدد فازی با تابع عضویت مثلثی
۴۸	شکل ۲-۳- درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم
۵۲	شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
۶۱	شکل ۳-۲- نمایی از گریزلی ابتدای واحد سنگ‌شکنی
۶۱	شکل ۳-۳- سرند لرزان دو طبقه واحد سنگ‌شکنی
۶۵	شکل ۳-۴- نمایی از هیدروسیکلون واحد آسیا
۶۶	شکل ۳-۵- نمایی از انبار واحد آسیا
۶۶	شکل ۳-۶- نمایی از دو آسیای میله‌ای و گلوله‌ای
۶۷	شکل ۳-۷- مدار سنگ‌شکنی مدار فرآوری معدن فسفات اسفوردی
۶۸	شکل ۳-۸- مدار آسیاها مدار فرآوری معدن اسفوردی
۶۸	شکل ۳-۹- مدار بازیابی آپاتیت کارخانه فرآوری اسفوردی
۷۴	شکل ۴-۱- نمودار مقایسه نرخ شکست با اندازه ذرات برای دو اندازه گلوله
۸۴	شکل ۴-۲- اندازه ذرات محصول برای آسیای گلوله‌ای و میله‌ای
۱۰۰	شکل ۵-۱- نمایش گرافیکی برای انتخاب گلوله مناسب
۱۰۳	شکل ۵-۲- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار سختی گلوله
۱۰۴	شکل ۵-۳- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار اندازه گلوله
۱۰۴	شکل ۵-۴- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار قیمت

- شکل ۵-۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار بازدهی ۱۰۵
- شکل ۵-۶- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله ۱۰۶
- شکل ۵-۷- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۰۶
- شکل ۵-۸- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۰۷
- شکل ۵-۹- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۰۸
- شکل ۵-۱۰- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۰۸
- شکل ۵-۱۱- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۰۹
- شکل ۵-۱۲- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار اندیس کار ۱۱۰
- شکل ۵-۱۳- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار اندیس سایش ۱۱۰
- شکل ۵-۱۴- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۱۱
- شکل ۵-۱۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۱۲
- شکل ۵-۱۶- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۱۲
- شکل ۵-۱۷- نمودار تحلیل سلسه مراتبی انتخاب میله برای آسیای میله‌ای ۱۱۵
- شکل ۵-۱۸- نمودار تحلیل سلسه مراتبی انتخاب گلوله برای آسیای گلوله‌ای ۱۲۶
- شکل ۵-۱۹- نمودار فراوانی سختی گلوله ۱۲۷
- شکل ۵-۲۰- نمودار فراوانی اندازه گلوله برای کاهش نرمه ۱۲۸
- شکل ۵-۲۱- نمودار فراوانی قیمت گلوله ۱۲۸
- شکل ۵-۲۲- نمودار فراوانی وزن مخصوص گلوله ۱۲۹
- شکل ۵-۲۳- نمودار فراوانی سختی ماده معدنی ۱۲۹
- شکل ۵-۲۴- نمودار فراوانی دانسیته ماده معدنی ۱۳۰
- شکل ۵-۲۵- نمودار فراوانی ابعاد بار ورودی ۱۳۰
- شکل ۵-۲۶- نمودار فراوانی دبی بار ورودی ۱۳۱
- شکل ۵-۲۷- نمودار فراوانی سرعت نسبی آسیا ۱۳۱
- شکل ۵-۲۸- نمودار فراوانی اندیس کار ۱۳۲
- شکل ۵-۲۹- نمودار فراوانی اندیس سایش ۱۳۲
- شکل ۵-۳۰- نمودار فراوانی درصد مواد جامد ۱۳۳
- شکل ۵-۳۱- نمودار فراوانی درصد پرشدگی آسیا ۱۳۳
- شکل ۵-۳۲- نمودار فراوانی مصرف برق آسیا ۱۳۴
- شکل ۵-۳۳- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله ۱۴۵
- شکل ۵-۳۴- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله ۱۴۵

- شکل ۵-۳۵- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت ۱۴۵
- شکل ۵-۳۶- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ گلوله ۱۴۶
- شکل ۵-۳۷- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله ۱۴۶
- شکل ۵-۳۸- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۴۶
- شکل ۵-۳۹- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۴۷
- شکل ۵-۴۰- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۴۷
- شکل ۵-۴۱- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۴۷
- شکل ۵-۴۲- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۴۸
- شکل ۵-۴۳- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار ۱۴۸
- شکل ۵-۴۴- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش ۱۴۸
- شکل ۵-۴۵- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۴۹
- شکل ۵-۴۶- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۴۹
- شکل ۵-۴۷- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۴۹
- شکل ۵-۴۸- نمودار سلسه مراتبی برای انتخاب میله ۱۵۱
- شکل ۵-۴۹- نمودار فراوانی سختی میله ۱۵۲
- شکل ۵-۵۰- نمودار فراوانی اندازه میله برای کاهش نرمه ۱۵۲
- شکل ۵-۵۱- نمودار فراوانی قیمت میله ۱۵۳
- شکل ۵-۵۲- نمودار فراوانی درصد شارژ میله ۱۵۳
- شکل ۵-۵۳- نمودار فراوانی وزن مخصوص میله ۱۵۴
- شکل ۵-۵۴- نمودار فراوانی سختی ماده معدنی ۱۵۴
- شکل ۵-۵۵- نمودار فراوانی دانسیته ماده معدنی ۱۵۵
- شکل ۵-۵۶- نمودار فراوانی ابعاد بار ورودی ۱۵۵
- شکل ۵-۵۷- نمودار فراوانی دبی بار ورودی ۱۵۶
- شکل ۵-۵۸- نمودار فراوانی سزعت نسبی آسیا ۱۵۶
- شکل ۵-۵۹- نمودار فراوانی اندیس کار ۱۵۷
- شکل ۵-۶۰- نمودار فراوانی اندیس سایش ۱۵۷
- شکل ۵-۶۱- نمودار فراوانی درصد مواد جامد ۱۵۸
- شکل ۵-۶۲- نمودار فراوانی درصد پرشدگی آسیا ۱۵۸
- شکل ۵-۶۳- نمودار فراوانی مصرف برق آسیا ۱۵۹

فهرست جداول

۴	جدول ۱-۱- تعدادی از کاربردهای تصمیم‌گیری چند معیاره
۱۱	جدول ۱-۲- انواع روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه
۳۳	جدول ۲-۲- مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی
۳۶	جدول ۲-۳- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی
۴۶	جدول ۲-۴- اعداد تعریف شده در روش FAHP
۵۵	جدول ۳-۱- توزیع عناصر نادر در آپاتیت اسفوردی
۵۷	جدول ۳-۲- مشخصات افق‌های معدنی فسفات اسفوردی
۶۲	جدول ۳-۳- مشخصات فنی و عملیاتی واحد سنگ‌شکنی
۶۲	جدول ۳-۴- مشخصات فنی و عملیاتی سنگ‌شکن فکی
۶۲	جدول ۳-۵- مشخصات فنی و عملیاتی سنگ‌شکن مخروطی
۶۲	جدول ۳-۶- مشخصات فنی و عملیاتی سنگ‌شکن مخروطی
۶۴	جدول ۳-۷- مشخصات فنی و عملیاتی واحد آسیا
۶۴	جدول ۳-۸- مشخصات فنی و عملیاتی آسیای میله‌ای
۶۴	جدول ۳-۹- مشخصات فنی و عملیاتی آسیای گلوله‌ای
۶۵	جدول ۳-۱۰- مشخصات فنی و عملیاتی هیدروسیکلون
۷۳	جدول ۴-۱- ضریب K برای آسیاهای گلوله‌ای
۷۵	جدول ۴-۲- ارتباط بین اندازه واسطه و تعداد گلوله‌ها در هر واحد جرم
۷۹	جدول ۴-۳- خصوصیات واسطه
۹۸	جدول ۵-۱- نمونه فرم پرسش‌نامه برای انتخاب گلوله
۹۸	جدول ۵-۲- گزینه‌های در نظر گرفته شده برای انتخاب گلوله مناسب در معدن فسفات اسفوردی
۹۹	جدول ۵-۳- معیارهای در نظر گرفته شده برای انتخاب بهترین گلوله
۱۰۱	جدول ۵-۴- ماتریس مقایسه‌ی زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی
۱۰۲	جدول ۵-۵- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده اول
۱۰۲	جدول ۵-۶- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده دوم
۱۰۲	جدول ۵-۷- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده سوم
۱۰۲	جدول ۵-۸- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده چهارم
۱۰۲	جدول ۵-۹- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده پنجم

- جدول ۵-۱۰- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده ششم ۱۰۲
- جدول ۵-۱۱- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده هفتم ۱۰۲
- جدول ۵-۱۲- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده هشتم ۱۰۲
- جدول ۵-۱۳- ماتریس نهایی مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله ۱۰۳
- جدول ۵-۱۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله ۱۰۳
- جدول ۵-۱۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت گلوله ۱۰۴
- جدول ۵-۱۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ گلوله ۱۰۵
- جدول ۵-۱۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله ۱۰۵
- جدول ۵-۱۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۰۶
- جدول ۵-۱۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۰۷
- جدول ۵-۲۰- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۰۷
- جدول ۵-۲۱- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۰۸
- جدول ۵-۲۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۰۹
- جدول ۵-۲۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار ۱۰۹
- جدول ۵-۲۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش ۱۱۰
- جدول ۵-۲۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۱۱
- جدول ۵-۲۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۱۱
- جدول ۵-۲۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۱۲
- جدول ۵-۲۸- وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار ۱۱۳
- جدول ۵-۲۹- گزینه‌های در نظر گرفته شده برای انتخاب میله مناسب در معدن فسفات اسفوردی ۱۱۵
- جدول ۵-۳۰- معیارهای در نظر گرفته شده برای انتخاب بهترین میله ۱۱۵
- جدول ۵-۳۱- ماتریس مقایسه‌ی زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی ۱۱۶
- جدول ۵-۳۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی میله ۱۱۷
- جدول ۵-۳۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه میله ۱۱۷
- جدول ۵-۳۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت میله ۱۱۷
- جدول ۵-۳۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ میله ۱۱۸
- جدول ۵-۳۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص میله ۱۱۸
- جدول ۵-۳۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۱۸
- جدول ۵-۳۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۱۸

- جدول ۵-۳۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۱۹
- جدول ۵-۴۰- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۱۹
- جدول ۵-۴۱- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۱۹
- جدول ۵-۴۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار ۱۱۹
- جدول ۵-۴۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش ۱۲۰
- جدول ۵-۴۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۲۰
- جدول ۵-۴۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۲۰
- جدول ۵-۴۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۲۰
- جدول ۵-۴۷- وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار، وزن معیارها و نتیجه نهایی ۱۲۱
- جدول ۵-۴۸- متغیرهای زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها ۱۲۲
- جدول ۵-۴۹- متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها ۱۲۲
- جدول ۵-۵۰- اهمیت ترکیبی معیارها (وزن معیارها) ۱۲۳
- جدول ۵-۵۱- رتبه بندی ترکیبی گزینه‌ها ۱۲۴
- جدول ۵-۵۲- ماتریس مقایسه زوجی معیارها ۱۳۴
- جدول ۵-۵۳- مجموع اعداد هر یک از سطرهاى ماتریس مقایسه زوجی ۱۳۵
- جدول ۵-۵۴- وزن نهایی معیارها ۱۳۹
- جدول ۵-۵۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله ۱۴۰
- جدول ۵-۵۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله ۱۴۰
- جدول ۵-۵۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت گلوله ۱۴۰
- جدول ۵-۵۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ گلوله ۱۴۱
- جدول ۵-۵۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله ۱۴۱
- جدول ۵-۶۰- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۴۱
- جدول ۵-۶۱- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۴۱
- جدول ۵-۶۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۴۲
- جدول ۵-۶۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۴۲
- جدول ۵-۶۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۴۲
- جدول ۵-۶۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار ۱۴۲
- جدول ۵-۶۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش ۱۴۳
- جدول ۵-۶۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۴۳

- جدول ۵-۶۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۴۳
- جدول ۵-۶۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۴۳
- جدول ۵-۷۰- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله ۱۴۴
- جدول ۵-۷۱- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله ۱۴۴
- جدول ۵-۷۲- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت گلوله ۱۴۴
- جدول ۵-۷۳- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ گلوله ۱۴۵
- جدول ۵-۷۴- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله ۱۴۵
- جدول ۵-۷۵- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۴۵
- جدول ۵-۷۶- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۴۶
- جدول ۵-۷۷- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۴۶
- جدول ۵-۷۸- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۴۶
- جدول ۵-۷۹- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۴۷
- جدول ۵-۸۰- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار ۱۴۷
- جدول ۵-۸۱- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش ۱۴۷
- جدول ۵-۸۲- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۴۸
- جدول ۵-۸۳- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۴۸
- جدول ۵-۸۴- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۴۸
- جدول ۵-۸۵- وزن نهایی معیارها ۱۵۹
- جدول ۵-۸۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی میله ۱۵۹
- جدول ۵-۸۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه میله ۱۶۰
- جدول ۵-۸۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت میله ۱۶۰
- جدول ۵-۸۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ میله ۱۶۰
- جدول ۵-۹۰- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص میله ۱۶۰
- جدول ۵-۹۱- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۶۱
- جدول ۵-۹۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۶۱
- جدول ۵-۹۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۶۱
- جدول ۵-۹۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۶۱

- جدول ۵-۹۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۶۲
- جدول ۵-۹۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار ۱۶۲
- جدول ۵-۹۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش ۱۶۲
- جدول ۵-۹۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۶۲
- جدول ۵-۹۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۶۳
- جدول ۵-۱۰۰- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۶۳
- جدول ۵-۱۰۱- مقدار Si برای ماتریس‌های مقایسه زوجی ۱۶۳
- جدول ۵-۱۰۲- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سختی میله ۱۶۴
- جدول ۵-۱۰۳- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندازه میله ۱۶۴
- جدول ۵-۱۰۴- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار قیمت میله ۱۶۵
- جدول ۵-۱۰۵- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد شارژ میله ۱۶۵
- جدول ۵-۱۰۶- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار دانسیته میله ۱۶۵
- جدول ۵-۱۰۷- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سختی خوراک ۱۶۵
- جدول ۵-۱۰۸- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار دانسیته خوراک ۱۶۵
- جدول ۵-۱۰۹- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار ابعاد بار ورودی ۱۶۵
- جدول ۵-۱۱۰- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار دبی بار ورودی ۱۶۶
- جدول ۵-۱۱۱- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سرعت آسیا ۱۶۶
- جدول ۵-۱۱۲- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندیس کار ۱۶۶

- جدول ۵-۱۱۳- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار
اندیس سایش ۱۶۶
- جدول ۵-۱۱۴- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد
مواد جامد ۱۶۶
- جدول ۵-۱۱۵- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار
پرشدگی آسیا ۱۶۶
- جدول ۵-۱۱۶- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار مصرف
برق آسیا ۱۶۷
- جدول ۵-۱۱۷- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی میله ۱۶۷
- جدول ۵-۱۱۸- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه میله ۱۶۷
- جدول ۵-۱۱۹- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت میله ۱۶۷
- جدول ۵-۱۲۰- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ میله ۱۶۷
- جدول ۵-۱۲۱- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص میله ۱۶۷
- جدول ۵-۱۲۲- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی ۱۶۷
- جدول ۵-۱۲۳- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی ۱۶۷
- جدول ۵-۱۲۴- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی ۱۶۷
- جدول ۵-۱۲۵- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی ۱۶۸
- جدول ۵-۱۲۶- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا ۱۶۸
- جدول ۵-۱۲۷- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار ۱۶۸
- جدول ۵-۱۲۸- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش ۱۶۸
- جدول ۵-۱۲۹- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد ۱۶۸
- جدول ۵-۱۳۰- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا ۱۶۸
- جدول ۵-۱۳۱- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا ۱۶۸
- جدول ۵-۱۳۲- بار خردکننده انتخاب شده برای آسیای گلوله‌ای و میله‌ای ۱۷۱

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

بسته به نوع بار خردکننده انواع مختلف آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای ابداع شده‌اند. در آسیاهای گلوله‌ای به عنوان پرکاربردترین دستگاه خردایش، بار خردکننده از جنس گلوله‌های فولادی و در آسیاهای میله‌ای این بار از جنس میله‌های فولادی است. انتخاب نوع گلوله یا میله بستگی به نوع کانه و امکانات دسترسی به آن دارد. به دلیل ترکیبات متفاوت سنگ‌های معدنی و تنوع خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها، استفاده از گلوله‌ها یا میله‌هایی با شرایط خاص از نظر جنس و اندازه ضرورت پیدا می‌کند. انتخاب بار خردکننده مناسب برای یک کارخانه فرآوری نیازمند بررسی از دیدگاه‌های مختلف می‌باشد. از دیدگاه علمی روش فعلی انتخاب بار خردکننده برای انتخاب آن تنها بر اساس اصول تجربی می‌باشد و از دیدگاه صنعتی تنها قیمت بار خردکننده در نظر گرفته می‌شود. به دلیل این که تغییر در هر کدام از عوامل موثر در عملکرد آسیا می‌تواند بر روی کارآمدی آسیا و در نتیجه انتخاب بار خردکننده تاثیر بگذارد باید کلیه این عوامل شناسایی و تجزیه و تحلیل شوند تا بتوان ارزیابی صحیحی از تاثیر این پارامترها در انتخاب بار خردکننده مناسب کرد.

در این پایان‌نامه به منظور تعیین بار خردکننده مناسب برای مجتمع فسفات اسفوردی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ استفاده خواهد شد که با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف مناسب‌ترین بار خردکننده از بین گزینه‌های پیشنهادی تعیین می‌شود. بدیهی است بار خردکننده‌ای انتخاب می‌شود که بر مبنای محاسبات اقتصادی هزینه عملیات را به حداقل برساند و از دیدگاه علمی و مهندسی بهترین ویژگی‌ها را دارا باشد. پیچیدگی ذاتی بسیاری از محیط‌های تصمیم‌گیری در جهان امروز، تصمیم‌گیران را به طور ناخودآگاه به سمت استفاده از سیستمی سوق می‌دهد که علاوه بر دقت بالا، از نظر سرعت عمل و سهولت انجام عملیات نیز در حد بالایی قرار داشته باشد. لذا لزوم جامع‌نگری در تصمیم‌گیری‌ها و بهره‌گیری از افراد مختلف با مشاغل، تخصص‌ها، تجربیات، سوابق و دیدگاه‌های علمی گوناگون همراه با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری‌های گروهی^۲ و چند معیاره فازی^۳ را بیش از پیش ضروری کرده است. در این پایان‌نامه با بررسی پارامترهای مربوط به بار خردکننده، ماده معدنی و همچنین پارامترهای عملیاتی موثر در انتخاب بار خردکننده بهترین گزینه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین شده است.

۱-۲- تاریخچه کارهای انجام شده

طی چند سال اخیر از علم تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین گزینه ممکن در زمینه‌های مختلفی از جمله مکان‌یابی سدها، کارخانه‌ها و مراکز صنعتی و..... استفاده زیادی شده است تحقیقات و مقالات مختلفی در راستای مسائل تصمیم‌گیری در بخش‌های مختلف صنعت و معدن در داخل و خارج از کشور انجام شده و به چاپ رسیده‌اند ولی تاکنون برای انتخاب بار خردکننده مناسب برای آسیاهای مدار فرآوری استفاده نشده است. در جدول ۱-۱ خلاصه‌ای از موارد کاربردهای گوناگون تصمیم‌گیری چند معیاره آورده شده است.

1- Multicriteria decision making
2-Group Decision Making
3-Fuzzy Multicriteria decision making

جدول ۱-۱- تعدادی از کاربردهای تصمیم‌گیری چند معیاره

ارائه دهنده	مورد کاربرد
Ataei, (2005)	انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه سیمان آلومینا در آذربایجان شرقی با استفاده از روش AHP
Safari et al, (2010a)	استفاده از روش TOPSIS برای انتخاب محل کارخانه فرآوری معدن سنگ آهن سنگان (فاز ۲)
Safari et al, (2010b)	مکان‌یابی کارخانه فرآوری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای فاز ۱ معدن سنگ آهن سنگان (فاز ۱)
Zare et al, (2009)	انتخاب روش معدنکاری زیرزمینی با استفاده از FAHP برای معدن بوکسیت جاجرم در ایران
Ertugrul, (2009)	ارزیابی عملکرد شرکت‌های سیمان ترکیه با استفاده از FAHP و TOPSIS
Tseng U, (2009)	مطالعه بنیادین محصولات پاک کننده با کمک FAHP در کارخانه‌های PWB تایوان
Tang, (2009)	روش تخصیص بودجه برای شرکت فضائی با کمک FAHP و شبکه عصبی
Yavuz, (2008)	انتخاب محل کارخانه برای صنعت سنگ‌های طبیعی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

۱-۳- طرح مساله

با توجه به این‌که آسیاهای استفاده شده در واحد فرآوری مجتمع فسفات اسفوردی آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای می‌باشند، بار خردکننده آنها به ترتیب گلوله‌ها و میله‌های فولادی می‌باشند. گلوله‌ها یا میله‌ها در ضمن کار، شکل اصلی خود را بر اثر ساییش از دست می‌دهند. این امر باعث افت شدید کارایی آسیا شده و هزینه هنگفتی را به کارخانه کانه‌آرایی تحمیل می‌نماید. از این‌رو نیاز به استفاده از گلوله‌ها یا میله‌هایی که دیرتر ساییده شوند و در عین حال کمترین هزینه و بالاترین بازدهی ممکن را داشته باشند احساس می‌شود.

۱-۴- اهداف و روش تحقیق

هدف از این تحقیق انتخاب بهترین نوع بار خردکننده برای آسیاهای مدار فرآوری معدن فسفات اسفوردی است. بر خلاف دیدگاه صنعتی که تنها پارامتر قیمت را در نظر می‌گیرند سعی شده تا با ارائه یک روش

جدید جهت انتخاب گلوله و میله و با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر اعم از پارامترهای مربوط به ماده معدنی، پارامترهای مربوط به بار خردکننده، پارامترهای اقتصادی و پارامترهای عملیاتی بهترین نوع گلوله یا میله انتخاب شود. برای این منظور موارد زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

- بررسی عوامل و معیارهای مؤثر در انتخاب بار خردکننده
- انتخاب مناسبترین بار خردکننده با توجه به پارامترهای مؤثر در انتخاب با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره.

۱-۵- جمع‌آوری اطلاعات

آمار و اطلاعات مورد نیاز برای انتخاب بار خردکننده آسیاهای واحد فرآوری معدن اسفوردی به شرح زیر گردآوری شده‌اند:

- ✓ انجام مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری اطلاعات مناسب.
- ✓ شناسایی پارامترهای مناسب و جمع‌آوری داده‌های مربوط به معیارها و عوامل مؤثر در انتخاب بار خردکننده با مطالعه گزارش‌های موجود در آرشیو معدن.
- ✓ جمع‌آوری داده‌های مربوط به گلوله‌ها و میله‌های پیشنهادی.
- ✓ جمع‌آوری داده‌های مربوط به برنامه تولید روزانه، ماهانه و سالانه اعم از تغییرات مدار خردایش جهت بررسی تغییرات پارامترهای عملیاتی و پارامترهای مربوط به بار خردکننده.
- ✓ استفاده از روش مصاحبه تخصصی جهت کسب نظر از خبرگان علمی دانشگاه‌ها که در زمینه فرآوری مطالعاتی داشته‌اند و کارشناسانی که در صنعت مشغول به کار می‌باشند که هدف از بکارگیری این روش، تکمیل نقایص اطلاعات و رفع ابهام‌های موجود بوده است.

۱-۶- فصل بندی مطالب

در این تحقیق که مجموعاً مشتمل بر شش فصل است، در فصل اول مقدمه و کلیاتی از پایان نامه بیان می‌شود سپس در فصل دوم تعدادی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی که امروزه بیشتر استفاده می‌شود شرح داده می‌شود. در فصل سوم پارامترهای مؤثر در انتخاب بار خردکننده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند و تاثیر هر یک از این پارامترها بر روی عملکرد آسیاها بررسی شده است و به دنبال آن در فصل چهارم به کلیاتی در مورد منطقه مورد مطالعه یعنی معدن فسفات اسفوردی پرداخته می‌شود. در فصل پنجم با تجزیه و تحلیل داده‌های مربوطه و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، بار خردکننده مناسب برای آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای انتخاب شده است. در فصل ششم نیز نتایج حاصل از انجام تحقیق به همراه پیشنهاداتی ارائه شده است.

فصل دوم

بررسی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

۲-۱- مقدمه

انسان در مسیر زندگی خود همواره با مشکلات و مسائل مختلفی مواجه می‌شود که ناگزیر است برای حل یا گذر از آن‌ها تصمیمی اتخاذ کند. انسان حتی در کوچک‌ترین تصمیم شخصی، در پی آن است که بین نیازها و اهدافش تعادلی برقرار کند و این ضرورت، او را به استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره به عنوان راه حل نیازمند می‌کند. پیش‌بینی، ارزیابی و مقایسه نتایج راه‌های موجود و انتخاب قطعی یک راه حل برای رسیدن به هدف مطلوب، تصمیم‌گیری نامیده می‌شود. تصمیم‌گیری از تصمیم‌های جزئی در امور کوچک گرفته تا تصمیم‌های بزرگ و پراهمیت، نقش گسترده‌ای در زندگی انسان دارند (عطایی، ۱۳۸۹، الف). آنچه در این فصل مورد توجه قرار می‌گیرد، روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه^۱ است. اما برای بررسی عمیق‌تر ابتدا تصمیم‌گیری چند معیاره که تصمیم‌گیری چند شاخصه زیر شاخه‌ای از آن است معرفی می‌شود. در دو دهه اخیر محققین به این روش‌ها در تصمیم‌گیری‌های پیچیده توجه نموده‌اند. در این گونه تصمیم‌گیری‌ها چندین معیار که گاه با هم متضاد هستند در نظر گرفته می‌شوند که در زندگی روزمره نیز به طور مرتب اتفاق می‌افتند. برای مثال، در زندگی شخصی یک فرد، در انتخاب شغل، وجهه شغل، محل انجام کار، حقوق و دستمزد، فرصت‌های پیشرفت، شرایط کاری و غیره به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شوند و می‌توانند برای این فرد خیلی مهم باشند. اتومبیلی که یک فرد در

1-Multi Attribute decision making

نظر دارد خریداری کند، به معیارهایی مانند قیمت، مدل، ایمنی، راحتی، میزان مصرف سوخت، قابلیت اطمینان و غیره بستگی دارد، اینها مسائل شخصی بودند. در زمینه مسائل سازمانی، در انتخاب استراتژی یک سازمان معیارهایی از قبیل میزان درآمد سازمان طی یک دوره، قیمت سهام سازمان، سهم بازاری، تصویر سازمان در جامعه و... می توانند مهم باشند. در زمینه مسائل عمومی یک جامعه، برنامه ریزی توسعه منابع آبی می تواند بر اساس معیارهایی مانند هزینه، احتمال کمبود آب، انرژی (میزان استفاده مجدد از آن) استفاده از جنگل و زمین، کیفیت آب، حفاظت از مواد غذایی و غیره صورت گیرد، یعنی این موارد می توانند به عنوان معیار مدنظر قرار گیرند.

در زمینه مسائل دولتی، بخش حمل و نقل کشوری باید سیستم حمل و نقل را به گونه‌ای طراحی کند که زمان سفر، تاخیرات، هزینه حمل و نقل و غیره حداقل شود یا در صنایع نظامی انتخاب سیستم مناسب پرتاب یک موشک در نیروی هوایی بر حسب معیارهایی نظیر انتخاب سرعت، دقت، قابلیت اطمینان، میزان آسیب‌پذیری و غیره سنجیده شود.

موارد فوق بخش‌هایی مختلف از کاربرد تصمیم‌گیری‌های چند معیاره را شامل می‌شوند. در این فصل پس از دسته‌بندی این روش‌ها، شش روش معروف تصمیم‌گیری چند شاخصه معرفی می‌گردد.

۲-۲- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به دو دسته کلی تصمیم‌گیری چند هدفه^۱ و تصمیم‌گیری چند شاخصه تقسیم می‌شوند (عطایی، ۱۳۸۹، الف):

۱-Multi Objective decision making

۲-۱-۱- مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه (MODM)

در این مدل‌های تصمیم‌گیری، چندین هدف به طور همزمان جهت بهینه شدن، مورد توجه قرار می‌گیرند. مقیاس سنجش برای هر هدف مشخص است و ممکن است برای اهداف متفاوت یکسان نباشد. مثلاً یک هدف بیشینه کردن سود است که بر حسب واحد پول سنجش می‌شود و هدف دیگر حداقل ساعات نیروی کار استفاده شده است که بر حسب ساعت، سنجش می‌شود. گاهی این اهداف همسو نبوده و به طور متضاد عمل می‌کنند. مثلاً تصمیم‌گیرنده از یک طرف تمایل دارد رضایت کارکنان را افزایش دهد و از طرف دیگر می‌خواهد هزینه‌های حقوق و دستمزد را حداقل کند.

۲-۲-۲- مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM)

در حالت چندشاخصه، با مسائلی سروکار داریم که تصمیم‌گیرنده می‌خواهد با توجه به عوامل چندگانه، از بین چندین گزینه یکی را انتخاب و یا گزینه‌ها را رتبه‌بندی کند. مانند انتخاب شغل از بین موقعیت‌های موجود با توجه به میزان حقوق، مزایا، محیط کار، فاصله از منزل و رضایت شغلی. اگر مجموع جواب‌های قابل قبول، قابل شمارش باشد، مساله چند شاخصه نامیده می‌شود. در این مسائل شاخص‌ها به صورت کمی یا کیفی بیان شده و تصمیم‌هایی مانند ارزیابی، اولویت‌گذاری و یا انتخاب از بین گزینه‌های موجود مد نظر هستند..

۲-۳- روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به دو دسته تعاملی (جبرانی) و غیرتعاملی (غیرجبرانی) تقسیم‌بندی می‌شوند که در جدول ۱-۲ نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- انواع روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (عطایی، ۱۳۸۹، الف)

روش تسلط ۱	روش‌های حل بدون ترجیحات معیارها	روش‌های غیر تعاملی
روش حداقل حداکثرها ۲		
روش حداکثر حداقلها ۳		
روش ارضای منفرد ۴	روش‌های حل با سطح استاندارد	
روش ارضای جامع ۵		
روش حذفی ۶	روش‌های حل با ترجیحات کیفی	
روش لغت نامه‌ای ۷		
روش نیمه لغت نامه‌ای ۸		
روش تقدم (رتبه‌بندی) ۹		
روش وزن‌دهی ساده ۱۰		
روش برنامه‌ریزی توافقی ۱۱		
روش VIKOR		
روش شباهت به گزینه ایده‌آل ۱۲		
روش الکتز ۱۳		
روش تحلیل سلسله مراتبی ۱۴		

۱ - Dominance Method

۲- Maximin method

۳ - Maximax method

۴ - Conjunctive method

۵ - Disjunctive method

۶ - Omissive method

۷ - Lexio Graphy

۸- Semilexio Graphy

۹- Priority method

۱۰ - Simple Additive Weighting method (SAW)

۱۱ - Compromise programing

۱۲ - Technique for order performance by similarity to ideal solution (TOPSIS)

۱۳ - Elimination choice translating reality (ELECTRE)

۱۴ - Analytical Hierarchy Process (AHP)

پیش‌فرض روش‌های غیرتعاملی آن است که هر شاخص مستقل از دیگری است و هر کدام از شاخص‌ها به تنهایی در انتخاب مهم هستند. به بیان دیگر در این روش‌ها مبادله بین شاخص‌ها مجاز نیست و نقطه ضعف در یک شاخص توسط مزیت در شاخص دیگر جبران نمی‌شود. در روش‌های تعاملی قوت یک شاخص می‌تواند نقاط ضعف شاخص‌های دیگر را بپوشاند و در واقع وزن کل شاخص‌ها مد نظر است (عطایی، ۱۳۸۹). روش‌های غیرتعاملی منسوخ شده‌اند و با توجه به استفاده فراوانی که امروزه در حل مسائل از روش‌های تعاملی می‌شود و نیز با توجه با کاربرد فراوان این روش‌ها، روش‌های تعاملی را به تفصیل شرح داده خواهد شد.

۲-۳-۱- روش مجموع وزن‌دار ساده (SAW)^۱

روش وزن‌دهی ساده، ساده‌ترین روش تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ^۲ و یون^۳ ارائه شده است. در این روش که با نام روش ترکیب خطی وزن‌دار نیز شناخته می‌شود، پس از بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم، با استفاده از ضرایب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار به دست آمده و با توجه به این ماتریس، امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود.

مراحل روش وزن‌دهی ساده

اگر در مساله تصمیم‌گیری چند معیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد. به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش وزن‌دهی ساده، مراحل روش به شرح زیر می‌باشد (عطایی، ۱۳۸۹، الف):

^۱-Simple Additive Weighting

^۲-Hwang

^۳-Yoon

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم

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

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mm} \end{bmatrix}$$

که در آن x_{ij} عملکرد گزینه i ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ($j=1,2,\dots,n$) می‌باشد.

مرحله دوم: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می‌شود معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بی‌بعد تبدیل شوند و ماتریس R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix}$$

برای بی‌مقیاس کردن معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij}\}} \quad (1-2)$$

$$r_{ij} = \frac{1}{\max\left\{\frac{1}{x_{ij}}\right\}} = \frac{\min\{x_{ij}\}}{x_{ij}} \quad (2-2)$$

مشاهده می‌شود که معیارهای منفی معکوس می‌شوند. گروه دیگری از محققین در این روش معیارهای منفی را در -1 ضرب کرده و آن را به روش‌های مثبت تبدیل می‌کنند.

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیایها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، بردار وزن معیارها به صورت $[W_1, W_2, \dots, W_n]$ تعریف می‌شود.

مرحله چهارم: انتخاب گزینه برتر

در این بهترین گزینه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A^* = \left\{ A_i \left| \max \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \right. \right\} \quad (3-2)$$

۲-۳-۲- روش تسلط تقریبی ۱ (Electer)

روش تسلط تقریبی یکی از مشهورترین روش‌های رتبه‌بندی است. در این روش از مفهوم تسلط به صورت ضمنی استفاده می‌شود. در این روش گزینه‌ها به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و گزینه‌های مسلط و ضعیف (یا غالب و مغلوب) شناسایی شده و سپس گزینه‌های ضعیف و مغلوب حذف می‌شوند. اگر در یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش تسلط تقریبی ۱ مراحل زیر باید انجام شود (عطائی، ۱۳۸۷):

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به تعداد معیارها و تعداد گزینه‌ها و مقادیر ارزیابی شده گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mm} \end{bmatrix}$$

که در آن x_{ij} گزینه i ام ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ($j=1,2,\dots,n$) می باشد.

مرحله دوم: بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می شود معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بدون بعد تبدیل شوند و ماتریس R به صورت زیر تعریف شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix}$$

روش های مختلفی برای بی مقیاس کردن وجود دارد، اما در روش تسلط تقریبی ۱ معمولاً از رابطه زیر استفاده می شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4-2)$$

مرحله سوم: تشکیل ماتریس بی مقیاس وزن دار

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم گیری، بردار ضریب اهمیت معیارها به صورت زیر تعریف می شود:

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_n] \quad (5-2)$$

عناصر ماتریس W ضریب اهمیت معیارهای مربوطه می باشد.

مرحله چهارم: تعیین ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده

ماتریس تصمیم وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در بردار وزن معیارها به دست می‌آید:

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad j = 1, \dots, n \quad ; i = 1, \dots, m \quad (6-2)$$

مرحله پنجم: تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف

برای هر زوج گزینه k و e ($k, e = 1, 2, \dots, m, k \neq e$) مجموعه معیارها $J = \{1, 2, \dots, m\}$ به دو زیرمجموعه موافق و مخالف تقسیم می‌شوند. مجموعه موافق (S_{ke}) مجموعه‌ای از معیارهایی است که در آن گزینه k نسبت به گزینه e ترجیح دارد و مجموعه مکمل آن مجموعه مخالف (I_{ke}) می‌باشد. مجموعه معیارهای موافق برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$S_{Ke} = \{j \mid v_{kj} \geq v_{ej}\} \quad (7-2)$$

$$S_{Ke} = \{j \mid v_{kj} \leq v_{ej}\} \quad (8-2)$$

مجموعه معیارهای مخالف برای معیارهای مثبت و منفی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_{Ke} = \{j \mid r_{kj} < r_{ej}\} \quad (9-2)$$

$$I_{Ke} = \{j \mid r_{kj} > r_{ej}\} \quad (10-2)$$

مرحله ششم: تشکیل ماتریس موافق

ماتریس موافق، یک ماتریسی مربعی است که بعد آن تعداد گزینه‌ها می‌باشد. هر یک از درایه‌های این ماتریس، شاخص توافق^۱ بین دو گزینه نامیده می‌شود. مقدار این شاخص از جمع وزن معیارهایی که در مجموعه موافق وجود دارند، به دست می‌آید. به عبارت دیگر برای محاسبه شاخص توافق (C_{ke}) باید گزینه

^۱-Index of concordance

k و گزینه e مقایسه شده و مقدار آن از جمع وزن معیارهایی که گزینه k نسبت به گزینه e ترجیح دارد، به دست می‌آید. به زبان ریاضی، شاخص توافق از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$c_{ke} = \frac{\sum_{j \in S_{ke}} w_j}{\sum_{j=1} w_j} \quad (11-2)$$

در مجموعه وزن‌های نرمال شده $\sum_{j=1} w_j$ مساوی یک است لذا:

$$c_{ke} = \sum_{j \in S_{ke}} w_j \quad (12-2)$$

شاخص توافق، بیان‌گر میزان برتری گزینه k بر گزینه e بوده و مقدار آن از صفر تا یک تغییر می‌کند. با محاسبه شاخص توافق برای همه زوج گزینه‌ها، می‌توان ماتریس توافق را به صورت زیر تعریف کرد. در حالت کلی این ماتریس متقارن نیست.

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & - & \cdots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & - & \vdots \\ c_{m1} & \cdots & c_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}$$

مرحله هفتم: تعیین ماتریس مخالف

ماتریس مخالف، یک ماتریسی مربعی است که بعد آن تعداد گزینه‌ها می‌باشد. هر یک از درایه‌های این ماتریس، شاخص عدم توافق^۱ بین دو گزینه نامیده می‌شود. مقدار این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$d_{ke} = \frac{\max_{j \in I} |v_{kj} - v_{ej}|}{\max_{j \in J} |v_{kj} - v_{ej}|} \quad (13-2)$$

^۱-Index of discordance

مقدار شاخص عدم توافق (مخالف) از صفر تا یک تغییر می‌کند. با محاسبه شاخص عدم توافق برای همه زوج گزینه‌ها می‌توان ماتریس عدم را به صورت زیر تعریف کرد. در حالت کلی این ماتریس متقارن نیست.

$$C = \begin{bmatrix} - & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & - & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & - & \vdots \\ d_{m1} & \cdots & d_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}$$

اطلاعات موجود در ماتریس توافق، تفاوت‌های عمده‌ای با اطلاعات موجود در ماتریس مخالف دارد و در واقع این اطلاعات مکمل یکدیگرند. تفاوت میان وزن‌ها به وسیله ماتریس توافق حاصل می‌شود، حال که تفاوت میان مقادیر مشخص شده به وسیله ماتریس مخالف به دست می‌آید.

مرحله هشتم: تعیین ماتریس تسلط موافق

در این مرحله یک مقدار معین برای شاخص توافق مشخص می‌شود که آن را آستانه موافقت می‌نامند و آن را با \bar{c} نشان می‌دهند. آستانه موافقت از میانگین‌گیری شاخص توافق (درایه‌های ماتریس توافق) به دست می‌آید. به زبان ریاضی مقدار آستانه موافقت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{\substack{e=1 \\ k \neq e}}^m C_{ke}}{m(m-1)} \quad (14-2)$$

ماتریس تسلط موافق (F) با توجه به مقدار آستانه موافقت تشکیل می‌شود. اگر C_{ke} بزرگتر از \bar{c} باشد، برتری گزینه k بر گزینه e قابل قبول است. در غیر این صورت گزینه k بر گزینه e برتری ندارد. لذا درایه‌های ماتریس تسلط موافق از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$f_{ke} = \begin{cases} 1 & c_{ke} \geq \bar{c} \\ 0 & c_{ke} < \bar{c} \end{cases} \quad (15-2)$$

مرحله نهم: تشکیل ماتریس تسلط مخالف

ماتریس تسلط مخالف (G) مانند ماتریس تسلط موافق تشکیل داده می‌شود. بدین منظور ابتدا باید آستانه مخالفت (\bar{d}) از میانگین‌گیری شاخص مخالفت (درایه‌های ماتریس مخالف) محاسبه شود. به زبان ریاضی مقدار آستانه مخالفت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{d} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^m \sum_{\substack{e=1 \\ e \neq k}}^m \frac{d_{ke}}{m(m-1)} \quad (16-2)$$

درایه‌های ماتریس تسلط مخالف (G) به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$g_{ke} = \begin{cases} 0 & d_{ke} > \bar{d} \\ 1 & d_{ke} \leq \bar{d} \end{cases} \quad (17-2)$$

مرحله دهم: تشکیل ماتریس تسلط نهایی

ماتریس تسلط نهایی (H) از ضرب تک تک درایه‌های ماتریس تسلط موافق (F) در ماتریس مخالف (G) حاصل می‌شود:

$$h_{ke} = f_{ke} \cdot g_{ke} \quad (18-2)$$

مرحله یازدهم: تشکیل ماتریس تسلط نهایی

ماتریس تسلط نهایی (H) ترجیحات جزئی گزینه‌ها را بیان می‌کند. به طور مثال اگر مقدار h_{ke} برابر یک باشد بدین معناست که برتری گزینه k بر گزینه e در هر دو حالت موافق و مخالف قابل قبول است ولیکن هنوز k شانس مسلط شدن توسط گزینه‌های دیگر را دارد. گزینه‌ای باید انتخاب شود که بیشتر از آن که مغلوب شود، تسلط داشته باشد و از این نظر می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد.

۲-۳-۳- روش تسلط تقریبی ۲

روش تسلط تقریبی ۲ نزدیک ترین روش از خانواده روش‌های تسلط تقریبی به نسخه روش تسلط تقریبی ۱ است. تفاوت این روش با روش تسلط تقریبی ۱ در تعریف دو رابطه اولویت‌بندی در این روش به جای یک رابطه در روش تسلط تقریبی ۱ است. در روش تسلط تقریبی ۲ یک گزینه ممکن است به گزینه دیگر ترجیح قوی یا ترجیح ضعیف داشته باشد. لذا شدت و ضعف ترجیح در روش تسلط تقریبی ۲ به وضوح بیان می‌شود. اما در روش تسلط تقریبی ۱ ترجیح یا عدم ترجیح یک گزینه بر گزینه دیگر مطرح بوده و شدت ترجیح بیان نمی‌شود. گزینه a زمانی بر گزینه b به طور قوی ترجیح دارد که شرط موافقت را به طور قوی و شرط مخالفت را به طور ضعیف بیان کند.

مراحل انجام و پیاده‌سازی روش تسلط تقریبی ۲ تا حدود بسیار زیادی به روش تسلط تقریبی ۱ شباهت دارد. مراحل اولیه این روش دقیقاً همانند روش تسلط تقریبی ۱ بوده و تنها تفاوت این روش در تعریف آستانه‌ها و تشخیص برتری و ترجیح گزینه‌ها است. مراحل این روش به شرح زیر است (عطائی، ۱۳۸۹، الف):

مرحله ۱ تا ۷

این مراحل همانند روش تسلط تقریبی ۱ شامل تشکیل ماتریس تصمیم، بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم، تعیین ماتریس وزن گزینه‌ها، تعیین ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن دار، تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف و تشکیل ماتریس‌های توافق و مخالف می‌باشد.

مرحله ۸: تعیین آستانه موافقت قوی و آستانه تسلط ضعیف

این مرحله نقطه شروع تفاوت روش تسلط تقریبی ۲ و روش تسلط تقریبی ۱ می‌باشد. در این مرحله باید چهار حد آستانه به شرح ذیل تعریف شوند:

C^+	آستانه موافقت برای تسلط قوی
D^+	آستانه مخالفت برای تسلط قوی
C^-	آستانه موافقت برای تسلط ضعیف
D^-	آستانه مخالفت برای تسلط ضعیف

چهار آستانه مذکور، عموماً توسط روش‌های تصمیم‌گیری دسته‌جمعی نظیر روش دلفی و یا نظرسنجی تعیین می‌شوند. با این حال در صورت عدم دسترسی به متخصصان متعدد، تصمیم‌گیرنده در صورت داشتن تخصص کافی می‌تواند به صورت شخصی نیز آستانه‌های فوق را تعیین نماید. شایان ذکر است که شرط $0 < C^- < C^+ < 1$ و $0 < D^- < D^+ < 1$ همواره باید برقرار باشد

مرحله ۹: تشکیل ماتریس‌های نهایی مقایسه تسلط گزینه‌ها

ماتریس نهایی تصمیم‌گیری در روش تسلط تقریبی ۲ ارتباط تمامی گزینه‌ها را از نظر تسلط شامل می‌شود. برای تشکیل این ماتریس گزینه‌ها دو به دو با هم مقایسه می‌شوند. با توجه به ماتریس توافق (C) و ماتریس مخالفت (D) دو شرط تسلط به شرح زیر بین هر زوج گزینه a و b کنترل می‌شود:

الف: اگر $C(a,b) > C^+$ ، $D(a,b) < D^+$ و $C(a,b) > D(a,b)$ باشد، گزینه a به گزینه b به صورت قوی مسلط است. در این صورت در رایه متناظر با آن زوج گزینه در ماتریس تسلط نهایی، نماد S^F نوشته می‌شود. در رایه‌هایی که هیچ یک از شروط بالا در مورد زوج گزینه‌های متناظر صدق نکند، خالی می‌مانند. شکل کلی ماتریس تسلط نهایی به صورت زیر است:

	A_1	A_2	...	A_n
A_1		S^F		
A_2	S^F			S^F
	\vdots			\vdots
A_m	S^F		...	S^F

مرحله ۱۰: انجام فرآیند رتبه‌بندی

پس از تشکیل ماتریس نهایی مقایسه تسلط گزینه‌ها، به منظور دستیابی به اولویت‌بندی نهایی، گزینه‌ها از نظر تسلط به دو صورت مرتب می‌شوند:

الف) حالت کاهش: در این حالت گزینه‌ها از بهترین گزینه تا بدترین گزینه بر اساس ماتریس نهایی مرتب می‌شوند. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که تسلط بیشتری و قوی‌تری نسبت به سایر گزینه‌ها داشته باشد، به عبارت دیگر هر چه در سطرهای ماتریس تسلط نهایی، نمادهای S^F و S^f بیشتری قرار داشته باشند، آن گزینه از تسلط بیشتری برخوردار خواهد بود.

ب) حالت افزایش: در این حالت گزینه‌ها از حالت بدترین گزینه به بهترین گزینه مرتب می‌شوند. بدترین گزینه، گزینه‌ای است که نسبت به سایر گزینه‌ها بیشتر مغلوب شده باشد. به عبارت دیگر هر چه در ستون‌های ماتریس تسلط نهایی، نمادهای S^F و S^f بیشتری قرار داشته باشند، آن گزینه بیشتر مغلوب شده است.

در پایان دو روند فوق با هم مقایسه می‌شوند و برآیند دو ترتیب صعودی و نزولی، اولویت‌بندی نهایی را مشخص می‌کند. در تشکیل اولویت‌بندی نهایی دقت شود که اگر یک بزرگتر یا مساوی گزینه دیگر باشد، در نهایت به عنوان گزینه مسلط شناخته می‌شود.

۲-۳-۴- روش تسلط تقریبی ۳

روش تسلط تقریبی ۳ به دلیل حساسیت درباره آستانه‌های ترجیح و نیز در نظر گرفتن حالت‌های مختلف ارتباط بین گزینه‌ها، قوی‌ترین روش در بین روش‌های روش تسلط تقریبی می‌باشد. توانایی این روش در بین مسائل اولویت‌بندی در بسسیاری از شاخه‌های مهندسی و مدیریتی اثبات شده است. با توجه به شرایط حل مساله در این روش، مراحل اجرای روش تسلط تقریبی ۳ عموماً زمان بیشتری نسبت به سایر روش‌ها نیاز دارد، اما دقت و توانایی بالای این روش، پذیرفتن سختی‌های آن را توجیه می‌کند. مراحل این روش به شرح زیر است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۸):

مرحله ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

در این روش نیز همانند سایر روش‌های تسلط تقریبی تشکیل ماتریس تصمیم اولین گام به حساب می‌آید. در ماتریس تصمیم مشخصات گزینه‌ها از نظر معیارها ذکر می‌شود. در این ماتریس، درایه مربوط به گزینه a_i و معیار k با نماد g_{ka_i} نشان داده می‌شود. بنابراین ماتریس تصمیم به صورت زیر خواهد بود:

گزینه‌ها	C_1	C_2	...	C_n
a_1	g_{1a_1}	g_{2a_1}	...	g_{na_1}
a_2	g_{1a_2}	g_{2a_2}		g_{na_2}
\vdots				\vdots
a_m	g_{1a_m}	g_{2a_m}	...	g_{na_m}

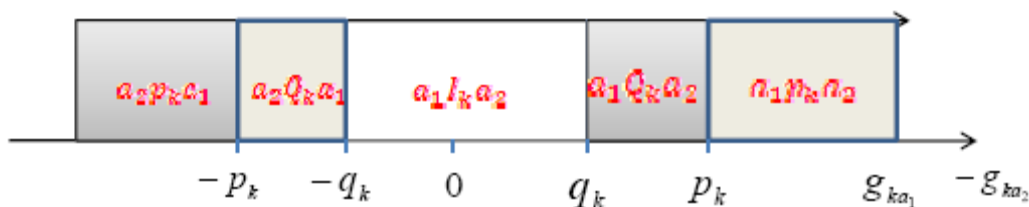
مرحله ۲: تعریف آستانه‌ها و اختصاص وزن به معیارها

همان گونه که گفته شد، در روش تسلط تقریبی ۱ به منظور مقایسه و بررسی ارتباط بین گزینه‌ها از آستانه موافقت و مخالفت استفاده می‌شود. در روش تسلط تقریبی ۳ به منظور تقویت توان شناسایی

گزینه‌های برتر و نیز دخالت دادن نظر تصمیم‌گیرندگان در مراحل انتخاب، سه آستانه جدید معرفی و مورد استفاده قرار می‌گیرند. نام آستانه‌ها و علائم اختصاری مورد استفاده هر کدام به شرح زیر است:

آستانه بی تفاوتی ^۱	آستانه ترجیح ^۲	آستانه رد ^۳
-------------------------------	---------------------------	------------------------

هر یک از آستانه‌ها باید به طور جداگانه برای هر یک از معیارها تعریف شوند. به عنوان مثال برای معیار k آستانه‌های بی تفاوتی، ترجیح و رد به ترتیب q_k و p_k و τ_k نشان داده می‌شوند. این آستانه‌ها توسط فرد یا تیم تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شوند. لذا تجربه آگاهی فرد تصمیم‌گیرنده، نقش بسیار اساسی در تعیین این شاخص‌ها دارد. مفهوم عملی آستانه‌های مذکور در زیر ارائه شده است.



با توجه به شکل بالا، در مقایسه دو گزینه a_1 و a_2 از دیدگاه معیار k (مقایسه g_{ka1} با g_{ka2})، پنج حالت ممکن است بین دو گزینه پیش آید:

(۱) اگر $-q_k < g_{ka1} - g_{ka2} < q_k$ ، آنگاه a_1 تقریباً با a_2 برابر است و به صورت $a_1 I_k a_2$ نشان داده می‌شود.

(۲) اگر $q_k < g_{ka1} - g_{ka2} < p_k$ ، آنگاه a_1 بر a_2 ترجیح داده می‌شود و به صورت $a_1 Q_k a_2$ نشان داده می‌شود.

۱- Indifference threshold

۲- Preference threshold

۳- Veto threshold

(۳) (۱) اگر $g_{ka2} - g_{ka1} < p_k$ ، آنگاه a_1 به طور کامل a_2 را رد می کند و به صورت $a_1 p_k a_2$ نشان داده می شود.

(۴) (۱) اگر $-g_{ka2} < -q_k < g_{ka1} - p_k$ ، آنگاه a_2 بر a_1 ترجیح داده می شود و به صورت $a_2 Q_k a_1$ نشان داده می شود.

(۵) (۱) اگر $g_{ka1} - g_{ka2} < -p_k$ ، آنگاه a_2 به طور کامل a_1 را رد می کند و به صورت $a_2 p_k a_1$ نشان داده می شود.

یکی از پارامترهای مهم دیگر در انتخاب گزینه مناسب به روش تسلط تقریبی ۳، وزن یا درجه اهمیت هر یک از معیارها می باشد. وزن معیارهای موجود نیز عموماً توسط متخصصان و تصمیم گیرندگان تعیین می شود. مجموع وزن ها یک است.

مرحله ۳: تشکیل ماتریس موافقت برای هر معیار

در این مرحله با استفاده از ماتریس تصمیم تشکیل شده در مرحله اول و آستانه تعیین شده در مرحله دوم و با توجه به ارتباط گزینه ها از نظر هر یک از معیارها، یک ماتریس موافقت (C_k) برای هر یک از معیارها تشکیل می شود. هر یک از درایه های ماتریس های موافقت مذکور با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه اند:

$$C_k(a_1, a_2) = \begin{cases} \frac{g_{ka1} + p_{ka2} - g_{ka2}}{p_{ka2} - q_{ka2}} & \text{if } q_{ka2} < g_{ka2} - g_{ka1} < p_{ka2} \\ 1 & \text{if } g_{ka2} - g_{ka1} \leq q_{ka2} \\ 0 & \text{if } p_{ka2} < g_{ka2} - g_{ka1} \end{cases} \quad (19-2)$$

مرحله ۴: تشکیل ماتریس موافقت کلی

در این مرحله با توجه به ماتریس های موافقت تشکیل شده برای هر یک از معیارها، ماتریس موافقت کلی (C) با میانگین گیری وزنی تشکیل می شود:

$$C(a_1, a_2) = \frac{\sum_{k=1}^n w_k C_k(a_1, a_2)}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (20-2)$$

که در آن w_k وزن معیار k می‌باشد.

مرحله ۵: تشکیل ماتریس مخالفت برای هر معیار

در این مرحله نیز همانند مرحله سوم، با استفاده از ماتریس تصمیم و نیز آستانه‌های تصمیم تعیین شده، ماتریس‌های مخالفت گزینه‌ها از نظر هر یک از معیارها (D_k) با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$D_k(a_1, a_2) = \begin{cases} \frac{g_{ka1} + p_{ka2} - g_{ka2}}{\tau_{ka2} - p_{ka2}} & \text{if } p_{ka1} < g_{ka2} - g_{ka1} < \tau_{ka2} \\ 1 & \text{if } \tau_{ka2} < g_{ka2} - g_{ka1} \\ 0 & \text{if } g_{ka2} - g_{ka1} \leq p_{ka2} \end{cases} \quad (21-2)$$

مرحله ۶: تشکیل ماتریس مخالفت کلی

در این مرحله با توجه به ماتریس‌های مخالفت تشکیل شده برای هر یک از معیارها، ماتریس مخالفت کلی (D) با میانگین‌گیری وزنی تشکیل می‌شود:

$$D(a_1, a_2) = \frac{\sum_{k=1}^n w_k D_k(a_1, a_2)}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (22-2)$$

که در آن w_k وزن معیار k می‌باشد.

مرحله ۷: تشکیل ماتریس اعتبار^۱

پس از تشکیل ماتریس موافقت کلی (C) و ماتریس مخالفت کلی (D)، در این حالت ماتریس اعتبار (S) بین گزینه‌های مختلف و بر اساس دو ماتریس فوق تشکیل می‌شود. درایه‌های ماتریس اعتبار با استفاده از رابطه ریاضی زیر قابل محاسبه است:

$$S(a_1, a_2) = \begin{cases} C(a_1, a_2) & \text{if } D_k(a_1, a_2) \leq C(a_1, a_2) \\ C(a_1, a_2) \quad \Pi \quad \frac{1 - D_k(a_1, a_2)}{1 - C(a_1, a_2)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (23-2)$$

مرحله ۸: تشکیل ماتریس مقایسه نهایی

با توجه به ماتریس مقایسه S محاسبه شده در گام هفتم، برای تشکیل ماتریس مقایسه نهایی، شاخص‌های λ و $S(\lambda)$ به صورت زیر تعریف و محاسبه می‌شوند:

$$\lambda = \max(S) \quad (24-2)$$

$$S(\lambda) = 0.3 - 0.15\lambda \quad (25-2)$$

سپس ماتریس مقایسه نهایی (T) با استفاده از رابطه زیر تشکیل می‌شود:

$$T(a_1, a_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } S(a_1, a_2) > \lambda - S(\lambda) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26-2)$$

^۱- Credibility matrix

مرحله ۹: انجام فرآیند رتبه‌بندی

پس از تشکیل ماتریس مقایسه نهایی، به منظور اولویت‌بندی گزینه‌های مورد بررسی، یک بار گزینه‌ها از بهترین حالت به بدترین حالت مرتب می‌شوند و یک بار هم از حالت بدترین گزینه به بهترین گزینه مرتب می‌شوند. در نهایت با مقایسه دو روند کاهشی و افزایشی، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها به دست می‌آید.

۲-۳-۵- روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)

این روش در سال 1981 توسط هوانگ و یون ارائه گردید. در این روش گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، به طوری که هر چه یک گزینه شبیه‌تر به حل ایده‌آل باشد، رتبه بیشتری دارد. این روش تصمیم‌گیری از پشتوانه ریاضی قوی برخوردار است و همانند بسیاری از روش‌های علمی، دانستن و رعایت مفروضات، محدوده و شرایط اعتبار قوانین و صحت فرمول‌های پیشنهادی، محدوده دقت نتایج و شرایط قابل قبول بودن جواب‌ها بسیار حائز اهمیت است. در تعریف این روش از دو مفهوم حل ایده‌آل و شباهت به حل ایده‌آل استفاده شده است. حل ایده‌آل چنان چه از اسم آن پیداست، آن حلی است از هر جهت بهترین باشد که عموماً در عمل وجود نداشته و سعی بر آن است که به آن نزدیک شویم. به منظور اندازه‌گیری شباهت یک طرح (یا گزینه) به حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، فاصله آن طرح (یا گزینه) از حل ایده‌آل و ضد حل ایده‌آل اندازه‌گیری می‌شود. سپس گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضد ایده‌آل به مجموع فاصله از حل ایده‌آل و ضد حل ایده‌آل ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند.

مراحل روش شباهت به حل ایده‌آل

اگر در یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به حل ایده‌آل، مراحل روش به شرح ذیل می‌باشد (عطائی، ۱۳۸۴):

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به تعداد معیارها و تعداد گزینه‌ها و مقادیر ارزیابی شده گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mm} \end{bmatrix}$$

که در آن x_{ij} گزینه i ام ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ($j=1,2,\dots,n$) می‌باشد.

مرحله دوم: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می‌شود معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بدون بعد تبدیل شوند و ماتریس R به صورت زیر تعریف شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix}$$

روش‌های مختلفی برای بی‌مقیاس کردن وجود دارد، اما در روش شباهت به گزینه ایده‌آل معمولاً از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (27-2)$$

در صورتی که فاصله بین مقادیر اندازه‌گیری شده زیاد نباشد، می‌توان برای بی‌مقیاس کردن معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر استفاده کرد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (28-2)$$

$$r_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (29-2)$$

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیارها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، بردار وزن معیارها به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_n] \quad (30-2)$$

عناصر ماتریس W ضریب اهمیت معیارهای مربوطه می‌باشد.

مرحله چهارم: تعیین ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن دار

ماتریس تصمیم وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در بردار وزن معیارها به دست می‌آید:

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad j = 1, \dots, n \quad ; i = 1, \dots, m \quad (31-2)$$

مرحله پنجم: یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

اگر حل ایده‌آل با A^+ و ضد ایده‌آل با A^- نشان داده شود در این صورت:

$$\text{گزینه ایده‌آل مثبت} \quad A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} \quad (32-2)$$

$$\text{گزینه ایده‌آل منفی} \quad A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \quad (33-2)$$

که V_j^+ بهترین مقدار معیار از بین تمام گزینه‌ها و V_j^- بدترین مقدار معیار از بین تمام گزینه‌ها می‌باشند. گزینه‌هایی که در A^+ و A^- قرار می‌گیرند به ترتیب نشان دهنده گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

مرحله ششم: محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

در این مرحله برای هر گزینه فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (34-2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (35-2)$$

مرحله هفتم: محاسبه شاخص شباهت

در آخرین مرحله شاخص شباهت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad (36-2)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر تا یک تغییر می‌کند. هر چه گزینه مورد نظر به ایده‌آل مشابه‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. کاملاً واضح است که اگر گزینه‌ای بر گزینه ایده‌آل منطبق باشد، آنگاه فاصله آن تا حل ایده‌آل مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی یک خواهد بود و در صورتی که گزینه‌ای بر گزینه ضد ایده‌آل منطبق باشد، آنگاه فاصله آن تا حل ضد ایده‌آل مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی صفر خواهد بود. لذا برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقدار شاخص شباهت، گزینه‌ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، در رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کم‌ترین شاخص شباهت است، در رتبه آخر قرار می‌گیرد.

۳-۶- فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

این روش بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده ارائه شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی توسط محققى به نام توماس - ال - ساعتى در سال 1980 ارائه شد، به طوری که کاربردهای متعددی از آن زمان تاکنون برای این روش مورد بحث قرار گرفته است.

برای بدست آوردن گزینه مناسب در روش تحلیل سلسله مراتبی باید مراحل زیر را به ترتیب انجام داد:

- ساختن سلسله مراتب

- محاسبه وزن‌ها

- بررسی سازگاری سیستم

ساختن سلسله مراتب

اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ایجاد یک نمایش گرافیکی از مساله می‌باشد. که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. سطح یک در سلسله مراتبی هدف را نشان می‌دهد. در سطح دوم معیارهای مساله مطرح شده و در سطح آخر، گزینه‌ها نشان داده شده‌اند (قدسی پور، ۱۳۸۱).

محاسبه وزن

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به هر یک از عناصر سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌گردد که این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامیم. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن‌های نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که آنرا وزن مطلق می‌نامیم. کلیه مقایسه‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد، به گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالات زیر است:

- کاملاً مرجح یا کاملاً مطلوب‌تر

- ترجیح یا مطلوبیت خیلی قوی

- ترجیح یا مطلوبیت قوی

- کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر

- اهمیت یا مطلوبیت یکسان

این قضاوت‌ها توسط ساعتی به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده‌اند که در جدول (۲-۲) مشخص گردیده‌اند (Saaty, 2000).

جدول ۲-۲- مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی (Saaty, 2000)

مقدار عددی	مطلوبیت
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا مطلوبیت قوی
۳	-کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل

در نهایت بر اساس قضاوت‌های انجام گرفته، ماتریس تصمیم‌گیری مساله تشکیل می‌شود.

روش‌های محاسبه وزن‌های نسبی

همانطور که قبلاً گفته شد در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابتدا عناصر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌گردد. سپس با استفاده از این ماتریس وزن نسبی عناصر محاسبه می‌گردد. به طور کلی یک ماتریس مقایسه‌ی زوجی به صورت زیر نشان داده شده که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i نسبت به عنصر j است. حال با مشخص بودن a_{ij} ‌ها وزن عناصر w_i ‌ها به دست می‌آید (قدسی پور، ۱۳۸۱):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

جهت محاسبه وزن هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی (وزن نسبی) چندین روش پیشنهاد شده است که اهم آنها عبارتند از:

-روش حداقل مربعات معمولی

-روش حداقل مربعات لگاریتمی

-روش بردار ویژه

-روش‌های تقریبی مشتمل بر روش‌های مجموع سطری، مجموع ستونی، میانگین حسابی و میانگین هندسی می‌باشد (Saaty, 1980). از بین روش‌های محاسبه وزن نسبی روش بردار ویژه دقیق‌تر می‌باشد و بعد از آن از روش میانگین هندسی بهتر است و در این تحقیق ترجیحاً از روش میانگین هندسی استفاده شده است.

روش میانگین هندسی

میانگین هندسی عناصر هر سطر (g_m) از رابطه محاسبه شده و سپس بردار حاصل نرمالایز می‌شود تا بردار وزن به دست آید.

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$$

(۳۷-۲)

$$g_m = \sqrt[n]{a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n}$$

محاسبه وزن نهایی

در بین روش‌های وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیار-ها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید (Saaty, 1980).

سازگاری سیستم

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است که به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد.

یک ماتریس ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در ماتریس سازگار، محاسبه وزن ساده بوده و با استفاده از نرمالایز کردن تک تک ستون‌ها به دست می‌آید. در حالی که برای محاسبه وزن در ماتریس‌های ناسازگار چندین روش ذکر گردید. علاوه بر محاسبه وزن در ماتریس‌های ناسازگار که قبلاً مورد بحث واقع شد، محاسبه مقدار ناسازگاری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم گیرنده دارد. اما ساعتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدیدنظر گردد (Saaty, 1980).

ساعتی شاخص ناسازگاری (I.I) را به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (38-2)$$

که در این رابطه:

n: بعد ماتریس و

λ_{\max} : بزرگترین مقدار ویژه‌ی ماتریس است که مقدار آن از رابطه ۲-۳۱ بدست می‌آید:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j}{w_i} \right\} \quad (39-2)$$

a_{ij} : یک عنصر از ماتریس مقایسه زوجی

w_i و w_j : i امین و j امین عنصر از مقادیر ویژه

(قضیه: بزرگترین مقدار ویژه (λ_{\max}) همواره بزرگتر یا مساوی n است و در صورتی که مقدار آن کمتر از n بدست آید، برابر با n در نظر گرفته می‌شود).

مقادیر شاخص ناسازگاری (I.I) را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند محاسبه کرده‌اند و آنرا شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R) نام نهاده‌اند که مقادیر آن‌ها برای ماتریس‌های n بعدی مطابق جدول ۲-۳ است.

جدول ۲-۳- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (Saaty, 1980)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
R.I.I	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (R.I.I) هم بعدش معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که آن را نرخ ناسازگاری (I.R) نامیده‌اند (Saaty, 1980).

$$IR = \frac{I.I}{R.I.I}$$

(۴۰-۲)

۲-۴- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

عدم قطعیت همیشه در دنیای واقعی وجود داشته و شرایط نامطمئن همواره در مراحل مختلف مطالعه و بررسی یک مسأله وجود دارد. در بسیاری از موارد تمام یا قسمتی از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، فازی هستند. اگر تمام یا قسمتی از داده‌های یک مسأله فازی باشند و آن مسأله با استفاده از داده‌های قطعی مدل و فرموله شود، جواب درست و دقیقی به دست نخواهد آمد و در نتیجه گزینه ارجح انتخاب نخواهد شد. در چنین تصمیم‌گیری‌های غیردقیقی نمی‌توان به هدف و مقصود مورد نظر دست یافت. لذا در مدل‌های تصمیم‌گیری که داده‌های آن تصادفی یا فازی هستند باید با وجود محاسبات و عملیات بیشتر به طور منطقی و دقیق برخورد کرده و عدم قطعیت را در مدل تصمیم‌گیری لحاظ کرد. مدل کردن عدم قطعیت در مسائل تصمیم‌گیری به وسیله تئوری مجموعه‌های فازی انجام می‌شود (عطائی، ۱۳۸۹، ب).

۲-۴-۱- تئوری مجموعه‌های فازی

تئوری مجموعه‌های فازی که برای نخستین بار توسط پرفسور لطفی‌زاده در سال 1965 ارائه شده در حل مسائلی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نمی‌توان پارامترها و کمیت‌ها را به طور دقیق تعریف نمود. مجموعه‌های فازی تعمیمی بر مجموعه‌های قطعی است. در نظریه مجموعه‌های قطعی، مجموعه‌ها به صورت معین تعریف می‌شوند. به عبارت دیگر هر مجموعه با یک ویژگی "خوش تعریف" مشخص می‌شود. اگر یک شیء مفروض، دارای آن ویژگی باشد، عضو مجموعه متناظر است و اگر نباشد، عضو آن نیست. حال فرض کنید درباره آن دسته از مجموعه اعداد صحبت شود که "بزرگ" باشند در این جا با یک

ویژگی "ناخوش" مبهم یعنی "بزرگ" مواجه می‌شویم. این که چه اعدادی بزرگ هستند و چه اعدادی بزرگ نیستند، بسته به افراد مختلف فرق می‌کند. بیشتر مفاهیم و ویژگی‌هایی که در زندگی واقعی به کار برده می‌شوند این گونه‌اند، یعنی مفاهیم نادقیق و مبهم هستند. نظریه مجموعه‌های فازی می‌تواند به صورت کمی با این ابهامات برخورد نماید و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. در مواردی که می‌توان چندین مقدار برای هر پارامتر در نظر گرفت، به طوری که هر مقدار دارای یک درجه عضویت برای آنکه پارامتر مقدار مربوطه را اخذ کند، می‌توان یک مجموعه زوج‌های مرتب تعریف کرد که عناصر اول زوج‌های مرتب بیانگر مقادیر ممکن برای کمیت مربوطه بوده و عناصر دوم زوج‌های مرتب نشانگر درجه عضویت مقادیر مربوطه می‌باشند که اعدادی بین صفر و یک هستند. به عبارت دیگر می‌توان گفت مجموعه فازی \tilde{A} از تعدادی زوج مرتب تشکیل شده است که جزء اول "عضو" را نشان می‌دهد و جزء دوم "میزان عضویت" آن عضو به مجموعه مورد نظر را می‌رساند. به این نوع مجموعه‌ها، مجموعه‌های فازی گویند (صفری م، ۱۳۸۹)

تعریف ۱- فرض کنید X یک مجموعه مرجع دلخواه باشد. مجموعه \tilde{A} که به صورت زیر تعریف می‌شود را یک مجموعه فازی می‌نامند.

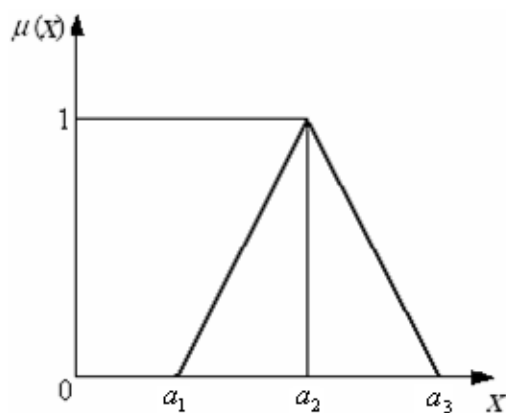
$$\tilde{A} = \{(x, \mu(x)) / x \in X, \mu(x) \in [0,1]\} \quad (۴۱-۲)$$

μ را تابع عضویت گویند که هر $x \in X$ را به یک مقدار در بازه $[0,1]$ تصویر می‌کند. $\mu(x)$ را درجه عضویت x در مجموعه \tilde{A} نامند. بسته به اینکه X پیوسته یا گسسته باشد، \tilde{A} نیز پیوسته یا گسسته خواهد بود.

تعریف ۲- عدد فازی مثلثی $\tilde{M} = (a,b,c)$ یک مجموعه فازی پیوسته است که تابع عضویت آن به صورت زیر می‌باشد (عطائی ۱۳۸۹، ب):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1) & a \leq x \leq b \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2) & b \leq x \leq c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (42-2)$$

معمولا عدد فازی مثلثی را به صورت سه تایی (a_1, a_2, a_3) طبق شکل (۲-۲) نشان می‌دهند.



شکل ۲-۲- عدد فازی با تابع عضویت مثلثی

تعریف ۳- برای دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ که دارای مجموعه‌های

مرجع مثبت یکسان هستند، چهار عمل اصلی جمع، تفریق، ضرب و تقسیم به ترتیب به صورت رابطه‌های

(۴۳-۲)، (۴۴-۲)، (۴۵-۲) و (۴۶-۲) می‌باشد (Cheng, 1998).

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (43-2)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (44-2)$$

$$\tilde{A} \cdot \tilde{B} = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3) \quad (45-2)$$

$$\tilde{A} / \tilde{B} = (a_1 / b_3, a_2 / b_2, a_3 / b_1) \quad (46-2)$$

۲-۴-۲- روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی

در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک، وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط مقادیر دقیق و معین تعیین می‌شود. در این روش عناصر ماتریس تصمیم‌گیری یا وزن معیارها و یا هردوی آنها توسط متغیرهای زبانی که توسط اعداد فازی ارائه شده‌اند، ارزیابی شده و بدین ترتیب بر مشکلات روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک غلبه شده است.

اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی باید مراحل زیر انجام شود (عطائی، ۱۳۸۹، ب):

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

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

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \dots & \tilde{X}_{1j} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{X}_{i1} & \dots & \tilde{X}_{ij} & \dots & \tilde{X}_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{X}_{m1} & \dots & \tilde{X}_{mj} & \dots & \tilde{X}_{mn} \end{bmatrix}$$

که در صورتی که از اعداد فازی مثلثی استفاده شود، $\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ عملکرد گزینه i ام در رابطه با معیار j ام ($i=1,2,\dots,m$) در رابطه با معیار j ام ($j=1,2,\dots,n$) می‌باشد.

در بیشتر مواقع برای تصمیم‌گیری در انتخاب یک گزینه از نظرات کارشناسان مختلفی استفاده می‌شود که در این صورت برای ترکیب نظرات کارشناسان مختلف و تعیین X_{ij} ها به ترتیب زیر عمل می‌شود:

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای k تصمیم‌گیرنده باشد و رتبه‌بندی فازی k امین تصمیم‌گیرنده

$\tilde{X}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$ (عدد فازی مثلثی) به ازای $i=1,2,\dots,m$ و $j=1,2,\dots,n$ باشد، رتبه‌بندی فازی

ترکیبی $\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ گزینه‌ها را با توجه به معیارها می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$a_{ij} = \text{Min}_k \{a_{ijk}\} \quad b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k b_{ijk}}{k} \quad c_{ij} = \text{Max}_K \{c_{ijk}\} \quad (47-2)$$

گام ۲: تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله ضریب اهمیت معیارهای مختلف، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (48-2)$$

در صورتی که از اعداد فازی مثلثی استفاده شود:

$$\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \quad (49-2)$$

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای k تصمیم‌گیرنده باشد و ضریب اهمیت k امین تصمیم‌گیرنده

$\tilde{W}_{jk} = (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3})$ (عدد فازی مثلثی) به ازای $j=1,2,\dots,n$ باشد، رتبه‌بندی فازی ترکیبی

$\tilde{W}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$W_{j1} = \text{Min}_K \{w_{jk1}\} \quad W_{j2} = \frac{\sum_{k=1}^k w_{jk2}}{k} \quad W_{j3} = \text{Max}_K \{w_{jk3}\} \quad (50-2)$$

گام ۳: نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم فازی

زمانی که X_{ij} ها به صورت فازی هستند، مسلماً r_{ij} ها نیز فازی خواهند بود. در این مرحله به جای

محاسبات پیچیده نرمالیزه کردن در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک، تغییر مقیاس خطی برای

تبدیل مقیاس معیارهای مختلف به مقیاس قابل مقایسه استفاده می‌شود.

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، درایه‌های ماتریس تصمیم نرمالیزه برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شود:

اگر \tilde{X}_{ij} جنبه مثبت داشته باشد:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), c_j^* = \text{Max}_j \{c_{ij}\} \quad (51-2)$$

اگر \tilde{X}_{ij} جنبه منفی داشته باشد:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), a_j^- = \text{Min}_i \{a_{ij}\} \quad (52-2)$$

بنابراین ماتریس تصمیم فازی نرمالیزه (\tilde{R}) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (53-2)$$

و یا:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \dots & \tilde{r}_{1j} & \dots & \tilde{r}_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{r}_{i1} & \dots & \tilde{r}_{ij} & \dots & \tilde{r}_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{r}_{m1} & \dots & \tilde{r}_{mj} & \dots & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix}$$

که m بیانگر تعداد گزینه‌ها و n بیانگر تعداد معیارها می‌باشد.

گام ۴: تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن دار

با توجه به وزن معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم فازی وزن دار از ضرب ضریب اهمیت مربوط به هر

معیار (\tilde{W}_j) در ماتریس نرمالیزه فازی (\tilde{R}) به صورت ماتریس زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{V} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (54-2)$$

$$V = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \dots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \dots & \tilde{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \dots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix}$$

که \tilde{w}_j بیان کننده ضریب اهمیت معیار c_j می باشد.

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، برای معیارهای با جنبه مثبت و منفی به ترتیب داریم:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \cdot (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) = \left(\frac{a_{ij}}{c_j} \cdot w_{j1}, \frac{b_{ij}}{c_j} \cdot w_{j2}, \frac{c_{ij}}{c_j} \cdot w_{j3} \right) \quad (55-2)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \cdot (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}} \cdot w_{j1}, \frac{a_j^-}{b_{ij}} \cdot w_{j2}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \cdot w_{j3} \right) \quad (56-2)$$

گام ۵: یافتن حل ایده آل فازی و حل ضد ایده آل فازی

$$A^* = \{\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*\}, \quad \tilde{v}_i^* = \text{Max}_i \{\tilde{v}_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (57-2)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\}, \quad \tilde{v}_i^- = \text{Min}_i \{\tilde{v}_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (58-2)$$

که \tilde{v}_j^* بهترین مقدار i امین معیار از بین تمام گزینهها و \tilde{v}_j^- بدترین مقدار i امین معیار از بین تمام گزینهها می باشد. گزینههایی که در A^+ و A^- قرار می گیرند، به ترتیب نشان دهنده گزینههای کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

گام ۶: محاسبه فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل فازی

فاصله هر گزینه از حل ایده آل و ضد ایده آل فازی از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$S_i^* = \sum d_v(v_{ij}, v_j^*) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (59-2)$$

$$S_i^- = \sum d_v(v_{ij}, v_j^-) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (60-2)$$

فاصله از حل ایده‌آل برای اعداد فازی مثلثی مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$d_v(v_{ij}, v_j^+) = \sqrt{\frac{1}{3}(\sum (v_{ij} - v_j^*)^2)} \quad (61-2)$$

$$d_v(v_{ij}, v_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3}(\sum (v_{ij} - v_j^-)^2)} \quad (62-2)$$

قابل ذکر است که $d_v(v_{ij}, v_j^-)$ و $d_v(v_{ij}, v_j^*)$ اعداد قطعی هستند.

گام ۷: محاسبه شاخص شباهت

شاخص شباهت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_i = \frac{s_i^-}{s_i^* + s_i^-} \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (63-2)$$

گام ۸: رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله با توجه به میزان شاخص شباهت گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند به طوری که گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار دارند.

۲-۴-۳- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)^۱

هرچند هدف از به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی معمولی به دست آوردن نظر کارشناسان و متخصصین است، با این وجود روش تحلیل سلسله مراتبی معمولی به درستی نحوه تفکر انسانی را

^۱-Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

منعکس نمی‌کند، زیرا در مقایسه‌های زوجی این روش از اعداد دقیق استفاده می‌شود. از دیگر مواردی که اغلب روش تحلیل سلسله مراتبی به خاطر آن مورد نکوهش قرار می‌گیرد عبارتند از: وجود مقیاس نامتوازن^۱ در قضاوت‌ها، عدم قطعیت و نادقیق بودن مقایسه‌های زوجی. تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی در مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظراتشان را در مورد برتری‌ها اعلام کنند. به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند. برای غلبه بر این مشکلات روش روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده است. در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از تصمیم‌گیرنده (یا تصمیم‌گیرندگان) خواسته می‌شود تا عناصر هر سطر نسبت به هم مقایسه کنند و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند. (عطائی، ۱۳۸۹، ب).

مراحل اصلی روش FAHP

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی به روش چانگ به شرح زیر است (عطائی، ۱۳۸۹، ب):

الف) رسم نمودار سلسله مراتبی

اولین قدم در FAHP ساختن نمودار سلسله مراتب مسأله است که معمولاً به ترتیب در آن هدف، معیارها (در صورت وجود زیرمعیارها) و گزینه‌ها نشان داده می‌شود است.

ب) تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

گونه‌های مختلفی از اعداد فازی را می‌توان برای اخذ نظرات خبرگان مورد استفاده قرار داد، اما در این تحقیق برای سهولت محاسبات از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است. در جدول ۲-۴ اعداد فازی مثلثی تعریف شده و توابع عضویت آن‌ها درج شده است

۱- Unbalance scale

ت) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی فازی

ماتریس مقایسه زوجی با به کارگیری اعداد فازی به صورت زیر است:

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

درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی حاوی اعداد فازی زیر است:

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

جدول ۲-۴- اعداد تعریف شده در روش FAHP (عطائی، ۱۳۸۹، ب)

عدد فازی	تعریف	مقیاس فازی مثلثی	دامنه	تابع عضویت
$\tilde{9}$	بسیار با اهمیت	(7,9,9)	$7 \leq x \leq 9$	$\frac{X-7}{9-7}$
$\tilde{7}$	با اهمیت	(5,7,9)	$7 \leq x \leq 9$	$\frac{9-X}{9-7}$
			$5 \leq x \leq 7$	$\frac{X-5}{7-5}$
$\tilde{5}$	اهمیت متوسط	(3,5,7)	$5 \leq x \leq 7$	$\frac{7-X}{7-5}$
			$3 \leq x \leq 5$	$\frac{X-3}{5-3}$
$\tilde{3}$	کم اهمیت	(1,3,5)	$3 \leq x \leq 5$	$\frac{5-X}{5-3}$
			$1 \leq x \leq 3$	$\frac{X-1}{3-1}$
$\tilde{1}$	اهمیت یکسان	(1,1,3)	$1 \leq x \leq 3$	$\frac{3-X}{3-1}$
$\tilde{1}$	دقیقاً مساوی	(1,1,1)	-	-

در صورتی که کمیته تصمیم‌گیرنده دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش FAHP به کار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مولفه اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مولفه دوم آن میانگین نظرسنجی‌ها و مولفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها است.

ث) محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

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

$$s_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (64-2)$$

در این رابطه i بیانگر شماره سطر و j بیانگر شماره ستون است. M_{gi}^j ($i = 1, 2, \dots, m$) اعداد فازی مثلثی

ماتریس مقایسه زوجی هستند. مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ ، $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ ، $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ را می‌توان به

ترتیب از روابط زیر محاسبه کرد:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (65-2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (66-2)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (67-2)$$

در روابط بالا l_i ، m_i ، u_i به ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

ج) محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به هم‌دیگر

چنانچه $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ، $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، طبق شکل ۲-۳ درجه بزرگی

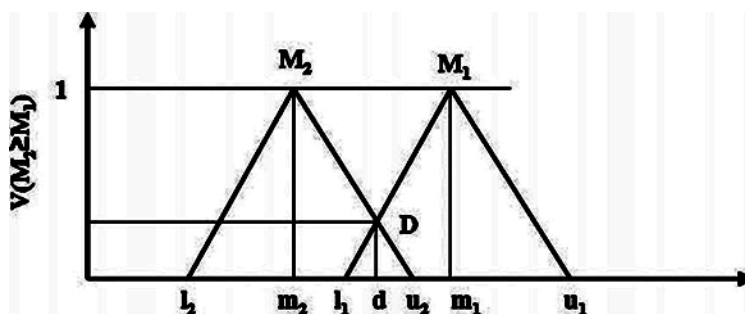
M_1 نسبت به M_2 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)) \right] \quad (68-2)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (69-2)$$

$$\mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - u_1)} & \text{other wise} \end{cases} \quad (70-2)$$

d مختصات بیشترین ارتفاع نقطه تقاطع D بین μ_{m_2} و μ_{m_1} که برای مقایسه M_2 با M_1 به کار می‌رود.



شکل ۲-۳- درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم

از طرفی دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_K) &= V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_K)] \\ &= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, K \end{aligned} \quad (71-2)$$

چ) محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسه زوجی

برای محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$d'(A_1) = \min V(s_1 \geq s_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad k \neq 1 \quad (72-2)$$

بنابراین بردار وزن معیارها و گزینه‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad A_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (73-2)$$

ح) محاسبه بردار وزن نهائی

برای محاسبه بردار وزن نهائی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد، بنابراین:

$$W = (d(A1), d(A2) \dots d(An))^T \quad (74-2)$$

از آن جایی که تکنیک FAHP بر مبنای تجربیات و نظرات تعدادی از متخصصان یک علم استوار است، بنابراین به نظر می‌رسد نتایج به دست آمده از این روش می‌تواند رهیافت مناسبی برای انتخاب مناسب بار خردکننده باشد، در ادامه این تحقیق از این تکنیک برای انتخاب بار خردکننده استفاده خواهد شد.

فصل سوم

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

۳-۱- مروری بر تاریخچه مطالعات انجام شده

عملیات پی‌جویی معدن فسفات اسفوردی اولین بار در سال ۱۳۶۱ توسط سازمان زمین‌شناسی کشور انجام گرفت و در این مرحله نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه گردید. همچنین ۵۰ ترانشه و ۱۲ حلقه گمانه حفاری گردید سپس ۹ حلقه گمانه دیگر توسط وزارت معادن و فلزات (طرح فسفات) در طی سال‌های ۶۶ تا ۶۷ حفاری شد. آزمایش‌های کانه‌آرایی نیز توسط شرکت سالزگیترا^۱ در طی سال‌های ۶۸ تا ۶۹ انجام گردیده و بررسی‌های مکان‌سنجی توسط شرکت معدن کاو انجام شد. دو سال بعد شرکت سهامی کل معادن ایران اقدام به حفر ۶۴ گمانه در یک شبکه ۵۰×۵۰ متری نمود و نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۱۰۰۰ را تهیه نمود. شرکت دنورسال^۲ از سال ۱۳۷۲ مطالعات فنی اقتصادی و طراحی مقدماتی معدن و طراحی و ساخت کارخانه کانه‌آرایی را شروع کرد که در اسفند ماه ۱۳۷۷ این کارخانه نصب گردید و شروع به کار نمود (شرکت معدن زمین، ۷۶).

۳-۲- موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی

معدن فسفات اسفوردی در ۳۵ کیلومتری شمال غربی شهرستان بافق در استان یزد واقع شده است. مختصات جغرافیایی آن در طول ۵۵ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و در عرض ۳۱ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی

1-Salsgater

۲-Denver sala

واقع می‌باشد. معدن به وسیله جاده آسفالتی به شهرستان بافق متصل می‌گردد و راه آهن چغارت - اصفهان این جاده را در ۱۴ کیلومتری شهرستان بافق قطع می‌کند (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی معدن فسفات اسفوردی

منطقه مورد بحث در ناحیه بیابانی واقع شده است متوسط بارش سالانه ۵۰ میلیمتر می‌باشد و حداکثر آن به ۳۰۰ میلیمتر می‌رسد. دمای متوسط آن ۴۰ درجه سانتیگراد است که در زمستان به ندرت به صفر و در تابستان به ۵۰ درجه می‌رسد کوه‌های اسفوردی در شمال ذخیره واقع شده‌اند که حداکثر سطح تراز آنها ۲۰۰۰ متر می‌باشد و قله آهنی که در جنوب ذخیره تا ارتفاع ۱۷۶۰ متر بالا آمده است. پوشش گیاهی منطقه نسبتاً ضعیف می‌باشد به طوریکه ارتفاعات فاقد پوشش گیاهی بوده و مناطق پست دارای پوشش گیاهی شامل بوته‌ها و درختچه‌ها می‌باشد (شرکت معدن زمین، ۷۶).

۳-۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه

ناحیه‌ای که معدن در آن واقع شده است یک بالآمدگی و یک منطقه فلززایی می‌باشد که در قسمت ایران مرکزی واقع می‌باشد. در کل این ناحیه شامل سنگ آهن مرکزی، سرب و روی کوشک، منگنز نارینگان و غیره می‌باشد که معدن اسفوردی یکی از چند ذخیره آهن آپاتیت شناخته شده در منطقه است.

سنگ‌های در برگیرنده معادن فسفات اسفوردی، سنگ آهن چغارت و چادرملو آذرین نفوذی کامبرین هستند و سنگهای پرکامبرین همگی حاوی کانیهای هماتیت، مگنتیت و آپاتیت می‌باشند. فاز کوهزایی آلپی در تشکیل بلوک‌های ساختمانی جداگانه آن نقش اساسی را ایفا کرده است. یکی از بلوک‌های تشکیل دهنده، بلوک پشت بادام- بافق می‌باشد که از طرف شرق و غرب به وسیله گسل‌های بزرگ کوهبنان و محدود شده است. این بلوک منطقه وسیعی از جمله کانسار فسفات اسفوردی را شامل می‌شود. معدن شامل سه زون کانه‌دار است که شامل:

زون اصلی آپاتیت‌دار با وزن مخصوص $3/08 \text{ gr/cm}^2$

سنگ آهن آپاتیت‌دار با وزن مخصوص $3/35 \text{ gr/cm}^2$

دایک آپاتیک‌دار با وزن مخصوص $3/07 \text{ gr/cm}^2$ می‌باشد.

باطله عمدتاً شامل سنگ ریولیت به رنگ سبز با وزن مخصوص $2/67 \text{ gr/cm}^2$ و توف با وزن مخصوص

$2/57$ می‌باشد. سنگ‌های موجود منطقه به ۵ نوع تقسیم می‌شوند:

سنگ‌های حاوی مگنتیت و آپاتیت (زون اصلی آپاتیت‌دار)

پیروکسینیت‌های آلتره شده (سنگ سبز)

توف‌ها، کنگلومراها و دولومیت‌ها

ریولیت‌ها

نفوذی‌های حدواسط

۳-۴- ناخالصی‌های شیمیایی همراه آپاتیت

آزمایش‌ها نشان داده‌اند که سنگ‌های آپاتیت‌دار موجود از نوع فلوئور آپاتیت هستند اما وجود کلرید و کلر

آپاتیت در سنگ معدن را می‌توان نادیده گرفت. بیش از ۲۵ عنصر در بلورهای آپاتیت اسفوردی گزارش

شده‌اند که در اینجا مهم‌ترین آن‌ها شرح داده می‌شود (صمیمی نمین، م، عابدیان، ن، ۱۳۶۲):

۳-۴-۱-کلر

میزان کلر موجود در کانسنگ بسیار متغیر است اما مقدار آن زیاد می‌باشد و تقریباً بین ۰/۰۴ تا ۱/۶۱ درصد است. شواهد نشان دهنده این است که کلر جانشین فلوئور شده است. فسفات قابل فروش در بازارهای جهانی می‌تواند بین صفر تا ۰/۰۶ درصد کلر داشته باشد. میزان کلر موجود اگر بیش از ۰/۰۳ باشد باعث بروز مشکل در تولید اسید فسفریک در کارخانه می‌گردد. در این کانسار کلر بیش از حد مجاز است.

۳-۴-۲-فلوئورین

مقدار فلوئورین موجود در توده اصلی کانسنگ و پیروکسن‌های آلتره شده بین ۳/۲۴ تا ۴/۳۵ درصد است. فلوئورین موجود در کنسانتره آپاتیت باعث به وجود آمدن فلوئور در اسید فسفریک تولیدی می‌شود و مقدار بیش از ۳ تا ۴ درصد فلوئور در اسید فسفریک معمولاً زیان آور می‌باشد که در کانسار اسفوردی تاثیر منفی زیادی ندارند.

۳-۴-۳-منیزیم

منیزیم موجود در بلورهای آپاتیت بین ۰ تا ۴ درصد می‌باشد اگر نسبت MgO به P_2O_5 بیش از ۰/۰۲ باشد باعث بروز مشکل در تولید اسید فسفریک می‌گردد و در قابلیت کانسار اسفوردی مشکلی به وجود نمی‌آورد.

۳-۴-۴-آهن، آلومینیوم و کلسیم

مقدار آهن و آلومینیوم موجود در آپاتیت بسیار کم می‌باشد و اگر مجموعاً بیش از ۳ درصد باشد باعث اشکال می‌شود که خوشبختانه در کانسار اسفوردی این عامل نیز مضر نیست. از طرفی کلسیم در فلوئور

آپاتیت کم است نسبت کلسیم به P_2O_5 در تولید اسید بسیار مهم است. این نسبت در بلورهای آزمایش شده بین $1:1/4$ تا $1:1/6$ می باشد که در کنسانتره تولیدی مناسب می باشد.

۳-۴-۵-عناصر خاکی

این عناصر از قبیل ایتریوم، نئودیم و لانتانیوم در آپاتیت اسفوردی بیش از حد نرمال تشخیص داده شده است جدول (۳-۱).

جدول ۳-۱- توزیع عناصر نادر در آپاتیت اسفوردی

عناصر خاکی	توزیع تقریبی عناصر خاکی نادر اسفوردی
Ce	۲۶
Nd	۴۱
La	۴/۷
Y	۱۷
Pr	۴/۲
Sm	۰/۳
Gd	۲/۸
Dy	۰/۴
Tb	۱/۴
Ho	۰/۴
Eu	۰/۲
Yb	۰/۳
Er	۱۱/۲

۳-۵-منشأ کانسار فسفات اسفوردی

در مورد منشأ فسفات اسفوردی نظریه ها و تئوری های زیادی ارائه شده است که همگی این نظریه ها بر منشأ آذرین این کانسار اتفاق نظر دارند. محدوده اسفوردی و اطراف آن سنگ های آذرین عمدتاً از نوع

ریولیت‌های تا حدودی دگرسان شده هستند. مطالعات نشان می‌دهد که تمامی سنگ‌های آذرین منطقه از نوع آلکالین هستند (صمیمی نمین، م، عابدیان، ن، ۱۳۶۲).

۴-۶- هندسه و نحوه گسترش افق‌های معدنی کانسار فسفات اسفوردی

ذخیره این معدن به چند بخش قابل تفکیک است (صمیمی نمین، م، عابدیان، ن، ۱۳۶۲):

افق آهن یا افق آهن بدون آپاتیت و آهن پر عیار همراه آپاتیت

افق آپاتیته

افق سنگ‌های سبز

دایک‌های آپاتیته یا افق دایک‌ها

افق زون‌های آغشته مانند ریولیت، برش‌ها و سنگ‌های رسوبی

افق آپاتیته عمدتاً از کانی‌های آپاتیت، مگنتیت، هماتیت، ترمولیت و کلسیت تشکیل شده است و ضخامت آن از سمت شمال غرب به طرف جنوب شرق افزایش می‌یابد. این افق در مجاورت توده آهنی شیب نسبتاً زیاد حدود ۵۵ درجه دارد ولی با دور شدن از توده آهن این شیب کاهش می‌یابد. دو گسل بزرگ در غرب معدن با امتداد شمال-جنوب، افق اصلی را در میانه محدوده قطع کرده و مانع گسترش آن شده‌اند. در سمت شرق نیز دنباله این افق به زون‌های گسله محدود می‌گردد ذخیره این افق ۴/۵ میلیون تن سنگ فسفات با عیار ۱۷/۵ درصد تعیین شده است.

در مرکز ذخیره فسفات سنگ‌روئی حدود ۱۰۰ متر است و ضخامت ماده معدنی به سمت مرکز ذخیره کم می‌شود و ضخامت ماده معدنی در رخنمون جنوب ذخیره به حداکثر خود می‌رسد (۶۰ تا ۸۰ متر) ضخامت ماده معدنی موجود در شمال ذخیره کمتر است (حدود ۲۰ متر) و در مرکز ضخامت به ۵ متر می‌رسد. شکل ماده معدنی در عمق تقریباً شبیه به کاسه است و سنگ سبز درون آن قرار گرفته است و در مرکز ضخامت آن به ۱۰۰ متر می‌رسد و در شمال این توده به ریولیت ختم می‌شود. مقداری پیروکسن آلتیره

شده به ضخامت بیش از ۵ متر در بعضی از قسمت‌های پایینی ماده معدنی در جنوب ذخیره وجود دارد. مشخصات افق‌های معدنی فسفات اسفوردی در جدول ۲-۳ نشان داده شده است.

جدول ۲-۳- مشخصات افق‌های معدنی فسفات اسفوردی

شرح	وزن مخصوص	ذخیره (تن)	عیار متوسط (%)
افق اصلی (آپاتیت)	۳/۰۳	۴۴۸۹۳۴۵	۱۷/۴
افق آهنی	۳/۳	۵۶۸۴۰۹۸	۱۶/۸۴
افق سنگ‌های سبز	۲/۶۲	۵۰۳۰۴۸۶	۶/۹۸
افق دایک‌های آپاتیتی	۳/۰۷	۶۹۹۰۹۲	۲۱/۱۱
افق زونهای آغشته	۲/۶۱	۶۴۱۲۳۶	۱۰/۰۰۹
جمع	۳	۱۶۵۵۴۲۲۵۶	۱۳/۹۰۸

۳-۸- استخراج معدن

براساس طراحی انجام شده، این معدن به طریق روباز استخراج می‌گردد و پارامترهای طراحی پله‌ها به

شرح زیر است (شرکت معدن زمین، ۷۶):

- ارتفاع پله در طول کار: ۵ متر
- شیب نهایی معدن: ۵۰ درجه
- شیب دیواره پله: ۷۰ درجه
- عرض جاده و رمپ معدن: ۱۲ متر
- حداقل شعاع چرخش پیچ جاده: ۲۵ متر

معدن از نوع حلزونی است و ارتفاع کف پیت ۱۶۳۵ متر است و بالاترین تراز آن ۱۷۴۰ متر می‌باشد. ۳ خروجی برای معدن در نظر گرفته شده است. اولین خروجی در جنوب شرق معدن در تراز ۱۷۱۰ می‌باشد و سنگ معدن استخراج شده از این خروجی به سمت سنگ‌شکن حمل می‌گردد. خروجی دوم در تراز ۱۷۲۵ به منظور دسترسی به محل انباشت سنگ کم عیار است و سومین خروجی در شمال غرب معدن در تراز ۱۷۰۵ متری می‌باشد و باطله از این طریق به دمپ باطله حمل می‌گردد. طول مسیر از کف معدن تا دمپ باطله ۱۰۷۱ متر است طول مسیر از کف معدن تا دمپ کم عیار و بسیار کم عیار ۱۳۱۳ متر است. طول مسیر از کف معدن تا سنگ‌شکن ۱۳۲۱ متر می‌باشد.

۳-۹- مراحل راه اندازی کارخانه

کارخانه فسفات اسفوردی جزو طرح‌های مهم و استراتژیک کشور محسوب می‌شد که قرارداد مهندسی، طراحی و احداث آن در سال ۱۳۶۹ با شرکت انگلیسی دنور منعقد گردید. عملیات اجرایی طرح از سال ۱۳۷۳ آغاز شد. خوراک این کارخانه سالانه حدود ۳۶۰ هزار تن سنگ معدن می‌باشد که طبق طرح پس از پری‌عیارسازی باید، با بازیابی ۷۰٪ دو محصول کنسانتره فسفات به مقدار سالانه ۱۰۳۰۰۰ تن و با عیار ۳۹ درصد P_2O_5 و کنسانتره اکسید آهن به مقدار ۱۳۰۰۰۰ تن و با عیار ۶۴ درصد آهن تولید نماید. کارخانه فسفات اسفوردی در زمینی به وسعت تقریبی ۸ هکتار و در فاصله ۵۰۰ متری محدوده معدن قرار دارد که حدود ۱/۷ هکتار آن شامل بخش‌های آزمایشگاه، تعمیرگاه، انبار سرپوشیده، انبار روباز، ساختمان‌های اداری، انبار محصولات، ساختمان تولید، سیلوی سنگ، سایر ساختمان‌های صنعتی و منبع بتونی ذخیره آب می‌باشد (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲).

۳-۱۰- واحدهای کارخانه

۳-۱۰-۱- واحد سنگ شکنی

مواد معدنی با روش معدنکاری انتخابی و به صورت روباز استخراج شده و در سیلوهای خوراک ۲۵ متر مکعبی تخلیه می‌شود. با استفاده از گریزلی‌هایی با ابعاد چشمه ۶۰ در ۶۰ سانتیمتر مربع که در ابتدای هر سیلو ۲۵ متر مکعبی قرار دارد، از ورود قطعاتی با ابعاد بزرگ‌تر از ۶۰۰ میلیمتر جلوگیری می‌شود. خوراک بخش سنگ‌شکنی با ابعاد ۶۰۰-۰ میلیمتر و با استفاده از یک خوراک دهنده لرزان با ابعاد ۷۵ میلیمتر از سیلو خارج می‌شود. بدین ترتیب ذراتی با ابعاد ریزتر از ۷۵ میلیمتر توسط خوراک‌دهنده-گریزلی سنگ شکن فکی جدا شده و در نتیجه خوراکی با ابعاد ۶۰۰-۷۵ میلیمتر وارد سنگ‌شکن فکی می‌شود. ابعاد خروجی سنگ‌شکن فکی در حالت بسته و باز ۱۷۵-۱۰۰ میلیمتر است. بخشی از خوراک با دانه‌بندی ریزتر از ۷۵ میلیمتر که توسط خوراک‌دهنده-گریزلی سنگ‌شکن فکی جدا شده است به همراه محصول سنگ‌شکن فکی با ابعاد ۱۷۵-۰ میلیمتر، وارد یک سرند دو طبقه می‌شود که حد جدایش آن ۲۲ میلیمتر است. ذرات بزرگتر از ۲۲ میلیمتر بعنوان خوراک وارد سنگ‌شکن مخروطی می‌شود. گلوگاه سنگ‌شکن مخروطی ۱۹ میلیمتر است، ولی محدوده دانه‌بندی محصول آن ۵۰-۰ میلیمتر می‌باشد.

محصول سنگ‌شکن مخروطی مجدداً به سرند دو طبقه با دو چشمه ۲۲ و ۴۴ میلیمتر منتقل می‌شود و بدین ترتیب محصول نهایی واحد سنگ‌شکنی با دانه‌بندی ریزتر از ۲۲ میلیمتر به سیلوی کارخانه تغلیظ ارسال می‌شود. در بخش سنگ‌شکنی یک دستگاه مغناطیسی جهت جدایش قطعات فلزی و همچنین دستگاه فلزیاب برای جلوگیری از ورود قطعات فلزی که توسط دستگاه مغناطیسی گرفته شده است، استفاده می‌شود. دستگاه فلزیاب به صورت خودکار و در صورت تشخیص ورود قطعات فلزی، خط سنگ‌شکنی را متوقف می‌نماید و اپراتور پس از برداشتن قطعه مورد نظر خط را دوباره راه‌اندازی می‌نماید. همچنین برای جلوگیری از تولید گرد و غبار از دستگاه‌های تهویه و مکش گردوغبار استفاده

شده است. این گرد و غبارها پس از جمع‌آوری به سد باطله منتقل می‌شوند. به منظور کنترل واحد سنگ‌شکنی و دانه بندی مواد تدابیر خاصی در نظر گرفته شده است، که در این بخش ارایه می‌شود.

الف- برای کنترل نرخ خوراک‌دهی به سنگ‌شکن فکی از سیستم تنظیم دستی خوراک دهنده استفاده می‌شود.

ب- کنترل سطح مواد انباشته شده در سیلوی قبل از سنگ‌شکن مخروطی با استفاده از سنسورهای الکترونیکی انجام می‌شود.

ج- کنترل کارکرد مطلوب سیستم سنگ‌شکنی به منظور حفظ ثبات کمی و کیفی تولید و جلوگیری از حالت "خفه شدن" یا "گیر کردن" خوراک در دهانه ورودی سنگ‌شکن‌ها انجام می‌شود.

سطح مواد در سیلو خوراک‌دهی سنگ‌شکن مخروطی توسط یک سنسور الکترونیکی اولتراسونیک کنترل می‌شود. در شرایطی که این سطح بالا رود خوراک‌دهنده سیلو متوقف خواهد شد. با گذشت زمان و کاهش سطح مواد به حد لازم، خوراک‌دهنده مجدداً فعال خواهد شد. در شرایطی که سطح مواد در سیلو از مقدار لازم بیشتر باشد، خوراک‌دهنده سنگ‌شکن مخروطی یا خروجی سیلو متوقف می‌شود و بالطبع توازن و تعادل مقدار مواد در سیلو حفظ می‌شود. همچنین برای جلوگیری از گیرکردن خوراک ورودی سنگ‌شکن مخروطی، نرخ خوراک‌دهنده ارتعاشی کنترل می‌شود. لازم به ذکر است که برای کنترل سطح و مقدار آب لازم در بخش سنگ‌شکنی که برای بهتر انجام شدن عملیات سنگ‌شکنی و دانه‌بندی مصرف می‌شود، از دو پمپ برای حوضچه‌های واحد سنگ‌شکنی استفاده شده است که با کنترل عملکرد این پمپ‌ها، فرآیند مورد نظر قابل کنترل خواهد بود. در جدول‌های ۳-۴ تا ۳-۷ مشخصات فنی و عملیاتی عملیاتی واحد سنگ‌شکنی ارایه شده است. همچنین در شکل‌های ۳-۱ و ۳-۲ نمایی از گریزلی و سرند دو طبقه واحد سنگ‌شکنی ارائه شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲).

۳-۱۰-۲- واحد آسیا

مواد معدنی پس از خردایش اولیه در واحد سنگشکنی با ابعاد ۲۲-۰ میلی‌متر توسط سه خوراک‌دهنده ارتعاشی و به صورت همزمان توسط نوار نقاله برای تامین خوراک آسیای میله‌ای، وارد بخش آسیا می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲):



شکل ۳-۱- نمایی از گریزلی ابتدای واحد سنگشکنی (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲)



شکل ۳-۲- سرند لرزان دو طبقه واحد سنگشکنی (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲)

جدول ۳-۳- مشخصات فنی و عملیاتی واحد سنگ شکنی (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲)

۶۰۰ mm	d ₁₀₀ خوراک	۳۰۰۰ h/y	ساعات کارکرد سالانه
۲۲ mm	d ₁₀₀ محصول نهایی واحد سنگ شکنی	۱۲۰ t/h	ظرفیت عملیاتی
۱۴ mm	d ₈₀ محصول نهایی واحد سنگ شکنی	٪۸۶	ضریب دسترسی
۲۷/۲	نسبت خردایش کلی	۱۴۰ t/h	ظرفیت اسمی
فکی-مخروطی	نوع مدار سنگ شکنی	٪۳	رطوبت

جدول ۳-۴- مشخصات فنی و عملیاتی سنگ شکن فکی (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲)

۱۱۰ KW	توان موتور	۶۰۰ mm	ابعاد گریزلی
۶۰۰ mm	d ₁₀₀ خوراک	۱۴۰ t/h	ظرفیت اسمی
۷۵ mm	ابعاد جدایش	۸۰-۱۴۰ t/h	ظرفیت عملیاتی
۴ m	طول	۷۵۰ mm	ابعاد دهانه
۱ m	عرض	۷۵-۱۰۰ mm	ابعاد گلوگاه
۶-۸	نسبت خردایش	۵۰۰۰ t	ظرفیت سیلوی ذخیره خوراک
۲۵ m ^۳	ظرفیت انبار دامپ‌هاپر	۳۶۰۰ t	ظرفیت سیلوی محصول

جدول ۳-۵- مشخصات فنی و عملیاتی سنگ شکن مخروطی (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲)

۱۳۲ KW	توان موتور	۱۹-۲۲ mm	d ₈₀ محصول
۴۰-۵۰ mm	d ₁₀₀ خوراک	۱۷۵-۲۲ mm	ابعاد خوراک ورودی
۴۴/۵	نسبت خردایش	۱۸۸ t/h	ظرفیت اسمی
۳۵ m ^۳	ظرفیت انبار دامپ‌هاپر	۱۷۵ mm	ابعاد دهانه
۳۶۰۰ t	ظرفیت سیلوی ذخیره خوراک	۱۹ mm	ابعاد گلوگاه در حالت بسته
استاندارد	نوع مخروط	۸۰-۱۴۰ t/h	ظرفیت عملیاتی

جدول ۳-۶- مشخصات فنی و عملیاتی سرند سنگ شکن مخروطی (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲)

سیم پیچ القایی	نوع فلزیاب	دو طبقه	نوع سرند
٪۱۷۵	بار در گردش	۳۲۸ t/h	ظرفیت اسمی
۲۲ mm	چشمه سرند دوم	۴۴ mm	چشمه سرند اول
۲ m	عرض سرند	۵ m	طول سرند

واحد آسیا توسط شرکت دنورسالا ساخته شده است. قبل از ورود به آسیا، آب به میزان لازم به مواد معدنی افزوده می‌گردد تا پالپ مورد نیاز تشکیل شود. آسیای میله‌ای برای کاهش ابعاد مواد از ۲۲-۰ میلی‌متر تا $d_{80} = 0.16$ میلی‌متر طراحی شده است. دانه‌بندی کلی محصول آسیای میله ای ۵-۰ میلی‌متر است. این محصول پس از ورود به حوضچه و تنظیم رقت پالپ به عنوان خوراک به هیدروسیکلون پمپ می‌شود. d_{98} سرریز این هیدروسیکلون حدود ۱۰۰ میکرون است. ته ریز هیدروسیکلون وارد آسیای گلوله‌ای می‌شود. محصول آسیای گلوله‌ای با ابعاد ۱-۰ میلی‌متر وارد حوضچه شده و در نهایت پس از ورود دوباره به هیدروسیکلون، ذرات ریزتر از ۱۰۰ میکرون به عنوان محصول نهایی بخش آسیا- هیدروسیکلون در نظر گرفته می‌شود. محصول آسیا پس از انتقال به حوضچه و رسیدن به درصد جامد ۱۸ درصد، توسط یک پمپ گریز از مرکز به سیکلون نرمه‌گیر ارسال می‌گردد. سرریز سیکلون نرمه‌گیر با ابعاد ۱۰-۰ میلی‌متر به سد باطله نرمه‌ها فرستاده می‌شود و آب آن پس از آبدگیری به کارخانه برگشت داده می‌شود. ته‌ریز این سیکلون با ابعاد ۱۰۰-۱۰ میکرون به مخزن آماده‌ساز فلو تاسیون آپاتیت ارسال می‌شود. از هر دو جریان ته‌ریز و سرریز هیدروسیکلون نرمه‌گیر، نمونه‌گیری انجام می‌شود. همچنین نرخ خوراک ورودی آسیای میله‌ای توسط یک ترازو که در بخشی از نوار نقاله قرار دارد، کنترل و اندازه‌گیری می‌شود. نحوه تنظیم و کنترل وزنی خوراک ورودی آسیای میله‌ای به صورت دستی است و اپراتور با تنظیم دستگاه روی یک مقدار دلخواه، سیستم را تنظیم می‌نماید.

بدیهی است این تنظیم با ایجاد تغییراتی در نرخ خوراک‌دهی انجام‌پذیر است. غلظت پالپ آسیای میله‌ای ۶۰۰ گرم بر لیتر است و مقدار درصد جامد و تناژ پالپ با توجه به مقادیر حاصل از کنترل درصد جامد و تناژ پالپ قابل تنظیم می‌باشد. چگالی پالپ نیز در مراحل مختلف آسیا تحت کنترل قرار می‌گیرد. در واقع مبنای کنترل ثبات کمی و کیفی پالپ، همین مقادیر حاصل از اندازه‌گیری چگالی‌ها می‌باشد. در

جدول‌های ۷-۳ تا ۱۰-۳ مشخصات فنی و عملیاتی واحد آسیا ارائه شده است. در شکل‌های ۳-۳ تا ۳-۵ نیز نمایی از آسیای میله‌ای، گلوله‌ای و هیدروسیکلون ارائه شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۸۲):

جدول ۷-۳- مشخصات فنی و عملیاتی واحد آسیا

ساعات کار عملیاتی	۷۲۰۰ h/y	ضریب دسترسی	٪۸۶
ظرفیت عملیاتی	۵۰ t/h	رطوبت خوراک	٪۳
ظرفیت اسمی	۵۷/۵ t/h	نوع مدار	میله‌ای-گلوله‌ای و هیدروسیکلون
d ₁₀₀ خوراک	۲۲-۱۹	d ₁₀₀ محصول نهایی	۱۰۰ μm
ظرفیت سیلو خوراک	۴۰۰۰ m ^۳	نسبت خردایش کلی	۱۹۰-۲۲۰
درصد جامد	۳۰-۲۰	تعداد شیفت	۳

جدول ۸-۳- مشخصات فنی و عملیاتی آسیای میله‌ای

دبی وزنی جامد خوراک	۵۷/۵ t/h	نوع تخلیه	تخلیه از سرریز
d ₈₀ خوراک	۱۴ mm	d ₈₀ محصول	۶۰۰ μm
توان موتور	۳۱۵ KW	طول آسیا	۴/۳ m
قطر آسیا	۲/۴ m	نوع لاینر	لاستیکی
نسبت خردایش	۲۳	درصد جامد	۶۰
نوع مدار	باز	درصد انباشتگی	۳۵-۴۰
اندیس کار باند	۷/۵ KWh/t	طول میله	۴/۲ m
قطر میله	۸۰ mm		

جدول ۹-۳- مشخصات فنی و عملیاتی آسیای گلوله‌ای

دبی وزنی جامد خوراک	۴۶ t/h	نوع تخلیه	تخلیه از سرریز
d ₈₀ خوراک	۰/۷۵ mm	d ₈₀ محصول	۰/۱ mm
توان موتور	۳۱۵ KW	طول آسیا	۳ m
قطر آسیا	۲/۴ m	نوع لاینر	لاستیکی
نسبت خردایش	۷/۵	نوع مدار	بسته با هیدروسیکلون
بار در گردش	٪۱۵۰	اندیس کار باند	۷/۵ KWh/t
درصد جامد	۶۰	قطر گلوله	۵۰ mm
درصد انباشتگی	۳۵-۴۰	D ₉₈ محصول	۱۵۰ μm

جدول ۳-۱۰- مشخصات فنی و عملیاتی هیدروسیکلون

۴۵	درصد جامد در خوراک	۱۷۲/۵ t/h	دبی وزنی جامد خوراک
۲۵	درصد جامد سرریز	۲۶۰/۱ m ³ /h	دبی حجمی پالپ خوراک
۷۵	درصد جامد ته ریز	۱۰۰ μm	حد جدایش عملیاتی
۰-۱۰۰ میکرون	دانه بندی سرریز	تکی	نوع سیکلون
۸۵ میکرون	D ₉₈ جدایش براساس طراحی	۸۰ μm	D ₅₀ جدایش براساس طراحی
		۰/۶bar	فشار



شکل ۳-۳- نمایی از هیدروسیکلون واحد آسیا



شکل ۳-۴- نمایی از انبار واحد آسیا



شکل ۴-۵- نمایی از دو آسیای میله ای و گلوله ای

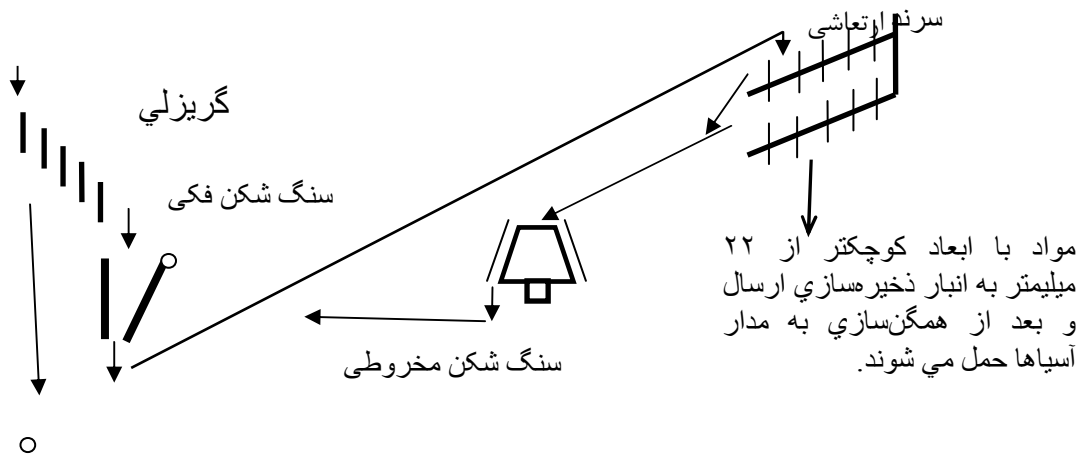
۳-۱۱- کارخانه فرآوری اسفوردی

چکیده‌ای از عملیات فرآوری کنتسانتره فسفات:

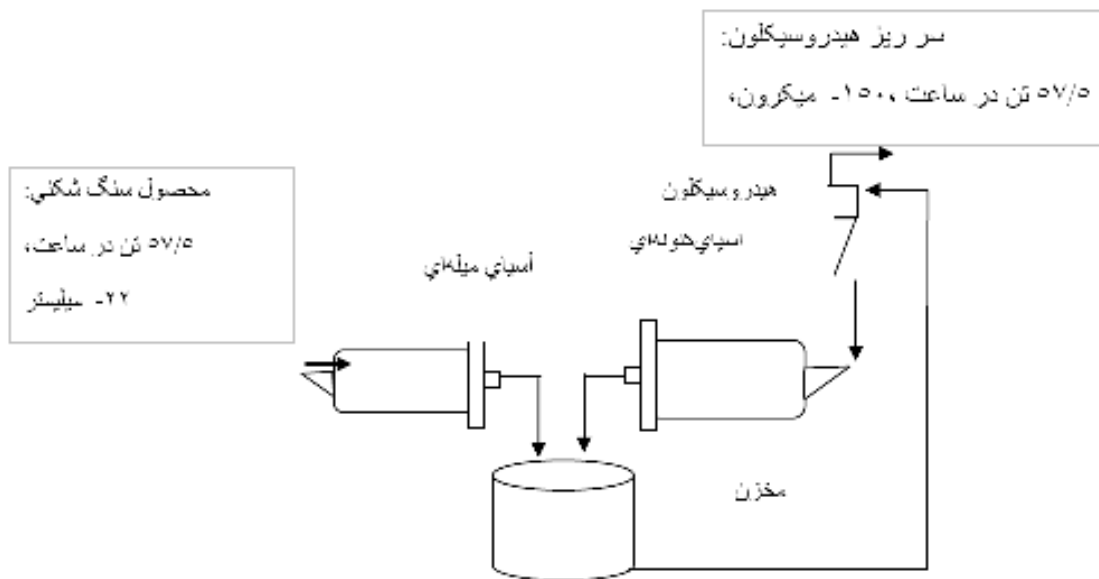
کل عملکرد کارخانه فرآوری اسفوردی را می‌توان در سه فلوشیت در شکل‌های ۳-۶ تا ۳-۸ خلاصه کرد

(آزاد، ۱۳۷۸):

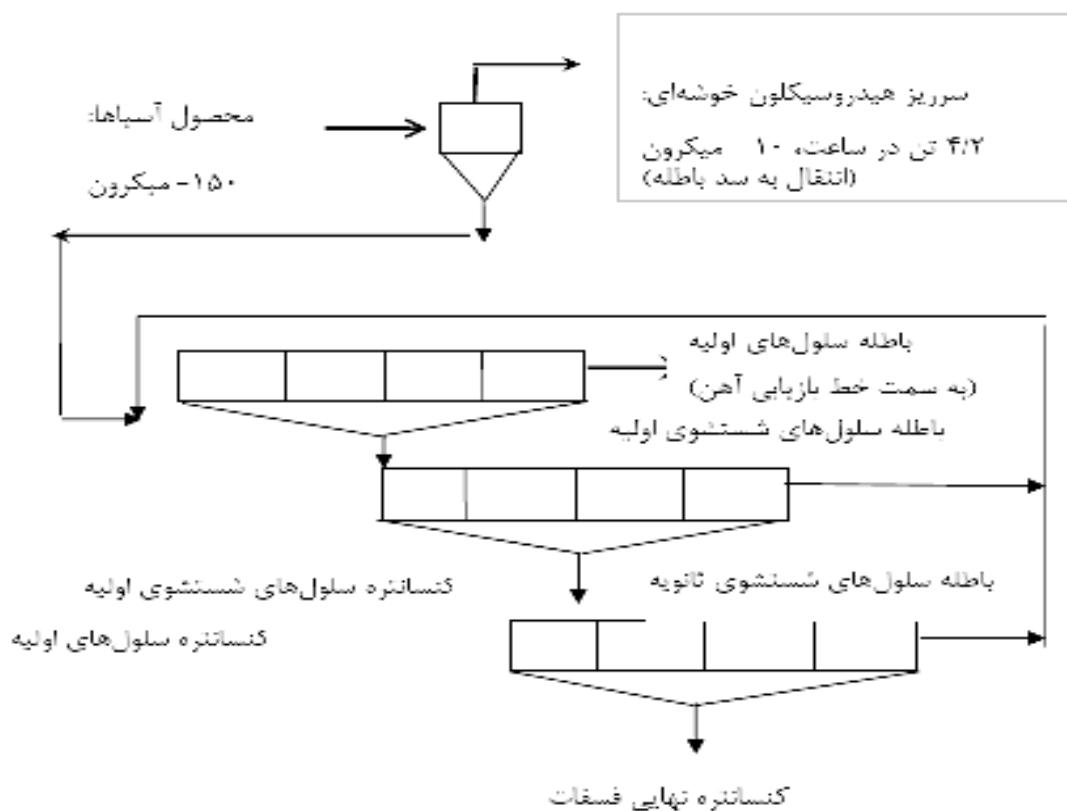
محل انباشت و همگن سازی
مواد معدنی آتش‌باری شده
از معدن



شکل ۴-۷- مدار سنگ‌شکنی مدار فرآوری معدن اسفوردی



شکل ۳-۷- مدار آسیاها مدار فرآوری معدن اسفوردی



شکل ۳-۸- مدار بازیابی آپاتیت کارخانه فرآوری اسفوردی

۳-۱۲- مروری بر پروژه‌های انجام شده در واحد فرآوری آپاتیت فسفات اسفوردی

با توجه به اینکه طبق عملکرد کارخانه فرآوری فسفات اسفوردی بخش اعظمی از مواد ورودی به فلوتاسیون آپاتیت به بخش رافر منتقل می‌شود، یعنی از حدود ۵۳ تن بر ساعت بار ورودی به فلوتاسیون آپاتیت در حدود ۳۶ تن بر ساعت به بخش باطله سلول‌های رافر منتقل می‌گردد، بررسی امکان فرآوری مجدد سلول‌های رافر انجام گرفت که برای منظور فوق از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی طرح L_{18} استفاده کردند که از نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که با نصب رمق‌گیر امکان تولید محصولی با مشخصات خوراک ورودی به فلوتاسیون (عیار P_2O_5 در حدود ۱۶ درصد و عیار آهن در حدود ۲۸ درصد) از باطله سلول‌های رافر با راندمانی در حدود ۵۰ تا ۵۵ درصد وجود دارد. بنابراین به این نتیجه رسیدند که احداث مرحله رمق‌گیری برای باطله‌ها براساس نتایج حاصله از تست‌های آزمایشگاهی، باید مورد توجه قرار بگیرد (غریبی، ۱۳۸۳).

پروژه‌ای تحت عنوان امکان جایگزینی سلول‌های ستونی به جای سلول‌های مکانیکی در حال اجراست که مراحل آزمایشگاهی آن به اتمام رسیده و برای بالا بردن درجه اطمینان از نتایج آزمایشگاهی و همچنین کاهش ریسک سرمایه‌گذاری برای سلول‌های ستونی به جای سلول‌های مکانیکی پیشنهاد گردید تا با هزینه کمی با استفاده از امکانات کارگاهی موجود در مجتمع اسفوردی اقدام به ساخت یک پایلوت ستونی در کارخانه کانه‌آرایی گردد و پس از انجام آزمایش با این دستگاه پایلوت و حصول اطمینان به نتایج قابل قبول، به سرمایه‌گذاری برای جایگزینی سلول‌های ستونی به جای سلول‌های مکانیکی اقدام کنند.

فصل چهارم

پارامترهای موثر بر کارآیی آسیاب جهت انتخاب بار خردکننده

۴-۱- مقدمه

به طور کلی رفتار آسیاهای گردان با نحوه حرکت بار در داخل آن، سینتیک خردشدن ذرات و نحوه انتقال پالپ در داخل آن بیان می‌گردد. جهت انتخاب بار خردکننده آسیاها، نیاز به دانستن تاثیر پارامترهای عملیاتی، پارامترهای مربوط به ماده معدنی و پارامترهای مربوط به بارخردکننده روی عملکرد آسیاها می‌باشد. در این بخش تاثیر برخی از این پارامترها را روی عملکرد آسیاها مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲- عوامل موثر بر آهنگ خردایش و کارایی آسیاها

۴-۲-۱- ابعاد واسطه^۱

انتخاب ابعاد گلوله ارتباط مستقیمی با سختی ماده معدنی و توزیع دانه‌بندی خوراک ورودی به آسیا دارد. معمولاً مواد معدنی نرم‌تر و ریزتر نسبت به مواد معدنی سخت‌تر به گلوله‌های کوچک‌تری احتیاج دارند. گلوله‌های بزرگ‌تر با توجه به چگالی بالاتر برای خردکردن مواد درشت به کار می‌روند، در عین حال باید به این نکته نیز توجه کرد که هر گلوله در هر سیکل فقط یک ضربه می‌تواند بر روی ذرات مواد معدنی اعمال کند (Napier-Munn, et al 1996). فراوانی خردایش نیز مهم است. در انتخاب گلوله باید بین ابعاد و تعداد آنها نسبت مطلوبی برقرار کرد چون در حجم معین، تعداد گلوله‌های بزرگ‌تر نسبت به گلوله‌های

^۱-Grinding media

کوچکتر کمتر است که در نتیجه تعادلی را بین انرژی خردایشی گلوله‌های بزرگ‌تر و تعداد ضربه ایجاد شده توسط آنها در هر دور گردش آسیا ایجاد می‌کند (بنیسی، ۱۳۸۷).

دامنه تغییرات ابعاد گلوله‌های موجود برای شارژ آسیاها از لحاظ تجاری ۱۰ تا ۱۵۰ میلیمتر است. تعداد، ابعاد و جرم هر اندازه گلوله استفاده شده به بارگیری آسیا و اینکه آیا گلوله‌ها برای بار اول برای شروع عملیات شارژ شده‌اند یا به عنوان جایگزین گلوله‌های ساییده شده بستگی دارد. در تعیین ابعاد گلوله‌ها برای شارژ در ابتدای فرایند آسیاکنی، ابعاد گلوله‌های اولیه به ماکزیمم ابعاد خوراک وابسته است. رابطه تجربی بین ابعاد گلوله و ابعاد خوراک به صورت معادله زیر می‌باشد (Coghill and Devaney, 1937):

$$d_B = 0.4K\sqrt{F} \quad (1-4)$$

که در آن:

F = ابعاد خوراک به cm

d_B = قطر گلوله به cm

K = ثابت تناسب

مقدار K برای مواد معدنی سخت ۳۴/۷ و برای مواد معدنی نرم ۲۹/۸ می‌باشد. مقدار K را برای چرت ۵۵ و برای دولومیت ۳۵ در نظر گرفت. این فاکتور تاثیر متغیرهای عملیاتی مهم را از لحاظ قابلیت آسیاشوندگی ترکیب می‌کند. این متغیرهای عملیاتی برای خوراک: اندیس کار، بزرگترین ابعاد ذرات و توزیع ابعاد، دانسیته دوغاب و جامدها می‌باشد و برای آسیا: قطر آسیا و سرعت چرخش آسیا می‌باشد (Lawrison, 1974). این متغیرها را برای تعیین بزرگترین ابعاد گلوله‌ای که باید در شروع عملیات آسیاکنی استفاده شوند بررسی کردند. بنابراین اگر d_B قطر گلوله به میلیمتر و W_i اندیس کار ماده معدنی برحسب kWh/t و F_{80} ابعاد خوراک (۸۰ درصد عبوری مواد) و ϕ_C سرعت نسبی آسیا باشد آنگاه بزرگترین ابعاد گلوله ممکن است توسط رابطه ۴-۲ ارزیابی شود:

$$d_B = 25.4 \left[\left\langle \frac{F_{80}}{k} \right\rangle^{0.5} \left\langle \frac{\rho_s W_i}{100 \phi_c (3.281D)^{0.5}} \right\rangle^{0.33} \right] \text{in} \quad \text{mm} \quad (2-43)$$

که در آن:

D : قطر داخلی آسیا بر حسب متر، ρ_s : وزن مخصوص ماده معدنی، W_i اندیس کار آسیای گلوله‌ای بر حسب kWh/t ، ϕ_c : سرعت نسبی آسیا و K ثابت می‌باشد.

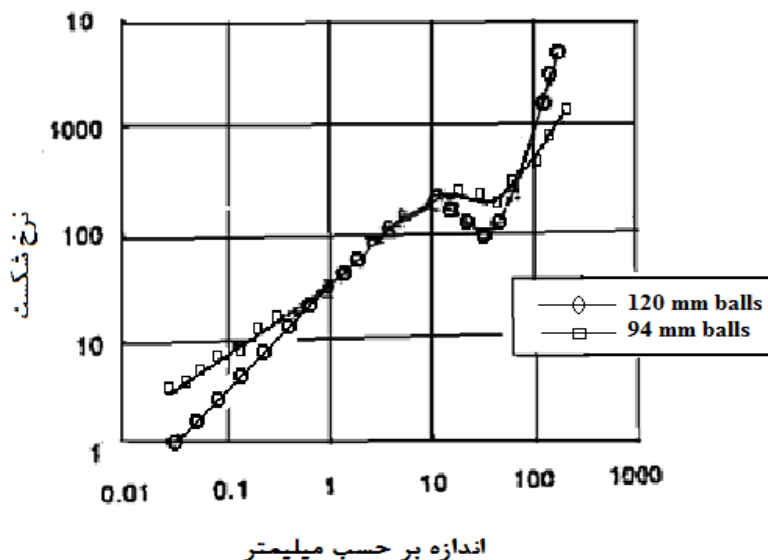
برای گلوله‌های فولادی و چدنی مقدار K به نوع آسیا و مدار خردایش بستگی دارد. مقدار K برای آسیاهای Allis chalmers در جدول ۴-۱ نشان داده شده است (Rowland and Kjos, 1980).

جدول ۴-۱: ضریب K برای آسیاهای گلوله‌ای

K	مدار	آسیاکنی تر / خشک	نوع آسیا
۳۵۰	باز	تر	سرریز
۳۵۰	بسته	تر	سرریز
۳۳۰	باز	تر	دیافراگم
۳۳۰	بسته	تر	دیافراگم
۳۳۵	باز	خشک	دیافراگم
۳۳۵	بسته	خشک	دیافراگم

در آسیاهای نیمه‌خودشکن ماده معدنی بخش عمده‌ای از واسطه خردایش را تشکیل می‌دهد، در عین حال گلوله‌ها در داخل آسیا به هنگام کار، مقدار واسطه سنگی برای خردایش یا همان سنگ‌های درشت را کاهش می‌دهند، در نتیجه به دلیل کمتر شدن ساییش و تولید ذرات ریزی که در اثر ضربه بوجود آمده است و تا اندازه‌ای خرد شده‌اند که بتوانند از شبکه آسیا خارج شوند، مقدار ذرات دانه‌ریز در محصول کاهش می‌یابد (گروه فرآوری بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۷۹).

اضافه کردن گلوله می‌تواند مقدار ذرات با ابعاد بحرانی (۳-۵ سانتیمتری) را نیز کاهش دهد، کم شدن این ذرات نیز می‌تواند نرخ ذرات دانه‌ریزی که در اثر ضربه یا ایجاد سایش با این ذرات بوجود می‌آیند را کاهش دهد. این مساله می‌تواند منجر به بزرگ‌تر شدن ابعاد محصول خروجی از آسیا شود. در شکل ۱-۴ می‌توان تاثیر ابعاد گلوله را بر نرخ شکست مشاهده کرد.



شکل ۱-۴- نمودار مقایسه نرخ شکست با اندازه ذرات برای دو اندازه گلوله

(Napier-Munn, et al, 1996).

نمودار بالا نشان می‌دهد که:

- استفاده از گلوله‌های کوچک‌تر در ابعاد ریزتر تاثیر مثبتی بر نرخ شکست دارد.
- در ابعاد میانی، ابعاد گلوله تاثیر چندانی بر روی نرخ شکست ندارد.
- در ابعاد درشت‌تر، نرخ خردایش با افزایش قطر گلوله رابطه مستقیم دارد.

در حالت کلی می‌توان گفت در صورت استفاده از گلوله‌هایی با ابعاد درشت‌تر مصرف گلوله بالا رفته و آهنگ خردایش در ذرات ریز کم می‌شود و در نتیجه راندمان خردایش کاهش خواهد یافت. بیش از اندازه کوچک بودن گلوله‌ها نیز باعث کاهش آهنگ خردایش شده و مشکل افزایش نرمه را در مدار بوجود

می‌آورد. بهترین راه موثر برای افزایش تعداد دفعات آسیاکردن و کاهش انرژی برای هر شکستن، کاهش اندازه واسطه است. جدول ۲-۴ ارتباط بین اندازه واسطه و تعداد گلوله‌ها (یا هر شکل دیگر از واسطه‌ها) را بر واحد جرم (یا حجم) نشان می‌دهد.

جدول ۲-۴- ارتباط بین اندازه واسطه و تعداد گلوله‌ها در هر واحد جرم (Komar Kawatra, 2006)

تعداد گلوله‌ها normalized	تعداد گلوله‌ها per ton	مساحت سطح M ² /ton	اندازه گلوله mm
۱	۶۶۳۱۵	۸۳/۳	۲۰
۲/۴	۱۵۷۱۹۰	۱۱۱/۱	۱۵
۸	۵۳۰۵۱۶	۱۶۶/۷	۱۰
۶۲	۴۱۴۴۱۳۲	۳۳۳/۳	۵
۲۹۶	۱۹۶۴۸۷۵۸	۵۵۵/۶	۳
۱۰۰۰	۶۶۳۱۴۵۶۰	۸۳۳/۳	۲

با توجه به اینکه تعداد رویدادهای منجر به شکست در آسیا با تعداد واسطه‌ها متناسب است، به دلیل نیاز به انرژی متمرکز روی تعداد ذرات ریز، واسطه بزرگتر از یک اندازه مطمئن ممکن است به طور کامل در تولید ذرات خیلی کوچک بی‌اثر شود. در یک آسیاکنی، استفاده از واسطه‌های کوچکتر کاهش قابل توجهی در انرژی ویژه مورد نیاز می‌دهند. انرژی ویژه مورد نیاز برای یک آسیاکنی با ابعاد محصول ۱۵ mm با استفاده از واسطه‌های با ابعاد ۱۰ mm نسبت به حالتی که از واسطه‌های با اندازه ۵ mm استفاده شود بیش از ۵۰٪ بزرگتر است. (Komar Kawatra, 2006).

۴-۲-۱-۱- توزیع ابعاد گلوله

در عمل در راه اندازی آسیا، به جای شارژ کردن یک گلوله تک اندازه، معمولاً یک دامنه تغییرات از ابعاد گلوله را شارژ می‌کنند. با چنین عملی فضای بین گلوله‌ها توسط گلوله‌های کوچکتر پر می‌شود که کارایی

آسیاکنی را بالا می‌برد. گزینه‌ها یا انتخاب‌های توزیع‌های ابعاد گلوله تا اندازه‌ای توسط آزمایش مشخص می‌شود. در حین عملیات آسیاکنی هدف نگه داشتن شارژ در یک وضعیت ثابت است به طوری که اضافه کردن تعداد و جرم گلوله‌های شارژ مجدد معادل نرخ تعداد گلوله‌های فرسوده شده و بیرون انداخته شده از آسیا بعلاوه نرخ کاهش جرم گلوله‌ها در اثر سایش و خردایش باشد. در این حالت شرایط آسیاکنی ثابت باقی می‌ماند (Gupta and Yan, 2006).

۴-۲-۱-۲- ابعاد گلوله‌های جایگزین

در حین عملیات آسیاکنی، گلوله‌های خردایش ساییده شده و ابعاد آنها کاهش می‌یابد. مقدار سایش به خصوصیات سنگ مانند سختی سطح، چگالی و ترکیب آن بستگی دارد. اثر سایش روی سطح گلوله‌ها با گذشت زمان افزایش می‌یابد. مدت زیادی است که سایش گلوله و تاثیر آن روی فرآیند آسیاکنی توسط افراد مختلف بررسی شده است و سیر مطالعات در راستای اندازه‌گیری تغییرات ابعاد (به عنوان مثال قطر) و اندازه‌گیری تغییرات گلوله‌ها بوده است (Gupta and Yan, 2006).

به عنوان یک قانون کلی، سایش روی گلوله‌ها به طور مستقیم متناسب با مساحت سطح است و از این رو نسبت عکس با قطر گلوله دارد. مقدار سایش روی گلوله‌های خردایش بیشتر به ساینده‌ی ذاتی سنگ و همچنین سایش متقابل بستگی دارد. فاکتورهای دیگری که روی ساینده‌ی واسطه خردایش تاثیر می‌گذارند سرعت گردش آسیا، قطر آسیا، وزن مخصوص ماده معدنی و اندیس کار ماده معدنی می‌باشند.

باند سایش واسطه‌های خردایش را بر حسب کاهش جرم در هر واحد از انرژی ورودی به آسیا اندازه‌گیری کرد. طبق نظر او، میانگین جرم کاهش‌های جرم برای آسیاهای خشک و تر از رابطه ۳-۴ به دست می‌آید:

$$\text{آسیای گلوله‌ای تر} \quad kg / KWh = .16(A_i - 0/015)^{-33} \quad (3-4)$$

$$\text{آسیای گلوله‌ای خشک} \quad kg / KWh = 0/023A_i^{.5}$$

که A_i اندیس سایش می‌باشد. رولاند^۱ و کیجوز^۲ معادله (۲-۳) را برای محاسبه ابعاد گلوله‌های جایگزین و همچنین برای شارژ اولیه پیشنهاد کردند.

آزارونی^۳ و دون^۴ اظهار کردند که ابعاد گلوله‌های ترکیبی می‌تواند به سادگی با معادله ۴-۴ بیان شود:

$$d_B = \frac{6.3(F_{80})^{0.29}(W_i)^{0.4}}{(vD)^{0.25}} \text{ in } \quad mm \quad (4-4)$$

D : قطر داخلی آسیا بر حسب متر، W_i اندیس کار آسیای گلوله‌ای بر حسب $F_{80}, kWh/t$ ابعاد خوراک (۸۰ درصد عبوری مواد) می‌باشد

معادله‌های (۲-۴) و (۴-۴) کمابیش نتایج مشابهی ارائه می‌دهند (Gupta and Yan, 2006).

۳-۲-۱-۳- طول میله

میله‌های با طول بیشتر از ۶ متر به ندرت راست و مستقیم‌اند. خمیدگی میله‌ها احتمال درهم شدن آنها را افزایش می‌دهد و باید از انتخاب این طول‌ها اجتناب کرد. ابعاد میله عملکردش عکس سرعت است، بدین معنی که با بیشتر شدن سرعت گردش آسیا، میله‌های کوچکتر با تعداد بیشتر ممکن است به اندازه میله‌های با ابعاد بزرگتر در تعداد کم موثر باشند. یک دلیل برای این مطلب این است که نیروی بیشتری جهت خرد کردن مواد معدنی وارد می‌شود و تعداد دفعات برخورد در هر بار گردش آسیا بیشتر می‌شود. میله‌ها باید ۱۵۲ میلیمتر کوچکتر از طول کاری درونی آسیا باشند. میله‌ها در حین عملیات تمایل به شکسته شدن دارند بنابراین کیفیت میله‌ها را باید به دقت انتخاب کرد. طبق نظر رولاند و کیجوز نسبت طول به قطر کاری آسیا لازم است بین ۱/۴ تا ۱/۶ باشد تا میله‌ها یک عمر قابل قبول و کمترین شکست را داشته باشد (Gupta and Yan, 2006).

۱- Rowland
۲- kjos
۳- Azzaroni
۴- Dunn

۳-۲-۱-۴- قطر میله

قطر میله باید به دقت انتخاب شود چون در حین فرآیند آسیا به روش‌های مختلفی ساییده می‌شود. به عنوان مثال در دو انتهای آسیا^۱ یعنی جایی که سایش ماکزیمم است میله‌ها ساییده می‌شوند تا اینکه به شکل تیز و نوک دار در می‌آیند. در وسط میله سایش طوری است که میله به حالت شکل بیضی در می‌آید و در نهایت در تخلیه نهایی^۲ مخروطی شکل می‌شوند. این حالت ناهموار و ناصاف در امتداد طول نیز وجود دارد تا اینکه میله به ابعاد کوچکتر شکسته می‌شود. همچنین انتخاب قطر میله وابسته به خصوصیات ماده معدنی مخصوصا اندیس کار، ابعاد خوراک (F_{80}) و دانسیته ماده معدنی می‌باشد. رولاند و کیجوز این متغیرها را بررسی کرده و رابطه ۴-۵ را برای محاسبه قطر میله ارائه دادند:

$$d_R = 25.4 \left[\frac{F_{80}^{0.75}}{160} \left\langle \frac{W_i \rho_s}{100 \phi_c (3.281D)^{0.5}} \right\rangle^{0.5} \right] mm \quad (۵-۴)$$

که در آن:

W_i اندیس کار آسیای میله‌ای بر حسب kWh/t

ρ_s : وزن مخصوص ماده معدنی

ϕ_c : درصدی از سرعت بحرانی

D: قطر آسیا بر حسب متر

d_R قطر اولیه میله بر حسب میلیمتر

به هر حال همانند آسیای گلوله‌ای، یک دامنه متغیر از میله با قطرهای مختلف در شارژ اولیه استفاده می‌شود.

^۱- Feed end

^۲- discharge end

۴-۲-۱-۵- قطر میله جایگزین

در طول عملیات آسیاکنی میله‌ای، گاهی اوقات میله‌ها باید جایگزین شوند چون ساییده شده و احتمال شکسته شدن دارند و نرخ جایگزینی باید مساوی با نرخ سایش میله‌ها باشد تا تعادل حفظ شود. باند تعادل ابعاد میله‌ها را به همان روش شارژ گلوله‌ها تعیین کرد (Gupta and Yan, 2006).

۳-۲-۲- نوع واسطه

نوع واسطه روی عملکرد آسیا تاثیر دارد. واسطه‌ها می‌توانند دارای ترکیبات آهنی یا غیر آهنی باشند. واسطه غیر آهنی شامل گلوله‌های عیار بالای دانه‌های سرامیک مولیتی و کم‌عیار ماسه سیلیکاتی است. ماده به‌دست آمده ناشی از خوردگی و فرسایش گلوله‌ها بر روی فرآیند تاثیر می‌گذارد و ممکن است نیاز به زدودن این ناخالصی‌ها از طریق جداکننده مغناطیسی، شیمیایی یا فرآیند حرارت‌دهی وجود داشته باشد. از این رو با توجه به نوع عملکرد آسیا انتخاب گلوله‌های مناسب و توجه به ناخالصی‌های آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جدول ۳-۴ بعضی از واسطه‌ها و همچنین نمونه‌هایی از هزینه مربوط به آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴- خصوصیات واسطه (Komar Kawatra, 2006)

نوع	اجزای اصلی	قیمت بر حسب Rial/kg	مصرف تقریبی kg/kw
واسطه فولادی	آهن/کروم	۱۵۵۰۱ - ۴۱۳۳	۰.۰۲ - ۰.۰۱
ماسه سایشی	کوارتز	۲۰۶۶	۰.۰۲
سرامیک مولیتی	کانولین	۸۲۶۷	۰.۰۲
گلوله‌های شیشه‌ای	کوارتز	۳۱۰۰۲	۰.۰۱
سرامیک آلومینیمی	اکسید آلومینیم	۱۵۵۰۱۰	۰.۰۰۵
زیرکونیم سیلیکاته	زیرکن	۱۸۶۰۱۲	۰.۰۰۵

در واسطه‌های آهنی در آسیابکنی خیلی ریز، آهن موجود در محلول از طریق واسطه می‌تواند سطح کانی‌های سولفیدی را با اکسید آهن و در نتیجه تاثیر عیار و ویژگی‌های بازیافت فلوتاسیون را آلوده کند. همچنین آهن موجود در محلول اکسیژن مصرف خواهد کرد و فرآیندهای پایین دست را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تحت این شرایط واسطه غیرآهنی ممکن است ترجیح داده شود (Komar Kawatra, 2006).

۴-۲-۳- سختی واسطه‌ها

سختی واسطه‌ها یک جنبه از آن است که غالباً در نظر گرفته نمی‌شود. در واسطه‌های فولادی، سختی تاثیری روی عملکرد آسیا ندارد، بلکه فقط روی مصرف واسطه موثر است. لذا انجام آزمایش‌های سختی سنجی واسطه خردایش ضروری می‌باشد. این پارامتر در جایی که واسطه غیرآهنی استفاده شده است لحاظ نمی‌شود. به طور کلی سایش گلوله به سه صورت می‌باشد:

الف) سایش سائیدگی در اثر اختلاف سختی بار خردکننده و ماده معدنی که البته درصد جامد پالپ هم در این نوع سایش تاثیر دارد به وجود می‌آید.

ب) سائیدگی فرسایشی که ترکیبی از تقابل ماده معدنی و گلوله‌ها در پالپ می‌باشد در اثر ترکیبی از اثرات گالوانیک و شیمیایی به وجود می‌آید.

ج) سایش در اثر ضربه، تغییر شکل، ترک خوردگی، پوسته پوسته شدن و صدمات ناشی از خستگی کوتاه مدت که به تنهایی یا به صورت ترکیبی ظاهر می‌شوند.

۴-۲-۴- چگالی واسطه

وجود سازندگان مختلف و در عین حال بکارگیری روش‌های مختلف برای ساخت گلوله، باعث تغییر در دانسیته گلوله‌ها می‌شود. برای آسیا کردن مواد معدنی نرم و شکننده یک واسطه خردایش با چگالی کم

می‌تواند استفاده شود در صورتی که برای مواد معدنی سخت مانند طلا و تاقونیت (سنگ چخماق دارای آهن کم)، گلوله‌های فولادی سخت نیاز می‌باشد. دانسیته بیشتر و اختلاف سختی بین واسطه خردایش و سنگ بیشترین تاثیر را روی عملیات آسیاکنی دارند. از این رو برای یک نوع ماده معدنی خاص استفاده از یک واسطه خردایش با دانسیته مناسب ضروری می‌باشد.

رز^۱ و سولیوان^۲ پیشنهاد کردند که چگالی حجمی گلوله‌هایی که به عنوان واسطه خردایش استفاده می‌شوند می‌تواند توسط رابطه ۴-۶ استفاده شوند:

$$\rho_B = (0.016\rho_m^2 + 20\rho_m)^{0.5} - 0.4\rho_m \quad (۴-۶)$$

که در آن:

ρ_M : چگالی حجمی ماده معدنی

گلوله‌های فولادی و چدنی معمولاً در مواد معدنی صنعتی نسبتاً سخت استفاده می‌شوند. برای مواد معدنی نرم قلوه سنگ‌ها می‌توانند استفاده شوند و برای مواد معدنی شکننده یا ترد هیچ واسطه خردایشی ممکن است نیاز نباشد مانند آسیاکنی خودشکن. وزن مخصوص گلوله‌های چدنی بین ۴/۳ تا ۴/۸ تن بر متر مکعب و وزن مخصوص گلوله‌های فولادی بین ۴/۶ تا ۴/۸ تن بر متر مکعب می‌باشند. برای دوام و سایش کمتر، گلوله‌های تنگستن کربید (0/94 WC + 0/6 Co) برای هر نوع ماده معدنی سخت و ساینده استفاده می‌شود. برای مواد معدنی نرم‌تر گلوله‌های سرامیکی ساخته شده از 90% Al_2O_3 ترجیح داده می‌شود (Rose and Sullivan, 1961).

۱- Rose

۲- Sullivan

۳-۲-۵- سایش گلوله

در حین عملیات آسیاکنی، کاهش توان مورد نیاز اشاره به این دارد که سایش گلوله روی کیفیت محصول تاثیر می‌گذارد. پدیده سایش پیچیده می‌باشد بطوری که نه تنها توسط سرعت آسیا، قطر آسیا، ماده معدنی و اندیس کار تاثیرپذیر است بلکه همچنین از نوع جداره داخلی آسیا، سختی گلوله‌ها، نیروی عمل

کننده درون آسیاها و pH دوغاب وقتی که آسیاکنی تر باشد تاثیر می‌پذیرد (Austin, et al, 1984).

مقدار سایش می‌تواند ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ گرم در هر تن باشد. یک دید کلی این است که برای هر یک درصد تغییرات در سرعت آسیا تغییرات مصرف گلوله ۲٪ می‌باشد. در طول فرایند آسیاکنی، همچنان که ابعاد ذرات کم می‌شود، مساحت سطح ویژه ذرات افزایش می‌یابد و وقتی جرم گلوله کم شود قطر گلوله کم می‌شود.

با استفاده از این مفهوم آنها تغییر در کل توزیع ابعاد گلوله‌های شارژ شده در سیستم آسیاکنی را تعیین کردند. طبق نظر آئوستین تغییر درصد جرم تجمعی گلوله‌ها در شارژ اولیه در اثر سایش از رابطه ۴-۷ به دست می‌آید:

$$\frac{dM_r}{d_r} = m_T K 4\pi\rho_b \frac{[1-n(r)]r^5}{f(r)} \quad (7-4)$$

می‌باشد که در آن:

M_r درصد جرم تجمعی گلوله‌های با ابعاد r در شارژ

m_T نرخ جرم جایگزین گلوله‌ها در هر واحد جرم گلوله‌ها

$n(r)$ تعداد توزیع ابعاد تجمعی گلوله به شعاع r

$f(r)$ نرخ سایش گلوله، کسری از شعاع گلوله

ρ_b : وزن مخصوص گلوله

۴-۲-۶- ابعاد خوراک ورودی

در آسیاهای خود شکن و نیمه خودشکن تاثیر اندازه خوراک بر کارآیی آسیا به دلیل اینکه واسطه خردایش بطور کامل یا بخشی از آن از خود خوراک تامین می‌شود، زیاد است. هر تغییری در توزیع دانه‌بندی خوراک در توزیع دانه‌بندی واسطه خردایش نیز تاثیر گذاشته که آن هم به نوبه خود بر خصوصیات خردایشی آسیا تاثیر می‌گذارد.

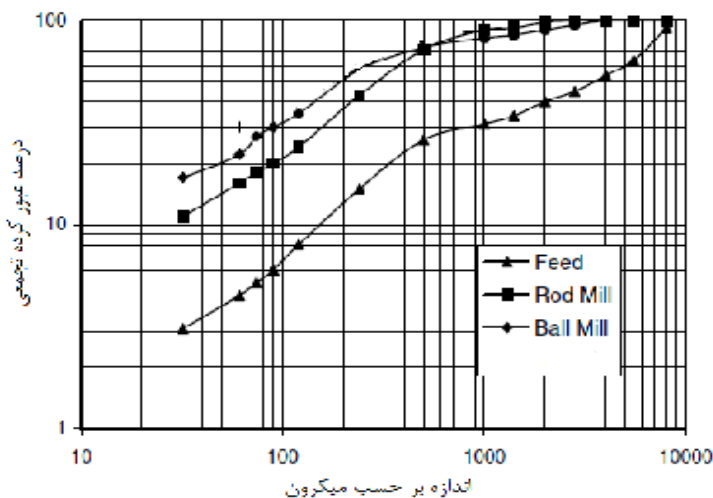
بطور ایده‌آل توزیع دانه‌بندی خوراک ورودی به یک آسیای خودشکن باید به اندازه کافی ذرات دانه‌درشت به همراه داشته باشد تا بتواند انرژی جنبشی لازم جهت خردکردن ذرات ریزتر را فراهم نماید. در عین حال باید تعداد ذرات درشت به حدی باشد تا فراوانی نسبتا بالایی از شکست ذرات در اثر برخورد فراهم شود. به طور واضح تعداد ذرات درشت سنگ و توزیع دانه‌بندی خوراک ورودی به آسیا دارای رابطه بوده و باید تعادلی در بین این دو عامل وجود داشته باشد تا بتوان به حالت بهینه رسید. هر چند که بطور عمومی دیده شده که کارآیی آسیاهای خودشکن با خوراک درشت‌تر بهتر می‌باشد.

در آسیاهای نیمه‌خودشکن، مخصوصا آن‌هایی که دارای گلوله زیاد می‌باشند، عکس مطلب بالا دیده می‌شود. این مسئله را می‌توان با نقش تعیین کننده گلوله‌های نسبتا بزرگ در شکل دادن طبیعت واسطه خردایش توجیه کرد. با افزایش حجم گلوله، سهم واسطه سنگی در خردایش کاهش می‌یابد، در نتیجه خوراک درشت‌تر نقش کمتری در فراهم کردن واسطه خردایش خواهد داشت و در عوض بار سنگی‌ای ایجاد خواهد کرد که باید خرد شوند. با کاهش اندازه خوراک در چنین شرایطی بار نرم‌کنی کمتر خواهد شد.

حالت اخیر در افزایش ظرفیت آسیاهای گلوله‌ای با کاهش در ابعاد خوراک دیده می‌شود. اگر آسیای گلوله‌ای گلوگاه مدار آسیای نیمه‌خودشکن باشد، انتظار می‌رود با افزایش مقدار گلوله در آسیای نیمه‌خودشکن و تغییر F_{80} خوراک آسیای گلوله‌ای، کارآیی آن تغییر نماید.

از این نتایج روشن است که مقدار ویژه‌ای برای گلوله اضافه شده وجود دارد که در آن مقدار، تغییرات ابعاد خوراک تاثیر ناچیزی بر کارایی نرم‌کنی می‌گذارد. در این حالت آسیا نه بصورت تمام خودشکن و نه بصورت نیمه‌خودشکن کاملاً پر شده، عمل می‌نماید. اطلاعات عملیاتی آسیا نشان می‌دهد که این نقطه در زمان اضافه شدن ۵٪ گلوله به آسیا اتفاق می‌افتد. در برخی کارخانه‌ها نیز مشاهده شده است که با وجود کاملاً ثابت ماندن F_{80} ، توزیع دانه‌بندی بطور محسوسی تغییر می‌نماید. (Napier-Munn, et al, 1996).

یکی از راه‌های کاهش نوسان در خصوصیات خوراک، مخلوط سازی گونه‌های مختلف سنگ معدن می‌باشد. افزایش در ابعاد خوراک یا سختی منجر به تولید محصول درشت‌تر می‌شود مگر اینکه خوراک ورودی کاهش داده شود. محصول درشت‌تر منجر به افزایش بار در گردش شده و دبی ورودی به سیکلون را بیشتر می‌کند. این امر به نوبه خود بر حد جدایش سیکلون تاثیر می‌گذارد. به همین دلیل کنترل بار در گردش در کنترل ابعاد ذرات دارای اهمیت است. در شکل ۴-۲ اندازه ذرات محصول برای آسیای گلوله‌ای و میله‌ای نشان داده شده است. خوراک آسیای میله‌ای با تنظیم سرعت نوار نقاله خوراک دهنده تنظیم می‌شود. آب اضافه شده به آسیا با توجه به نقطه مطلوب نرخ خوراک برای حفظ دانسیته پالپ در یک مقدار معین، تنظیم می‌گردد (بنیسی، ۱۳۸۷).



شکل ۴-۲ اندازه ذرات محصول برای آسیای گلوله‌ای و میله‌ای (Gupta and Yan, 2006)

۴-۲-۶-۱- کنترل خرج ویژه

به طور خلاصه می‌توان گفت با بیشتر شدن خرج ویژه خوراک ریزتر می‌شود، در عین حال خوراک خروجی از سنگ‌شکن نیز ریزتر می‌شود. باید توجه کرد که اضافه کردن مقدار خرج ویژه همیشه به نفع ما نیست و ممکن است باعث افزایش مقدار ذرات با ابعاد بحرانی شود. به عنوان مثال طی بررسی‌های به عمل آمده در معدن آلومبرا بر روی تاثیر مقدار خرج ویژه رابطه‌ای معکوس بین این دو عامل بدست آمد. در واقع در این معدن با کمتر شدن مقدار خرج ویژه، تناژ ورودی به آسیا افزایش می‌یافت. در عین حال سود مضاعفی از بابت صرفه‌جویی در هزینه‌های آتشباری نیز عاید این معدن شد (Napier-Munn, et al 1996).

۴-۲-۶-۲- کنترل عملیات سنگ‌شکنی

کار کردن سنگ‌شکن با ظرفیت کامل باعث می‌شود که اولاً انرژی ایجاد شده در سنگ‌شکن به طور کامل به سنگ‌ها منتقل شود و در نتیجه ابعاد محصول خروجی ریز شود. در این حالت می‌توان علاوه بر جلوگیری از تولید ذرات با ابعاد بحرانی سعی در حذف آنها نمود. ثانیاً این عمل باعث افزایش زمان ماند سنگ‌شکن می‌شود (Erickson, 1989).

۴-۲-۷- سختی ماده معدنی

این مشکل همیشه وجود داشته است که ماده معدنی سخت‌تر خوراکی با ابعاد درشت‌تر را ایجاد می‌نماید. از این رو جدا کردن تاثیر این دو پارامتر مشکل است (Napier-Munn, et al, 1996). در آسیاهای گلوله‌ای مواد معدنی نرم باعث افزایش ظرفیت می‌گردند این بدان دلیل است که ذرات درشت‌تر و بخصوص ذرات با ابعاد بحرانی به راحتی توسط گلوله‌ها خرد می‌گردند. چنانچه ماده معدنی سخت باشد ضمن بیشتر شدن زمان آسیاکنی، محصول دانه درشت‌تر خواهد شد. برای رسیدن به محصول

دانه ریزتر می‌توان زمان آسیاکنی را افزایش داد یا این که از گلوله‌های بزرگ‌تر استفاده کرد که در هر حال نرخ سایش و مصرف گلوله افزایش می‌یابد.

در مورد آسیاهای نیمه‌خودشکن چنانچه ماده معدنی نرم باشد محصول خردایش دارای ابعاد بزرگتری می‌باشد و این، به دلیل آن است که خردایش ذرات به راحتی صورت گرفته و ذرات درشت‌تر زمان کمتری را در داخل آسیا سپری کرده و در نتیجه به آهستگی فقط توسط سایش و لب‌پریدگی تحت خردایش قرار می‌گیرند و ذرات خیلی ریز تولید می‌کنند.

در آسیاهای خودشکن مواد معدنی نرم‌تر نسبت به مواد معدنی سخت‌تر به سهولت خردشده و بنابراین از توانایی کمتری در جهت تولید مقادیر کافی از واسطه خردایش بر خوردار می‌باشند. اگر ماده معدنی بیش از حد سخت باشد، حتی با وجود مقادیر کافی از واسطه خردایش سنگی، آسیا توانایی انرژی کافی برای عمل کردن بر روی ماده معدنی و خرد کردن ذرات با ابعاد بحرانی را دارا نمی‌باشد و در نتیجه ظرفیت محدود می‌گردد (Napier-Munn, et al, 1996).

۴-۲-۸- دانسیته ماده معدنی

از آن جایی که اساس طبقه‌بندی کننده‌ها بر تفاوت نرخ ته نشینی مواد بنا نهاده شده در نتیجه علاوه بر اندازه ذرات، دانسیته آن‌ها نیز در جدایش موثر می‌باشند. به همین دلیل ذرات ریز با دانسیته بالا ممکن است با ذرات با ابعاد بزرگ و دانسیته کم به یک جا منتقل شوند. معمولاً زمانی که ماده با ارزش با دانسیته بالا خرد می‌شود، به دلیل برگشت این ذرات به آسیا امکان بیش از حد خرد شدن این ذرات و تولید نرمه وجود دارد. در چنین شرایطی می‌توان به دلیل خردایش انتخابی ذرات با ارزش، اندازه خردایش را درشت‌تر تعیین کرد و ذرات درشت گانگ را به سرریز فرستاد. در صورتی که روش جدایش فلوتاسیون باشد، این روش مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی در صورتی که از روش ثقلی برای جدایش استفاده

شود، به دلیل وسیع تر شدن دامنه ابعاد ذرات مورد جدایش مشکلاتی ایجاد می شود. برای رفع این مشکل در این نوع مدارها از سرنده بر ای طبقه بندی استفاده می شود (بنیسی، ۱۳۸۷).

۴-۲-۹- سرعت آسیا

با افزایش سرعت آسیا مقدار بالابری مواد به بیشترین حد خود می رسد. پس از این نقطه، مقدار فوق الذکر کاهش یافته تا نقطه ای که آسیا به حالت سانتریفیوژ عمل می نماید که در نتیجه مقدار بالابری مواد به صفر می رسد. حالت سانتریفیوژ زمانی رخ می دهد که سرعت آسیا به سرعت بحرانی برسد. معمولاً با افزایش سرعت آسیا، میزان ساییدگی واسطه خردایش و آسترها نیز افزایش می یابد (Nordberg, 1998). فاصله عمودی بین پاشنه و شانه نسبت به شعاع آسیا که به بالاروی معروف است، به عنوان شاخص تاثیر سرعت بکار گرفته می شود. بالاترین بالاروی بار در یک سرعت معین بسته به پرشدگی، نوع و ارتفاع بالابر^۱ رخ می دهد. هر چه پرشدگی کمتر باشد نقطه بالاروی بیشینه در سرعت های بیشتر اتفاق می افتد که عمدتاً به دلیل کاهش گستردگی بار می باشد.

باید به این نکته توجه داشت که گرچه در حداکثر میزان بالاروی، بالاترین انرژی ضربه ای در اختیار خواهد بود ولی در سرعت های بیش از این مقدار و کمتر از سرعت بحرانی، فراوانی ضربه بیشتر می شود. (بنیسی، ۱۳۸۷). در صورت کاهش حرکت آبشاری مواد در داخل آسیا که به طور غیر قابل اجتنابی در ارتباط با از بین رفتن واسطه خردایش سنگی است، شرایط مناسب برای تولید ذرات ریز فراهم نمی شود و در نتیجه محصول درشت تری بدست می آید (Napier-Munn, et al, 1996).

معمولاً سرعت گردش آسیا به نحوی انتخاب می شود ضمن این که کمتر از سرعت بحرانی باشد سرعت نسبی بار خردکننده بر روی بار ورودی به حداکثر مقدار خود برسد. در عمل، سرعت عادی آسیا بین ۶۰ تا

۹۰ درصد سرعت بحرانی می‌باشد که البته این سرعت توسط شرایط عملیاتی و اقتصادی دیکته می‌شود. با بزرگ تر شدن قطر آسیا جهت کاهش سایش آستر به دلیل افزایش سرعت خطی، سرعت عملیاتی کمتری انتخاب می‌شود. سرعت آسیا بر حسب درصدی از سرعت بحرانی (N_c) از رابطه ۴-۹ بیان می‌شود:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{(D-d)}} \quad (۴-۸)$$

که در آن d قطر گلوله یا میله بر حسب متر و D قطر آسیا بر حسب متر می‌باشند.

۴-۲-۱۰- دبی بار ورودی

با افزایش تناژ خوراک جدید، تناژ بار در گردش اضافه می‌شود. در این حالت اندازه ذرات ته‌ریز طبقه‌بندی کننده درشت‌تر می‌گردد. باید توجه داشت که خوراک ترکیبی آسیا (خوراک جدید + بار در گردش) به دلیل افزایش میزان بار در گردش ریزتر می‌شود. در این شرایط، خروجی آسیا درشت‌تر شده و تفاوت اندازه بین ذرات خوراک و خروجی نسبت به قبل کمتر می‌شود (بنیسی، ۱۳۸۷).

۴-۲-۱۱- اهمیت اندیس کار و اندیس سایش

نتایج آزمایش اندیس کار باند، انرژی لازم برای آسیا کردن را مشخص می‌کند. اندیس کار باند برای هر مرحله خردایش یکسان نیست و لازم است که سه اندیس کار سنگ شکنی، آسیاکنی میله‌ای و گلوله‌ای تعیین شود. اندیس کار باند علاوه بر گونه‌های مختلف بر روی نمونه ترکیبی از گونه‌ها نیز انجام می‌شود، چون متوسط‌گیری نتایج دقیقی بدست نمی‌دهد آزمایش اندیس سایش نشان دهنده سایش فلز در عملیات سنگ‌شکنی و آسیاکنی است. این آزمایش به دلیل هزینه بالای خردایش، اولین نشانه‌های مفید بودن آسیاکنی خودشکنی را معلوم می‌کند (بنیسی، ۱۳۸۷). با مطالعه و بررسی اندیس ساینده می‌توان

میزان ساینده‌گی (چه بدنه دستگاہ و پوشش داخلی و چه بار خردکننده مانند میله و گلوله را در مراحل خردایش مورد ارزیابی قرار داد و به دلیل ساینده‌گی فولاد و هزینه زیاد آن امکان بکارگیری آسیای خودشکنی را بررسی کرد (رضایی، ۱۳۷۶).

۴-۲-۱۲- درصد مواد جامد

در آسیای با تخلیه محوری، تغییر درصد جامد، تغییری را در ظرفیت و توان مصرفی آسیا ایجاد نمی‌کند. در تخلیه شبکه‌ای نیز با کم شدن درصد جامد، محصول دانه درشت‌تر شده و ظرفیت افزایش می‌یابد. این فرآیند به دلیل انتقال سریع‌تر مواد در آسیا و ایجاد محصولی با ابعادی نزدیک به ابعاد سوراخ‌های شبکه تخلیه می‌باشد. انتخاب درصد مواد جامد باید بر اساس دلایل اقتصادی و متالورژیکی صورت گیرد و مقدار بهینه آن بسته به نوع ماده معدنی و ابعاد محصول مورد نیاز، فرق می‌کند (McDermott, et al, 1993). با افزایش درصد جامد پالپ، ویسکوزیته آن نیز به شدت افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار گلوله بیشتری جهت خردایش بهینه نیاز می‌باشد (Moys, 1989).

۴-۲-۱۳- توان مصرفی آسیا

معمولاً به منظور تعیین توان مصرفی در شرایط مختلف عملیاتی، از یک الگوریتم و یا برنامه رایانه‌ای استفاده می‌شود. تغییر شرایط عملیاتی شامل تغییر پارامترهایی نظیر سرعت آسیا، حجم کل بار، حجم بار گلوله‌ای، وزن مخصوص سنگ، دانسیته پالپ و غیره می‌باشد. به‌علاوه توان خالص مصرفی توسط آسیا را می‌توان از روی توان‌سنج قرائت کرد. در هر حال این وسیله به تنهایی، به جز توان مصرفی چیز دیگری از شرایط عملیاتی آسیا را نمی‌تواند نشان دهد (Erickson, 1989).

معمولاً روابط ارائه شده توان مصرفی را برحسب نحوه حرکت بار در داخل آسیا بیان می‌نمایند. ولی در عمل باید توان مصرفی اضافی‌ای را در نظر گرفت تا پیش‌بینی انجام‌شده، افت‌های مکانیکی، الکتریکی، و سایر انرژی‌ها را در بر بگیرد. اضافه کردن این مقدار توان به توان محاسبه شده از نحوه حرکت بار در داخل آسیا، کل توان مصرفی یا توان مصرفی ناخالص نامیده می‌شود (Napier-Munn, et al, 1996). حداقل اطلاعاتی که از یک آسیا برای پیش‌بینی مقدار توان مصرفی آن باید در دسترس باشد عبارتند از:

- ۱- قطر آسیا ۲- طول آسیا ۳- سرعت دوران آسیا ۴- درصد گلوله ۵- پرشدگی کلی آسیا ۶- مکانیزم تخلیه مواد از آسیا.

۴-۲-۱۴- پرشدگی آسیا

پرشدگی آسیا یا حجم بار داخل آسیا تاثیر چشمگیری بر روی توان مصرفی دارد. در واقع تغییر در مقدار پرشدگی آسیا، مقدار جرمی که باید توسط آسیا حرکت داده شود را تغییر می‌دهد. در عین حال موقعیت شانه و پاشنه بار نیز با تغییر آن تغییر می‌کند.

یکی از پارامترهای مهم در بکارگیری نرم‌کنی آسیاها این است که آسیا در بهینه‌ترین سطح بار و بار گلوله‌ای جهت ایجاد حداکثر ظرفیت (t/h)، حداقل انرژی ویژه مصرفی (kwh/t) یا کمترین هزینه عملیاتی (\$/t) بکار گرفته شود. این سطح بار و بار گلوله‌ای بهینه به طور معمول در آزمایش‌های نیمه صنعتی تعیین و در هنگام کار صنعتی، تکمیل می‌گردند. به طور کلی سطح کل بار و بار گلوله‌ای به نوع ماده معدنی بستگی داشته و با تغییر خصوصیات خردایشی مواد، به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌نماید. در آسیاهای گلوله‌ای به دلیل این که بار عمدتاً از گلوله‌های فلزی تشکیل شده است مقدار پرشدگی تقریباً به مرور زمان ثابت باقی می‌ماند. کاربران معمولاً برنامه شارژ گلوله را بر اساس نقطه مطلوب برای توان انجام می‌دهند. این کار باعث می‌شود که یک روند پایداری برای توان مصرفی آسیاهای گلوله‌ای وجود داشته

باشد. زمانی که اندازه‌گیری مستقیم امکان‌پذیر نباشد بر اساس اطلاعات قبلی موجود و سوابق تاریخی، می‌توان مقدار بار داخل آسیاهای گلوله‌ای را حدس زد (Erickson, 1989).

۴-۲-۱۵- میزان pH

برخی از اسیدها یا محیط‌های قلیایی قوی می‌توانند با برخی از گلوله‌های فلزی واکنش نشان دهند از این رو این عامل نقش مهمی را در انتخاب گلوله‌های آسیا بازی می‌کنند.

۴-۲-۱۶- حجم بار گلوله‌ای

در هنگام بکارگیری آسیا چند پارامتر هستند که شرایط واقعی عملیاتی آسیا را نشان می‌دهند. این پارامترهای عملیاتی عبارتند از:

- توان مصرفی (kW یا kWh/t) یا (Hp یا Hph/t)

- حجم کل بار (درصدی از حجم آسیا)

- وزن کل آسیا (kg) یا (lb) شامل آسیا و محتوای آن

مقدار بار گلوله‌ای (درصدی از کل حجم آسیا) فقط بر اساس اطلاعات بالا قابل تعیین می‌باشد کل حجم بار شامل مقدار حجم داخلی آسیا است که توسط واسطه سنگی (در آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن)، گلوله‌ها، سنگ‌های ریز و آب پر شده است که محاسبه آن روش و فرمول‌هایی دارد. وزن کل آسیا شامل وزن قسمت گردان آسیا، پوسته آسیا، دو انتهای آسیا، کرانویل و آسترهای آن و وزن کلیه مواد محتوی آن نظیر واسطه سنگی، گلوله‌ها، سنگ‌های دانه ریز و آب می‌باشد.

یکی از روش‌های تعیین میزان واقعی بار گلوله‌ای، خارج ساختن تمامی مواد سنگی و آب از آسیای در حال کار و باقی گذاشتن گلوله‌ها می‌باشد. این کار در عمل قابل اجرا نیست زیرا که باعث وارد آمدن آسیب‌های جدی به آسترها، پیچ‌های آستر، شبکه و اجزای دیافراگم آسیا و حتی خود آسیا می‌شود. روش

دیگر برای تعیین بار گلوله‌ای، خاموش کردن آسیای تحت بار و تعیین مقدار گلوله‌ها در سطح بار بر اساس درصدی از کل سطحی که توسط بار سنگی پوشیده شده است، می‌باشد. این روش مسلماً قابل استفاده می‌باشد ولی قادر به تعیین مقدار گلوله‌های موجود در داخل وکناره بار داخل آسیا نمی‌باشد. این دست‌ورالعمل اگرچه خیلی مفید است اما اطلاعاتی در مورد این که چه گلوله‌هایی در داخل آسیا وجود دارد را نمی‌دهد. ولی واضح است که گلوله‌های روی سطح بار در این حالت هیچ رابطه‌ای با تعداد گلوله‌های داخل و یا کناره‌های بار ندارد (Erickson, 1989). بهترین راه، استفاده از اطلاعاتی است که شامل توان مصرفی آسیا، حجم کل بار و وزن کل آسیا است که به همراه یکدیگر در تعیین حجم واقعی گلوله در بار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۴- معیارهای مؤثر برای انتخاب بار خردکننده مناسب آسیاهای مدار فرآوری

معادن فسفات اسفوردی

پس از بررسی پارامترهای مؤثر در عملکرد آسیاها و در نتیجه انتخاب بار خردکننده، با توجه به شرایط عملیاتی کارخانه فرآوری معدن جهت انتخاب گلوله‌ها و میله‌های مناسب برای آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای یک سری معیار در نظر گرفته شد که با استفاده از روش‌های AHP و AHP فازی مناسب‌ترین نوع گلوله و میله انتخاب خواهد شد. این روش‌ها به دلیل این که امروزه در حل مسائل چند معیاره نسبت به دیگر روش‌های تصمیم‌گیری کاربرد بیشتری دارند و همچنین با توجه با دارا بودن خاصیت مقایسه کردن دو به دوی گزینه‌ها و معیارها با هم انتخاب شده‌اند. در زیر به مهمترین معیارهای مؤثر برای انتخاب بار خردکننده اشاره می‌شود:

- سختی بار خردکننده
- قیمت بار خردکننده

- اندازه بار خردکننده
- وزن مخصوص بار خردکننده
- درصد شارژ بار خردکننده
- ابعاد بار ورودی
- دانسیته ماده معدنی
- سختی ماده معدنی
- دبی بار ورودی
- اندیس سایش
- اندیس کار
- سرعت نسبی آسیا
- مصرف برق آسیا
- درصد پرشدگی آسیا
- درصد مواد جامد

۴-۳-۱- گزینه‌های پیشنهادی انتخاب گلوله و میله

برای انتخاب گلوله و میله مناسب برای آسیای گلوله‌ای و میله‌ای معدن فسفات اسفوردی پس از مطالعه در مورد تاریخ استفاده، مدت استفاده، نوع گلوله‌ها و میله‌هایی که تاکنون در این آسیاها استفاده شده است، چهار گزینه برای گلوله و چهار گزینه برای میله پیشنهاد شده است که در ادامه معرفی می‌شوند. دلایل انتخاب این گزینه‌ها عبارتند از:

- با توجه به وضعیت وجود محدودیت در نوع گلوله‌های موجود در بازار به طوری که بیشتر از دو نوع گلوله (کامپوزیت فولادی و چدنی) برای استفاده در آسیاها تولید نمی‌شود.

- وجود تحریم‌های اخیر
- توجه به این مطلب که در جایی که کاربری گلوله شامل ضربه‌های نسبتاً شدید می‌شود گلوله‌های ساخته شده از کامپوزیت با زمینه فولادی به واسطه چقرمگی بیشتر زمینه آنها نسبت به کامپوزیت با زمینه چدنی ارجحیت دارند لذا گلوله های چدنی از فرآیند تصمیم گیری کنار گذاشته شدند.

۲-۳-۴- گزینه‌های پیشنهادی انتخاب گلوله

با بررسی‌های انجام شده در مورد آسیای گلوله‌ای، گلوله‌های استفاده شده و گزارش‌های مربوط به گلوله‌ها چهار گزینه مختلف به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

گزینه A: گلوله فولادی منگنزدار، محصول شرکت داکتیل ماشین

گزینه B: گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو

گزینه C: ترکیب گلوله فولادی منگنزدار جو گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو

گزینه D: گلوله فولادی کروم‌دار، محصول شرکت داکتیل ماشین

۳-۳-۴- گزینه‌های پیشنهادی انتخاب میله

گزینه‌های پیشنهادی برای میله‌ها به شرح ذیر می‌باشند:

گزینه A: میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توکیو

گزینه B: میله فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش

گزینه C: میله فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش

گزینه D: ترکیب میله فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش و میله فولادی (100 Cr) محصول

شرکت نگار اندیش

فصل پنجم

انتخاب بار خردکننده مناسب برای مجتمع فنات اسفوردی

۵-۱-مقدمه

در این فصل با توجه به معیارهایی که در فصل سوم بررسی شد که عبارتند از سختی بار خردکننده، قیمت بار خردکننده، اندازه بار خردکننده، وزن مخصوص بار خردکننده، درصد شارژ بار خردکننده، ابعاد بار ورودی، دانسیته ماده معدنی، سختی ماده معدنی، دبی بار ورودی، اندیس سایش، اندیس کار، سرعت نسبی آسیا، مصرف برق آسیا، درصد پرشدگی آسیا و درصد مواد جامد با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه اقدام به انتخاب بار خردکننده مناسب برای کارخانه فرآوری معدن فسفات اسفوردی کرده و در نهایت نتایج حاصله نمایش داده می‌شود

عوامل مختلفی که برای انتخاب بار خردکننده مورد نیاز بود، به عنوان معیارهایی در نظر گرفته شد که برای تعیین ضریب اهمیت هر یک از معیارهایی که در ادامه ذکر می‌شود یک پرسش‌نامه (برای انتخاب گلوله) مطابق جدول ۵-۱ تهیه و به گزینه‌ها و معیارها امتیاز داده شد و هر یک از گزینه‌ها بر اساس معیار مورد نظر نیز ارزیابی شدند. لازم به ذکر است که نمونه فرم پرسش‌نامه برای انتخاب میله در پیوست یک آمده است. با توجه به این که گزینه‌های پیشنهادی طی دو سال اخیر در آسیاهای مدار فرآوری اسفوردی به کار گرفته شده‌اند و کارشناسان اسفوردی با این گزینه‌ها و نتیجه عملکرد هر کدام از آنها آشنایی کامل داشتند ارزیابی گزینه‌ها و معیارها توسط کارشناسان معدن فسفات اسفوردی و همچنین جمعی از خبرگان علمی دانشگاه‌ها که در زمینه فرآوری مطالعاتی داشته‌اند و به اطلاعات و نتایج به دست آمده از عملکرد هر

کدام از این نوع بار خردکننده دسترسی داشتند انجام شده است که از هشت نفر برای این کار استفاده شده است. انتخاب کارشناسان برای نظردهی بر اساس میزان سابقه کار، تحصیلات و سمت آنها صورت گرفت.

۵-۲- انتخاب گلوله مناسب برای آسیای گلوله‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله

مراتبی


در این بخش، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مناسب‌ترین گلوله برای آسیای گلوله‌ای معدن فسفات اسفوردی انتخاب شده است. در اولین قدم، گزینه‌های ممکن، معیارهای مرتبط با این گزینه‌ها و نمایش گرافیکی صورت مساله آورده شده است. گلوله‌های بررسی شده در جدول ۵-۲ آورده شده‌اند.

جدول ۵-۱- نمونه فرم پرسش نامه برای انتخاب گلوله

موضوع: تعیین بار خردکننده مناسب مدار خردایش با در نظر گرفتن پارامترهای عملیاتی برای مجتمع فسفات اسفوردی						
نظردهنده:	سمت:	تحصیلات	میزان سابقه کار:			
دامنه امتیازها برای تعیین ضریب اهمیت معیارها						
الف: اهمیت خیلی زیاد (VH)	ب: اهمیت زیاد (H)	ج: اهمیت متوسط (M)	د: کم اهمیت (L)	ه: بدون اهمیت (VL)		
دامنه امتیازها برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس معیارها						
الف: خیلی خوب (VG)	ب: خوب (G)	ج: متوسط (M)	د: بد (B)	ه: خیلی بد (VB)		
ردیف	معیار	امتیاز (وزن)	گزینه			
			D	C	B	A
۱	سختی گلوله					
۲	اندازه گلوله برای کاهش نرمه					
۳	قیمت گلوله					
۴	درصد شارژ گلوله برای کاهش نرمه					
۵	وزن مخصوص گلوله					
۶	سختی ماده معدنی					
۷	دانسیتته ماده معدنی					
۸	ابعاد بار ورودی					
۹	دبی بار ورودی					
۱۰	سرعت نسبی آسیا					
۱۱	اندیس کار					
۱۲	اندیس سایش					
۱۳	درصد جامد					
۱۴	درصد پرشدگی آسیا					
۱۵	مصرف برق آسیا					
۱۶						

جدول ۵-۲- گزینه‌های در نظر گرفته شده برای انتخاب گلوله مناسب در معدن فسفات اسفوردی

گزینه	شرح
A	گلوله فولادی منگن‌دار، محصول شرکت داکتیل ماشین
B	گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو
C	ترکیب گلوله فولادی منگن‌دار شرکت داکتیل ماشین و گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو
D	گلوله فولادی کروم‌دار، محصول شرکت داکتیل ماشین

یک سری معیار  در نظر گرفته شده‌اند که هر یک از این گزینه‌ها در مراحل بعد نسبت به این معیارها سنجیده شده‌اند. معیارهای در نظر گرفته شده در جدول ۳-۵ آورده شده‌اند:

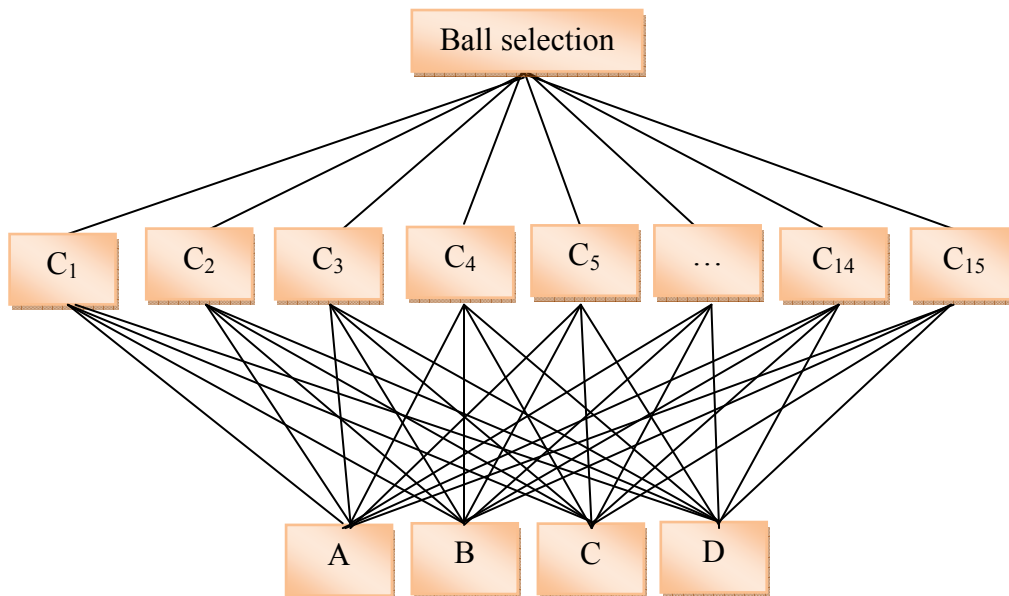
جدول ۳-۵- معیارهای در نظر گرفته شده برای انتخاب بهترین گلوله

شرح	معیار
سختی گلوله	C ₁
اندازه گلوله برای کاهش نرمه	C ₂
قیمت گلوله	C ₃
درصد شارژ گلوله برای کاهش نرمه	C ₄
وزن مخصوص گلوله	C ₅
سختی ماده معدنی	C ₆
دانسیته ماده معدنی	C ₇
ابعاد بار ورودی	C ₈
دبی بار ورودی	C ₉
سرعت نسبی آسیا	C ₁₀
اندیس کار	C ₁₁
اندیس سایش	C ₁₂
درصد جامد	C ₁₃
درصد پرشدگی آسیا	C ₁₄
مصرف برق آسیا	C ₁₅

گام‌های روش تحلیل سلسله مراتبی به شرح زیر است:

گام اول: رسم نمودار سلسله مراتبی

در شکل ۱-۵ یک نمایش گرافیکی از صورت مساله آورده شده است:



شکل ۵-۱- نمایش گرافیکی برای انتخاب گلوله مناسب

گام دوم: تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی

در ابتدا معیارهایی که انتخاب گلوله مناسب را تحت تاثیر قرار می‌دهند با یکدیگر مقایسه‌ی زوجی شده‌اند. با استفاده از پرسشنامه و در نتیجه امتیازی که هر عضو از گروه تصمیم‌گیرنده به گزینه‌ها و معیارها دادند ماتریس‌های مقایسه زوجی بر اساس نظر هر تصمیم‌گیرنده‌ها تشکیل داده شدند به طوری که میزان برتری هر معیار (گزینه) نسبت به معیار (گزینه) دیگر از تقسیم دو عدد مربوط به آن معیارها (گزینه‌ها) به دست می‌آید. در ادامه ماتریس‌های مقایسه زوجی تصمیم‌گیری گروهی، با استفاده از میانگین هندسی تصمیم‌های گروه هشت نفره بدست آمده است. همچنین وزن هر معیار (گزینه) نیز از روش میانگین هندسی محاسبه شده است. نتایج ماتریس مقایسه زوجی معیارها در جدول ۴-۵ آورده شده است.

جدول ۴-۵- ماتریس مقایسه‌ی زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	میانگین هندسی	وزن
C ₁	1	1.27	1.94	1.35	1.13	1.17	1.35	1.47	1.60	1.98	1.13	0.97	2.11	1.74	2.91	1.471	0.094
C ₂	0.79	1	1.52	1.06	0.86	0.89	1.03	1.17	1.27	1.62	0.93	0.79	1.73	1.91	2.38	1.191	0.076
C ₃	0.52	0.66	1	0.70	0.58	0.60	0.69	0.76	0.82	1.02	0.58	0.49	1.04	0.82	1.49	0.748	0.048
C ₄	0.74	0.94	1.44	1	0.81	0.83	0.97	1.05	1.14	1.46	0.83	0.71	1.56	1.72	2.13	1.094	0.070
C ₅	0.88	1.16	1.73	1.24	1	1.03	1.19	1.30	1.41	1.75	1	0.85	1.86	2.05	2.56	1.330	0.085
C ₆	0.86	1.13	1.67	1.20	0.97	1	1.16	1.26	1.37	1.69	0.96	0.82	1.80	1.99	2.48	1.289	0.082
C ₇	0.74	0.97	1.45	1.03	0.84	0.86	1	1.09	1.18	1.46	0.83	0.71	1.56	1.29	2.14	1.091	0.070
C ₈	0.68	0.86	1.32	0.95	0.77	0.79	0.92	1	1.09	1.34	0.76	0.65	1.43	1.18	1.97	1.000	0.064
C ₉	0.62	0.79	1.22	0.87	0.71	0.73	0.85	0.92	1	1.24	0.70	0.60	1.32	1.09	1.81	0.919	0.059
C ₁₀	0.50	0.62	0.98	0.68	0.57	0.59	0.68	0.74	0.81	1	0.57	0.48	1.06	0.84	1.46	0.738	0.047
C ₁₁	0.88	1.08	1.73	1.20	1.00	1.04	1.20	1.31	1.43	1.77	1	0.85	1.86	1.54	2.56	1.299	0.083
C ₁₂	1.03	1.27	2.02	1.41	1.18	1.22	1.41	1.54	1.67	2.07	1.18	1	2.18	1.80	3	1.524	0.097
C ₁₃	0.47	0.58	0.96	0.64	0.54	0.55	0.64	0.70	0.76	0.94	0.54	0.46	1	0.79	1.37	0.695	0.044
C ₁₄	0.57	0.52	1.21	0.58	0.49	0.50	0.78	0.85	0.92	1.18	0.65	0.56	1.26	1	1.65	0.788	0.050
C ₁₅	0.34	0.42	0.67	0.47	0.39	0.40	0.47	0.51	0.55	0.69	0.39	0.33	0.73	0.61	1	0.507	0.032

در مرحله بعد، گزینه‌های مختلف نسبت به هر معیار، دو به دو با هم مقایسه شده و ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی تشکیل شده‌اند. به عنوان مثال نحوه تشکیل ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله نشان داده شده است. در هر کدام از ماتریس‌های ۵-۵ تا ۱۲-۵ میزان برتری هر گزینه نسبت به گزینه دیگر از تقسیم اعداد متناظر آنها بر هم بدست آمده است.

جدول ۵-۶- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده دوم

	A	B	C	D
A	1	1	1	0.77
B	1	1	1	0.77
C	1	1	1	0.77
D	1.3	1.3	1.3	1

جدول ۵-۵- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده اول

	A	B	C	D
A	1	1.4	1	0.77
B	0.71	1	0.71	0.55
C	1	1.41	1	0.77
D	1.3	1.82	1.30	1

جدول ۵-۸- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده چهارم

	A	B	C	D
A	1	1.4	1	0.77
B	0.71	1	0.71	0.55
C	1	1.41	1	0.77
D	1.3	1	1	1

جدول ۵-۷- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده سوم

	A	B	C	D
A	1	1	1.4	0.77
B	1	1	1.4	0.77
C	0.71	0.71	1	0.55
D	1.3	1.3	1.82	1

جدول ۵-۱۰- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده هشتم

	A	B	C	D
A	1	0.71	1	0.55
B	1.41	1	1.4	0.77
C	1	0.71	1	0.55
D	1.82	1.3	1.82	1

جدول ۵-۹- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده پنجم

	A	B	C	D
A	1	1.4	1	1
B	0.71	1	0.71	0.71
C	1	1.41	1	1
D	1	1.41	1	1

جدول ۵-۱۲- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده هشتم

	A	B	C	D
A	1	1	1	1
B	1	1	1	1
C	1	1	1	1
D	1	1	1	1

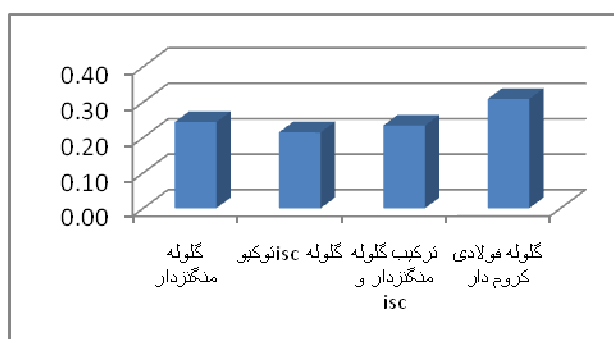
جدول ۵-۱۱- ماتریس مقایسه زوجی برای تصمیم‌گیرنده هفتم

	A	B	C	D
A	1	1.4	1	0.77
B	0.71	1	0.71	0.55
C	1	1.41	1	0.77
D	1.3	1.82	1.3	1

در نهایت ماتریس تصمیم‌گیری گروهی با میانگین هندسی تصمیم‌های اعضای گروه هشت نفره بدست آمده است.

جدول ۵-۱۳- ماتریس نهایی مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.134	1.043	0.788	0.983	0.243
B	0.882	1	0.917	0.694	0.866	0.214
C	0.959	1.091	1	0.756	0.943	0.234
D	1.269	1.441	1.323	1	1.247	0.309



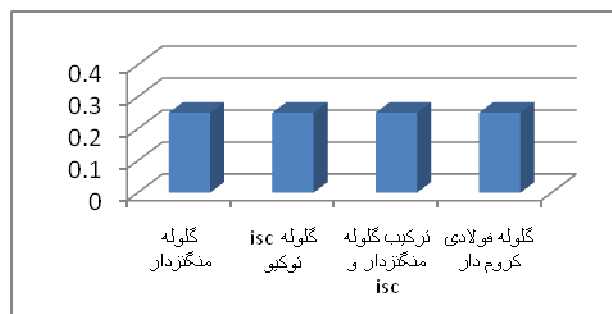
شکل ۵-۲- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار سختی گلوله

همانطور که در شکل ۵-۲ ملاحظه می‌شود گزینه گلوله فولادی کروم‌دار محصول داکتیل ماشین از لحاظ معیار سختی بالاترین امتیاز را کسب کرده‌اند.

بقیه ماتریس‌ها نیز به همین شکل تشکیل داده شده‌اند نتایج آنها در جداول ۵-۱۴ تا ۵-۲۷ ارائه شده است. جهت محاسبه وزن هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی (وزن نسبی)، از روش میانگین هندسی استفاده شده است.

جدول ۵-۱۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.999	1	0.999	1.000	0.250
B	1.001	1	0.999	0.999	1.000	0.250
C	1	1.001	1	0.999	1.000	0.250
D	1.001	1.001	1.001	1	1.001	0.250

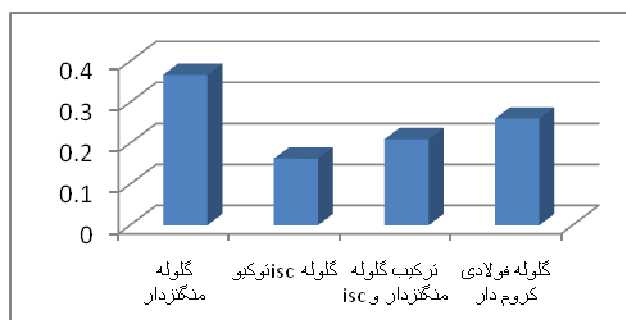


شکل ۳-۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار اندازه گلوله

همانطور که در شکل ۳-۵ ملاحظه می‌شود همه گزینه‌ها از لحاظ اندازه امتیاز یکسانی کسب کرده‌اند.

جدول ۱۵-۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت گلوله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	2.255	1.747	1.413	1.536	0.367
B	0.443	1	0.774	0.624	0.680	0.163
C	0.572	1.292	1	0.806	0.879	0.210
D	0.707	1.604	1.240	1	1.089	0.260



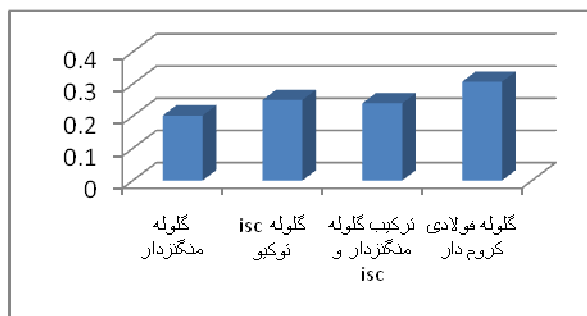
شکل ۴-۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار قیمت

در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود که گزینه‌ی گلوله منگنزدار از لحاظ معیار قیمت بالاترین امتیاز را کسب

کرده است. گزینه‌ی گلوله فولادی کروم دار داکتیل‌ترین ماشین اولویت بعدی را دارد.

جدول ۵-۱۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ گلوله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.805	0.842	0.658	0.817	0.202
B	1.242	1	1.042	0.815	1.013	0.251
C	1.187	0.960	1	0.781	0.971	0.240
D	1.519	1.227	1.281	1	1.243	0.307

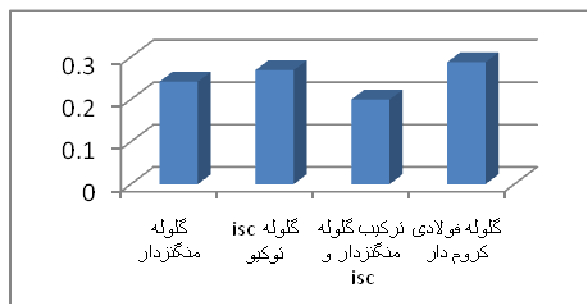


شکل ۵-۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار بازدهی

همانطور که در شکل ۵-۵ مشاهده می‌شود گزینه‌ی گلوله فولادی کروم‌دار از لحاظ معیار درصد شارژ گلوله بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

جدول ۵-۱۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.897	1.234	0.841	0.983	0.242
B	1.114	1	1.371	0.933	1.093	0.269
C	0.810	0.786	1	0.681	0.812	0.200
D	1.189	1.071	1.469	1	1.169	0.288

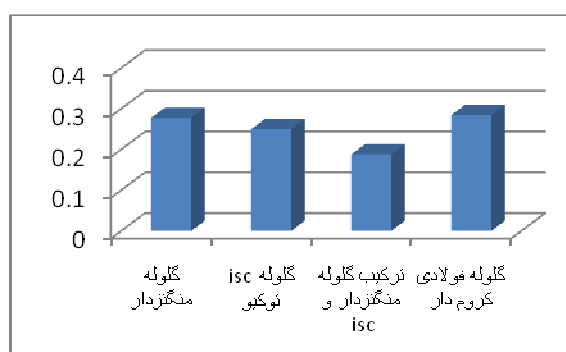


شکل ۵-۶- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله

همانطور که در شکل ۵-۶ ملاحظه می‌شود، از لحاظ معیار وزن مخصوص گلوله گزینه‌ی گلوله فولادی کروم‌دار بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

جدول ۵-۱۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.111	1.494	0.968	1.126	0.278
B	0.900	1	1.343	0.868	1.012	0.250
C	0.669	0.744	1	0.673	0.761	0.188
D	1.033	1.152	1.487	1	1.153	0.285



شکل ۵-۷- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار سختی ماده معدنی

همانطور که در شکل ۵-۷ ملاحظه می‌شود گزینه‌ی گلوله کروم‌دار بالاترین امتیاز را کسب کرده است. گزینه‌ی گلوله منگنزدار اولویت بعدی را دارد.

جدول ۵-۱۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.937	1.065	0.611	0.883	0.215
B	1.068	1	1.134	0.652	0.943	0.230
C	0.939	0.882	1	0.572	0.830	0.202
D	1.637	1.535	1.748	1	1.448	0.353

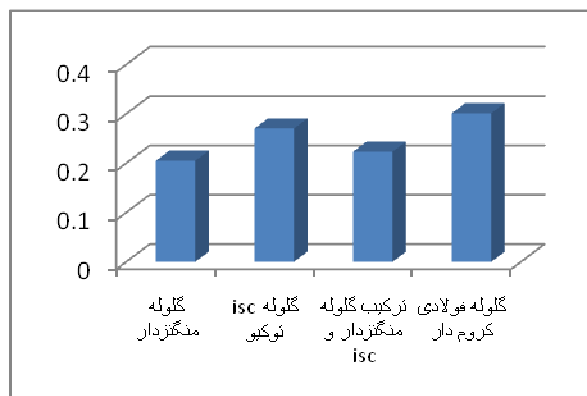


شکل ۵-۸- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی

از شکل ۵-۸ آشکار است که گزینه‌ی گلوله فولادی کروم دار از لحاظ دانسیته ماده معدنی بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

جدول ۵-۲۰- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.757	0.918	0.681	0.829	0.205
B	1.320	1	1.209	0.897	1.094	0.270
C	1.089	0.827	1	0.741	0.904	0.223
D	1.469	1.114	1.349	1	1.219	0.301



شکل ۹-۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار ابعاد بار ورودی

در شکل ۹-۵ می‌توان دید که گزینه‌ی گلوله فولادی کروم‌دار از لحاظ معیار ابعاد بار ورودی بالاترین امتیاز را کسب کرده است. گزینه‌ی گلوله ISC توکیو اولویت بعدی را دارد.

جدول ۵-۲۱- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.726	0.879	0.592	0.784	0.191
B	1.377	1	1.206	0.816	1.079	0.263
C	1.137	0.829	1	0.672	0.892	0.217
D	1.690	1.320	1.488	1	1.350	0.329



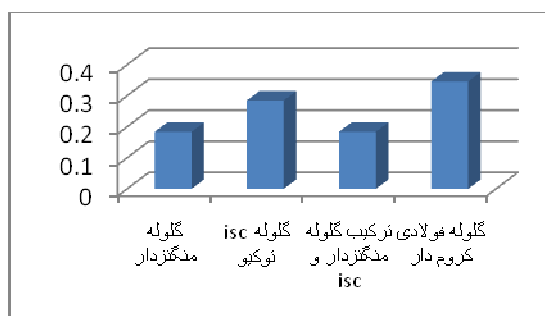
شکل ۱۰-۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار دبی بار ورودی

همانطور که در شکل ۵-۱۰ ملاحظه می‌شود گزینه‌ی گلوله کروم‌دار بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

گزینه‌ی گلوله ISC توکیو اولویت بعدی را دارد

جدول ۵-۲۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.644	1.000	0.532	0.765	0.184
B	1.552	1	1.540	0.824	1.184	0.285
C	1	0.649	1	0.532	0.767	0.184
D	1.881	1.214	1.881	1	1.440	0.346



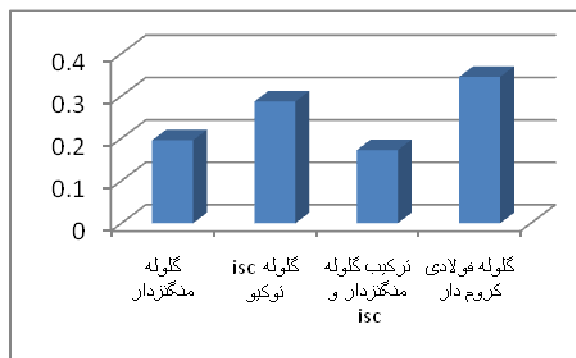
شکل ۵-۱۱- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا

همانطور که در شکل ۵-۱۱ مشاهده می‌شود گزینه‌ی گلوله فولادی کروم‌دار از لحاظ معیار سرعت نسبی

آسیا بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

جدول ۵-۲۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.681	1.135	0.568	0.814	0.196
B	1.469	1	1.660	0.833	1.194	0.287
C	0.881	0.602	1	0.498	0.717	0.172
D	1.761	1.200	2.008	1	1.435	0.345

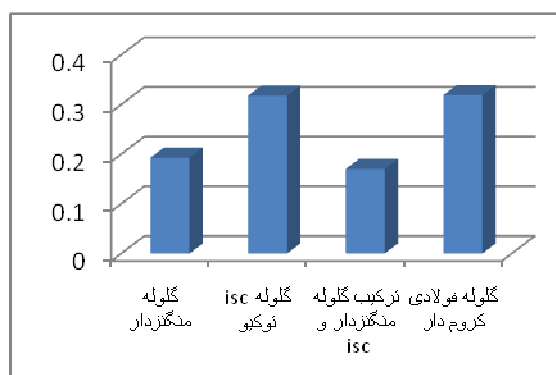


شکل ۵-۱۲- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار اندیس کار

از شکل ۵-۱۲ آشکار است که گزینه‌ی گلوله فولادی کروم‌دار از لحاظ اندیس کار بالاترین امتیاز را کسب کرده است. گزینه‌ی گلوله ISC توکیو اولویت بعدی را دارد

جدول ۵-۲۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.606	1.135	0.606	0.803	0.193
B	1.651	1	1.864	0.997	1.324	0.318
C	0.881	0.536		0.533	0.708	0.170
D	1.651	1.003	1.876	1	1.327	0.319



شکل ۵-۱۳- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار اندیس سایش

همانطور که در شکل ۵-۱۳ ملاحظه می‌شود گزینه‌های گلوله ISC توکیو و گلوله فولادی کروم‌دار از لحاظ معیار اندیس سایش بالاترین امتیاز را کسب کرده‌اند.

جدول ۵-۲۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.952	1.204	0.773	0.970	0.240
B	1.050	1	1.261	0.824	1.022	0.252
C	0.831	0.793	1	0.650	0.809	0.200
D	1.293	1.214	1.539	1	1.247	0.308

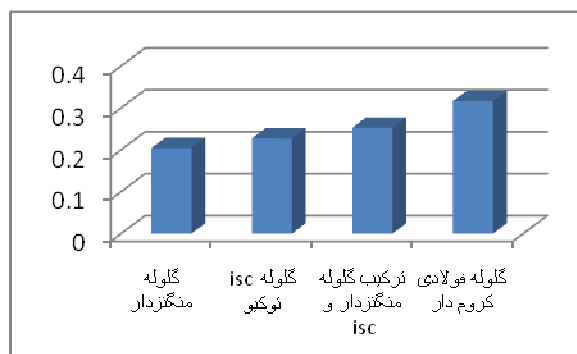


شکل ۵-۱۴- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار درصد مواد جامد

همانطور که در شکل ۵-۱۴ مشاهده می‌شود گزینه‌ی گلوله فولادی کروم‌دار از لحاظ معیار درصد مواد جامد بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

جدول ۵-۲۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.899	0.806	0.646	0.827	0.204
B	1.113	1	0.899	0.718	0.921	0.227
C	1.240	1.113	1	0.799	1.024	0.253
D	1.549	1.392	1.252	1	1.282	0.316



شکل ۵-۱۵- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا

همانطور که در شکل ۵-۱۵ ملاحظه می‌شود گزینه‌ی گلوله فولادی کروم‌دار از لحاظ معیار درصد پرشدگی آسیا بالاترین امتیاز را کسب کرده است.

جدول ۵-۲۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.020	1.043	0.918	0.994	0.248
B	0.980	1	1.020	0.897	0.973	0.243
C	0.959	0.980	1	0.879	0.953	0.238
D	1.089	1.115	1.137	1	1.084	0.271



شکل ۵-۱۶- امتیاز گزینه‌های مختلف نسبت به معیار مصرف برق آسیا

همانطور که در شکل ۵-۱۶ ملاحظه می‌شود، از لحاظ معیار مصرف برق آسیا همه گزینه‌ها تقریباً امتیاز یکسان کسب کرده‌اند.

گام سوم: محاسبه وزن نهایی

وزن نهایی هر گزینه در فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب وزن معیارها در وزن گزینه‌ها نسبت هر معیار به دست می‌آید. در جدول ۵-۲۰ وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار آورده شده است. این ماتریس در ماتریس وزن معیارها ضرب شده و نتیجه نهایی به دست می‌آید. برای مثال امتیاز نهایی گزینه A به صورت زیر محاسبه شده است:

$$A = (0.243 * 0.094) + (0.25 * 0.076) + (0.367 * 0.084) + (0.202 * 0.07) + (0.242 * 0.085) + (0.278 * 0.082) + (0.215 * 0.07) + (0.205 * 0.064) + (0.191 * 0.059) + (0.184 * 0.047) + (0.196 * 0.083) + (0.193 * 0.097) + (0.24 * 0.044) + (0.24 * 0.05) + (0.248 * 0.032) = 0.229$$

جدول ۵-۲۸- وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	امتیاز نهایی گزینه‌ها
	0.092	0.078	0.048	0.071	0.081	0.079	0.079	0.078	0.047	0.052	0.081	0.095	0.043	0.043	0.032	
A	0.243	0.250	0.367	0.202	0.242	0.278	0.215	0.205	0.191	0.184	0.196	0.193	0.240	0.204	0.248	0.229
B	0.214	0.250	0.163	0.251	0.269	0.250	0.230	0.270	0.263	0.285	0.287	0.318	0.252	0.227	0.243	0.255
C	0.234	0.250	0.210	0.240	0.200	0.188	0.202	0.223	0.217	0.184	0.172	0.170	0.200	0.253	0.238	0.210
D	0.309	0.250	0.260	0.307	0.288	0.285	0.353	0.301	0.329	0.346	0.345	0.319	0.308	0.316	0.271	0.307

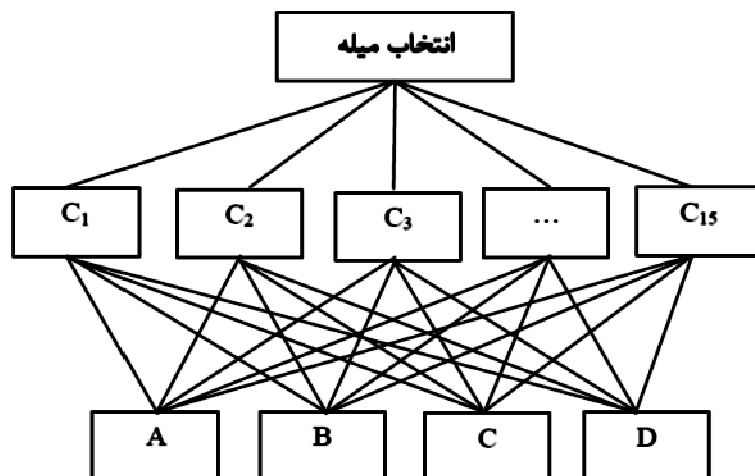
همان‌طور که مشاهده می‌کنید امتیاز گزینه D یعنی گلوله فولادی کروم‌دار محصول شرکت داکتیل ماشین بیشتر است در نتیجه به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود. گزینه B یعنی گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو در اولویت بعدی است. گلوله فولادی منگنزدار محصول شرکت داکتیل ماشین و گزینه ترکیب گلوله فولادی منگنزدار محصول شرکت داکتیل ماشین و گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو به ترتیب در اولویت‌های بعدی هستند.

گام چهارم: محاسبه نرخ ناسازگاری

باتوجه به این که در تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی از شرط معکوسی استفاده شده است (اگر ترجیح عنصر A به عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود) لذا میزان نرخ ناسازگاری (I.R) در تمام ماتریس‌ها برابر با صفر بدست می‌آید و این نشان دهنده‌ی این است که سازگاری سیستم قابل قبول است و قضاوت‌ها درست انجام شده است.

۵-۳- انتخاب میله مناسب برای آسیای میله‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

برای انتخاب میله مناسب برای آسیای میله‌ای نیز یک پرسشنامه تهیه شد که در آن تصمیم‌گیرندگان به گزینه‌ها و معیارهای در نظر گرفته شده امتیاز دادند (پیوست ۱). میله‌های بررسی شده در جدول ۵-۲۹ و معیارهای در نظر گرفته شده در جدول ۵-۳۰ آورده شده‌اند. پس از رسم نمودار تحلیل سلسله مراتبی در گام بعدی ماتریس مقایسه زوجی معیارها را تشکیل داده به طوری که میانگین هندسی ماتریس‌های مقایسه زوجی را که با توجه به نظر هر کدام از تصمیم‌گیرندگان محاسبه شده بدست آورده که در آنها میزان برتری هر معیار نسبت به معیار دیگر از تقسیم دو عدد آن معیارها بر هم به دست آمده است. ماتریس نهایی تصمیم‌گیری گروهی معیارها در جدول ۵-۳۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۷- نمودار تحلیل سلسه مراتبی انتخاب میله برای آسیای میله‌ای

جدول ۵-۲۹- گزینه‌های در نظر گرفته شده برای انتخاب میله مناسب در معدن فسفات اسفوردی

گزینه	شرح
A	راد فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توکیو
B	راد فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش
C	راد فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش
D	ترکیب راد فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش و راد فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش

جدول ۵-۳۰- معیارهای در نظر گرفته شده برای انتخاب بهترین میله

معیار	شرح
C ₁	سختی میله
C ₂	اندازه میله برای کاهش نرمه
C ₃	قیمت میله
C ₄	درصد شارژ میله برای کاهش نرمه
C ₅	وزن مخصوص میله
C ₆	سختی ماده معدنی
C ₇	دانسیتته ماده معدنی
C ₈	ابعاد بار ورودی
C ₉	دبی بار ورودی
C ₁₀	سرعت نسبی آسیا
C ₁₁	اندیس کار
C ₁₂	اندیس سایش
C ₁₃	درصد جامد
C ₁₄	درصد پرشدگی آسیا
C ₁₅	مصرف برق آسیا

جدول ۵-۳۱- ماتریس مقایسه‌ی زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	میانگین هندسی	وزن
C ₁	1	1.95	1.84	1.26	1.1	1.1	1.13	1.14	1.92	1.76	1.1	0.94	2.05	2.05	2.82	1.458	0.092
C ₂	0.51	1	1.68	1.14	1	1.03	1.03	1.04	1.75	1.61	1	0.85	1.86	1.86	2.56	1.232	0.078
C ₃	0.54	0.6	1	0.68	0.59	0.59	0.61	0.62	1.04	0.96	0.59	0.5	1.11	1.11	1.53	0.76	0.048
C ₄	0.8	0.87	1.47	1	0.87	0.9	0.9	0.91	1.52	1.4	0.87	0.74	1.62	1.62	2.23	1.117	0.071
C ₅	0.91	1	1.69	1.15	1	1.03	1.03	1.04	1.75	1.61	1	0.85	1.86	1.86	2.56	1.282	0.081
C ₆	0.91	0.97	1.69	1.11	0.97	1	1	1.01	1.69	1.56	0.97	0.82	1.8	1.8	2.48	1.247	0.079
C ₇	0.89	0.97	1.64	1.11	0.97	1	1	1.01	1.69	1.55	0.97	0.82	1.8	1.8	2.48	1.244	0.079
C ₈	0.88	0.96	1.62	1.1	0.96	0.99	0.99	1	1.67	1.54	0.95	0.81	1.79	1.79	2.46	1.23	0.078
C ₉	0.52	0.57	0.96	0.66	0.57	0.59	0.59	0.6	1	0.96	0.59	0.5	1.11	1.11	1.53	0.745	0.047
C ₁₀	0.57	0.62	1.05	0.71	0.62	0.64	0.64	0.65	1.05	1	0.68	0.59	1.29	1.29	1.77	0.823	0.052
C ₁₁	0.91	1	1.69	1.15	1	1.04	1.03	1.05	1.69	1.46	1	0.85	1.86	1.86	2.56	1.273	0.081
C ₁₂	1.07	1.18	1.98	1.35	1.18	1.22	1.22	1.23	1.98	1.71	1.18	1	2.18	2.18	3	1.493	0.095
C ₁₃	0.49	0.54	0.9	0.62	0.54	0.55	0.55	0.56	0.9	0.78	0.54	0.46	1	1	1.29	0.679	0.043
C ₁₄	0.49	0.54	0.9	0.62	0.54	0.55	0.55	0.56	0.9	0.78	0.54	0.46	1	1	1.29	0.679	0.043
C ₁₅	0.36	0.39	0.66	0.45	0.39	0.4	0.4	0.41	0.66	0.57	0.39	0.33	0.78	0.78	1	0.5	0.032

همانند مراحل انتخاب گلوله ماتریس‌های مقایسه زوجی گزینه‌ها را تشکیل داده به طوری که ماتریس تصمیم‌گیری گروهی با میانگین هندسی تصمیم اعضای گروه هشت نفره بدست آمده است و وزن‌ها نیز با روش میانگین هندسی به دست آمده‌اند. نتایج ماتریس‌های نهایی تصمیم‌گیری گروهی در جداول ۵-۳۲ تا ۵-۴۶ ارائه شده است.

جدول ۵-۳۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی میله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.325	1.397	1.353	1.258	0.312
B	0.755	1	1.053	1.02	0.949	0.235
C	0.716	0.950	1	0.966	0.9	0.223
D	0.739	0.981	1.036	1	0.931	0.231

جدول ۵-۳۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه میله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.638	1.443	1.861	1.448	0.352
B	0.61	1	0.879	1.134	0.883	0.215
C	0.693	1.138	1	1.287	1.004	0.244
D	0.537	0.882	0.777	1	0.779	0.189

جدول ۵-۳۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت میله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.649	0.758	0.88	0.811	0.2
B	1.54	1	1.158	1.344	1.244	0.307
C	1.32	0.864	1	1.159	1.072	0.265
D	1.137	0.744	0.863	1	0.924	0.228

جدول ۵-۳۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ میله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.922	1.657	1.843	1.556	0.375
B	0.52	1	0.861	0.999	0.818	0.197
C	0.604	1.161	1	1.159	0.949	0.229
D	0.543	1.001	0.863	1	0.827	0.199

جدول ۵-۳۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص میله

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.536	1.382	1.861	1.41	0.375
B	0.651	1	0.935	1.209	0.926	0.197
C	0.724	1.115	1	1.344	1.02	0.229
D	0.537	0.827	0.744	1	0.758	0.199

جدول ۵-۳۷- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.383	1.208	1.474	1.253	0.31
B	0.723	1	0.869	1.064	0.904	0.224
C	0.828	1.15	1	1.22	1.038	0.257
D	0.678	0.94	0.82	1	0.85	0.21

جدول ۵-۳۸- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	2.048	1.554	1.922	1.573	0.377
B	0.488	1	0.757	0.938	0.767	0.184
C	0.643	1.322	1	1.235	1.012	0.243
D	0.52	1.066	0.81	1	0.819	0.196

جدول ۵-۳۹- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.728	1.488	1.881	1.483	0.359
B	0.579	1	0.861	1.088	0.858	0.208
C	0.672	1.161	1	1.261	0.996	0.241
D	0.532	0.92	0.793	1	0.789	0.191

جدول ۵-۴۰- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.134	1.133	1.462	1.171	0.291
B	0.881	1	0.998	1.288	1.032	0.256
C	0.883	1.002	1	1.287	1.033	0.256
D	0.684	0.744	0.777	1	0.793	0.197

جدول ۵-۴۱- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.301	1.387	1.387	1.258	0.311
B	0.768	1	1.065	1.065	0.966	0.239
C	0.721	0.939	1	0.978	0.902	0.223
D	0.721	0.939	1.022	1	0.912	0.226

جدول ۵-۴۲- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.963	1.804	2.045	1.64	0.392
B	0.509	1	0.918	1.02	0.831	0.198
C	0.554	1.09	1	1.135	0.91	0.217
D	0.489	0.98	0.881	1	0.806	0.193

جدول ۵-۴۳- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.34	1.258	1.828	1.325	0.323
B	0.746	1	0.935	1.432	1	0.244
C	0.795	1.07	1	1.523	1.067	0.26
D	0.547	0.698	0.657	1	0.708	0.173

جدول ۵-۴۴- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	0.998	1.315	1.343	1.152	0.285
B	1.002	1	1.314	1.344	1.153	0.285
C	0.76	0.761	1	1.02	0.876	0.217
D	0.745	0.744	0.98	1	0.859	0.212

جدول ۵-۴۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.118	1.54	1.903	1.345	0.326
B	0.894	1	1.37	1.695	1.2	0.291
C	0.65	0.73	1	1.235	0.875	0.212
D	0.526	0.59	0.81	1	0.708	0.171

جدول ۵-۴۶- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا

	A	B	C	D	میانگین هندسی	وزن
A	1	1.261	1.261	1.402	1.222	0.303
B	0.793	1	0.999	1.111	0.969	0.24
C	0.793	1.001	1	1.111	0.969	0.24
D	0.713	0.9	0.9	1	0.872	0.216

گام سوم: محاسبه وزن نهایی

جدول ۵-۴۷-وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار، وزن معیارها و نتیجه نهایی

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	امتیاز نهایی گزینه‌ها
	0.092	0.078	0.048	0.071	0.081	0.079	0.079	0.078	0.047	0.052	0.081	0.095	0.043	0.043	0.032	
A	0.312	0.352	0.2	0.375	0.375	0.31	0.377	0.359	0.291	0.311	0.392	0.323	0.285	0.326	0.303	0.333
B	0.235	0.215	0.307	0.197	0.197	0.224	0.184	0.208	0.256	0.239	0.198	0.244	0.285	0.291	0.24	0.228
C	0.223	0.244	0.265	0.229	0.229	0.257	0.243	0.241	0.256	0.223	0.217	0.26	0.217	0.212	0.24	0.237
D	0.309	0.189	0.228	0.199	0.199	0.21	0.196	0.191	0.197	0.226	0.193	0.173	0.212	0.171	0.216	0.208

همان‌طور که مشاهده می‌کنید امتیاز گزینه A یعنی میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توکیو بیشتر است در نتیجه به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود. گزینه C یعنی میله فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش در اولویت بعدی است. میله فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش و گزینه ترکیب میله فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش و میله فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش به ترتیب در اولویت‌های بعدی هستند.

گام چهارم: محاسبه نرخ ناسازگاری

باتوجه به این که در تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی از شرط معکوسی استفاده شده است (اگر ترجیح عنصر A به عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود) لذا میزان نرخ ناسازگاری (I.R) در تمام ماتریس‌ها برابر با صفر بدست می‌آید و این نشان دهنده‌ی این است که سازگاری سیستم قابل قبول است و قضاوت‌ها درست انجام شده است.

۴-۵- تعیین گلوله مناسب برای آسیای گلوله‌ای معدن فسفات اسفوردی با استفاده

از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این روش امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم کرده و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله فراهم می‌آورد. در ادامه چگونگی پیاده‌سازی مسأله انتخاب گلوله از بین گزینه‌های موجود را با استفاده از روش FAHP توصیف شده است. در این تحقیق برای ارزیابی اهمیت معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از متغیرهای زبانی استفاده شده است که به ترتیب در جداول ۴۸-۵ و ۴۹-۵ بیان شده‌اند.

جدول ۴۸-۵- متغیرهای زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها (عطائی، ۸۹، ب)

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
Very Low (VL)	(0, 0.1, 0.3)
Low (L)	(0.1, 0.3, 0.5)
Medium (M)	(0.3, 0.5, 0.7)
High (H)	(0.5, 0.7, 0.9)
Very High (VH)	(0.7, 0.9, 1)

جدول ۴۹-۵- متغیرهای زبانی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (عطائی، ۸۹، ب)

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
Very Bad (VB)	(0, 1, 3)
Bad (B)	(1, 3, 5)
Medium (M)	(3, 5, 7)
Good (G)	(5, 7, 9)
Very Good (VG)	(7, 9, 10)

پس از تعریف اعداد فازی برای متغیرهای زبانی به منظور تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها که درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی آن یک عدد فازی مثلثی خواهد بود از رابطه زیر پیروی می‌کند.

$$X_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad l_{ij} = \min\{a_{ijk}\}, \quad m_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ijk}, \quad u_{ij} = \max\{c_{ijk}\} \quad (1)$$

که در آن‌ها (X_{ij}) مجموعه نظرات کارشناس نسبت به پارمترها، (l_{ij}) حداقل نظرسنجی‌ها، (m_{ij}) میانگین نظرات و (u_{ij}) حداکثر نظرات است. اهمیت ترکیبی معیارها در جدول ۵-۵۰ نشان داده شده است. با دانستن این نکته ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها نسبت به هم‌دیگر به صورت جدول ۵-۵۲ تشکیل شده است. برای انجام مقایسه زوجی بین معیارها و گزینه‌های مطرح شده از نظرات یک گروه ۸ نفری که دارای تجربه کافی بوده‌اند، استفاده شده است. برتری هر معیار نسبت به معیار دیگر با عدد فازی مثلثی بیان شده است به صورتی که میزان برتری یک معیار نسبت به معیار دیگر از تقسیم عدد فازی‌شان بر هم به دست آمده است.

جدول ۵-۵۰- اهمیت ترکیبی معیارها (وزن معیارها)

وزن	معیار
(0.5, 0.87, 1)	C ₁
(0.3, 0.7, 1)	C ₂
(0.1, 0.47, 0.9)	C ₃
(0.3, 0.65, 0.9)	C ₄
(0.5, 0.77, 1)	C ₅
(0.5, 0.75, 1)	C ₆
(0.3, 0.65, 0.9)	C ₇
(0.3, 0.6, 0.9)	C ₈
(0.3, 0.55, 0.9)	C ₉
(0.1, 0.45, 0.7)	C ₁₀
(0.5, 0.77, 1)	C ₁₁
(0.7, 0.9, 1)	C ₁₂
(0.1, 0.42, 0.7)	C ₁₃
(0.3, 0.5, 0.7)	C ₁₄
(0.1, 0.3, 0.5)	C ₁₅

رتبه‌بندی ترکیبی گزینه‌ها برای هر معیار نیز به همین صورت که برای معیارها ذکر شد انجام شده

است که نتایج آن در جدول ۵-۵۱ نشان داده شده است

جدول ۵-۵۱- رتبه بندی ترکیبی گزینه‌ها

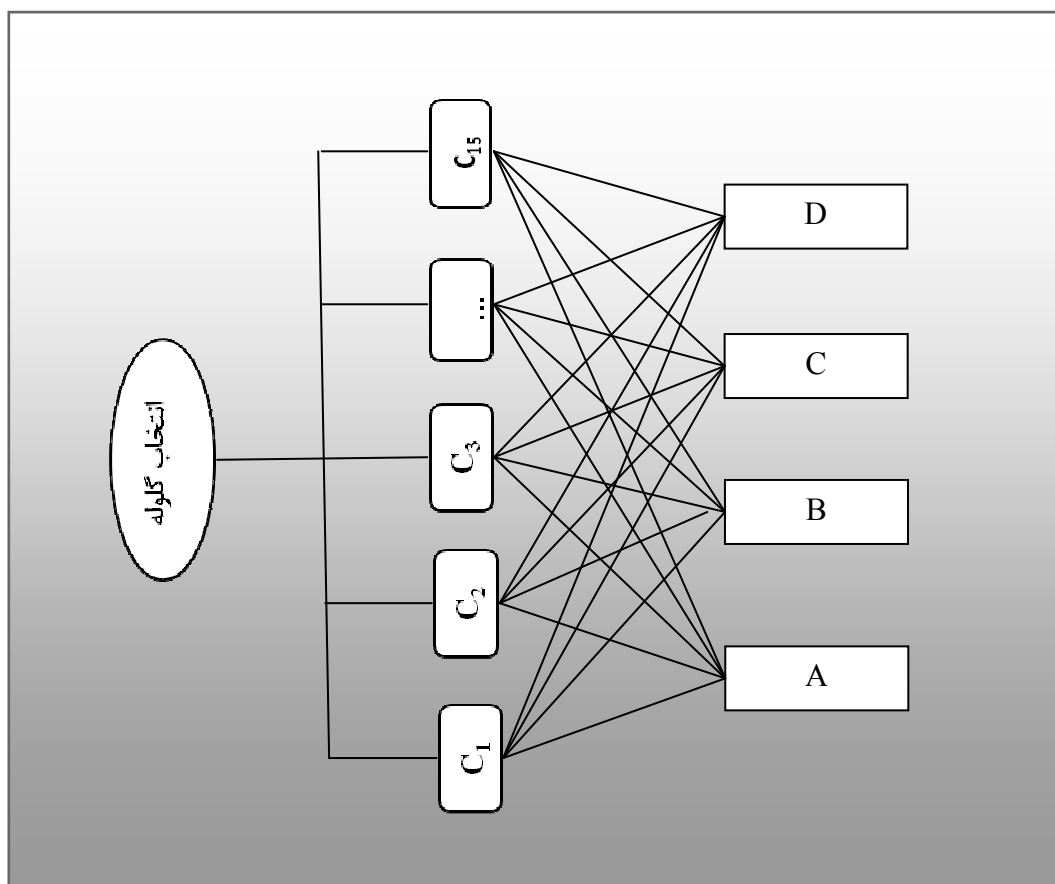
	A	B	C	D
C₁	(3 , 6.5 , 9)	(3 , 7 , 9)	(3 , 6.25 , 9)	(3 , 8.25 , 10)
C₂	(3 , 6.75 , 9)	(3 , 6.75 , 9)	(3 , 6.75 , 9)	(3 , 6.75 , 9)
C₃	(5 , 7 , 10)	(1 , 3.5 , 7)	(1 , 4.5 , 7)	(3 , 5.5 , 9)
C₄	(1 , 4.75 , 5)	(1 , 6 , 9)	(1 , 5.75 , 9)	(3 , 5.75 , 10)
C₅	(3 , 6.25 , 9)	(3 , 7 , 10)	(3 , 5 , 7)	(3 , 7.5 , 10)
C₆	(3 , 6.25 , 9)	(1 , 5.5 , 9)	(1 , 4.25 , 7)	(3 , 6.5 , 10)
C₇	(1 , 4.5 , 7)	(1 , 5 , 9)	(1 , 5.5 , 7)	(5 , 7 , 10)
C₈	(1 , 4.75 , 7)	(3 , 6.25 , 9)	(1 , 5.25 , 9)	(3 , 7 , 10)
C₉	(3 , 4.5 , 7)	(3 , 6.25 , 10)	(1 , 5.25 , 9)	(3 , 7.5 , 10)
C₁₀	(1 , 4.5 , 9)	(3 , 7 , 10)	(1 , 4.5 , 5)	(5 , 8.25 , 10)
C₁₁	(1 , 4.5 , 7)	(3 , 6.5 , 9)	(1 , 4 , 7)	(5 , 7.75 , 10)
C₁₂	(1 , 4 , 7)	(3 , 7 , 10)	(1 , 4 , 7)	(3 , 7.25 , 10)
C₁₃	(3 , 5.5 , 9)	(1 , 6 , 9)	(1 , 4.75 , 9)	(5 , 6.5 , 10)
C₁₄	(1 , 4.25 , 7)	(1 , 4.75 , 9)	(1 , 5.25 , 9)	(3 , 6.5 , 10)
C₁₅	(3 , 5.25 , 9)	(1 , 5.25 , 9)	(3 , 5 , 7)	(1 , 5.75 , 9)

۵-۴-۱- انتخاب گلوله برای آسیای گلوله‌ای معدن فسفات اسفوردی با استفاده از روش FAHP

گام اول: ساختن درخت تصمیم‌گیری

همانطور که قبلاً ذکر شد، قدم اول در فرآیند سلسله مراتبی فازی ترسیم درخت تصمیم‌گیری است. در این تحقیق، درخت تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شوند. شکل

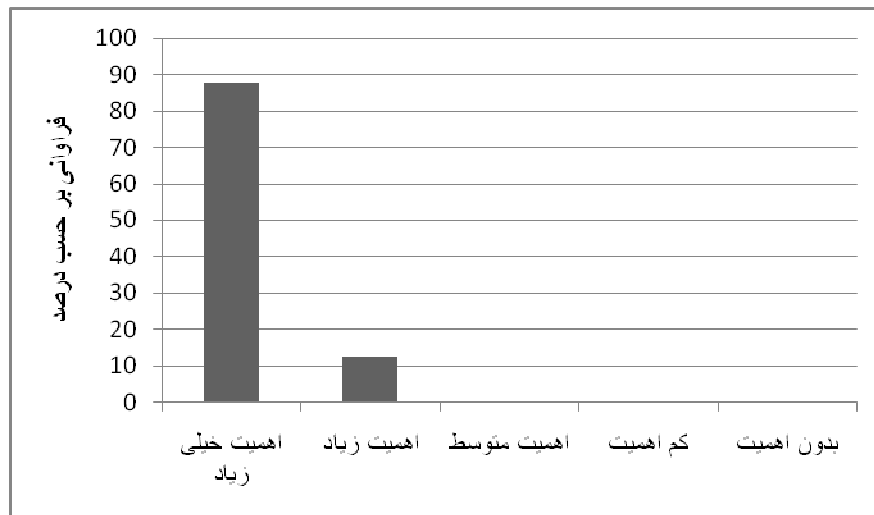
۵-۱۸ ساختار سلسله مراتبی مربوط به انتخاب گلوله را نشان می‌دهد



شکل ۵-۱۸- نمودار تحلیل سلسله مراتبی انتخاب گلوله برای آسیای گلوله‌ای

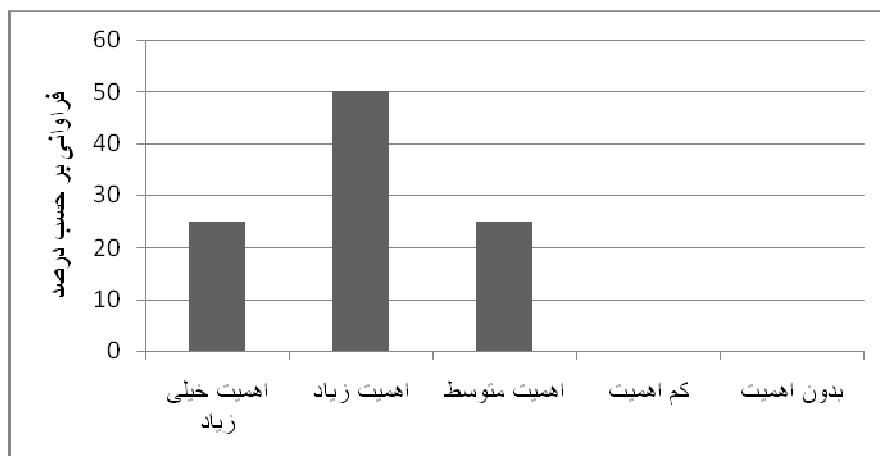
گام دوم: تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی

برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، ابتدا پرسش‌نامه‌هایی، حاوی کلیه عوامل موثر بر انتخاب گلوله که در فصل ۴ توصیف شده‌اند، تهیه شده است. این پرسش‌نامه‌ها برای ۱۰ کارشناسان مختلف ارسال شده است که از این تعداد ۸ پرسش‌نامه دریافت شده است. با توجه به پرسش‌نامه‌های دریافت شده نمودار فراوانی هریک از پارامترها در شکل‌های ۵-۱۹ تا ۵-۳۲ آورده شده است. محور عمودی در این نمودارها بیان‌گر درصد فراوانی این معیارها است.



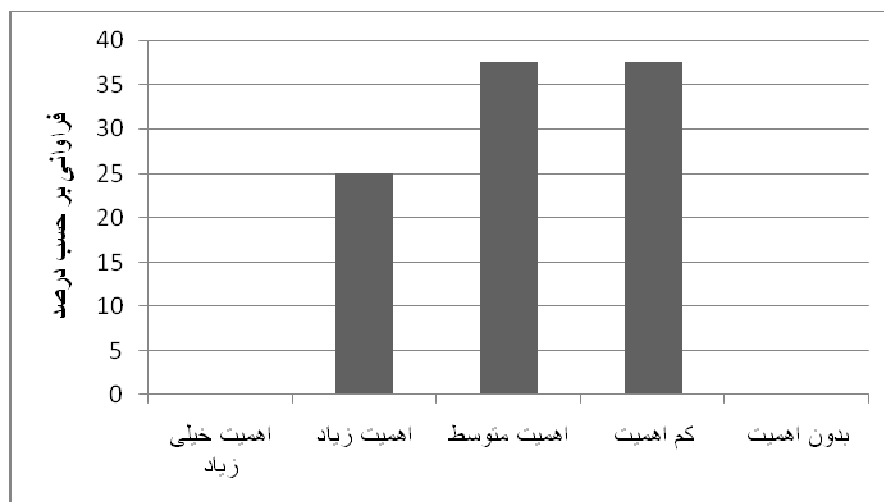
شکل ۵-۱۹- نمودار فراوانی سختی گلوله

درصد فراوانی در شکل ۵-۱۹، نشان‌دهنده تأکید کارشناسان بر اهمیت خیلی زیاد پارامتر سختی است.



شکل ۵-۲۰- نمودار فراوانی اندازه گلوله برای کاهش نرمه

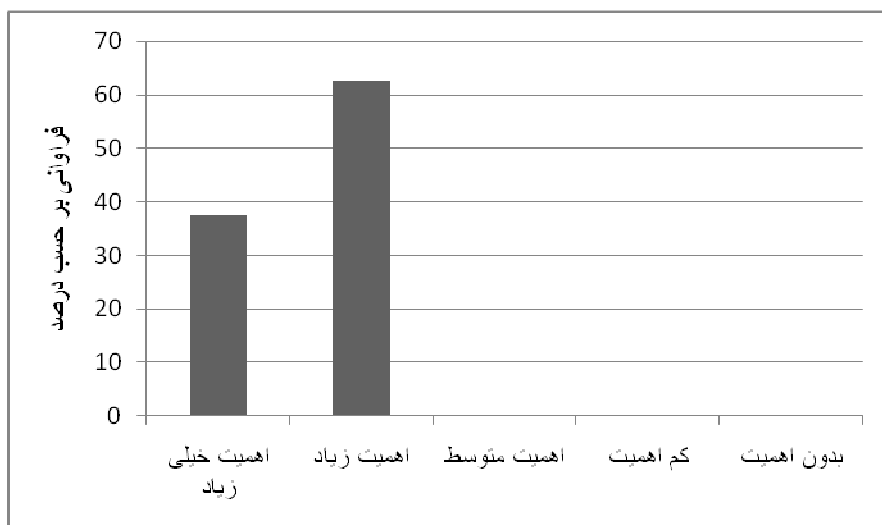
درصد فراوانی در شکل ۵-۲۰، نشان دهنده تأکید کارشناسان بر اهمیت زیاد پارامتر اندازه است.



شکل ۵-۲۱- نمودار فراوانی قیمت گلوله

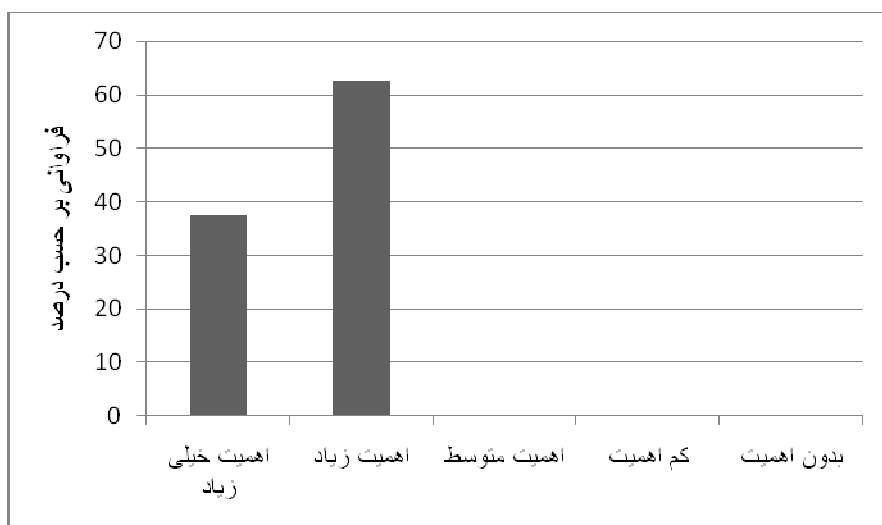
چنانچه در شکل ۵-۲۱ نشان داده شده است، نظر داوران روی قیمت بیشتر به سمت امتیاز اهمیت

متوسط متمایل بوده است.



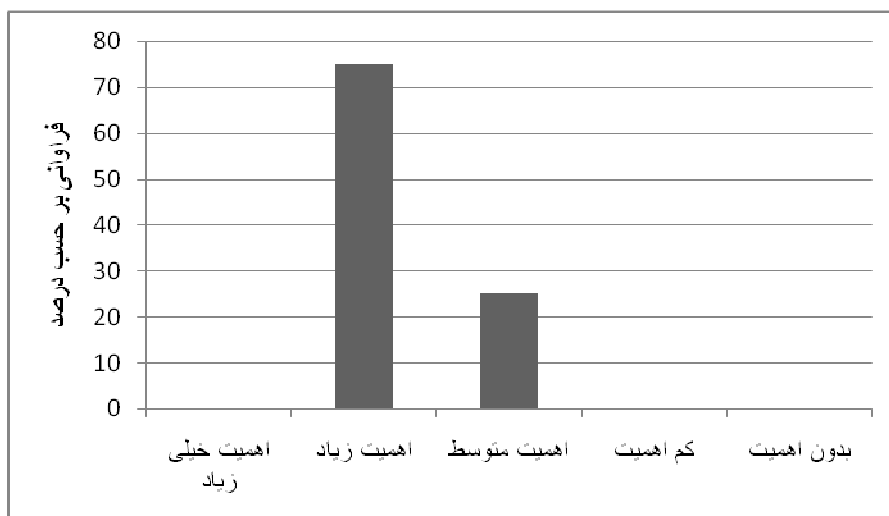
شکل ۵-۲۲- نمودار فراوانی وزن مخصوص گلوله

ر

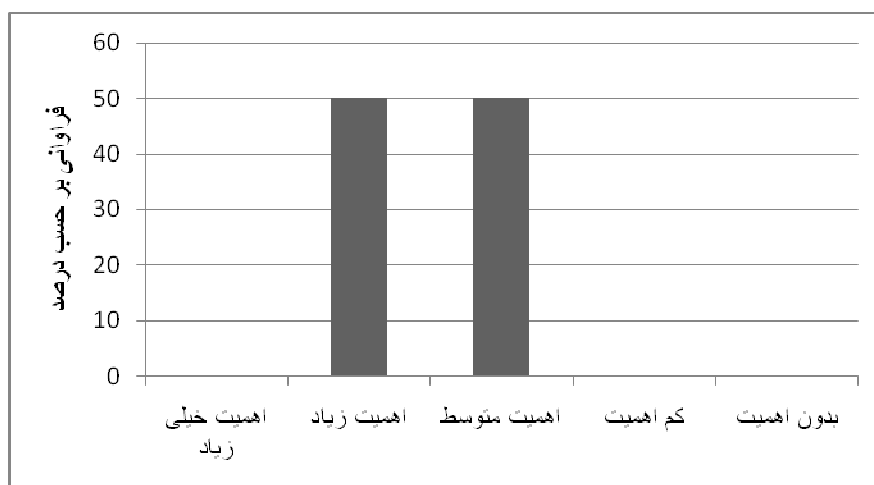


شکل ۵-۲۳- نمودار فراوانی سختی ماده معدنی

در شکل‌های ۵-۲۲ و ۵-۲۳، پارامترهای وزن مخصوص گلوله و سختی ماده معدنی از دیدگاه کارشناسان از اهمیت خیلی زیاد تا اهمیت زیاد تشخیص داده شده است. ولی با در نظر گرفتن توزیع درصد فراوانی از میزان امتیاز اهمیت خیلی زیاد آن‌ها می‌کاهد.

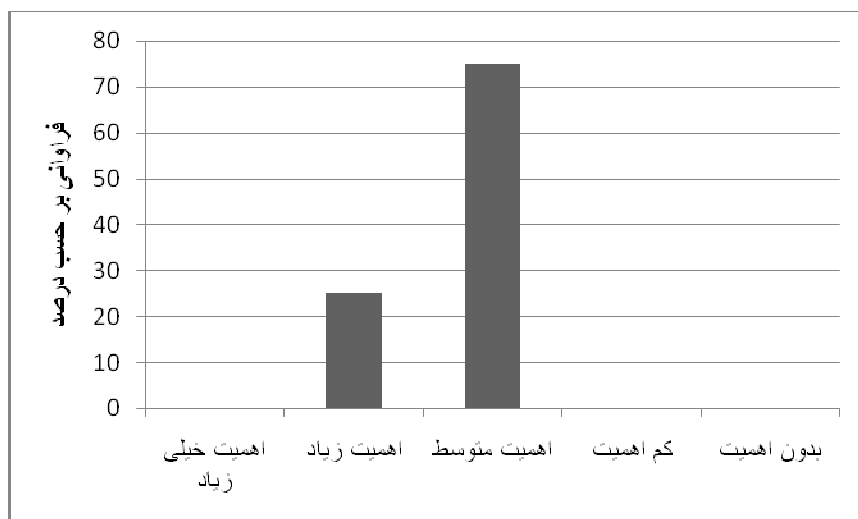


شکل ۵-۲۴- نمودار فراوانی دانسیته ماده معدنی

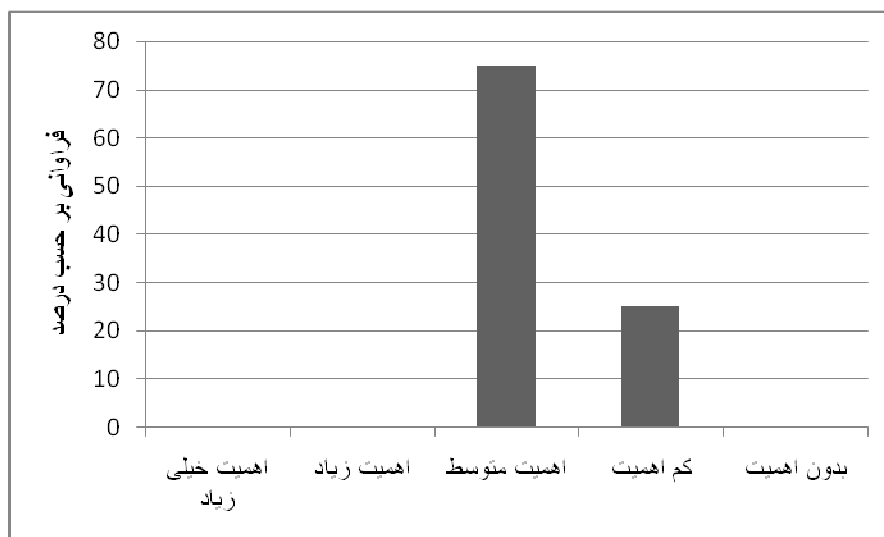


شکل ۵-۲۵- نمودار فراوانی ابعاد بار ورودی

بر طبق شکل‌های ۵-۲۴ و ۵-۲۵، درصد فراوانی پارامترهای دانسیته ماده معدنی و ابعاد بار ورودی نشان دهنده امتیاز اهمیت زیاد است. با این حال وجود پراکندگی فراوانی نظرات داوران به سمت اهمیت متوسط، از میزان امتیاز اهمیت زیاد می‌کاهد.

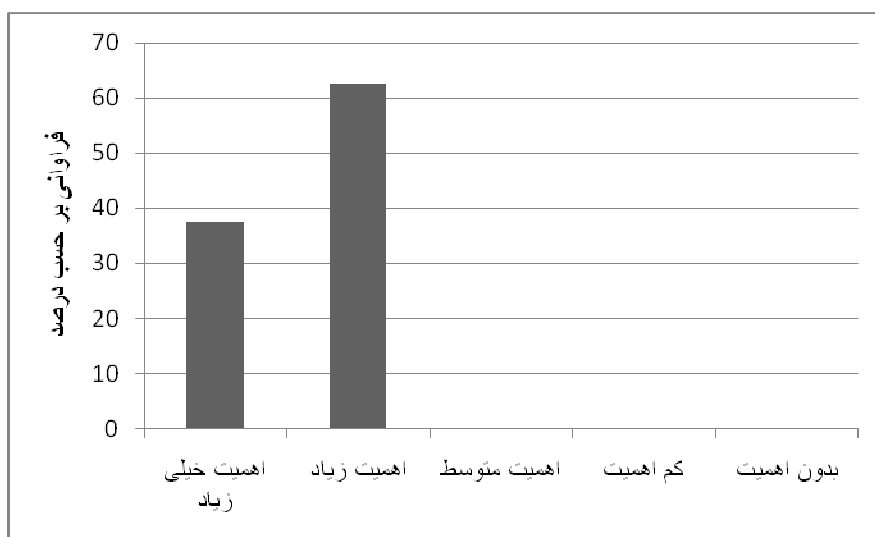


شکل ۵-۲۶- نمودار فراوانی دبی بار ورودی

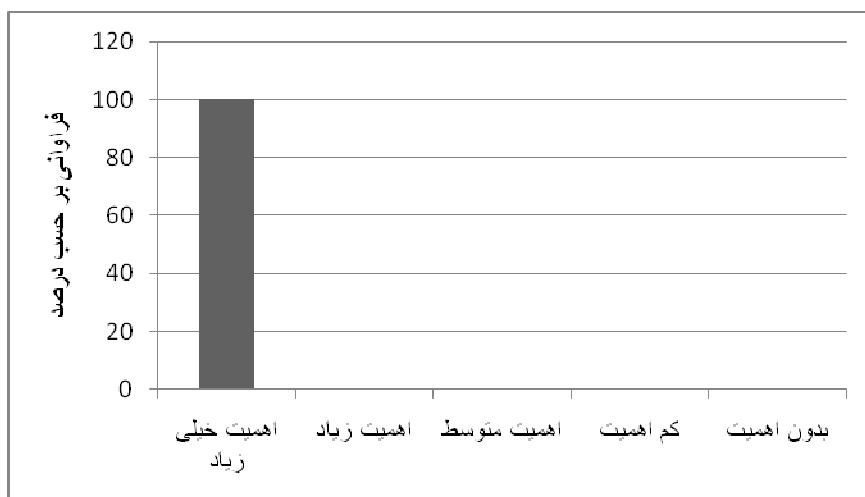


شکل ۵-۲۷- نمودار فراوانی سرعت نسبی آسیا

در شکل‌های ۲۶-۵ و ۲۷-۵ درصد فراوانی امتیازهای پارامترهای دبی بار ورودی و سرعت نسبی آسیا از دیدگاه کارشناسان اهمیت متوسط تشخیص داده شده است و تأکید امتیاز اهمیت متوسط وحدت نظر کارشناسان را نشان می‌دهد.

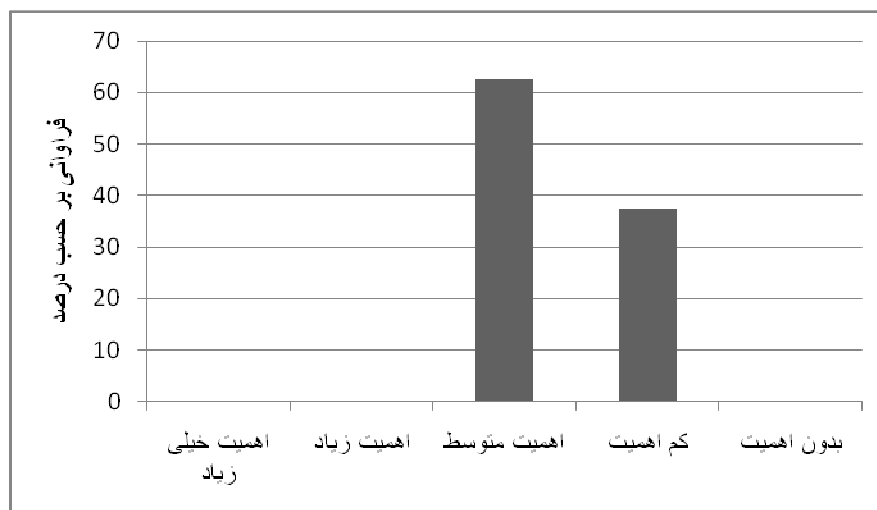


شکل ۵-۲۸- نمودار فراوانی اندیس کار



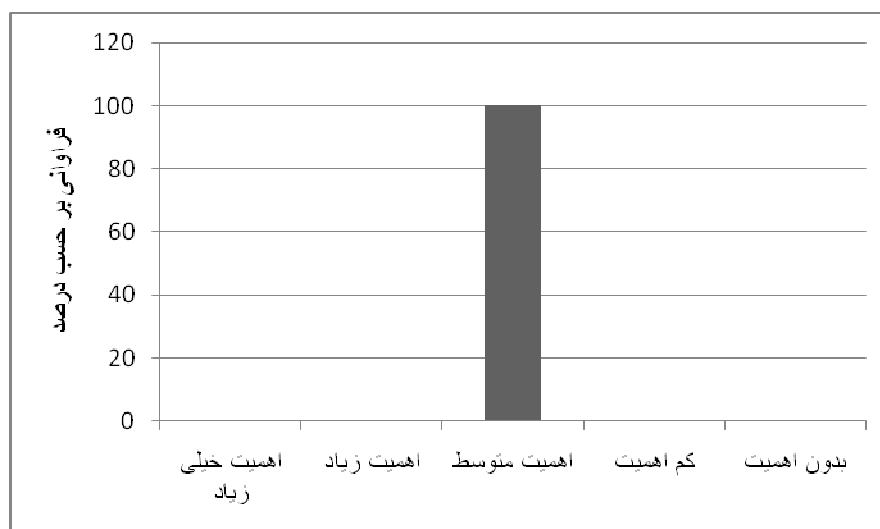
شکل ۵-۲۹- نمودار فراوانی اندیس سایش

درصد فراوانی در شکل‌های ۵-۲۸ و ۵-۲۹، نشان دهنده تأکید کارشناسان بر اهمیت خیلی زیاد پارامتر اندیس کار و اندیس سایش است ولی وجود پراکندگی فراوانی نظرات داوران نسبت به معیار اندیس کار به سمت اهمیت زیاد، از میزان امتیاز اهمیت خیلی زیاد آن می‌کاهد.



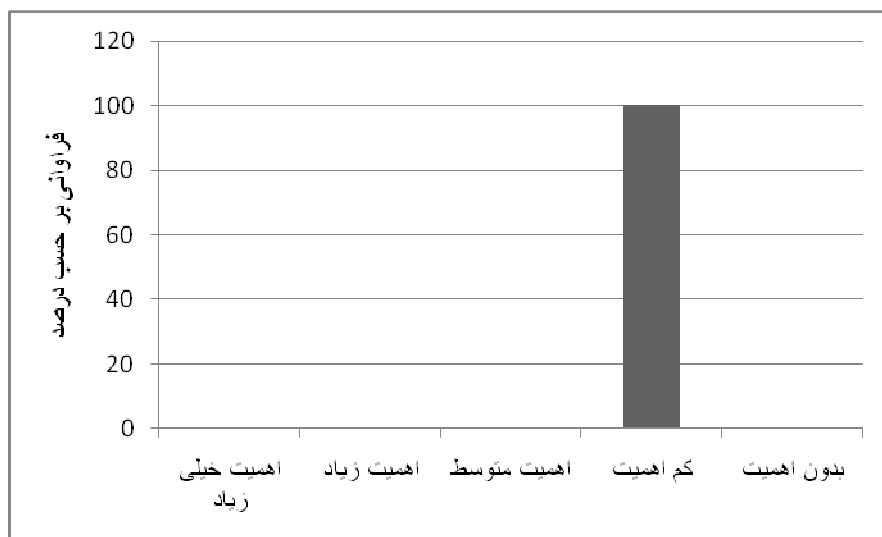
شکل ۵-۳۰- نمودار فراوانی درصد مواد جامد

در شکل‌های ۵-۳۰، پارامتر درصد مواد جامد از دیدگاه کارشناسان از اهمیت متوسط تا کم اهمیت تشخیص داده شده است. ولی با در نظر گرفتن توزیع درصد فراوانی از میزان امتیاز اهمیت متوسط آن می‌کاهد.



شکل ۵-۳۱- نمودار فراوانی درصد پرشدگی آسیا

در شکل‌های ۵-۳۱، پارامتر درصد پرشدگی آسیا از دیدگاه همه کارشناسان اهمیت متوسط تشخیص داده شده است و تأکید امتیاز اهمیت متوسط وحدت نظر کارشناسان را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۲- نمودار فراوانی مصرف برق آسیا

در شکل‌های ۵-۳۲، پارامتر مصرف برق آسیا از دیدگاه همه کارشناسان کم اهمیت تشخیص داده شده است و تأکید امتیاز کم اهمیت وحدت نظر کارشناسان را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۵۲- ماتریس مقایسه زوجی معیارها

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
C ₁	(۱و۱)	(۰/۵۶و۱/۲۴و۳/۳)	(۰/۵۶و۱/۸۵و۱/۱۰)	(۰/۵۶و۱/۳۴و۳/۳)	(۰/۵و۱/۱۳و۲)	(۰/۵و۱/۱۶و۲)	(۰/۵۶و۱/۳۴و۳/۳)	(۰/۵۶و۱/۴۵و۳/۳)	(۰/۵۶و۱/۵۸و۳/۳)	(۰/۵۶و۱/۵۸و۳/۳)	(۰/۵و۱/۱۲و۲)	(۰/۵و۰/۹۶و۱/۴)	(۰/۷۱و۲/۱و۱۰)	(۰/۷۱و۱/۷۴و۳/۳)	(۱و۲/۹و۱۰)
C ₂	(۰/۳و۰/۸و۲)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۴۸و۱/۱۰)	(۰/۳۳و۱/۰۷و۳/۳)	(۰/۳و۰/۹۱و۲)	(۰/۳و۰/۹۳و۲)	(۰/۳۳و۱/۰۸و۳/۳)	(۰/۳۳و۱/۱۶و۳/۳)	(۰/۳۳و۱/۲۷و۳/۳)	(۰/۳و۱/۲۷و۳/۳)	(۰/۳و۰/۹و۲)	(۰/۳و۰/۷۷و۱/۴)	(۰/۴۲و۱/۶۶و۱/۱۰)	(۰/۴۳و۱/۴و۳/۳)	(۰/۶و۲/۳و۱۰)
C ₃	(۰/۱و۰/۵۴و۱/۸)	(۰/۱و۰/۶۷و۳)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۰/۷۲و۳)	(۰/۱و۰/۶۱و۱/۸)	(۰/۱و۰/۶۲و۱/۸)	(۰/۱۱و۰/۷۲و۳)	(۰/۱۱و۰/۷۸و۳)	(۰/۱۱و۰/۸۵و۳)	(۰/۱۱و۰/۸و۳)	(۰/۱و۰/۶و۱/۸)	(۰/۱و۰/۵۲و۱/۳)	(۰/۱۴و۱/۱۱و۹)	(۰/۱۴و۰/۹۴و۳)	(۰/۲و۱/۵۶و۹)
C ₄	(۰/۳و۰/۷۵و۱/۸)	(۰/۳و۰/۹۳و۳)	(۰/۳۳و۱/۳۸و۹)	(۱و۱)	(۰/۳و۰/۸۳و۱/۸)	(۰/۳و۰/۸۶و۱/۸)	(۰/۳۳و۱/۳و۳)	(۰/۳۳و۱/۰۸و۳)	(۰/۳۳و۱/۱۸و۳)	(۰/۳۳و۱/۱۸و۳)	(۰/۳و۰/۸۳و۱/۸)	(۰/۳و۰/۷۳و۱/۳)	(۰/۴۲و۱/۵۴و۹)	(۰/۴۳و۱/۳و۳)	(۰/۶و۲/۱و۹)
C ₅	(۰/۵و۰/۸۸و۲)	(۰/۵و۱/۱و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۶۳و۱/۱۰)	(۰/۵۵و۱/۱۸و۳/۳)	(۱و۱)	(۰/۵و۱/۰۲و۲)	(۰/۵۵و۱/۱۸و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۲۸و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۴و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۴و۳/۳)	(۰/۵و۱/۲و۲)	(۰/۵و۰/۸۵و۱/۴)	(۰/۷۱و۱/۸۳و۱/۱۰)	(۰/۷۱و۱/۵۴و۳/۳)	(۱و۲/۵۶و۱۰)
C ₆	(۰/۵و۰/۸۶و۲)	(۰/۵و۱/۰۷و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۵۹و۱/۱۰)	(۰/۵۵و۱/۱۵و۳/۳)	(۰/۵و۰/۹۷و۲)	(۱و۱)	(۰/۵۵و۱/۱۵و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۲۵و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۳۶و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۳۶و۳/۳)	(۰/۵و۰/۹۷و۲)	(۰/۵و۰/۸۳و۱/۴)	(۰/۷۱و۱/۷۸و۱/۱۰)	(۰/۷۱و۱/۵و۳/۳)	(۱و۲/۵و۱۰)
C ₇	(۰/۳و۰/۷۵و۱/۸)	(۰/۳و۰/۹۲و۳)	(۰/۳۳و۱/۳۸و۹)	(۰/۳۳و۱/۳و۳)	(۰/۳و۰/۸۴و۱/۸)	(۰/۳و۰/۸۷و۱/۸۲)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۰۸و۳)	(۰/۳۳و۱/۱۸و۳)	(۰/۳۳و۱/۱۸و۳)	(۰/۳و۰/۸۴و۱/۸)	(۰/۳و۰/۷۳و۱/۳)	(۰/۴۲و۱/۵۴و۹)	(۰/۴۳و۱/۳و۳)	(۰/۶و۲/۱و۹)
C ₈	(۰/۳و۰/۷و۱/۸)	(۰/۳و۰/۸۶و۳)	(۰/۳۳و۱/۲۸و۹)	(۰/۳۳و۰/۹۲و۳)	(۰/۳و۰/۷۸و۱/۸)	(۰/۳و۰/۸و۱/۸۲)	(۰/۳۳و۰/۹۲و۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۰۹و۳)	(۰/۳۳و۱/۰۹و۳)	(۰/۳و۰/۷۸و۱/۸)	(۰/۳و۰/۶۶و۱/۳)	(۰/۴۲و۱/۴۲و۹)	(۰/۴۳و۱/۲و۳)	(۰/۶و۲و۹)
C ₉	(۰/۳و۰/۶۳و۱/۸)	(۰/۳و۰/۷۸و۳)	(۰/۳۳و۱/۱۷و۹)	(۰/۳۳و۰/۸۵و۳)	(۰/۳و۰/۷۱و۱/۸)	(۰/۳و۰/۷۳و۱/۸۲)	(۰/۳۳و۰/۹۲و۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۳و۳)	(۰/۳۳و۱/۳و۳)	(۰/۳و۰/۷۱و۱/۸)	(۰/۳و۰/۶۱و۱/۳)	(۰/۴۲و۱/۳و۹)	(۰/۴۳و۱/۱و۳)	(۰/۶و۱/۸و۹)
C ₁₀	(۰/۳و۰/۶۳و۱/۸)	(۰/۳و۰/۷۸و۳)	(۰/۳۳و۱/۱۷و۹)	(۰/۳۳و۰/۸۵و۳)	(۰/۳و۰/۷۱و۱/۸)	(۰/۳و۰/۷۳و۱/۸۲)	(۰/۳۳و۰/۹۲و۳)	(۰/۳۳و۱/۳و۳)	(۱و۱)	(۱و۱)	(۰/۱و۰/۵۸و۱/۴)	(۰/۱و۰/۵و۱)	(۰/۱۴و۱/۰۷و۷)	(۰/۱۴و۰/۹و۲/۳)	(۰/۲و۱/۵و۷)
C ₁₁	(۰/۵و۰/۸۸و۲)	(۰/۵و۱/۱و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۶۳و۱/۱۰)	(۰/۵۵و۱/۱۸و۳/۳)	(۰/۵و۱/۲و۲)	(۰/۵و۱/۰۲و۲)	(۰/۵۵و۱/۱۸و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۲۸و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۴و۳/۳)	(۰/۷۱و۱/۷و۱۰)	(۱و۱)	(۰/۵و۰/۸۵و۱/۴)	(۰/۷۱و۱/۸۳و۱/۱۰)	(۰/۷۱و۱/۵۴و۳/۳)	(۱و۲/۵۶و۱۰)
C ₁₂	(۰/۷و۱/۰۲و۲)	(۰/۷و۱/۲۸و۳/۳)	(۰/۷۷و۱/۹۱و۱/۱۰)	(۰/۷۷و۱/۳۴و۳/۳)	(۰/۷و۱/۱۶و۲)	(۰/۷و۱/۲و۲)	(۰/۷۷و۱/۳۴و۳/۳)	(۰/۷۷و۱/۵و۳/۳)	(۰/۷۷و۱/۶۴و۳/۳)	(۱و۲و۱۰)	(۰/۷و۱/۱۶و۲)	(۱و۱)	(۰/۱و۲/۱۴و۱۰)	(۱و۱/۸و۳/۳)	(۱/۴و۳و۱۰)
C ₁₃	(۰/۱و۰/۴۸و۱/۴)	(۰/۱و۰/۶و۲/۳)	(۰/۱۱و۰/۸۹و۷)	(۰/۱۱و۰/۶۵و۲/۳)	(۰/۱و۰/۵۴و۱/۴)	(۰/۱و۰/۵۶و۱/۴)	(۰/۱۱و۰/۶۵و۲/۳)	(۰/۱۱و۰/۷و۲/۳)	(۰/۱۱و۰/۷۶و۲/۳)	(۰/۱۴و۰/۹۳و۷)	(۰/۱و۰/۵۴و۱/۴)	(۰/۱و۰/۴۶و۱)	(۱و۱)	(۰/۱۴و۰/۸۴و۲/۳)	(۰/۲و۱/۴و۷)
C ₁₄	(۰/۳و۰/۵۷و۱/۴)	(۰/۳و۰/۷۱و۲/۳)	(۰/۳۳و۱/۰۶و۷)	(۰/۳۳و۰/۷۷و۲/۳)	(۰/۳و۰/۶۵و۱/۴)	(۰/۳و۰/۶۶و۱/۴)	(۰/۳۳و۰/۷۷و۲/۳)	(۰/۳۳و۰/۸۲و۲/۳)	(۰/۳۳و۰/۹و۲/۳)	(۰/۴۳و۱/۱۱و۷)	(۰/۳و۰/۶۵و۱/۴)	(۰/۳و۰/۵۵و۱)	(۰/۴۲و۱/۱۹و۷)	(۱و۱)	(۰/۶و۱/۶۶و۷)
C ₁₅	(۰/۱و۰/۳۴و۱)	(۰/۱و۰/۴۲و۱/۶۶)	(۰/۱۱و۰/۶۴و۵)	(۰/۱۱و۰/۴۶و۱/۶)	(۰/۱و۰/۳۸و۱)	(۰/۱و۰/۴۱و۱)	(۰/۱۱و۰/۴۶و۱/۶)	(۰/۱۱و۰/۵و۱/۶)	(۰/۱۱و۰/۵۴و۱/۶۶)	(۰/۱۴و۰/۶۶و۵)	(۰/۱و۰/۳۹و۱)	(۰/۱و۰/۳۳و۰/۷۱)	(۰/۱۴و۰/۷و۵)	(۰/۱۴و۰/۶و۱/۶)	(۱و۱)

بعد از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، برای محاسبه مقدار S_i ها ابتدا باید مقادیر M_{gi}^j که عبارت

است از مجموع اعداد هر سطر، محاسبه شود، که به عنوان مثال برای سطر اول این مقدار برابر با $(۸۶/۱)$ و

$(۲۲ و ۸/۷۶)$ خواهد بود و سایر مقادیر در جدول ۵-۵۳ نشان داده شده است. سپس مقادیر $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]$

که عبارت است از مجموعه اعداد کل داخل ماتریس، محاسبه می‌شود که مقدار آن برای ماتریس مقایسه

زوجی معیارها برابر $(۱۱۶۵/۴۵ و ۲۳۷/۸۶ و ۷۶/۲۷)$ است. سپس مقدار معکوس مجموعه اعداد کل داخل

ماتریس که برابر است با: $(۰/۰۱۳۱۱ و ۰/۰۰۴۲ و ۰/۰۰۰۸۵)$ را در مجموع اعداد هر سطر ضرب فازی می-

کنیم.

جدول ۵-۵۳- مجموع اعداد هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

معیار	مجموع اعداد هر سطر
C_1	$(۹/۲۸ و ۲۹/۴۹ و ۶۴/۴)$
C_2	$(۵/۹ و ۱۸ و ۶۰/۲)$
C_3	$(۲/۶۳ و ۱۲/۰۴ و ۴۸/۵)$
C_4	$(۵/۹۲ و ۱۶/۶۹ و ۵۴/۵)$
C_5	$(۹/۲۲ و ۱۹/۸۵ و ۶۱/۵)$
C_6	$(۹/۲۲ و ۱۹/۳۴ و ۶۱/۵)$
C_7	$(۵/۹ و ۱۶/۶۲ و ۵۴/۵۲)$
C_8	$(۵/۹ و ۱۵/۵ و ۵۴/۵۲)$
C_9	$(۵/۹ و ۱۴/۹۶ و ۵۴/۵۲)$
C_{10}	$(۴/۵۳ و ۱۳/۱۹ و ۴۱/۱۲)$
C_{11}	$(۹/۳۸ و ۲۰/۱۵ و ۶۸/۲)$
C_{12}	$(۱۱/۷۶ و ۲۳/۴ و ۶۹/۲)$
C_{13}	$(۲/۶۳ و ۱۱ و ۳۴/۰۳)$
C_{14}	$(۵/۹ و ۱۳/۰۸ و ۴۷/۱)$
C_{15}	$(۲/۶۷ و ۷/۸۳ و ۳۰/۴۳)$

در نهایت مقادیر S_i برای هر یک از سطریهای ماتریس مقایسه زوجی طبق فرمول ۲-۵۷ به شرح زیر خواهند بود

$$\begin{aligned}
 S_{c_1} &= (9.28, 29.49, 64.4) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.001, 0.092, 0.665) \\
 S_{c_2} &= (5.9, 18, 60.2) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.007, 0.073, 0.621) \\
 S_{c_3} &= (2.63, 12.04, 48.5) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.003, 0.049, 0.5) \\
 S_{c_4} &= (5.92, 16.69, 54.5) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.007, 0.068, 0.563) \\
 S_{c_5} &= (9.22, 19.85, 61.5) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.011, 0.081, 0.635) \\
 S_{c_6} &= (9.22, 19.34, 61.5) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.011, 0.079, 0.635) \\
 S_{c_7} &= (5.9, 16.62, 54.52) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.007, 0.068, 0.563) \\
 S_{c_8} &= (5.9, 15.5, 54.52) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.007, 0.063, 0.563) \\
 S_{c_9} &= (5.9, 14.96, 54.52) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.007, 0.058, 0.563) \\
 S_{c_{10}} &= (4.53, 13.19, 41.12) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.005, 0.054, 0.425) \\
 S_{c_{11}} &= (9.38, 20.15, 68.2) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.011, 0.082, 0.704) \\
 S_{c_{12}} &= (11.76, 23.4, 69.2) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.014, 0.092, 0.714) \\
 S_{c_{13}} &= (2.63, 11, 34.03) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.003, 0.045, 0.351) \\
 S_{c_{14}} &= (5.9, 13.08, 47.1) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.005, 0.053, 0.486) \\
 S_{c_{15}} &= (2.67, 7.83, 30.43) \otimes (0.00085, 0.0042, 0.01311) = (0.002, 0.032, 0.314)
 \end{aligned}$$

برای محاسبه درجه بزرگی عدد فازی $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ نسبت به عدد فازی $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ از رابطه (۲-۷۰) استفاده شده است برای مثال برای محاسبه $V(S_{c_2} \geq S_{c_1})$ دو مقدار $S_{c_1} = (0.001, 0.092, 0.665)$ و $S_{c_2} = (0.007, 0.073, 0.621)$ را در نظر گرفته، همانطور که مشاهده می‌شود دو شرط اولیه رابطه (۲-۶۳) برقرار نیستند و در نتیجه مقدار $V(S_{c_2} \geq S_{c_1})$ از شرط سوم به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$V(S_{c_2} \geq S_{c_1}) = \frac{0.001 - 0.621}{(0.073 - 0.621) - (0.092 - 0.001)} = 0.97$$

به همین ترتیب سایر درجه بزرگی مقادیر S_i به طور مشابه محاسبه می‌شوند که به شرح زیر خواهد بود:

$V(S_{c_1} \geq S_{c_2})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_1})=0.97$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_1})=0.92$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_1})=0.96$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_3})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_3})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_2})=0.95$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_2})=0.99$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_4})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_4})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_4})=0.96$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_3})=1$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_5})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_5})=0.97$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_5})=0.94$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_5})=0.97$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_6})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_6})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_6})=0.94$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_6})=0.98$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_7})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_7})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_7})=0.96$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_7})=1$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_8})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_8})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_8})=0.97$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_8})=1$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_9})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_9})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_9})=0.98$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_9})=1$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_{10}})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_{10}})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_{10}})=0.99$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_{10}})=1$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_{11}})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_{11}})=0.98$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_{11}})=0.93$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_{11}})=0.97$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_{12}})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_{12}})=0.97$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_{12}})=0.91$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_{12}})=0.96$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_{13}})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_{13}})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_{13}})=1$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_{13}})=1$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_{14}})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_{14}})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_{14}})=0.99$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_{14}})=1$
$V(S_{c_1} \geq S_{c_{15}})=1$	$V(S_{c_2} \geq S_{c_{15}})=1$	$V(S_{c_3} \geq S_{c_{15}})=1$	$V(S_{c_4} \geq S_{c_{15}})=1$

$V(S_{c_5} \geq S_{c_1})=0.98$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_1})=0.98$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_1})=0.96$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_1})=0.95$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_2})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_2})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_2})=0.99$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_2})=0.98$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_3})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_3})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_3})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_3})=1$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_4})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_4})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_4})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_4})=1$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_6})=0.99$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_5})=0.99$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_5})=0.97$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_5})=0.97$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_7})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_7})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_6})=0.98$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_6})=0.97$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_8})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_8})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_8})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_7})=1$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_9})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_9})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_9})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_9})=1$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_{10}})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_{10}})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_{10}})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_{10}})=1$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_{11}})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_{11}})=0.99$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_{11}})=0.97$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_{11}})=0.96$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_{12}})=0.98$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_{12}})=0.98$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_{12}})=0.96$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_{12}})=0.95$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_{13}})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_{13}})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_{13}})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_{13}})=1$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_{14}})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_{14}})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_{14}})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_{14}})=1$
$V(S_{c_5} \geq S_{c_{15}})=1$	$V(S_{c_6} \geq S_{c_{15}})=1$	$V(S_{c_7} \geq S_{c_{15}})=1$	$V(S_{c_8} \geq S_{c_{15}})=1$

$$\begin{array}{llll}
V(S_{c_9} \geq S_{c_1}) = 0.94 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_1}) = 0.91 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_1}) = 0.98 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_1}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_2}) = 0.97 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_2}) = 0.95 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_2}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_2}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_3}) = 1 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_3}) = 1 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_3}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_3}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_4}) = 0.98 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_4}) = 0.96 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_4}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_4}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_5}) = 0.96 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_5}) = 0.94 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_5}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_5}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_6}) = 0.96 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_6}) = 0.94 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_6}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_6}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_7}) = 0.98 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_7}) = 0.96 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_7}) = 1 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_7}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_8}) = 0.99 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_8}) = 0.98 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_8}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_8}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_{10}}) = 1 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_9}) = 1 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_9}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_9}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_{11}}) = 0.96 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_{11}}) = 0.93 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_{10}}) = 1 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_{10}}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_{12}}) = 0.94 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_{12}}) = 0.91 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_{12}}) = 0.98 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_{11}}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_{13}}) = 1 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_{13}}) = 1 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_{13}}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_{13}}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_{14}}) = 1 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_{14}}) = 1 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_{14}}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_{14}}) = 1 \\
V(S_{c_9} \geq S_{c_{15}}) = 1 & V(S_{c_{10}} \geq S_{c_{15}}) = 1 & V(S_{c_{11}} \geq S_{c_{15}}) = 1 & V(S_{c_{12}} \geq S_{c_{15}}) = 1
\end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_1}) = 0.88 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_1}) = 0.92 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_1}) = 0.84 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_2}) = 0.92 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_2}) = 0.96 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_2}) = 0.88 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_3}) = 1 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_3}) = 1 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_3}) = 0.95 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_4}) = 0.93 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_4}) = 0.97 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_4}) = 0.89 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_5}) = 0.9 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_5}) = 0.94 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_5}) = 0.86 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_6}) = 0.91 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_6}) = 0.95 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_6}) = 0.86 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_7}) = 0.93 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_7}) = 0.97 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_7}) = 0.89 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_8}) = 0.95 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_8}) = 0.98 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_8}) = 0.91 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_9}) = 0.96 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_9}) = 1 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_9}) = 0.92 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_{10}}) = 0.97 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_{10}}) = 1 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_{10}}) = 0.93 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_{11}}) = 0.9 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_{11}}) = 0.94 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_{11}}) = 0.85 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_{12}}) = 0.97 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_{12}}) = 0.92 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_{12}}) = 0.83 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_{14}}) = 0.98 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_{13}}) = 1 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_{13}}) = 0.96 \\
V(S_{c_{13}} \geq S_{c_{15}}) = 1 & V(S_{c_{14}} \geq S_{c_{15}}) = 1 & V(S_{c_{15}} \geq S_{c_{14}}) = 0.93
\end{array}$$

سپس با توجه به فرمول (۲-۷۲) وزن‌های دارای تقدم به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$d'(C_2) = \min(0.97, 1, 1, 0.97, 1, 1, 1, 1, 0.98, 0.97, 1, 1) = 0.97$$

مثال:

$$d'(C_1) = 1$$

$$d'(C_2) = 0.97$$

$$d'(C_3) = 0.91$$

$$d'(C_4) = 0.96$$

$$d'(C_5) = 0.98$$

$$d'(C_6) = 0.98$$

$$d'(C_7) = 0.96$$

$$d'(C_8) = 0.95$$

$$d'(C_9) = 0.94$$

$$d'(C_{10}) = 0.91$$

$$d'(C_{11}) = 0.98$$

$$d'(C_{12}) = 1$$

$$d'(C_{13}) = 0.87$$

$$d'(C_{14}) = 0.92$$

$$d'(C_{15}) = 0.83$$

و در نهایت وزن نرمال شده معیارها در ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه شده که نتایج در جدول ۵-۵۴ درج شده است.

جدول ۵-۵۴- وزن نهایی معیارها

معیارها	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
سختی گلوله	1	0.07
اندازه گلوله برای کاهش نرمه	0.97	0.069
قیمت گلوله	0.91	0.064
درصد شارژ گلوله برای کاهش نرمه	0.96	0.068
وزن مخصوص گلوله	0.98	0.069
سختی ماده معدنی	0.98	0.069
دانسیتته ماده معدنی	0.96	0.068
ابعاد بار ورودی	0.95	0.067
دبی بار ورودی	0.94	0.066
سرعت نسبی آسیا	0.91	0.064
اندیس کار	0.98	0.069
اندیس سایش	1	0.07
درصد مواد جامد	0.87	0.061
درصد پرشدگی آسیا	0.92	0.065
مصرف برق آسیا	0.83	0.058

به همین ترتیب برای گزینه‌های موجود ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل داده می‌شود و ۴ گزینه کاندید با توجه به معیارهای موجود نسبت به هم مقایسه می‌شوند که نتایج آن در جداول ۵-۵۵ تا ۵-۶۹ ارائه شده است.

جدول ۵-۵۵- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار سختی گلوله

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۳و۰/۹۳/۳)	(۰/۳۳و۱/۰۴۳)	(۰/۳و۰/۷۹/۳)
B	(۰/۳۳و۱/۰۷۳/۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۰/۳و۰/۸۵/۳)
C	(۰/۳۳و۰/۹۶/۳)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۱و۱)	(۰/۳و۰/۷۶/۳)
D	(۰/۳۳و۱/۲۷/۳)	(۰/۳۳و۱/۱۸/۳)	(۰/۳۳و۱/۳۳/۳)	(۱و۱)

جدول ۵-۵۶- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اندازه گلوله برای کاهش نرمه

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)
B	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)
C	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)
D	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۰/۳۳و۱/۰۳۳)	(۱و۱)

جدول ۵-۵۷- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار قیمت گلوله

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۷۱و۲/۱۰)	(۰/۷۱و۱/۵۵و۱۰)	(۰/۵۵و۱/۲۷و۳/۳)
B	(۰/۱و۰/۵و۱/۴)	(۱و۱)	(۰/۱۴و۰/۷۷و۷)	(۰/۱۱و۰/۶۴و۲/۳)
C	(۰/۱و۰/۶۴و۱/۴)	(۰/۱۴و۱/۳و۷/۱)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۰/۸۲و۲/۳)
D	(۰/۳و۰/۷۹و۱/۸)	(۰/۴۳و۱/۵۶و۹/۱)	(۰/۴۳و۱/۲۲و۹/۱)	(۱و۱)

جدول ۵-۵۸- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار درصد شارژ گلوله برای کاهش نرمه

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۵و۷۹/۱۱۰)	(۶۷و۸۳/۱۱۰)	(۹و۷۱/۱۰)
B	(۹و۲۶/۱۳)	(۱و۱)	(۵و۱۱)	(۳و۱۱/۱۰)
C	(۹و۲۶/۱۳)	(۹و۹۵/۲۰)	(۱و۱)	(۳و۱۱/۱۰)
D	(۱۰و۱۲/۶)	(۱۰و۹۵/۳۳)	(۱۰و۳۳)	(۱و۱)

جدول ۵-۵۹- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار وزن مخصوص گلوله

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۳و۸۹/۳۰)	(۳و۲۵/۴۳)	(۳و۸۳/۱۰)
B	(۳و۳۳/۱۲)	(۱و۱)	(۳و۴۳/۴۳)	(۳و۹۳/۳۳)
C	(۲و۸۲/۳۳)	(۲و۷۱/۳۳)	(۱و۱)	(۳و۶۶/۳۳)
D	(۳و۳۳/۲۳)	(۳و۱۱/۳۳)	(۳و۵۳/۴۲)	(۱و۱)

جدول ۵-۶۰- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار سختی ماده معدنی

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۹و۱۳/۳۳)	(۹و۴۷/۴۲)	(۳و۹۶/۳۰)
B	(۳و۸۸/۱۱)	(۱و۱)	(۹و۲۹/۱۴)	(۳و۸۵/۱۰)
C	(۳و۶۸/۱۱)	(۴و۷۷/۱۱)	(۱و۱)	(۳و۶۵/۱۰)
D	(۳و۴۳/۱۰)	(۱۰و۱۲/۳۳)	(۱۰و۵۴/۴۳)	(۱و۱)

جدول ۵-۶۱- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار دانسیته ماده معدنی

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۷و۹/۱۱)	(۷و۸۲/۱۴)	(۴و۶۴/۱۱)
B	(۱و۱۱/۱۴)	(۱و۱)	(۹و۹۱/۱۴)	(۸و۷۱/۱۰)
C	(۴و۲۲/۱۴)	(۴و۱۱/۱۴)	(۱و۱)	(۴و۷۸/۱۰)
D	(۱۰و۵۶/۷)	(۱۰و۴۵/۱۱)	(۱۰و۲۸/۷)	(۱و۱)

جدول ۵-۶۲- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار ابعاد بار ورودی

	A	B	C	D
A	(ا و ا)	(۰/۱۱ و ۰/۷۶ و ۲/۳)	(۰/۱۱ و ۰/۹ و ۷)	(۰/۱ و ۰/۶۸ و ۲/۳)
B	(۰/۴۲ و ۱/۳ و ۹/۱)	(ا و ا)	(۰/۳۳ و ۱/۱۹ و ۹)	(۰/۳ و ۰/۸۸ و ۳/۳)
C	(۰/۱۴ و ۱/۱۱ و ۹/۱)	(۰/۱۱ و ۰/۸۴ و ۳)	(ا و ا)	(۰/۱ و ۰/۷۵ و ۳/۳)
D	(۰/۴۲ و ۱/۴۷ و ۱۰)	(۰/۳۳ و ۱/۱۲ و ۳/۳)	(۰/۳۳ و ۱/۳ و ۱۰)	(ا و ا)

جدول ۵-۶۳- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار دبی بار ورودی

	A	B	C	D
A	(ا و ا)	(۰/۳ و ۰/۷۲ و ۲/۳)	(۰/۳۳ و ۰/۸۶ و ۷)	(۰/۳ و ۰/۶ و ۲/۳)
B	(۰/۴۲ و ۱/۳۸ و ۳/۳)	(ا و ا)	(۰/۳۳ و ۱/۱۹ و ۱۰)	(۰/۳ و ۰/۸۳ و ۳/۳)
C	(۰/۱۴ و ۱/۱۶ و ۳)	(۰/۱ و ۰/۸۴ و ۳)	(ا و ا)	(۰/۱ و ۰/۷ و ۳)
D	(۰/۴۲ و ۱/۶۶ و ۱۰)	(۰/۳ و ۱/۲ و ۳/۱)	(۰/۳۳ و ۱/۴۲ و ۱۰)	(ا و ا)

جدول ۵-۶۴- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار سرعت نسبی آسیا

	A	B	C	D
A	(ا و ا)	(۰/۱ و ۰/۶۴ و ۳)	(۰/۲ و ۱ و ۹)	(۰/۱ و ۰/۵۴ و ۱/۸)
B	(۰/۳۳ و ۱/۵۵ و ۱۰)	(ا و ا)	(۰/۶ و ۱/۵۵ و ۱۰)	(۰/۳ و ۰/۷۵ و ۲)
C	(۰/۱۱ و ۱ و ۵)	(۰/۱ و ۰/۶۴ و ۱/۶۶)	(ا و ا)	(۰/۱ و ۰/۵۴ و ۱)
D	(۰/۵۵ و ۱/۸۵ و ۱۰)	(۰/۵ و ۱/۱۸ و ۳/۱)	(۱ و ۱/۸۵ و ۱۰)	(ا و ا)

جدول ۵-۶۵- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اندیس کار

	A	B	C	D
A	(ا و ا)	(۰/۱۱ و ۰/۶۹ و ۲/۳)	(۰/۱۴ و ۱/۱۲ و ۷)	(۰/۱ و ۰/۵۸ و ۱/۴)
B	(۰/۴۳ و ۱/۴۵ و ۹/۱)	(ا و ا)	(۰/۴۳ و ۱/۶۲ و ۹)	(۰/۳ و ۰/۸۴ و ۱/۸)
C	(۰/۱۴ و ۰/۸۹ و ۷)	(۰/۱۱ و ۰/۶۱ و ۲/۳)	(ا و ا)	(۰/۱ و ۰/۵۲ و ۱/۴)
D	(۰/۷۱ و ۱/۷۲ و ۱۰)	(۰/۵۵ و ۱/۱۹ و ۳/۳)	(۰/۷۱ و ۱/۱۲ و ۱۰)	(ا و ا)

جدول ۵-۶۶- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اندیس سایش

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۱۰/۵۵و۲/۳)	(۰/۱۴و۱۷)	(۰/۱۰/۵۵و۲/۳)
B	(۰/۴۳و۱/۸و۱۰)	(۱و۱)	(۰/۴۲و۱/۷۵و۱۰)	(۰/۳۰/۹۶و۳/۳)
C	(۰/۱۴و۱۷)	(۰/۱۰/۵۷و۲/۳)	(۱و۱)	(۰/۱۰/۵۵و۲/۳)
D	(۰/۴۳و۱/۸و۱۰)	(۰/۳۰/۱۰۴و۳/۳)	(۰/۴۲و۱/۸و۱۰)	(۱و۱)

جدول ۵-۶۷- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار درصد مواد جامد

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۳۳و۰/۹۱و۹)	(۰/۳۳و۱/۱۶و۹)	(۰/۳۰/۸۵و۱/۸)
B	(۰/۱۱و۱/۱و۳)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۱/۲۶و۹)	(۰/۱۰/۹۲و۱/۸)
C	(۰/۱۱و۰/۸۶و۳)	(۰/۱۱و۰/۷۹و۹/۱)	(۱و۱)	(۰/۱۰/۷۳و۱/۸)
D	(۰/۵۵و۱/۱۸و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۰۹و۱۰)	(۰/۵۵و۱/۳۷و۱۰)	(۱و۱)

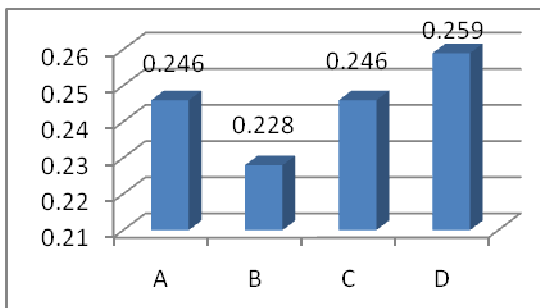
جدول ۵-۶۸- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار درصد پرشدگی آسیا

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۱۱و۰/۸۹و۷)	(۰/۱۱و۰/۸۱و۷)	(۰/۱۰/۶۵و۲/۳)
B	(۰/۱۴و۱/۱۲و۹/۱)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۰/۹و۹)	(۰/۱۰/۷۳و۲/۳)
C	(۰/۱۴و۱/۲۳و۹/۱)	(۰/۱۱و۱/۱و۹/۱)	(۱و۱)	(۰/۱۰/۸۱و۳)
D	(۰/۴۳و۱/۵۴و۱۰)	(۰/۴۳و۱/۳۷و۱۰)	(۰/۳۳و۱/۲۳و۱۰)	(۱و۱)

جدول ۵-۶۹- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار مصرف برق آسیا

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱و۹)	(۰/۴۳و۱/۰۵و۳)	(۰/۳۳و۰/۹۱و۹)
B	(۰/۱۴و۱/۱۲و۹/۱)	(۱و۱)	(۰/۱۴و۱/۰۵و۳)	(۰/۱۱و۰/۹۱و۹)
C	(۰/۳۳و۰/۹۵و۲/۳)	(۰/۳۳و۰/۹۵و۷)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۰/۸۹و۷)
D	(۰/۱۱و۱/۱و۳)	(۰/۱۱و۱/۱و۹/۱)	(۰/۱۴و۱/۱۵و۳)	(۱و۱)

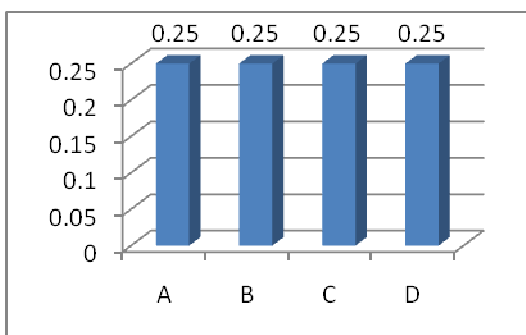
در ادامه وزن نهایی هر گزینه نسبت به هر معیار را محاسبه کرده که نتیجه نهایی در جداول ۵-۷۰ تا ۵-۸۴ نشان داده شده است. همچنین شکل‌های ۵-۳۳ تا ۵-۴۷ نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها را نسبت به هر معیار نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۳-نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله

جدول ۵-۷۰-وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله

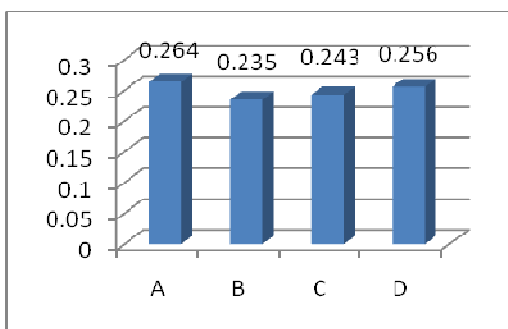
گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.95	0.246
B	0.96	0.228
C	0.95	0.246
D	1	0.259



شکل ۵-۳۴-نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله

جدول ۵-۷۱-وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	1	0.25
B	1	0.25
C	1	0.25
D	1	0.25



شکل ۵-۳۵-نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت

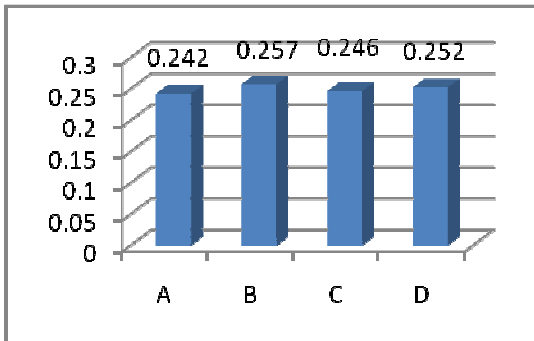
جدول ۵-۷۲-وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار قیمت

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	1	0.364
B	0.89	0.235
C	0.92	0.243
D	0.97	0.256

جدول ۵-۷۳- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار درصد شارژ گلوله

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.95	0.244
B	1	0.257
C	0.96	0.246
D	0.98	0.252

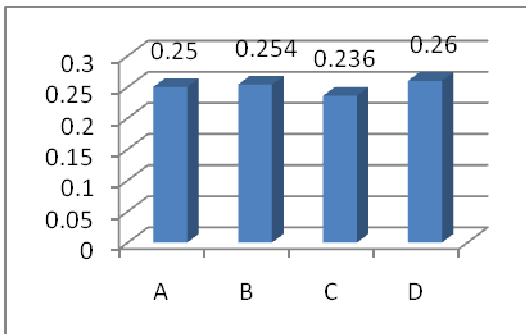


شکل ۵-۳۶- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار درصد شارژ گلوله

جدول ۵-۷۴- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار وزن مخصوص گلوله

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.96	0.25
B	0.98	0.254
C	0.98	0.236
D	1	0.26

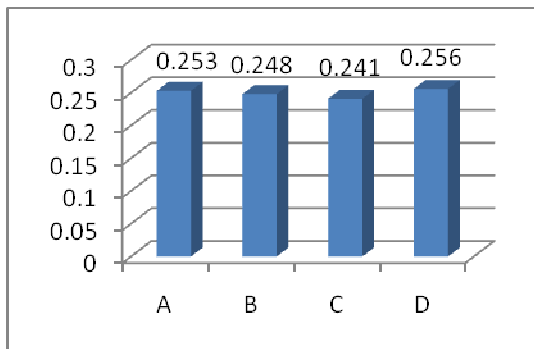


شکل ۵-۳۷- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله

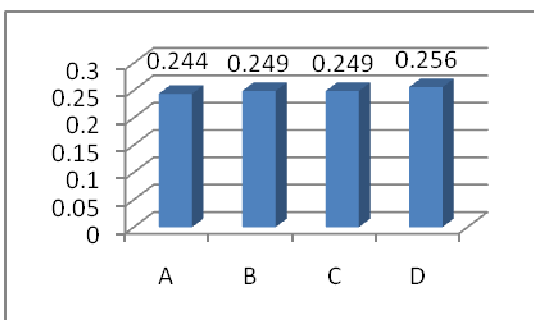
جدول ۵-۷۵- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار سختی ماده معدنی

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.99	0.253
B	0.97	0.248
C	0.94	0.241
D	1	0.256



شکل ۵-۳۸- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار سختی ماده معدنی

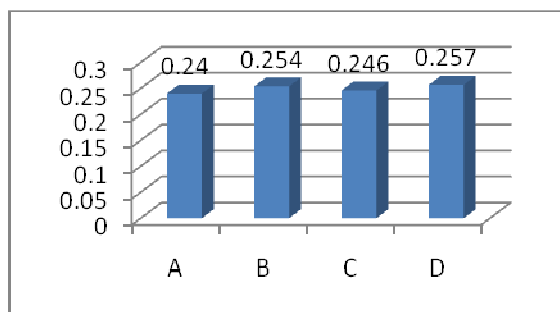


شکل ۵-۳۹- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی

جدول ۵-۷۶- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار دانسیته ماده معدنی

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.95	0.244
B	0.97	0.249
C	0.97	0.249
D	1	0.257

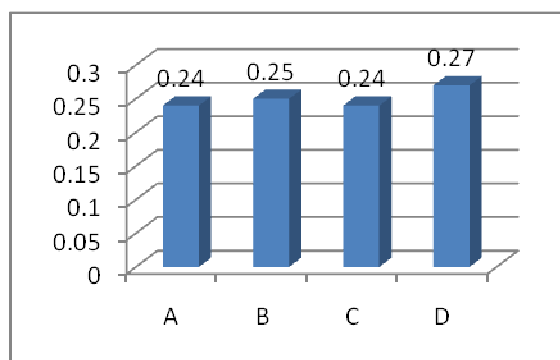


شکل ۵-۴۰- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار ابعاد بار ورودی

جدول ۵-۷۷- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار ابعاد بار ورودی

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.94	0.24
B	0.99	0.254
C	0.96	0.246
D	1	0.257

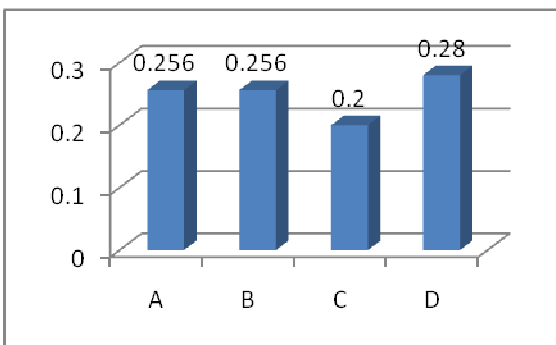


شکل ۵-۴۱- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار دبی بار ورودی

جدول ۵-۷۸- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار دبی بار ورودی

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.92	0.24
B	0.97	0.25
C	0.92	0.24
D	1	0.27

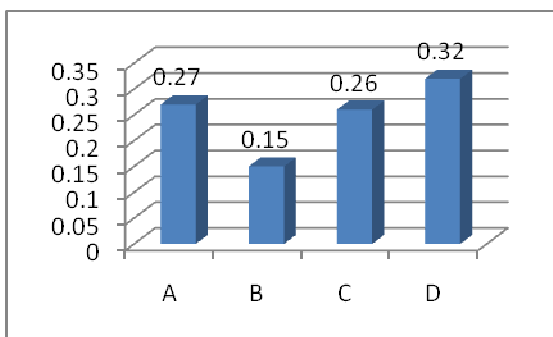


شکل ۵-۴۲- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا

جدول ۵-۷۹- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار سرعت نسبی آسیا

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.93	0.256
B	0.96	0.265
C	0.73	0.2
D	1	0.28

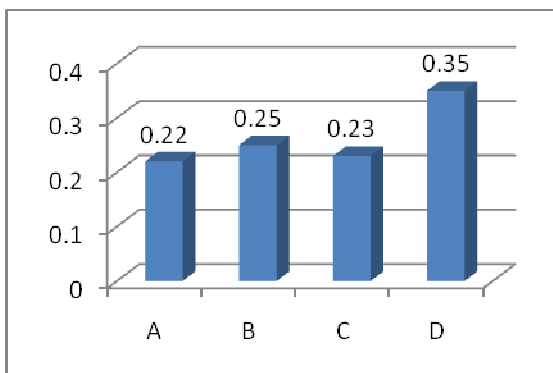


شکل ۵-۴۳- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس کار

جدول ۵-۸۰- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار اندیس کار

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.92	0.27
B	0.52	0.15
C	0.9	0.26
D	1	0.32

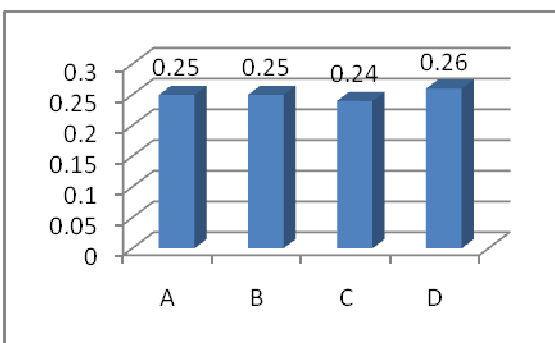


شکل ۵-۴۴- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار اندیس سایش

جدول ۵-۸۱- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار اندیس سایش

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
A	0.82	0.22
B	0.92	0.25
C	0.83	0.23
D	1	0.35

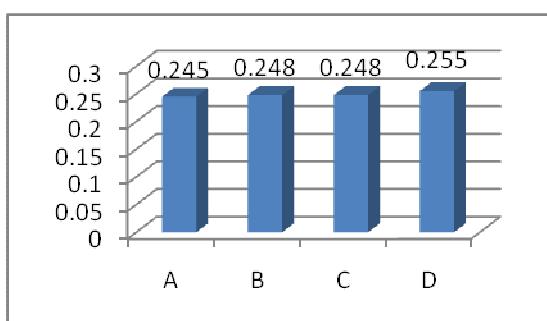


شکل ۵-۴۵- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار درصد مواد جامد

جدول ۵-۸۲- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار درصد مواد جامد

گزینه	وزن نرمال شده	وزن نرمال نشده
A	0.25	0.98
B	0.25	0.98
C	0.24	0.95
D	0.26	1

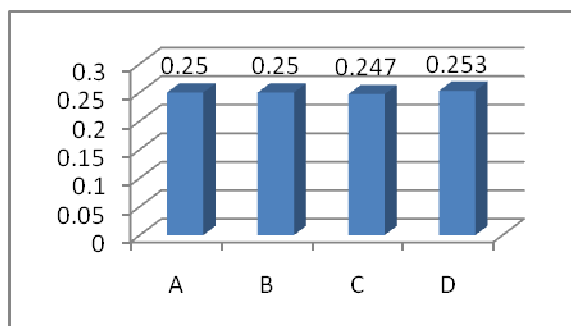


شکل ۵-۴۶- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا

جدول ۵-۸۳- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار درصد پرشدگی آسیا

گزینه	وزن نرمال شده	وزن نرمال نشده
A	0.245	0.96
B	0.248	0.97
C	0.25	0.98
D	0.255	1



شکل ۵-۴۷- نمودار میله‌ای وزن گزینه‌ها نسبت به معیار مصرف برق آسیا

جدول ۵-۸۴- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت

به معیار مصرف برق آسیا

گزینه	وزن نرمال شده	وزن نرمال نشده
A	0.25	0.99
B	0.25	0.99
C	0.247	0.98
D	0.253	1

امتیاز نهایی هر گزینه از جمع حاصل ضرب وزن نهایی معیارها در وزن نهایی هر گزینه نسبت به هر معیار به صورت زیر به دست می آید:

$$W_A = (0.246 * 0.07) + (0.25 * 0.069) + (0.264 * 0.064) + (0.244 * 0.068) + (0.25 * 0.069) + (0.253 * 0.069) + (0.244 * 0.068) + (0.24 * 0.067) + (0.24 * 0.066) + (0.256 * 0.064) + (0.27 * 0.069) + (0.22 * 0.07) + (0.25 * 0.061) + (0.245 * 0.065) + (0.25 * 0.58) = 0.23$$

$$W_B = (0.228 * 0.07) + (0.25 * 0.069) + (0.235 * 0.064) + (0.257 * 0.068) + (0.254 * 0.069) + (0.248 * 0.069) + (0.249 * 0.068) + (0.254 * 0.067) + (0.25 * 0.066) + (0.265 * 0.064) + (0.15 * 0.069) + (0.25 * 0.07) + (0.25 * 0.061) + (0.248 * 0.065) + (0.25 * 0.58) = 0.22$$

$$W_C = (0.246 * 0.07) + (0.25 * 0.069) + (0.243 * 0.064) + (0.246 * 0.068) + (0.236 * 0.069) + (0.241 * 0.069) + (0.249 * 0.068) + (0.246 * 0.067) + (0.24 * 0.066) + (0.2 * 0.064) + (0.26 * 0.069) + (0.23 * 0.07) + (0.24 * 0.061) + (0.25 * 0.065) + (0.245 * 0.58) = 0.24$$

$$W_D = (0.259 * 0.07) + (0.25 * 0.069) + (0.256 * 0.064) + (0.252 * 0.068) + (0.26 * 0.069) + (0.256 * 0.069) + (0.257 * 0.068) + (0.257 * 0.067) + (0.27 * 0.066) + (0.28 * 0.064) + (0.32 * 0.069) + (0.35 * 0.07) + (0.26 * 0.061) + (0.255 * 0.065) + (0.253 * 0.58) = 0.31$$

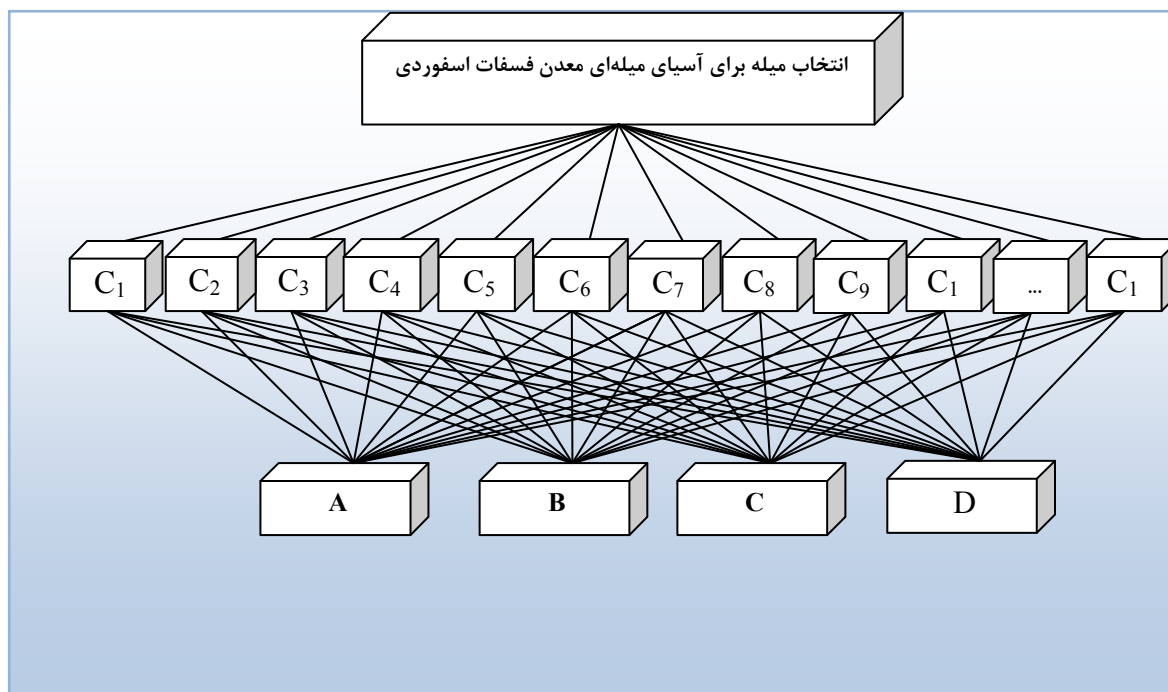
همان طور که مشاهده می کنید امتیاز گزینه D یعنی گلوله فولادی کروم دار محصول شرکت داکتیل ماشین بیشتر است در نتیجه به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود. گزینه C یعنی ترکیب گلوله فولادی منگن زدار محصول شرکت داکتیل ماشین و گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو در اولویت بعدی است. گلوله فولادی منگن زدار محصول شرکت داکتیل ماشین و گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو و گزینه به ترتیب در اولویت های بعدی هستند.

۵-۵- انتخاب میله برای آسیای میله‌ای معدن فسفات اسفوردی با استفاده از روش

FAHP

در این بخش برای تعیین گزینه برتر از بین چهار گزینه پیشنهادی برای میله از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده می‌شود. در این روش نیز پس از رسم نمودار سلسله مراتبی (شکل ۵-۴۸) ماتریس‌های مقایسه زوجی را تشکیل داده که عناصر ماتریس تصمیم‌گیری توسط متغیرهای زبانی که توسط اعداد فازی طبق جدول‌های ۵-۴۸ و ۵-۴۹ تعریف شدند بدست می‌آیند.

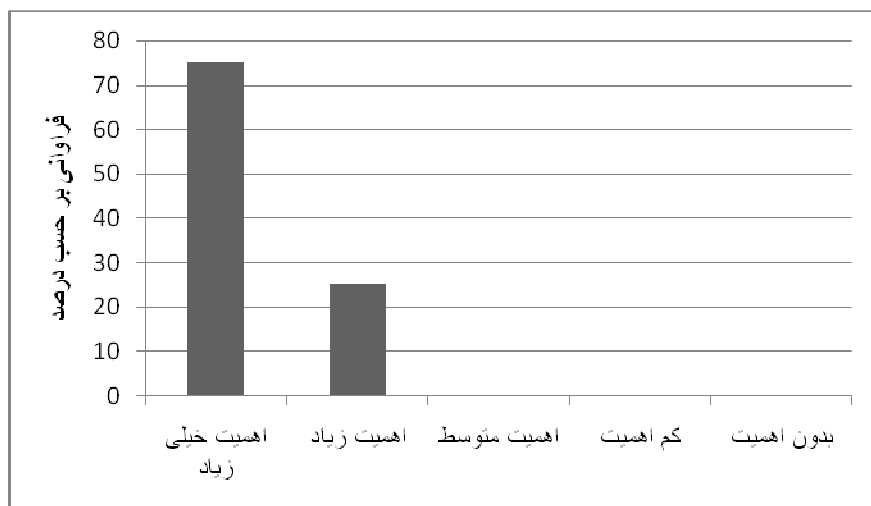
گام اول: رسم نمودار سلسله مراتبی



شکل ۵-۴۸- نمودار سلسله مراتبی برای انتخاب میله

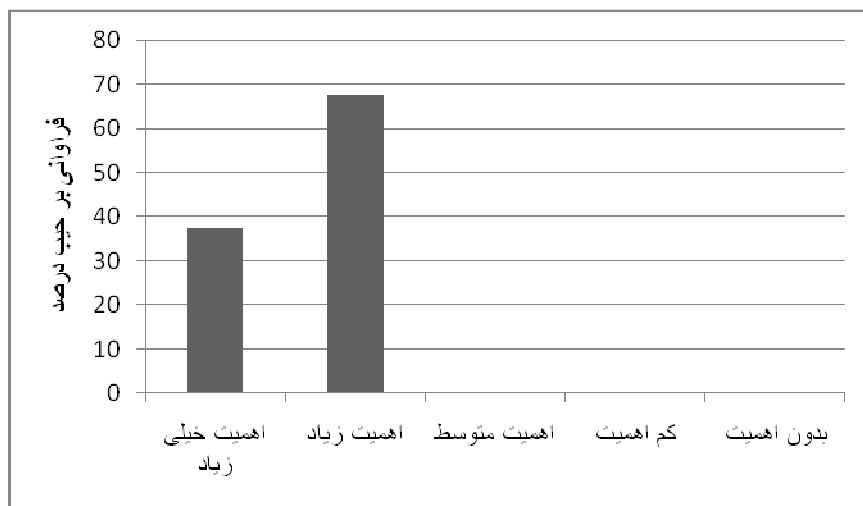
۲- تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی

در این بخش همانند مراحل انتخاب گلوله برای آسیای گلوله‌ای نمودار فراوانی هریک از پارامترها را محاسبه کرده که در شکل‌های ۴۹-۵ تا ۶۳-۵ آورده شده است.



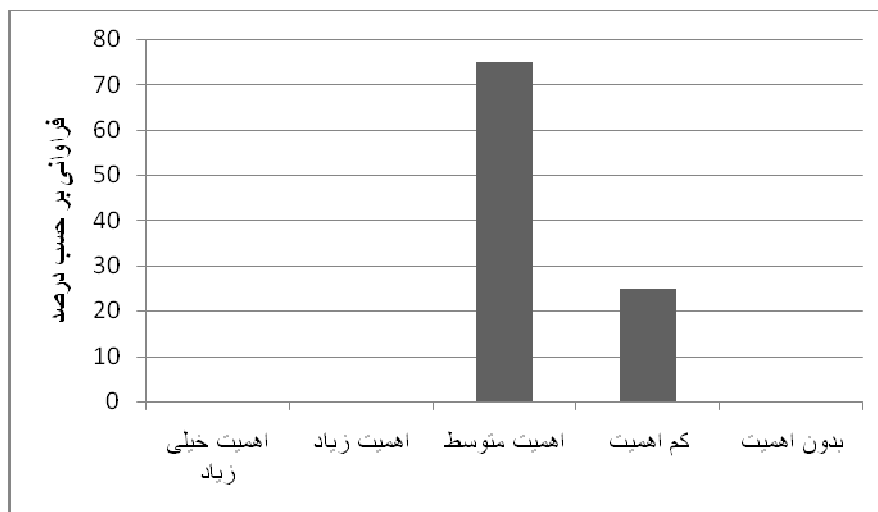
شکل ۴۹-۵- نمودار فراوانی سختی میله

درصد فراوانی در شکل ۴۹-۵، نشان دهنده تأکید کارشناسان بر اهمیت خیلی زیاد پارامتر سختی است. اما پراکندگی نظر برخی از کارشناسان به سمت اهمیت زیاد از امتیاز اهمیت خیلی زیاد آن می‌کاهد.



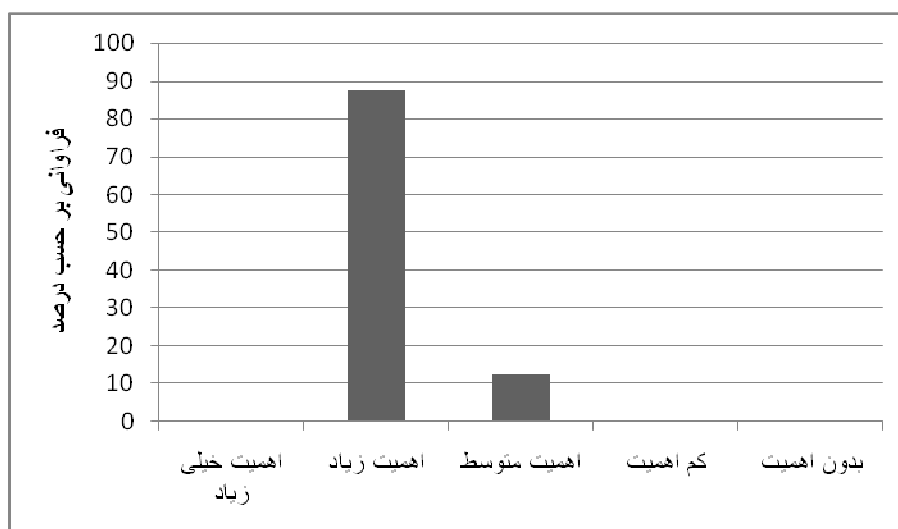
شکل ۵۰-۵- نمودار فراوانی اندازه میله برای کاهش نرمه

در شکل ۵-۵۰، پارامتر اندازه میله از دیدگاه کارشناسان اهمیت خیلی زیاد تا اهمیت زیاد تشخیص داده شده است. ولی با در نظر گرفتن توزیع درصد فراوانی نظر اکثر آنها امتیاز اهمیت زیاد می‌باشد.



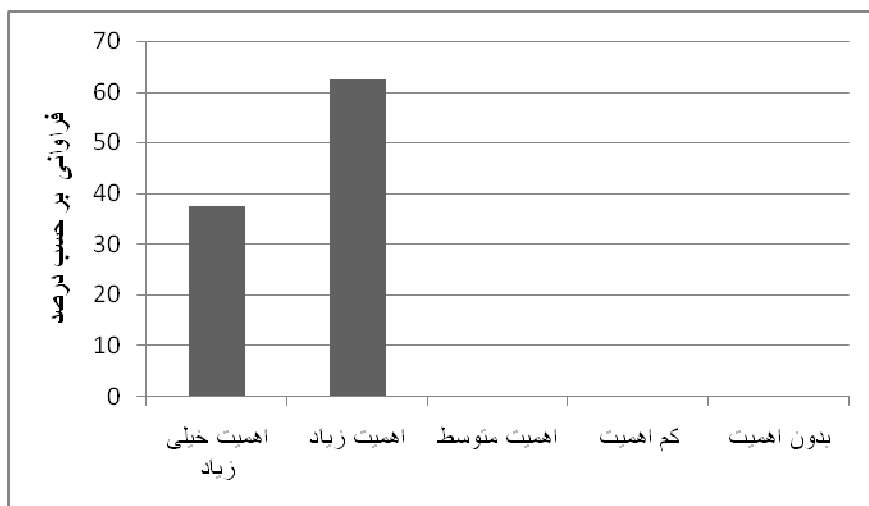
شکل ۵-۵۱- نمودار فراوانی قیمت میله

درصد فراوانی در شکل ۵-۵۱، نشان دهنده تأکید کارشناسان بر اهمیت متوسط پارامتر قیمت میله است. اما پراکندگی نظر برخی از کارشناسان به سمت کم اهمیت از امتیاز اهمیت متوسط آن می‌کاهد.

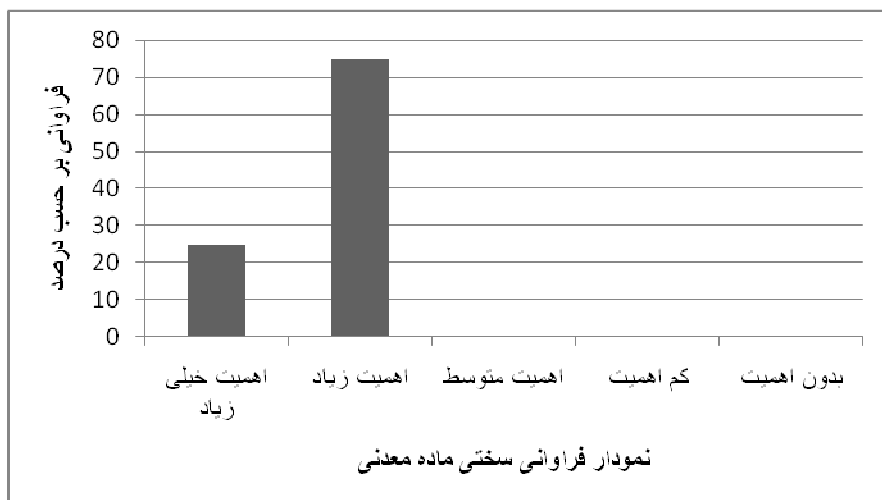


شکل ۵-۵۲- نمودار فراوانی درصد شارژ میله

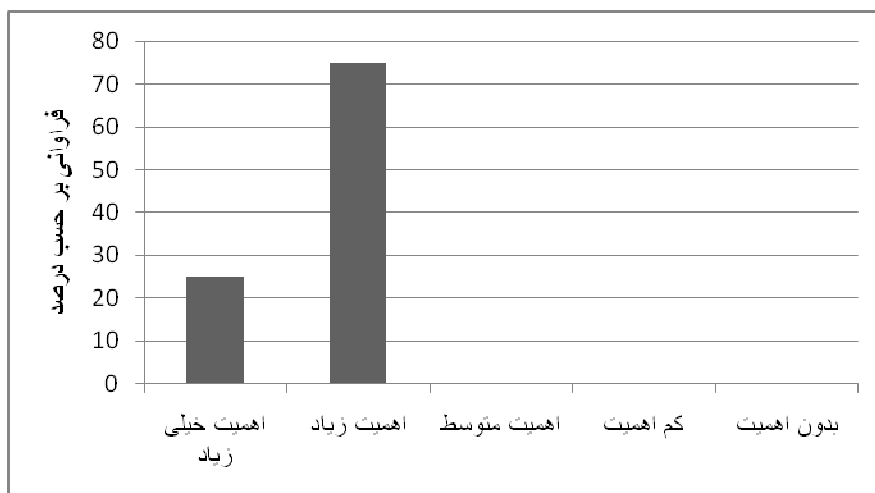
درصد فراوانی در شکل ۵-۵۲، نشان دهنده تأکید کارشناسان بر اهمیت زیاد پارامتر درصد شارژ است.



شکل ۵-۵۳- نمودار فراوانی وزن مخصوص میله

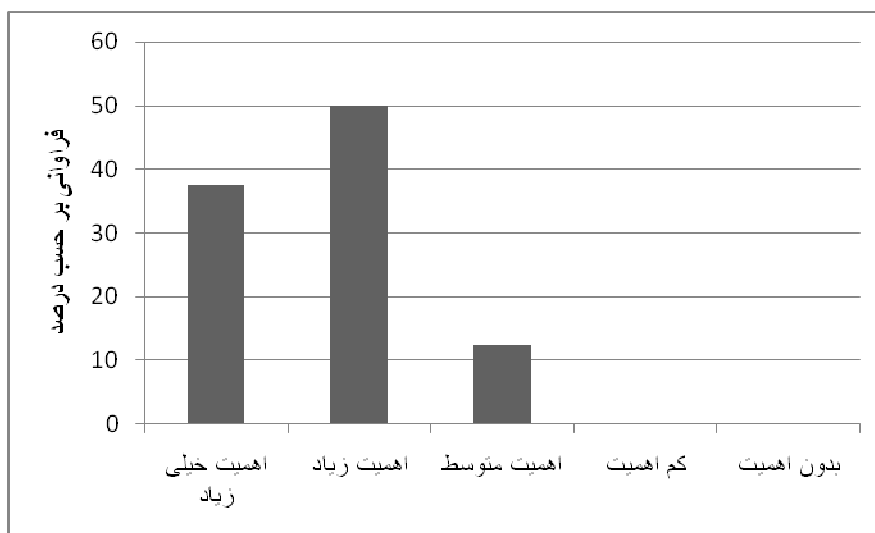


شکل ۵-۵۴- نمودار فراوانی سختی ماده معدنی



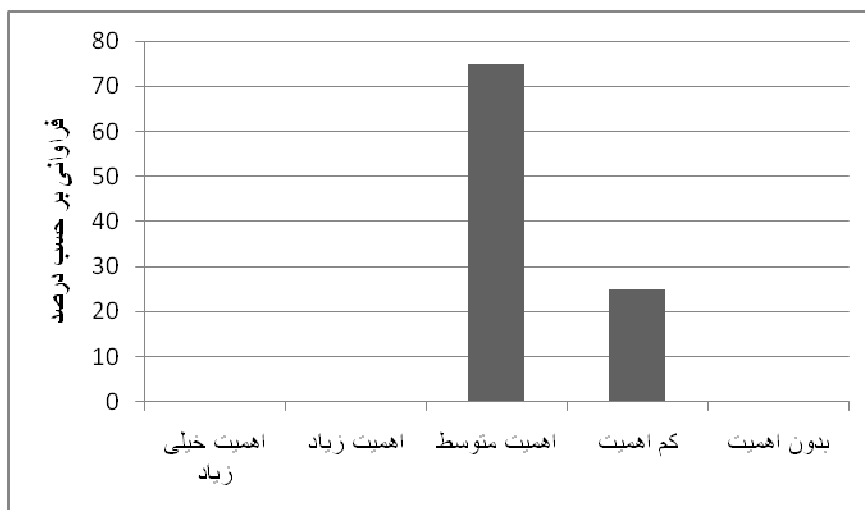
شکل ۵-۵۵- نمودار فراوانی دانشیته ماده معدنی

در شکل‌های ۵-۵۳ و ۵-۵۴ و ۵-۵۵، پارامترهای اندازه میله برای کاهش نرمه، سختی ماده معدنی و دانسیته ماده معدنی از دیدگاه کارشناسان اهمیت خیلی زیاد تا اهمیت زیاد تشخیص داده شده است. ولی با در نظر گرفتن توزیع درصد فراوانی نظر اکثر آنها امتیاز اهمیت زیاد می‌باشد.



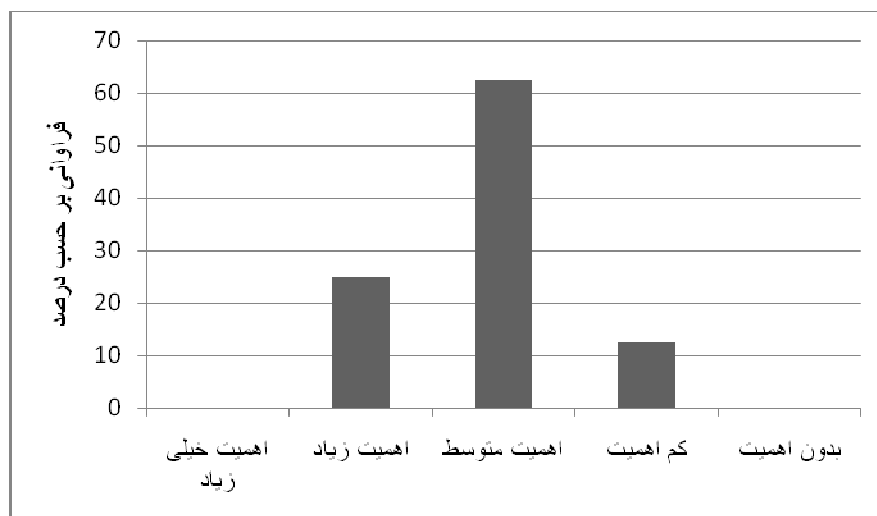
شکل ۵-۵۶- نمودار فراوانی ابعاد بار ورودی

چنانچه در شکل ۵-۵۶ نشان داده شده است، نظر داوران روی ابعاد بار ورودی بیشتر به سمت امتیاز اهمیت زیاد متمایل بوده است.



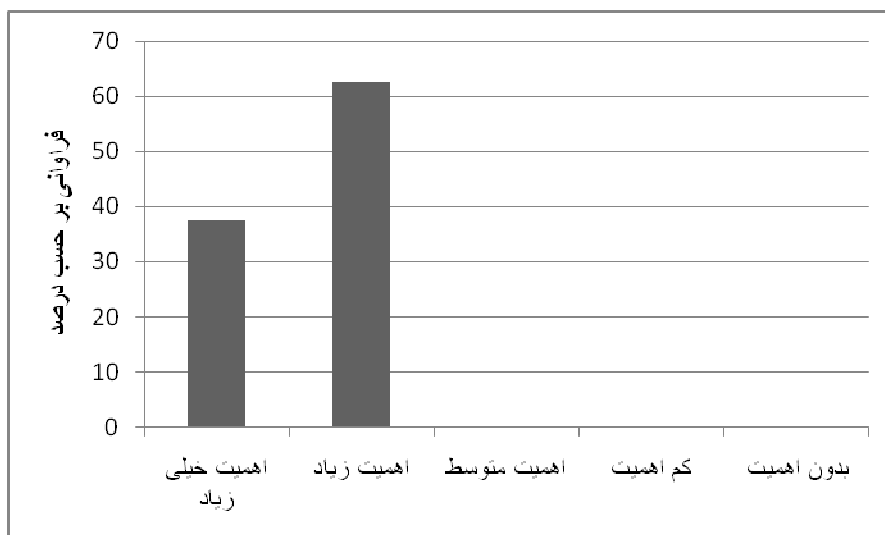
شکل ۵-۵۷- نمودار فراوانی دبی بار ورودی

درصد فراوانی در شکل ۵-۵۷، نشان دهنده تأکید کارشناسان بر اهمیت متوسط پارامتر دبی بار ورودی است. اما پراکندگی نظر برخی از کارشناسان به سمت کم اهمیت از امتیاز اهمیت متوسط آن می‌کاهد.



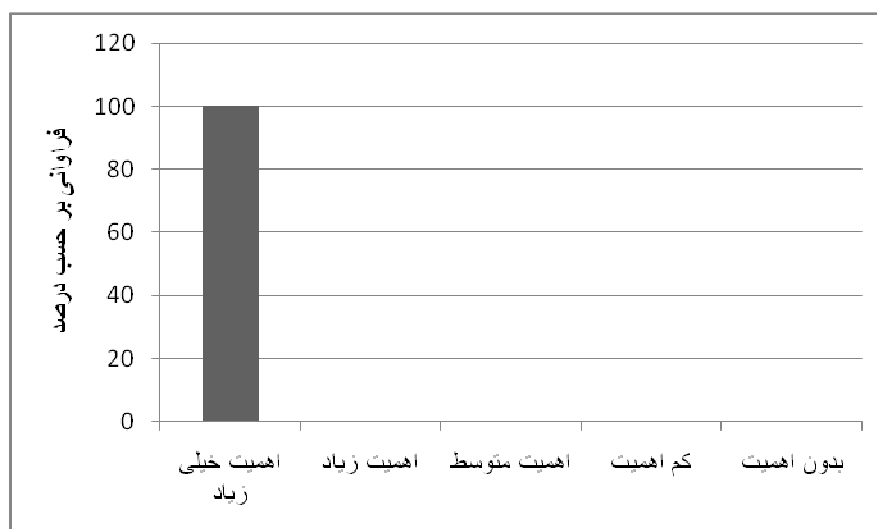
شکل ۵-۵۸- نمودار فراوانی سرعت نسبی آسیا

در شکل‌های ۶-۵۸ درصد فراوانی امتیاز پارامتر سرعت نسبی آسیا از دیدگاه کارشناسان اهمیت متوسط تشخیص داده شده است و تأکید امتیاز اهمیت متوسط وحدت نظر کارشناسان را نشان می‌دهد.



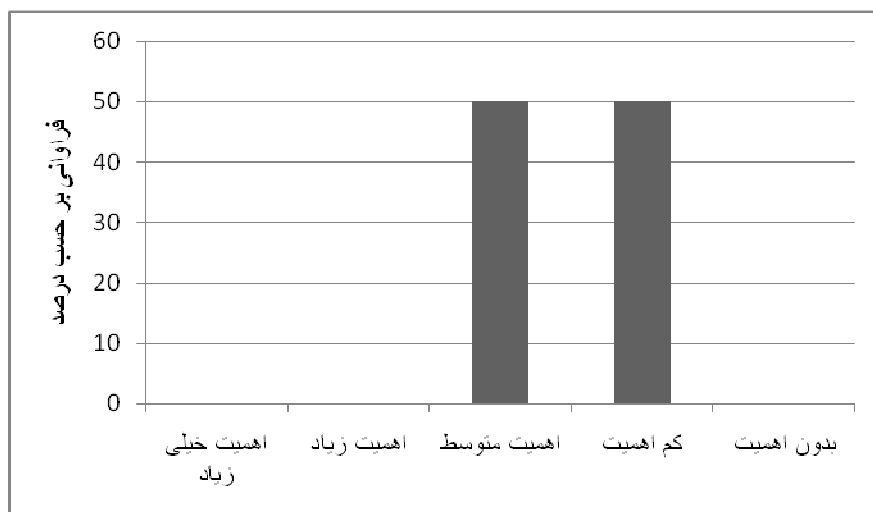
شکل ۵-۵۹- نمودار فراوانی اندیس کار

در شکل ۵-۵۹، پارامتر اندیس کار از دیدگاه کارشناسان اهمیت خیلی زیاد تا اهمیت زیاد تشخیص داده شده است. ولی با در نظر گرفتن توزیع درصد فراوانی نظر اکثر آنها امتیاز اهمیت زیاد می‌باشد.

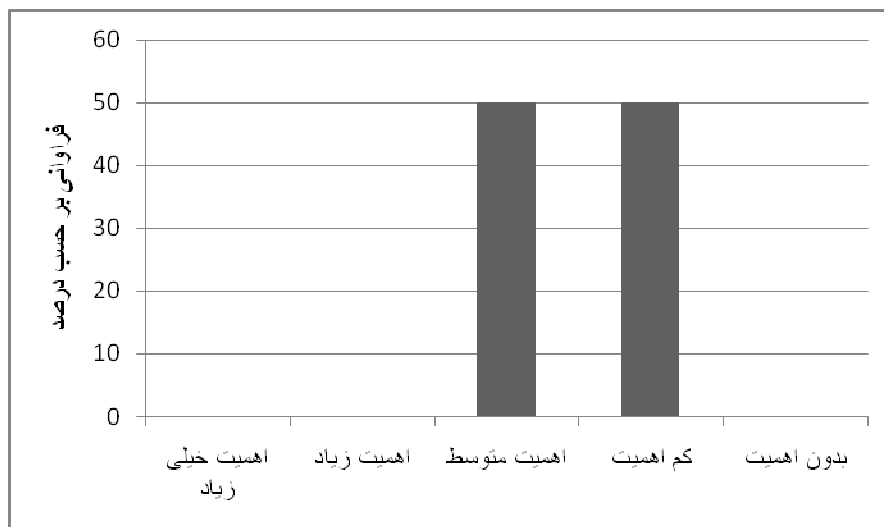


شکل ۵-۶۰- نمودار فراوانی اندیس سایش

در شکل‌های ۵-۶۰، پارامتر اندیس سایش از دیدگاه همه کارشناسان اهمیت خیلی زیاد تشخیص داده شده است و تأکید امتیاز اهمیت خیلی زیاد وحدت نظر کارشناسان را نشان می‌دهد.

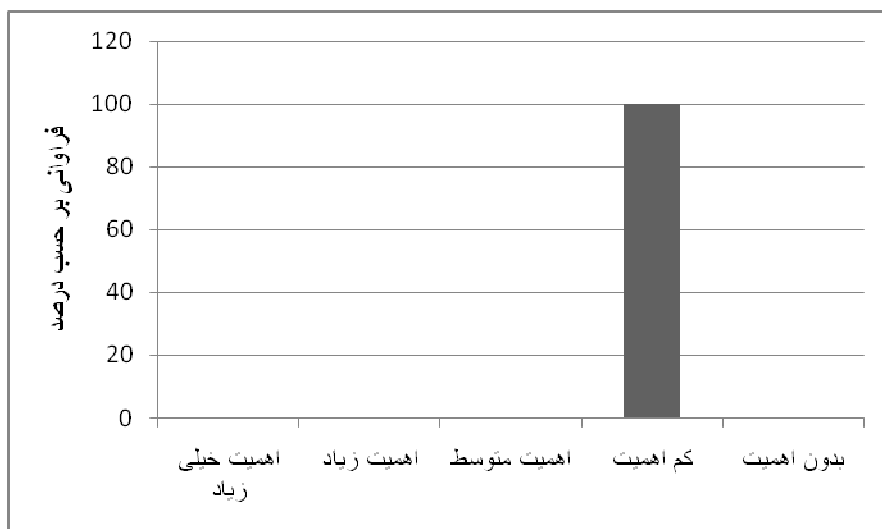


شکل ۵-۶۱- نمودار فراوانی درصد مواد جامد



شکل ۵-۶۲- نمودار فراوانی درصد پرشدگی آسیا

همان طور که در شکل های ۵-۶۱ و ۵-۶۲ فراوانی درصد مواد جامد و درصد پرشدگی نشان داده شده است، میزان امتیازات اهمیت متوسط و کم اهمیت کسب شده توسط این پارامتر برابر است.



شکل ۵-۶۳- نمودار فراوانی مصرف برق آسیا

در شکل‌های ۵-۶۳، پارامتر مصرف برق آسیا از دیدگاه همه کارشناسان کم اهمیت تشخیص داده شده است و تأکید امتیاز کم اهمیت وحدت نظر کارشناسان را نشان می‌دهد.

معیارهای تصمیم‌گیری و وزن در نظر گرفته شده برای هر معیار در جدول ۵-۸۵ نشان داده شده است که به دلیل حجم زیاد محاسبات و شباهت آن به مراحل که در انتخاب گلوله ذکر شد از آوردن جزئیات محاسبات صرفه‌نظر می‌کنیم.

جدول ۵-۸۵- وزن نهایی معیارها

وزن نرمال شده	وزن نرمال نشده	معیارها
0.07	1	سختی میله
0.069	0.98	اندازه میله برای کاهش نرمه
0.063	0.9	قیمت میله
0.068	0.97	درصد شارژ میله برای کاهش نرمه
0.069	0.98	وزن مخصوص میله
0.068	0.97	سختی ماده معدنی
0.068	0.97	دانسیتته ماده معدنی
0.067	0.96	ابعاد بار ورودی
0.063	0.9	دبی بار ورودی
0.065	0.93	سرعت نسبی آسیا
0.069	0.98	اندیس کار
0.07	1	اندیس سایش
0.063	0.9	درصد مواد جامد
0.063	0.9	درصد پرشدگی آسیا
0.059	0.85	مصرف برق آسیا

با توجه به نحوه تشکیل ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها که در بخش انتخاب گلوله برای آسیای گلوله‌ای شرح داده شد، ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها برای انتخاب میله نیز تشکیل داده که نتایج آن در جدول‌های ۵-۸۶ تا ۵-۱۰۰ ارائه شده است.

جدول ۵-۸۶- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار سختی میله

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۵۵و۱/۲۶و۳/۳)	(۰/۵و۱/۱۳و۳/۳)	(۰/۵۵و۱/۳۳و۱/۰)
B	(۰/۳و۰/۷۹و۱/۸)	(۱و۱)	(۰/۳و۱/۱و۳)	(۰/۳۳و۱/۱و۹)
C	(۳و۰/۸۸و۲)	(۰/۳۳و۰/۹و۳/۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۱۶و۱/۰)
D	(۰/۱و۰/۷۵و۱/۸)	(۰/۱۱و۰/۹و۳)	(۰/۱۱و۰/۸۶و۳)	(۱و۱)

جدول ۵-۸۷- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اندازه میله برای کاهش نرمه

	A	B	C	D
A	(اواوا)	(۰/۵۵۵/۵۷۷۱۰)	(۰/۵۱۰/۳۷۱۰)	(۰/۷۱۰/۸۱۰)
B	(۰/۱۰۰/۶۳۱/۸)	(اواوا)	(۰/۱۰۰/۸۷۹)	(۰/۱۴۱/۱۶۹)
C	(۰/۱۰۰/۷۳۲)	(۰/۱۱۰/۱۴۱۰)	(اواوا)	(۰/۱۴۱/۳۳۱۰)
D	(۰/۱۰۰/۵۵۵/۴)	(۰/۱۱۰/۸۶۷)	(۰/۱۰۰/۷۵۷)	(اواوا)

جدول ۵-۸۸- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار قیمت میله

	A	B	C	D
A	(اواوا)	(۰/۱۱۰/۰۶۲/۳)	(۰/۱۱۰/۰۷۶۷)	(۰/۱۴۰/۸۷)
B	(۰/۴۲۰/۵۹)	(اواوا)	(۰/۳۳۱/۱۴۹)	(۰/۴۲۰/۸۷)
C	(۰/۱۴۱/۳۹)	(۰/۱۱۰/۸۷۳)	(اواوا)	(۰/۴۲۱/۱۹)
D	(۰/۱۴۱/۱۲۷)	(۰/۱۴۱/۱۲۲/۳۸)	(۰/۱۱۰/۰۹۱۷)	(اواوا)

جدول ۵-۸۹- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار درصد شارژ میله برای کاهش نرمه

	A	B	C	D
A	(اواوا)	(۰/۷۱۰/۷۴۱۰)	(۰/۵۵۵/۶۱۰)	(۰/۷۱۰/۷۴۱۰)
B	(۰/۱۰۰/۵۷۷/۱۴)	(اواوا)	(۰/۱۱۰/۰۹۷)	(۰/۱۴۱/۷)
C	(۰/۱۰۰/۶۳۱/۸۲)	(۰/۱۴۱/۱۰۹)	(اواوا)	(۰/۱۴۱/۱۰۹)
D	(۰/۱۰۰/۵۷۷/۴)	(۰/۱۴۱/۷)	(۰/۱۱۰/۰۹۱۷)	(اواوا)

جدول ۵-۹۰- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار وزن مخصوص میله

	A	B	C	D
A	(اواوا)	(۰/۵۵۵/۵۱۰)	(۰/۵۵۵/۳۸۳/۳)	(۰/۷۱۰/۸۱۰)
B	(۰/۱۰۰/۶۳۱/۸۲)	(اواوا)	(۰/۱۱۰/۰۹۳)	(۰/۱۴۱/۲۹)
C	(۳۰۰/۷۲۱/۸۲)	(۰/۳۳۱/۱۰۹)	(اواوا)	(۰/۴۲۱/۳۹)
D	(۰/۱۰۰/۵۵۵/۴)	(۰/۱۱۰/۰۸۲۷)	(۰/۱۱۰/۰۷۵۲/۳۲)	(اواوا)

جدول ۵-۹۱- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار سختی ماده معدنی

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۵۵و۱/۴و۳/۳۳)	(۰/۵و۱/۲و۳/۳۳)	(۰/۵۵و۱/۴۵و۱۰)
B	(۳و۰/۷۱و۱/۸۲)	(۱و۱)	(۰/۳و۰/۸۵و۳)	(۰/۳۳و۱/۱و۹)
C	(۳و۰/۸۳و۲)	(۰/۳۳و۱/۱۷و۳/۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۲و۱۰)
D	(۰/۱و۰/۶۸و۱/۸۲)	(۰/۱۱و۰/۹۵و۳)	(۰/۱و۰/۸۳و۳)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۲- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار دانسیته ماده معدنی

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۷۱و۲و۱۰)	(۰/۵۵و۱/۵۲و۱۰)	(۰/۷۱و۳/۹۱و۱۰)
B	(۰/۱و۰/۵و۱/۴)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۰/۷۶و۷)	(۰/۸۴و۰/۸۷و۷)
C	(۰/۱و۰/۷۵و۱/۸۲)	(۰/۱۴و۱/۳و۹)	(۱و۱)	(۰/۱۴و۱/۱۴و۹)
D	(۰/۱و۰/۲۵و۱/۴)	(۰/۱۴و۱/۱۵و۷)	(۰/۱۱و۰/۸۷و۷)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۳- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار ابعاد بار ورودی

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۴۳و۱/۷۴و۱۰)	(۰/۳۳و۱/۵و۱۰)	(۰/۳۳و۱/۷۴و۱۰)
B	(۰/۱و۰/۵۷و۲/۳۲)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۰/۸۶و۷)	(۰/۱و۱و۷)
C	(۰/۱و۰/۶۶و۳)	(۰/۱۴و۱/۱۶و۹)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۱/۵۸و۹)
D	(۰/۱و۰/۵۷و۳)	(۰/۱۴و۱و۹)	(۰/۱۱و۰/۶۳و۹)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۴- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار دبی بار ورودی

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۱۳و۳)	(۰/۳۳و۱/۱و۹)	(۰/۴۳و۱/۴و۹)
B	(۰/۳۳و۰/۸۸و۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۰/۹۶و۹)	(۰/۴۳و۱/۲۷و۹)
C	(۰/۱۱و۰/۹۱و۳)	(۰/۱۱و۱/۰۴و۳)	(۱و۱)	(۰/۱۴و۱/۳و۹)
D	(۰/۱۱و۰/۷۱و۱۱)	(۰/۱۱و۰/۷۹و۲/۳۲)	(۰/۱۱و۰/۷۷و۷)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۵- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار سرعت نسبی آسیا

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۴۳و۱/۳۷و۱۰)	(۰/۴۳و۱/۴و۱۰)	(۰/۴۳و۱/۴و۱۰)
B	(۰/۱و۰/۷۳و۲/۳۲)	(۱و۱)	(۰/۱۴و۱/۱و۷)	(۰/۱۴و۱/۱و۷)
C	(۰/۱و۰/۷۱و۲/۳۲)	(۰/۱۴و۰/۹و۷)	(۱و۱)	(۰/۱۴و۱و۷)
D	(۰/۱و۰/۷۱و۲/۳۲)	(۰/۱۴و۰/۹و۷)	(۰/۱۴و۱و۷)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۶- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اندیس کار

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۵۵و۱/۴۵و۱۰)	(۰/۵۵و۱/۶و۱۰)	(۰/۵۵و۱/۶و۱۰)
B	(۰/۱و۰/۶۹و۱/۸۲)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۱/۱و۹)	(۰/۱۱و۱/۱و۹)
C	(۰/۱و۰/۶۳و۱/۸۲)	(۰/۱۱و۰/۹و۹)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۱و۹)
D	(۰/۱و۰/۶۳و۱/۸۲)	(۰/۱۱و۰/۹و۹)	(۰/۱۱و۱و۹)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۷- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اندیس سایش

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۵۵و۱/۳و۳/۳)	(۰/۵و۱/۱۹و۱۰)	(۰/۵۵و۱/۸۸و۱۰)
B	(۳و۰/۷۷و۱/۸۲)	(۱و۱)	(۰/۳و۰/۸۹و۹)	(۰/۳۳و۱/۴و۹)
C	(۱و۰/۸۴و۲)	(۰/۱۱و۱/۱۲و۳/۳)	(۱و۱)	(۰/۱۱و۱/۵۹و۱۰)
D	(۰/۱و۰/۵۳و۱/۸۲)	(۰/۱۱و۰/۷و۱۳)	(۰/۱و۰/۶۳و۹)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۸- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار درصد مواد جامد

	A	B	C	D
A	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱و۳)	(۰/۳۳و۱/۳و۹)	(۰/۳۳و۱/۳و۹)
B	(۰/۳۳و۱و۳)	(۱و۱)	(۰/۳۳و۱/۳و۹)	(۰/۳۳و۱/۳و۹)
C	(۰/۱۱و۰/۷۷و۳)	(۰/۱۱و۰/۷۷و۳)	(۱و۱)	(۰/۱و۱و۹)
D	(۰/۱۱و۰/۷۷و۳)	(۰/۱۱و۰/۷۷و۳)	(۰/۱و۱و۹)	(۱و۱)

جدول ۵-۹۹۹- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار درصد پرشدگی آسیا

	A	B	C	D
A	(۱ و ۱)	(۰/۱۴ و ۱/۸۸ و ۱۰)	(۰/۱۱ و ۱/۵ و ۱۰)	(۰/۱۴ و ۱/۸۸ و ۱۰)
B	(۰/۱ و ۰/۵۳ و ۷)	(۱ و ۱)	(۰/۳۳ و ۱/۳۵ و ۱۰)	(۰/۴۳ و ۱/۶۹ و ۱۰)
C	(۰/۱ و ۰/۶۶ و ۹)	(۰/۱ و ۰/۷۴ و ۳)	(۱ و ۱)	(۰/۱۴ و ۱/۲۵ و ۹)
D	(۰/۱ و ۰/۵۳ و ۷)	(۰/۱ و ۰/۵۹ و ۱/۸۲)	(۰/۱۱ و ۰/۸ و ۷)	(۱ و ۱)

جدول ۵-۱۰۰- ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار مصرف برق آسیا

	A	B	C	D
A	(۱ و ۱)	(۰/۳۳ و ۱/۲۵ و ۹)	(۰/۳۳ و ۱/۲۵ و ۹)	(۰/۴۳ و ۱/۳۹ و ۹)
B	(۰/۱ و ۰/۸ و ۳)	(۱ و ۱)	(۰/۱ و ۱ و ۹)	(۰/۱۴ و ۱/۱۱ و ۹)
C	(۰/۱ و ۰/۸ و ۳)	(۰/۱ و ۱ و ۹)	(۱ و ۱)	(۰/۱۴ و ۱/۱۱ و ۹)
D	(۰/۱ و ۰/۷۲ و ۱/۸)	(۰/۱ و ۰/۹ و ۷)	(۰/۱ و ۰/۹ و ۷)	(۱ و ۱)

۳- تعریف S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

جدول ۵-۱۰۱- مقدار S_i برای ماتریس‌های مقایسه زوجی

S_i برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سختی میله	S_i برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندازه میله	S_i برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار قیمت میله
$S_A = (۰/۰۴۵ و ۰/۲۹۲ و ۱/۳۳)$	$S_A = (۰/۰۳ و ۰/۳۴۲ و ۴/۵۸)$	$S_A = (۰/۰۱۶ و ۰/۱۹۷ و ۲/۵۸)$
$S_B = (۰/۰۸ و ۰/۲۴۹ و ۱/۱۲)$	$S_B = (۰/۰۱۴ و ۰/۲۱۸ و ۳/۰۷)$	$S_B = (۰/۰۲۶ و ۰/۲۷۷ و ۴/۱۲)$
$S_C = (۰/۰۸ و ۰/۲۴۳ و ۱/۲۳)$	$S_C = (۰/۰۱۴ و ۰/۲۵ و ۳/۴)$	$S_C = (۰/۰۱۷ و ۰/۲۶۶ و ۳/۴۸)$
$S_D = (۰/۰۲۲ و ۰/۲۱۷ و ۰/۶۶)$	$S_D = (۰/۰۱۴ و ۰/۱۸۸ و ۲/۴۲)$	$S_D = (۰/۰۱۷ و ۰/۲۵۹ و ۲/۷۵)$
S_i برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد شارژ میله	S_i برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار وزن مخصوص میله	S_i برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سختی ماده معدنی
$S_A = (۰/۰۳۵ و ۰/۳۶ و ۴/۳۹)$	$S_A = (۰/۰۳۹ و ۰/۳۴۱ و ۲/۳۷)$	$S_A = (۰/۰۴۵ و ۰/۳۰۸ و ۱/۳۳)$
$S_B = (۰/۰۱۵ و ۰/۲۰۵ و ۲/۳۲)$	$S_B = (۰/۰۱۸ و ۰/۲۲۲ و ۱/۴۴)$	$S_B = (۰/۰۸ و ۰/۲۲۳ و ۱/۱۲)$
$S_C = (۰/۰۱۶ و ۰/۲۲۷ و ۲/۹۵)$	$S_C = (۰/۰۶۶ و ۰/۲۴۷ و ۲/۰۳)$	$S_C = (۰/۰۸ و ۰/۲۵۶ و ۱/۲۳)$
$S_D = (۰/۰۱۵ و ۰/۲۰۶ و ۲/۳۲)$	$S_D = (۰/۰۱۸ و ۰/۱۸۷ و ۱/۱۴)$	$S_D = (۰/۰۲۲ و ۰/۲۱۱ و ۰/۶۶)$

Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار دانسیته ماده معدنی	Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار ابعاد بار ورودی	Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار دبی بار ورودی
$S_A = (0/0.35 \text{ و } 0/44 \text{ و } 1/33)$	$S_A = (0/0.18 \text{ و } 0/29 \text{ و } 4/15)$	$S_A = (0/0.29 \text{ و } 0/28 \text{ و } 2/42)$
$S_B = (0/0.15 \text{ و } 0/16 \text{ و } 1/33)$	$S_B = (0/0.11 \text{ و } 0/16 \text{ و } 2/32)$	$S_B = (0/0.29 \text{ و } 0/25 \text{ و } 2/42)$
$S_C = (0/0.16 \text{ و } 0/21 \text{ و } 1/33)$	$S_C = (0/0.11 \text{ و } 0/21 \text{ و } 2/94)$	$S_C = (0/0.19 \text{ و } 0/26 \text{ و } 1/76)$
$S_D = (0/0.15 \text{ و } 0/17 \text{ و } 1/33)$	$S_D = (0/0.11 \text{ و } 0/15 \text{ و } 2/94)$	$S_D = (0/0.5 \text{ و } 0/20 \text{ و } 1/14)$
Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سرعت نسبی آسیا	Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندیس کار	Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندیس سایش
$S_A = (0/0.29 \text{ و } 0/31 \text{ و } 4/82)$	$S_A = (0/0.28 \text{ و } 0/33 \text{ و } 4/68)$	$S_A = (0/0.34 \text{ و } 0/31 \text{ و } 2/25)$
$S_B = (0/0.17 \text{ و } 0/24 \text{ و } 2/69)$	$S_B = (0/0.14 \text{ و } 0/23 \text{ و } 3/14)$	$S_B = (0/0.6 \text{ و } 0/24 \text{ و } 1/93)$
$S_C = (0/0.17 \text{ و } 0/22 \text{ و } 2/69)$	$S_C = (0/0.14 \text{ و } 0/21 \text{ و } 3/14)$	$S_C = (0/0.29 \text{ و } 0/26 \text{ و } 1/51)$
$S_D = (0/0.17 \text{ و } 0/22 \text{ و } 1/96)$	$S_D = (0/0.14 \text{ و } 0/21 \text{ و } 3/14)$	$S_D = (0/0.17 \text{ و } 0/17 \text{ و } 1/37)$
Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد مواد جامد	Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد پرشدگی آسیا	Si برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار مصرف برق آسیا
$S_A = (0/0.26 \text{ و } 0/28 \text{ و } 3/13)$	$S_A = (0/0.17 \text{ و } 0/34 \text{ و } 4/84)$	$S_A = (0/0.24 \text{ و } 0/27 \text{ و } 3/46)$
$S_B = (0/0.26 \text{ و } 0/28 \text{ و } 3/31)$	$S_B = (0/0.19 \text{ و } 0/27 \text{ و } 4/52)$	$S_B = (0/0.16 \text{ و } 0/24 \text{ و } 3/66)$
$S_C = (0/0.17 \text{ و } 0/21 \text{ و } 2/4)$	$S_C = (0/0.13 \text{ و } 0/21 \text{ و } 3/55)$	$S_C = (0/0.16 \text{ و } 0/24 \text{ و } 3/66)$
$S_D = (0/0.17 \text{ و } 0/21 \text{ و } 2/4)$	$S_D = (0/0.13 \text{ و } 0/17 \text{ و } 2/71)$	$S_D = (0/0.16 \text{ و } 0/22 \text{ و } 2/79)$

۴- محاسبه درجه بزرگی S_i نسبت به S_j

جدول ۵-۱۰۲- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سختی میله

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.95$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.95$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.88$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.95$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.95$

جدول ۵-۱۰۳- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندازه میله

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.96$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.97$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.93$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.98$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.93$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.97$

جدول ۵-۱۰۴- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار قیمت میله

$V(S_1 \geq S_2) = 0.98$	$V(S_2 \geq S_1) = 1$	$V(S_3 \geq S_1) = 1$	$V(S_4 \geq S_1) = 1$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.99$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.92$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.99$

جدول ۵-۱۰۵- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد شارژ میله

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.93$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.96$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.93$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.98$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 1$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.99$

جدول ۵-۱۰۶- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار وزن مخصوص میله

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.92$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.9$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.81$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.98$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.98$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.92$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.94$

جدول ۵-۱۰۷- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سختی ماده معدنی

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.86$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.84$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.62$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.97$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.84$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.78$

جدول ۵-۱۰۸- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار دانسیته ماده معدنی

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.89$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.92$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.89$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.91$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 1$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 0.99$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.98$

جدول ۵-۱۰۹- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار ابعاد بار ورودی

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.9$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.91$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.93$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.97$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.97$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.99$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.97$

جدول ۵-۱۱۰- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار دبی بار ورودی

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.94$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.93$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.8$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 0.99$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.88$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.87$

جدول ۵-۱۱۱- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار سرعت نسبی آسیا

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.9$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.86$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.86$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.95$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.98$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 0.96$	$V(S_4 \geq S_3) = 1$

جدول ۵-۱۱۲- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندیس کار

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.96$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.9$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.9$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.94$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.98$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 0.95$	$V(S_4 \geq S_3) = 1$

جدول ۵-۱۱۳- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار اندیس سایش

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.94$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.88$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.84$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.96$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.92$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.96$

جدول ۵-۱۱۴- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد مواد جامد

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 1$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.97$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.97$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.97$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.97$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 1$

جدول ۵-۱۱۵- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار درصد پرشدگی آسیا

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 1$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.96$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.94$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 0.98$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.96$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.98$

جدول ۵-۱۱۶- محاسبه درجه بزرگی برای ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها و معیار مصرف برق آسیا

$V(S_1 \geq S_2) = 1$	$V(S_2 \geq S_1) = 0.99$	$V(S_3 \geq S_1) = 0.99$	$V(S_4 \geq S_1) = 0.98$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$	$V(S_2 \geq S_3) = 1$	$V(S_3 \geq S_2) = 1$	$V(S_4 \geq S_2) = 0.99$
$V(S_1 \geq S_4) = 1$	$V(S_2 \geq S_4) = 1$	$V(S_3 \geq S_4) = 1$	$V(S_4 \geq S_3) = 0.99$

۵- محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به هریک از معیارها

جدول ۵-۱۱۷- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار سختی گلوله جدول ۵-۱۱۸- وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به معیار اندازه گلوله

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.259
B	0.96	0.248
C	0.97	0.251
D	0.93	0.24

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.264
B	0.95	0.251
C	0.95	0.251
D	0.88	0.232

جدول ۵-۱۲۰- وزن نهایی نسبت به معیار درصد شارژ گلوله

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.262
B	0.93	0.244
C	0.95	0.249
D	0.93	0.244

جدول ۵-۱۱۹- وزن نهایی نسبت به معیار قیمت گلوله

گزینه	نرمال نشده	وزن نرمال
A	0.98	0.251
B	1	0.257
C	0.99	0.254
D	0.92	0.234

جدول ۵-۱۲۲- وزن نهایی نسبت به معیار سختی ماده معدنی

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.299
B	0.86	0.257
C	0.84	0.251
D	0.64	0.19

جدول ۵-۱۲۱- وزن نهایی نسبت به معیار وزن مخصوص گلوله

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.277
B	0.89	0.247
C	0.9	0.25
D	0.81	0.225

جدول ۵-۱۲۴- وزن نهایی نسبت به معیار ابعاد بار ورودی

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.268
B	0.9	0.244
C	0.91	0.247
D	0.92	0.25

جدول ۵-۱۲۳- وزن نهایی نسبت به معیار دانسیته ماده معدنی

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.271
B	0.89	0.24
C	0.92	0.248
D	0.89	0.24

جدول ۵-۱۲۶- وزن نهایی نسبت به معیار سرعت نسبی آسیا

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.276
B	0.9	0.248
C	0.86	0.237
D	0.86	0.23

جدول ۵-۱۲۵- وزن نهایی نسبت به معیار دبی بار ورودی

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.272
B	0.94	0.256
C	0.93	0.253
D	0.8	0.217

جدول ۵-۱۲۸- وزن نهایی نسبت به معیار اندیس سایش

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.273
B	0.94	0.256
C	0.88	0.24
D	0.84	0.229

جدول ۵-۱۲۷- وزن نهایی نسبت به معیار اندیس کار

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.265
B	0.96	0.255
C	0.9	0.239
D	0.9	0.239

جدول ۵-۱۳۰- وزن نهایی نسبت به معیار درصد پرشدگی آسیا

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.257
B	0.98	0.252
C	0.96	0.247
D	0.94	0.242

جدول ۵-۱۲۹- وزن نهایی نسبت به معیار درصد مواد جامد

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.253
B	1	0.253
C	0.97	0.246
D	0.97	0.246

جدول ۵-۱۳۱- وزن نهایی نسبت به معیار مصرف برق آسیا

گزینه	نرمال نشده	نرمال شده
A	1	0.252
B	0.99	0.25
C	0.99	0.25
D	0.98	0.247

امتیاز نهایی هر گزینه از جمع حاصل ضرب وزن هر معیار در وزن نهایی هر گزینه نسبت به هر معیار

بدست می آید.

$$W_A = (0.264 * 0.07) + (0.259 * 0.069) + (0.251 * 0.063) + (0.262 * 0.068) + (0.277 * 0.069) \\ + (0.299 * 0.068) + (0.272 * 0.068) + (0.268 * 0.067) + (0.272 * 0.063) + (0.276 * 0.065) \\ + (0.265 * 0.069) + (0.273 * 0.07) + (0.253 * 0.063) + (0.257 * 0.063) + (0.252 * 0.59) = 0.28$$

$$W_B = (0.251 * 0.07) + (0.248 * 0.069) + (0.257 * 0.063) + (0.244 * 0.068) + (0.247 * 0.069) \\ + (0.257 * 0.068) + (0.24 * 0.068) + (0.243 * 0.067) + (0.256 * 0.063) + (0.248 * 0.065) \\ + (0.255 * 0.069) + (0.256 * 0.07) + (0.253 * 0.063) + (0.252 * 0.063) + (0.25 * 0.59) = 0.25$$

$$W_C = (0.251 * 0.07) + (0.251 * 0.069) + (0.254 * 0.063) + (0.249 * 0.068) + (0.251 * 0.069) \\ + (0.251 * 0.068) + (0.248 * 0.068) + (0.247 * 0.067) + (0.253 * 0.063) + (0.237 * 0.065) \\ + (0.239 * 0.069) + (0.24 * 0.07) + (0.246 * 0.063) + (0.247 * 0.063) + (0.25 * 0.59) = 0.24$$

$$W_D = (0.232 * 0.07) + (0.24 * 0.069) + (0.236 * 0.063) + (0.244 * 0.068) + (0.225 * 0.069) \\ + (0.19 * 0.068) + (0.24 * 0.068) + (0.25 * 0.067) + (0.217 * 0.063) + (0.23 * 0.065) \\ + (0.239 * 0.069) + (0.229 * 0.07) + (0.246 * 0.063) + (0.242 * 0.063) + (0.247 * 0.59) = 0.23$$

همان طور که مشاهده می کنید امتیاز گزینه A یعنی میله فولادی کروم دار محصول شرکت ISC توکیو بیشتر است در نتیجه به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود. گزینه B یعنی میله فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش در اولویت بعدی است. میله فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش و گزینه ترکیب میله فولادی منگنزدار محصول شرکت نگار اندیش و میله فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگاراندیش به ترتیب در اولویت های بعدی هستند.

۵-۶- جمع بندی فصل

آنچه در این فصل مورد بررسی قرار گرفت انتخاب گلوله و میله مناسب برای آسیای گلوله‌ای و میله‌ای مجتمع فسفات اسفوردی بود همانگونه که ملاحظه شد از بین چهار گزینه پیشنهادی برای گلوله که شامل گلوله فولادی منگن‌دار محصول شرکت داکتیل ماشین، ترکیب گلوله فولادی منگن‌دار محصول شرکت داکتیل ماشین و گلوله فولادی 100 Cr محصول شرکت ISC، گلوله فولادی کروم‌دار محصول شرکت داکتیل ماشین و گلوله فولادی 100 Cr محصول شرکت ISC توكیو بودند، گلوله فولادی کروم‌دار محصول شرکت داکتیل ماشین به عنوان گزینه برتر انتخاب شد و همچنین برای میله نیز از چهار گزینه پیشنهادی که شامل: میله فولادی 100 Cr محصول شرکت نگاراندیش، ترکیب میله فولادی منگن‌دار و میله فولادی 100 Cr محصول شرکت نگاراندیش، میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توكیو و میله فولادی منگن‌دار بودند، میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توكیو انتخاب شد.

از آن جا که برای انتخاب گلوله و میله از دو روش AHP و FAHP استفاده شد لذا بهتر است برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از روش‌های ادغام جواب‌ها (روش میانگین رتبه‌ها) استفاده شود (جدول ۵-۱۲۷). در این روش رتبه‌ها با هم جمع شده و بر تعداد روش‌ها تقسیم می‌شود و گزینه‌ها به ترتیب اولویت از کم به زیاد مرتب می‌شوند که در نهایت گلوله فولادی کروم‌دار محصول شرکت داکتیل ماشین و میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توكیو انتخاب شد.

$$\text{اولویت‌بندی برای گلوله با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها} = \begin{cases} A = \frac{3+3}{2} = 3 \\ B = \frac{2+4}{2} = 3 \\ C = \frac{4+2}{2} = 3 \\ D = \frac{1+1}{2} = 1 \end{cases}$$

اولویت‌بندی برای میله با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها

$$= \begin{cases} A = \frac{1+1}{2} = 1 \\ B = \frac{3+2}{2} = 2.5 \\ C = \frac{2+3}{2} = 2.5 \\ D = \frac{4+4}{2} = 4 \end{cases}$$

جدول ۵-۱۳۲- بار خردکننده انتخاب شده برای آسیای گلوله‌ای و میله‌ای

ادغام	FAHP	AHP	نوع بار خردکننده
$D > A = B = C$	$D > C > A > B$	$D > B > A > C$	گلوله
$A > B = C > D$	$A > B > C > D$	$A > C > B > D$	میله

فصل هشتم

نتیجہ گیری و پیشہادات

۶-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مطالعه در مورد انتخاب بار خردکننده از جهات گوناگون از قبیل جهات فنی و مالی حائز اهمیت است، عوامل زیادی وجود دارد که در تصمیم‌گیری برای انتخاب بار خردکننده موثر می‌باشند. لذا برای انتخاب بار خردکننده مناسب نیاز به شناخت معیارهای موثر در این زمینه می‌باشد. پس از بررسی‌های بسیار در مورد معیارهای موثر در عملکرد آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای و در نتیجه آن معیارهای موثر در انتخاب بار خردکننده برای مجتمع فسفات اسفوردی این معیارها شناسایی و آمار و اطلاعات به دست آمده راجع به این معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مهم‌ترین این معیارها عبارتند از: سختی بار خردکننده، قیمت بار خردکننده، اندازه بار خردکننده، وزن مخصوص بار خردکننده، درصد شارژ بار خردکننده، ابعاد بار ورودی، دانسیته ماده معدنی، سختی ماده معدنی، دبی بار ورودی، اندیس سایش، اندیس کار، سرعت نسبی آسیا، مصرف برق آسیا، درصد پرشدگی آسیا و درصد مواد جامد. انتخاب این فاکتورها تصمیم‌گیران را به سمت استفاده از سیستمی سوق می‌دهد که علاوه بر دقت بالا، از نظر سرعت عمل و سهولت انجام عملیات نیز در حد بالایی قرار داشته باشد. لذا لزوم جامع‌نگری در تصمیم‌گیری‌ها و بهره‌گیری از افراد مختلف با مشاغل، تخصص‌ها، تجربیات، سوابق و دیدگاه‌های علمی گوناگون، همراه با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری‌های گروهی و چند معیاره فازی را بیش از پیش ضروری کرده است. پس از شناخت عوامل مؤثر در انتخاب بار خردکننده و آشنایی با تکنیک‌های مختلفی که توانایی

تصمیم‌گیران را برای تعیین گزینه برتر افزایش می‌دهند، با کنار هم قرار دادن این عوامل و روش‌ها اقدام به انتخاب بار خردکننده مناسب برای آسیای گلوله‌ای و آسیای میله‌ای معدن فسفات اسفوردی کرده و در نهایت نتایج حاصله نمایش داده شد. چهار نوع بار خردکننده برای آسیای گلوله‌ای شامل: گلوله فولادی منگن‌دار، محصول شرکت داکتیل ماشین، گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو، ترکیب گلوله فولادی منگن‌دار شرکت داکتیل ماشین و گلوله فولادی (100 Cr) محصول شرکت ISC توکیو و گلوله فولادی کروم‌دار، محصول شرکت داکتیل ماشین و همچنین چهار نوع بار میله برای آسیای میله‌ای شامل: میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توکیو، میله فولادی منگن‌دار محصول شرکت نگار اندیش، میله فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش و ترکیب میله فولادی منگن‌دار محصول شرکت نگار اندیش و میله فولادی (100 Cr) محصول شرکت نگار اندیش در فصل‌های قبلی این تحقیق مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نحوه انتخاب این گزینه‌ها بر اساس مطالعات انجام شده درباره گلوله‌ها و میله‌هایی که از زمان تاسیس مجتمع فسفات اسفوردی تاکنون در آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای مورد استفاده قرار گرفته و همچنین گلوله‌ها و میله‌های موجود در بازار بوده است که در نهایت با استفاده از روش‌های AHP و FAHP از بین چهار گزینه پیشنهادی برای گلوله، گلوله فولادی کروم‌دار، محصول شرکت داکتیل ماشین و همچنین از بین چهار گزینه پیشنهادی برای میله، میله فولادی کروم‌دار محصول شرکت ISC توکیو انتخاب شدند.

۶-۲- پیشنهادات

❖ برای انتخاب بار خردکننده مناسب، انجام مطالعات و بررسی‌هایی در مورد خصوصیات و ساختار گلوله‌ها و میله‌ها و دسترسی داشتن به آنالیزهای ضروری انجام شده روی آنها مانند آنالیز

شیمیایی، آزمایش تخلخل و ... (به دلیل آن که در انجام تحقیق جاری امکان مطالعات جزئی تر و

تخصصی میسر نبود) ضروری می باشد.

❖ جمع آوری بانک اطلاعاتی راجع به خصوصیات و سابقه استفاده از گلوله‌ها و میله‌ها در آسیاها با

توجه به گلوله‌ها و میله‌های موجود در بازار.

منابع

آزاد، م، (۱۳۷۸) "ارزیابی کارخانه کانه آرائی معدن فسفات اسفوردی و طراحی مجدد سیستم خردایش آن".

بنیسی، ص، (۱۳۸۷) "جزوه درس مهندسی خردایش"، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

حسینی، س، ه، عطائی، م، خالو کاکایی، ر، (۱۳۸۸) "اولویت‌بندی بهره‌برداری از معادن سرب و روی زیرزمینی متروکه استان یزد با استفاده از روش تسلط تقریبی ۳"، نشریه علمی و پژوهشی مهندسی معدن، دوره چهارم، شماره هشتم، صفحات ۷۶ - ۶۷

رضایی، ب، (۱۳۷۶) "تکنولوژی فراوری مواد معدنی (خردایش و طبقه بندی)"، چاپ اول، موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، تهران

شرکت معدن زمین، (۱۳۷۶) "طرح استخراج معدن اسفوردی"، آرشیو مجتمع فسفات اسفوردی.

صمیمی نمین م، و عابدیان ن، (۱۳۶۲) "اکتشافات تفصیلی کانسار آپاتیت اسفوردی"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور "طرح فسفات".

صفری م، (۱۳۸۹) "انتخاب محل تاسیسات سطحی (سایت کارخانه و سد باطله) معدن سنگ آهن سنگان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

عطائی م، (۱۳۸۹)، الف "تصمیم‌گیری چندمعیاره"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

عطائی م، (۱۳۸۹)، ب "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

عطائی م، (۱۳۸۴) "انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا- سیمان با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل"، نشریه علمی و فناوری امیرکبیر، دوره ۱۶، شماره ۶۲، تابستان و پاییز ۱۳۸۴، صفحات ۷۷ تا ۸۳.

عطائی م، (۱۳۸۷) "انتخاب محل مناسب برای احداث کارخانه آلومینا- سیمان با استفاده از الکترا"، مجله بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ویژه‌نامه مهندسی مواد، معدن و عمران، جلد ۱۹، شماره ۹، سال ۱۳۸۷، صفحات ۶۵ تا ۷۳.

غریبی، خ، (۱۳۸۳) "مطالعه و بررسی اصلاح خط پرعیار سازی آپاتیت در مجتمع فسفات اسفوردی"، گزارش مرحله اول.

گروه فرآوری بخش مهندسی معدن، (۱۳۷۹) " فن آوری آسیاهای خودشکن ونیمه خودشکن"، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

قدسی پور، ح، (۱۳۸۱)، "تحلیل سلسله مراتبی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

کریمی، غ، طباطبایی، ع و رفیعی مهرآبادی، آ، تابستان ۱۳۸۲، "بررسی عملکرد کارخانه های فرآوری مواد معدنی فلزی استان یزد"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحات ۱۰۱-۱۳۵

نعمت‌الهی، ح، (۱۳۷۱) "کانه آرایی"، انتشارات دانشگاه تهران.

منابع انگلیسی

Ataei M. (2005), "Multicriteria selection for an alumina cement plant location in East Azerbaijan province of Iran", The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol 105.

Austin L.G., Klimpel R.R. and Luckie P.T. (1984), "Process Engineering of Size Reduction Ball Milling" SME/AIME, New York.

Chang, D., (1996), "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP" **European Journal of Operational Research**, 95, 649-655.

Cheng C.H. (1998), "A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method", **Fuzzy Sets and Systems**, Vol. 95, No. 3, pp. 307- 317.

Coghill W.H. and DeVaney F.D. (1937), “**Ball- mill grinding**” Bureau of Mines Tech Bulletin Publication , No. 581,1937.

Erickson M. T. (1989), “**SAG Mill Ball Charge Determination**” , SAG 1989, International Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology, University of British Columbia, Vancouver, B. C., Canada, Vol. 2, pp. 449-460.

Ertugrul I. and Karakasoglu N. (2009), “**Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods**”, Expert Systems with Applications, vol. 36(1), pp. 702–715.

Gupta A. and Yan D.S. , (2006), “**mineral processing design and operation**” , Tubular Ball Mills and Tubular Rod Mills, Perth, Australia, pp. 161-23

Komar Kawatra S. (2006), “**advances in comminution**” ,PP.78-82.

Lowrison G.C. (1974), “**Crushing and Grinding**” , PP.50-66.

McDermott W.F. Lipovets G. J. and Peterson, H. R. (1993), “**The Dollars & Sense of Autogenous Grinding**” , Professional Development Seminars Autogenous, Semiautogenous, and Stirred Milling, McGill University.

Moys M. H. (1989), “**slurry Rheology-The Key to a Further Advance in Grinding Mill Control**” , Advance in Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology, pp. 713-727.

Napier-Munn T.J. Morrell S. Morrison R.D. and Kojovic T. (1996), “**Mineral Comminution Circuits**” ,JKMRC, pp. 154-413.

Nordberg, (1998),“**The Science of Comminution**” ,pp. 49.

Rowland C.A.and Kjos D.M. (1980), “**in Mineral Processing Plant Design**” ,L.M. Mular and R.B. Bhappu (eds), SME/AIME, pp. 239-278

Rose H.E. and Sullivan R.M.E. (1961) **“Vibration Mills and Vibration Milling”** Constable, London.

Saaty T.L. (1980), **“The Analytic Hierarchy Process”** McGraw-Hill Publications.

Saaty T.L. (2000), **“Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process”** RWS Publications

Safari M, Kakaei R, ataei M and Karamoozian M, (2010a), **“Using fuzzy TOPSIS method for mineral processing plant site selection. Case study: Sangan iron ore mine (phase 2)”** Arab J Geosci DOI. 10.1007/s12517-010-0234-y

Safari M, ataei M, Khalo kakaei R and Karamoozian M, (2010b), **“Mineral processing plant location using the analytic hierarchy process—a case study: the Sangan iron ore mine (phase 1)”** Mining Science and Technology vol. 20 ,pp, 0691–0695

Tseng U. (2009), **“Fuzzy AHP-based study of cleaner production implementation in Taiwan PWB manufacturer”**, Journal of Cleaner Production, vol. 17, pp. 1249-1256.

Yavuz. M, (2008), **“Selection of plant location in the natural stone industry using the fuzzy multiple attribute decision making method”**, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol 108, 641-649.

Zare M., Mikaeil R. and Ataei M. (2008), **“The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine, Iran”**, Journal of Expert Systems with Applications, pp.8218-8226.

پوستها

پیوست یک

جدول پ ۱-۱- پرسش نامه برای انتخاب میله

موضوع: تعیین میاه مناسب برای آسیای میله‌ای با در نظر گرفتن پارامترهای عملیاتی برای مجتمع فسفات اسفوردی						
نظر دهنده:	سمت:	تحصیلات	میزان سابقه کار:			
دامنه امتیازها برای تعیین ضریب اهمیت معیارها						
الف: اهمیت خیلی زیاد (VH)	ب: اهمیت زیاد (H)	ج: اهمیت متوسط (M)	د: کم اهمیت (L)	ه: بدون اهمیت (VL)		
دامنه امتیازها برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس معیارها						
الف: خیلی خوب (VG)	ب: خوب (G)	ج: متوسط (M)	د: بد (B)	ه: خیلی بد (VB)		
ردیف	معیار	امتیاز (وزن)	گزینه			
			D	C	B	A
۱	سختی میله					
۲	اندازه میله برای کاهش نرمه					
۳	قیمت میله					
۴	درصد شارژ میله برای کاهش نرمه					
۵	وزن مخصوص میله					
۶	سختی ماده معدنی					
۷	دانسیتته ماده معدنی					
۸	ابعاد بار ورودی					
۹	دبی بار ورودی					

					سرعت نسبی آسیا	۱۰
					اندیس کار	۱۱
					اندیس سایش	۱۲
					درصد جامد	۱۳
					درصد پرشدگی آسیا	۱۴
					مصرف برق آسیا	۱۵
						۱۶

تاریخ استفاده از گلوله ها و میله های مختلف	
87/7/20 تا 87/3/20	گلوله فولادی منگنز دار (70cr)
88/2/1 تا 87/9/10	گلوله فولادی کروم دار isc
88/10/1 تا 88/2/1	ترکیب گلوله کروم دار (100cr) و isc
88/10/1 تا اکنون	گلوله فولادی کروم دار (100cr)
88/3/20 تا 87/7/20	راد فولادی isc
88/10/8 تا 88/3/20	راد فولادی منگنز دار
89/1/12 تا 88/10/8	ترکیب راد منگنز دار و کروم دار
89/1/12 تا اکنون	راد فولادی کروم دار

انواع گلوله و میله	قیمت هر کیلوگرم بر حسب تومان
گلوله فولادی کروم دار isc	2377
گلوله فولادی منگنز دار (70 Cr)	1040
گلوله فولادی کروم دار (100 Cr)	1550
راد فولادی isc	2045
راد فولادی منگنز دار	1385
راد فولادی کروم دار	1560

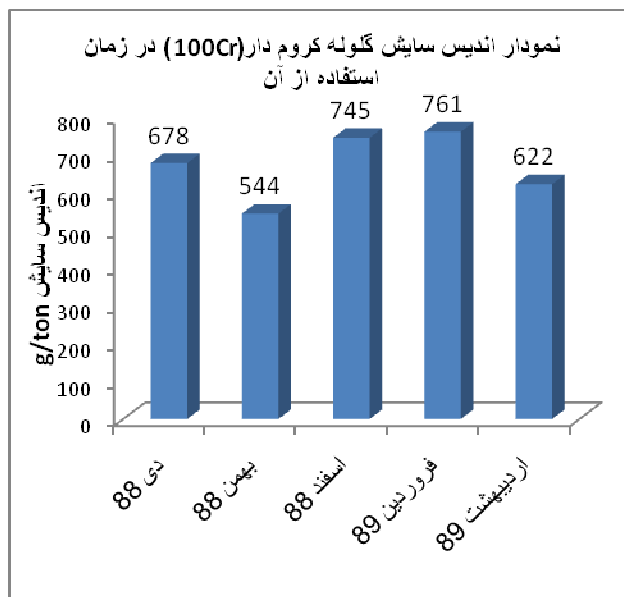
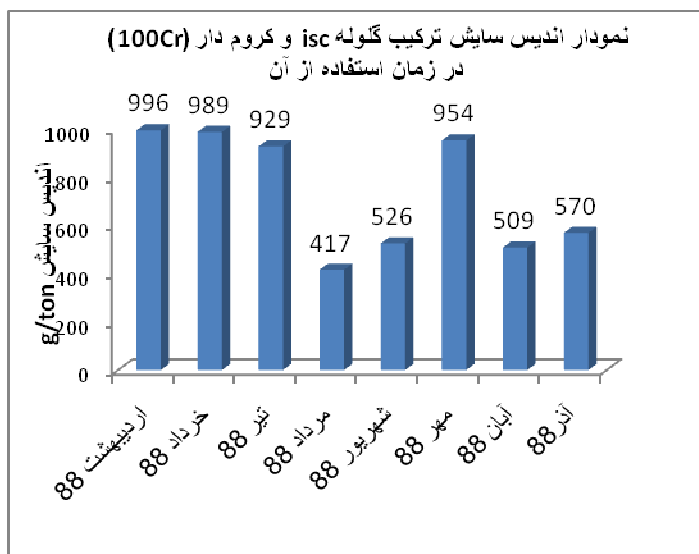
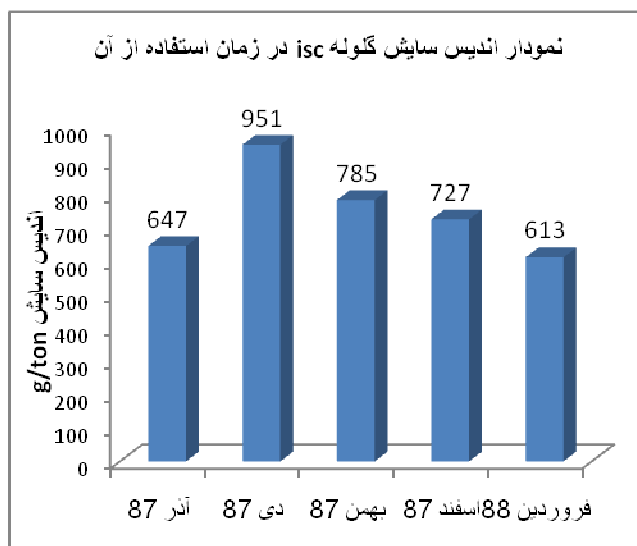
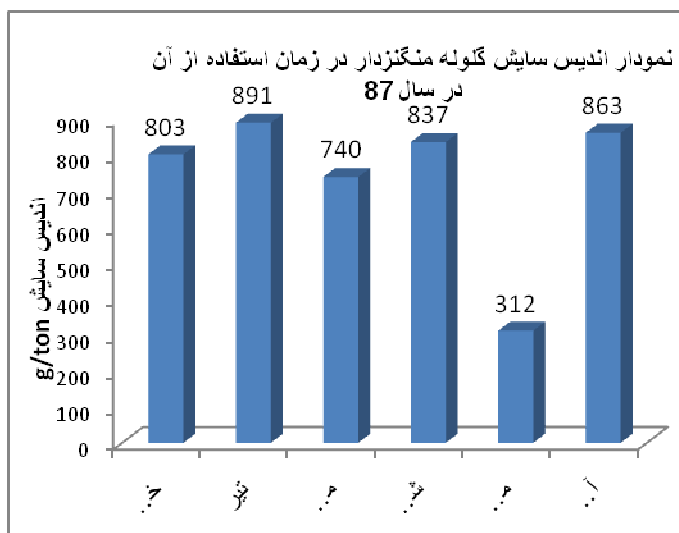
دانسپته میله ها و ماده معدنی بر حسب تن بر متر مکعب	
8.1	راد فولادی isc
7.4	راد فولادی منگنز دار
7.82	راد فولادی کروم دار
3.5	ماده معدنی

دانسپته گلوله ها بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب	
26.22	گلوله فولادی کروم دار isc
26.4	گلوله فولادی منگنز دار (70 Cr)
26.99	گلوله فولادی کروم دار (100 Cr)

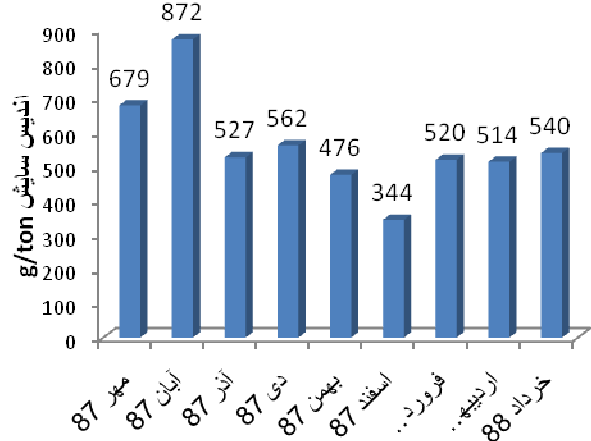
تاریخ سال ۸۷			مصرف ماهانه		اندیس سایش		ماه
راندمان	توقفات	کارکرد	Rod	Ball	Rod	Ball	
%	ساعت	ساعت	Kg	Kg	g/ton	g/ton	
52.13	230	513	8840	13500	424	647	فروردین
52.0	130	613	11560	14000	507	615	اردیبهشت
52.3	456	287	3230	8200	316	803	خرداد
54.25	330	413	19720	14000	1255	891	تیر
49.46	176	567	11560	15000	570	740	مرداد
56.5	216	527	11560	15000	645	837	شهریور
55.4	337	382	8710	4000	679	312	مهر
50	319	400	12920	12800	872	863	آبان
49.1	172	547	11390	14000	527	647	آذر
46.02	194	525	18530	20000	881	951	دی
55.94	102	617	11900	20000	476	785	بهمن
58.5	275	444	6630	14000	344	727	اسفند**
52.48	2944	5840	136550	164500			جمع کل

تاریخ سال ۸۸			مصرف ماهانه		اندیس سایش		ماه
راندمان	توقفات	کارکرد	Rod	Ball	Rod	Ball	
%	ساعت	ساعت	Kg	Kg	g/ton	g/ton	
53.7	578	456	7650	4000	1172	613	فروردین
57.7	539	204	4930	8000	614	996	اردیبهشت
59.2	89	655	16490	25500	640	989	خرداد
62.32	244	499	13770	17500	731	929	تیر
60.5	212	531	8840	9000	410	417	مرداد
54.0	204	539	7990	11000	382	526	شهریور
55.2	138	581	11680	21000	531	954	مهر
54	205	514	9690	11000	448	509	آبان
34.0	383	336	11560	7500	879	570	آذر
44.4	296	423	7820	11000	482	678	دی
43.59	143	576	14370	12000	652	544	بهمن
42.0	168	527	13160	14500	676	745	اسفند**
52.90	3203	5556	127950	152000			جمع کل

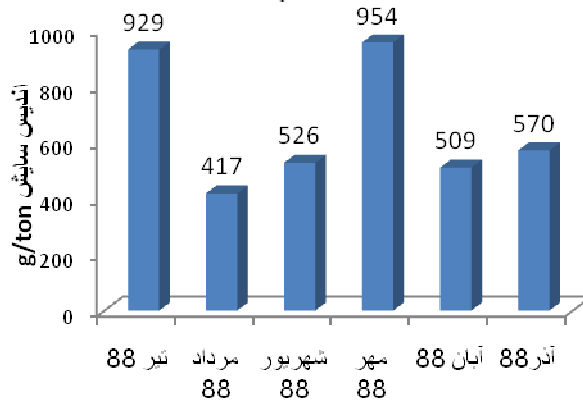
تاریخ سال ۸۹			مصرف ماهانه		اندیس سایش		ماه
راندمان	توقفات	کارکرد	Rod	Ball	Rod	Ball	
%	ساعت	ساعت	Kg	Kg	g/ton	g/ton	
44.7	115	628	13200	8300	591	761	فروردین
47.3	150	570	11730	7250	744	622	اردیبهشت



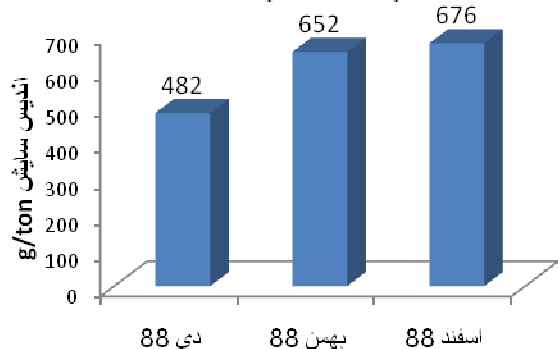
نمودار اندیس سایش راد isc در زمان استفاده از آن



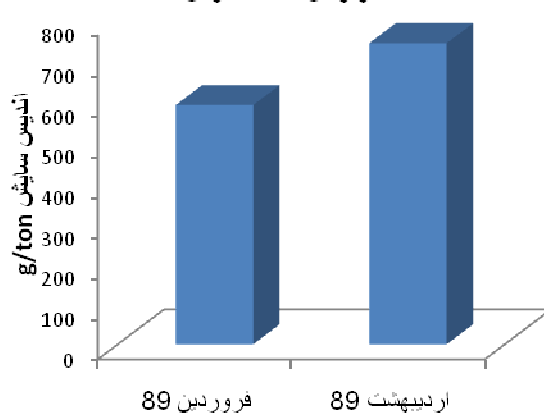
نمودار اندیس سایش راد فولادی منگنز دار در زمان استفاده از آن



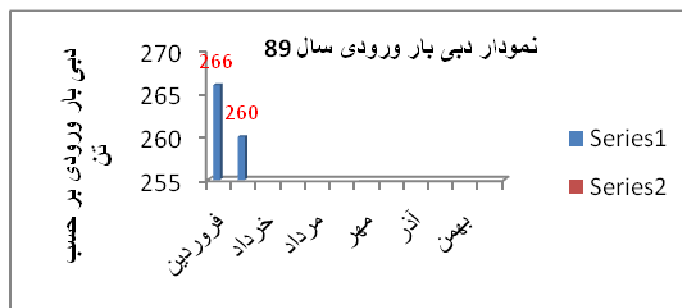
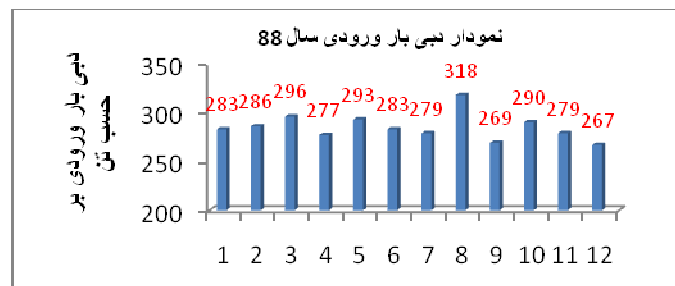
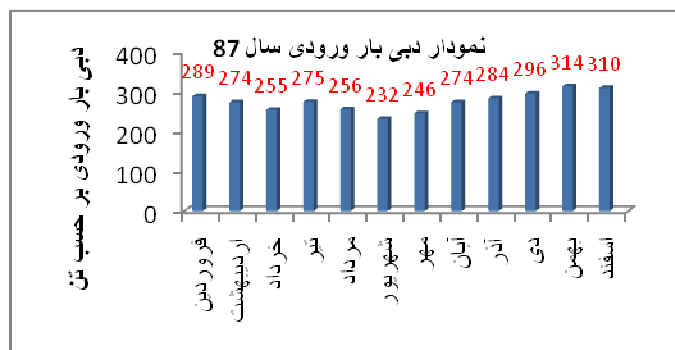
نمودار اندیس سایش ترکیب راد منگنز دار و کروم دار در زمان استفاده از آن

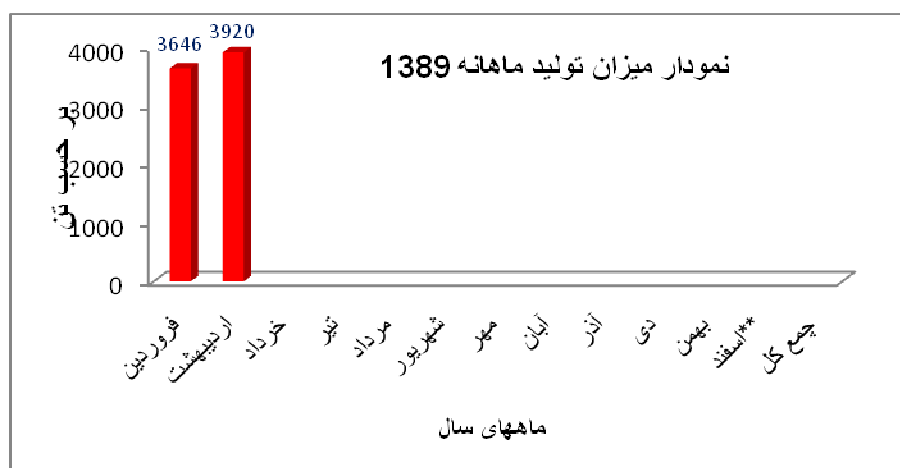
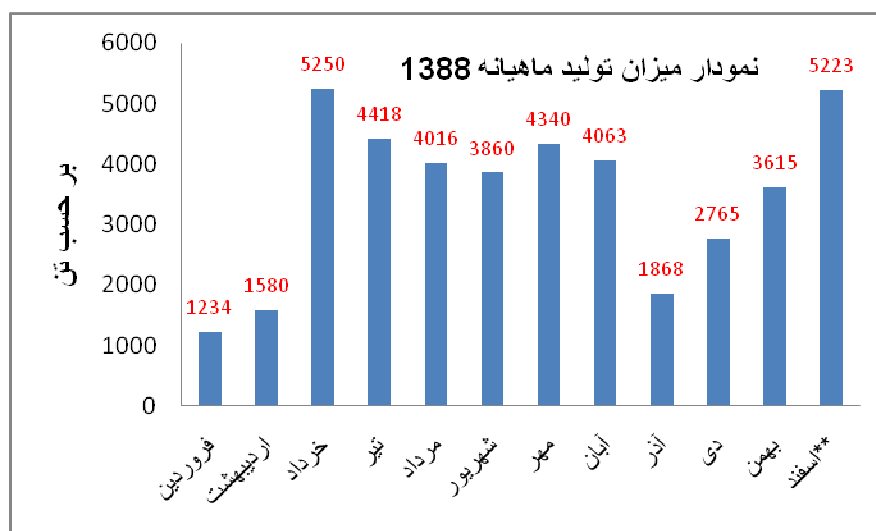
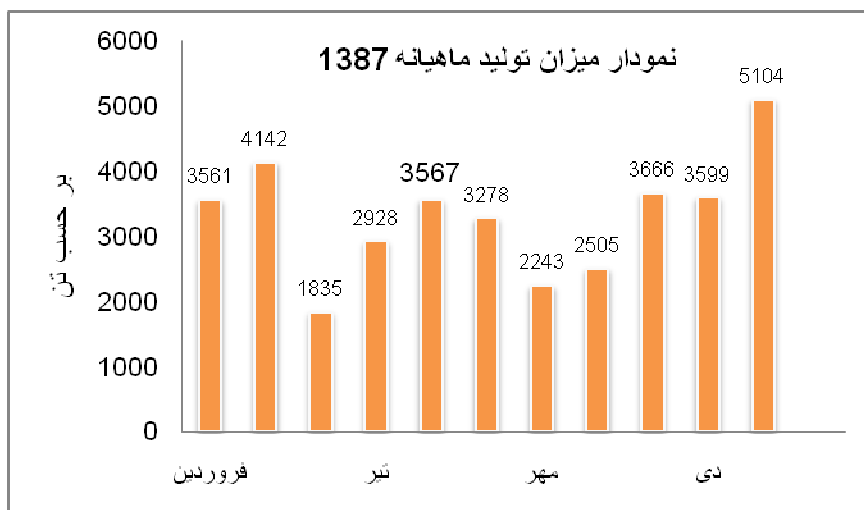


نمودار اندیس سایش راد فولادی کروم دار (100Cr) در زمان استفاده از آن

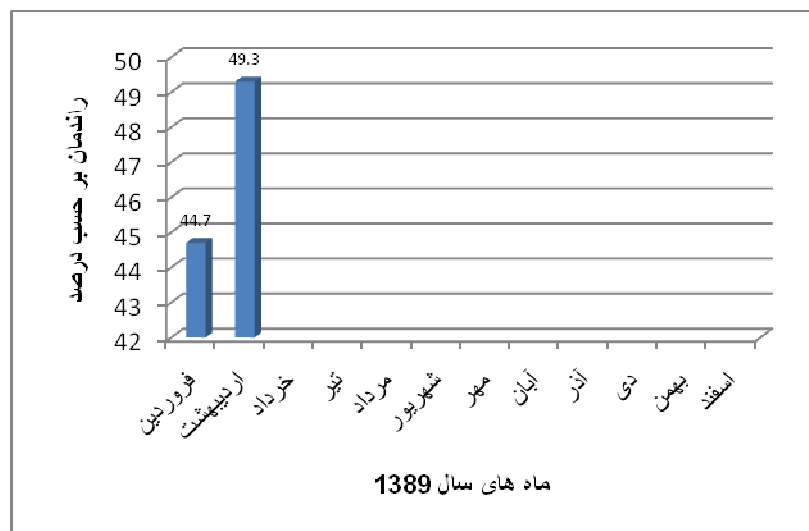
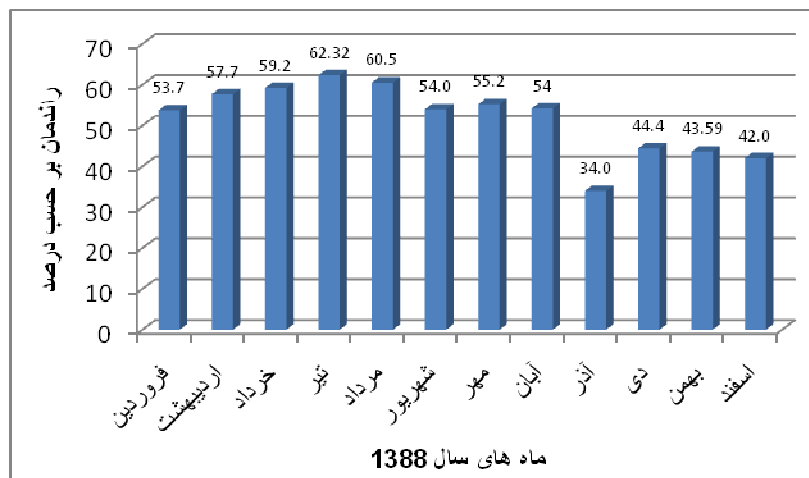
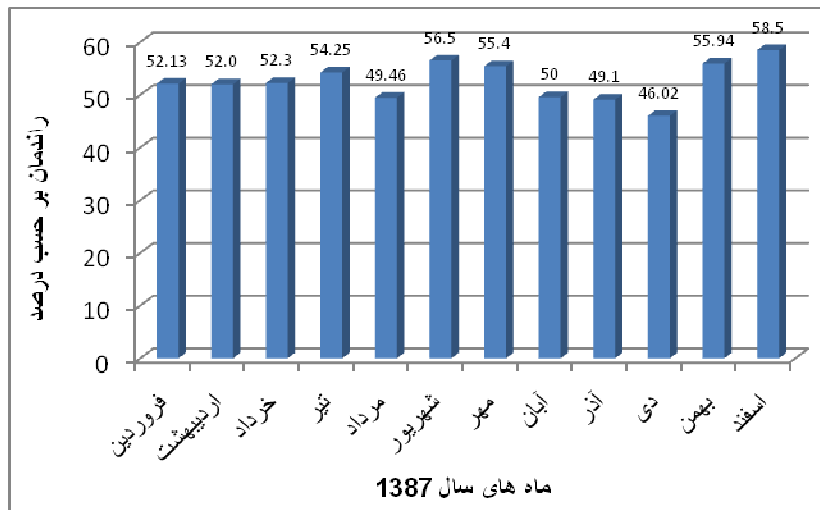


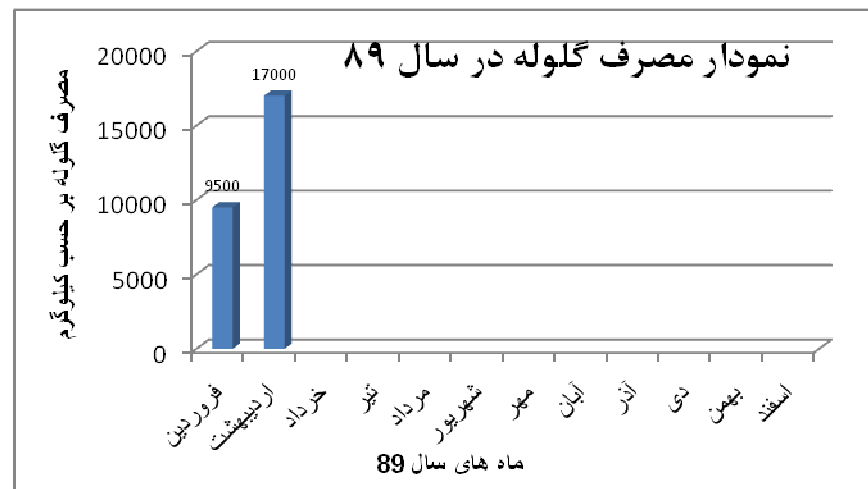
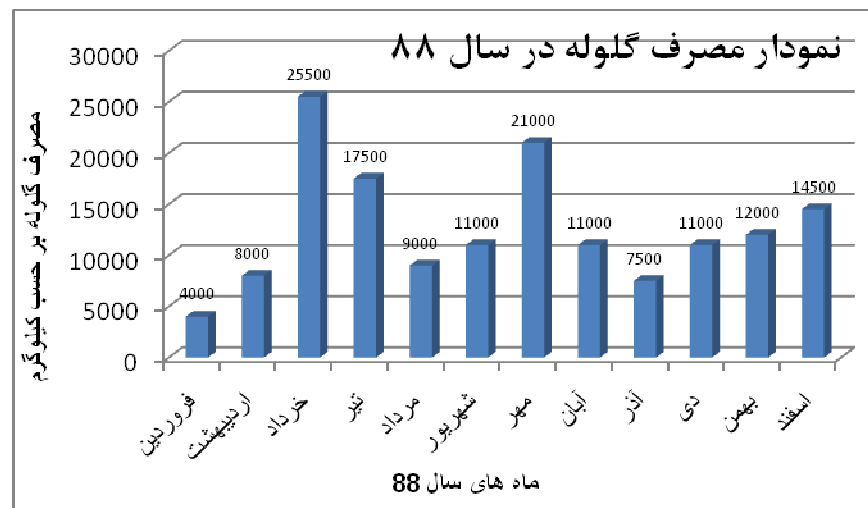
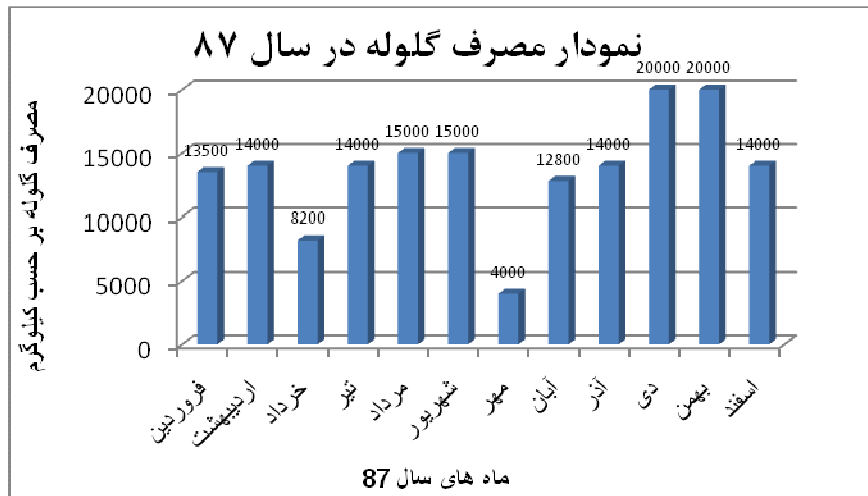
میانگین دبی بار ورودی در هر سیکل در ماههای سال ۸۷ و ۸۸ و ۸۹ بر حسب تن			
ماهها	سال ۸۷	سال ۸۸	سال ۸۹
فروردین	289	283	266
اردیبهشت	274	286	260
خرداد	255	296	
تیر	275	277	
مرداد	256	293	
شهریور	232	283	
مهر	246	279	
آبان	274	318	
آذر	284	269	
دی	296	290	
بهمن	314	279	
اسفند	310	267	

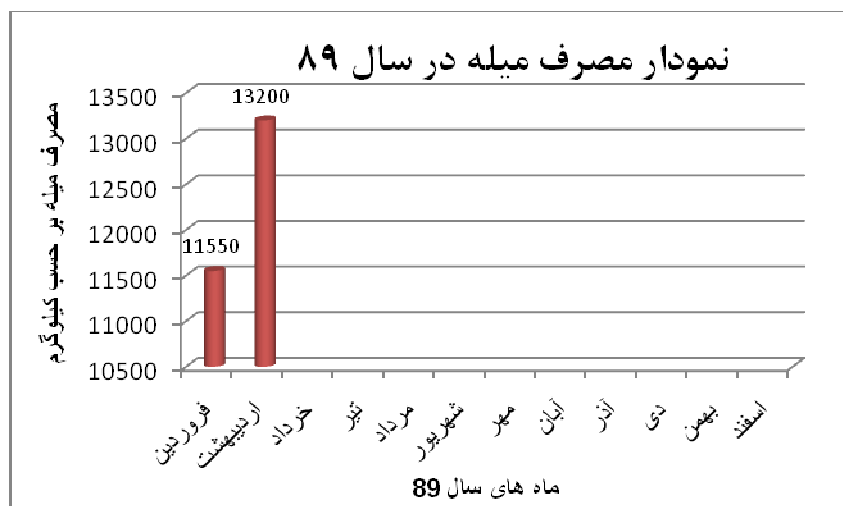
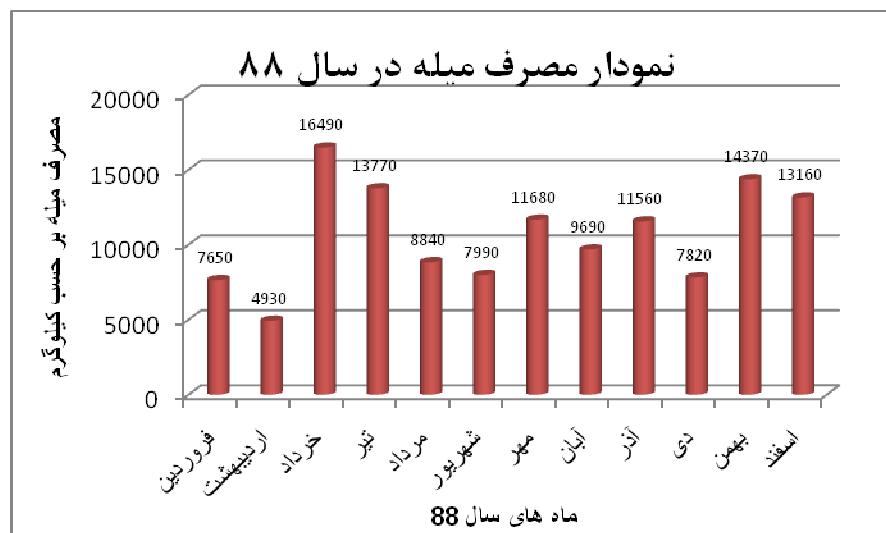
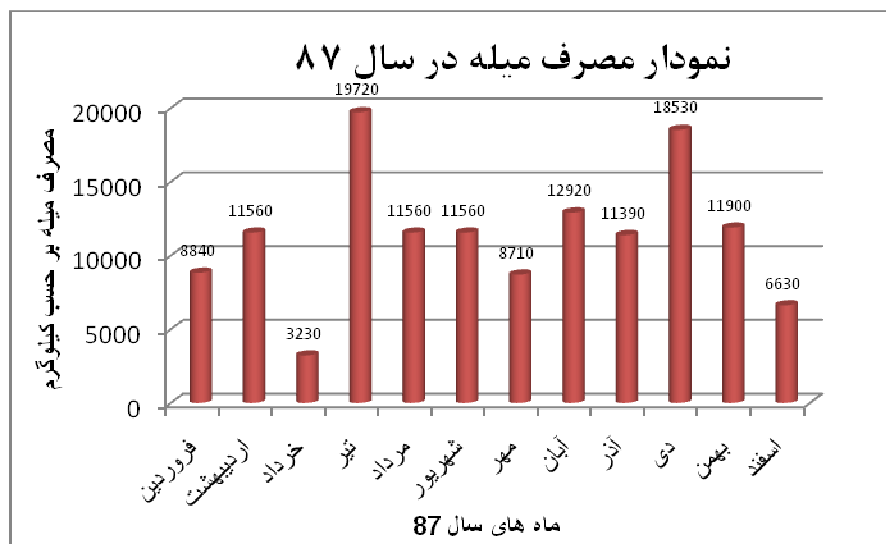




نمودار راندمان تولید در بخش فرآوری







پیوست دو

ضریب اهمیت معیارها و امتیاز گزینه‌ها بر اساس نظر گروه تصمیم‌گیری

جدول پ ۱-۲- ضریب اهمیت معیارها طبق نظر هشت تصمیم‌گیرنده (برای گلوله)

تصمیم‌گیرنده								توضیح	معیار
D ₈	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁		
VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	سختی گلوله	C ₁
H	M	VH	VH	H	M	H	H	اندازه گلوله برای کاهش نرمه	C ₂
L	L	H	M	H	L	M	M	قیمت گلوله	C ₃
M	M	H	H	H	H	H	H	درصد شارژ گلوله برای کاهش نرمه	C ₄
H	H	VH	VH	H	VH	H	H	وزن مخصوص گلوله	C ₅
VH	H	H	H	VH	H	H	H	سختی ماده معدنی	C ₆
H	H	H	H	H	M	M	H	دانسیته ماده معدنی	C ₇
H	H	H	M	H	M	M	M	ابعاد بار ورودی	C ₈
H	H	M	M	M	M	M	M	دبی بار ورودی	C ₉
M	L	M	M	L	M	M	M	سرعت نسبی آسیا	C ₁₀
H	H	VH	VH	H	H	VH	H	اندیس کار	C ₁₁
VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	اندیس سایش	C ₁₂
M	L	L	L	M	M	M	M	درصد مواد جامد	C ₁₃
M	M	M	M	M	M	M	M	درصد پرشدگی آسیا	C ₁₄
L	L	L	L	L	L	L	L	مصرف برق آسیا	C ₁₅

جدول ۲-۲- رتبه بندی چهار گزینه برای گلوله توسط

معیار	گزینه	A	B	C	D
C ₁	D ₁	G	K	G	VG
	D ₂	G	G	G	VG
	D ₃	G	G	K	VG
	D ₄	G	K	G	VG
	D ₅	G	M	G	G
	D ₆	M	G	M	VG
C ₂	D ₁	G	K	K	K
	D ₂	K	K	K	K
	D ₃	G	G	G	G
	D ₄	G	G	G	G
	D ₅	G	G	G	G
	D ₆	G	G	G	G
C ₃	D ₁	G	K	G	G
	D ₂	G	G	G	G
	D ₃	G	G	G	G
	D ₄	G	G	G	G
	D ₅	G	K	G	G
	D ₆	M	G	M	M
C ₄	D ₁	G	M	M	M
	D ₂	G	M	M	M
	D ₃	G	M	M	M
	D ₄	G	M	M	M
	D ₅	G	M	M	M
	D ₆	G	M	M	M
C ₅	D ₁	G	G	G	G
	D ₂	G	G	G	G
	D ₃	G	G	G	G
	D ₄	G	G	G	G
	D ₅	G	G	G	G
	D ₆	G	G	G	G
C ₆	D ₁	M	K	G	G
	D ₂	M	G	G	VG
	D ₃	M	G	G	VG
	D ₄	M	G	G	VG
	D ₅	M	G	G	VG
	D ₆	M	G	G	VG
C ₇	D ₁	M	K	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M

معیار	گزینه	A	B	C	D
C ₈	D ₁	M	M	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M
C ₉	D ₁	M	M	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M
C ₁₀	D ₁	M	M	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M
C ₁₁	D ₁	M	M	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M
C ₁₂	D ₁	M	M	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M
C ₁₃	D ₁	M	M	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M
C ₁₄	D ₁	M	M	M	M
	D ₂	M	M	M	M
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	M	M	M	M
	D ₆	M	M	M	M

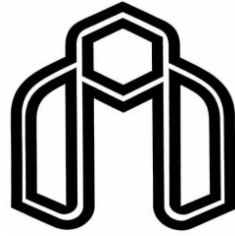
معیار	گزینه	A	B	C	D
C ₁₅	D ₁	K	K	M	K
	D ₂	K	G	M	G
	D ₃	M	M	M	M
	D ₄	M	M	M	M
	D ₅	G	G	M	G
	D ₆	K	K	M	G

گروه تصمیم‌گیرنده برای انتخاب گلوله و میله

دریافت شده	ارسال شده	سمت	تصمیم‌گیرنده
	●	استاد دانشگاه صنعتی شاهرود	ضیاءالدین شفاهی
●	●	کارشناس ارشد واحد فرآوری اسفوردی	احمد توکلی
●	●	کارشناس واحد فرآوری اسفوردی	محمد جواد فلاح
●	●	کارشناس واحد فرآوری اسفوردی	علیرضا مورعی
●	●	کارشناس عملیاتی واحد فرآوری اسفوردی	علی فروزانی
●	●	کارشناس تحقیق و توسعه واحد فرآوری اسفوردی	ابوالحسن حسینی ابراهیمی
	●	دانشجو دکترای دانشگاه صنعتی شاهرود (زمینه فرآوری)	محمد کر
●	●	استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود	محمد کارآموزیان
●	●	استادیار دانشگاه یزد	خداکرم غریبی
●	●	دانشجو دکترای فرآوری دانشگاه صنعتی شاهرود	اصغر عزیزی

Abstract

Grinding has an excellent place in the mineral processing industry because of its essential role in the extracting the precise minerals, reducing the associated cost of mineral processing and decreasing the chemical materials consumption. Considering the desirable grain sizes, process of grinding can be conducted within the both rod and ball mills. As the origin shape of rods and balls has been ruined after a specific time, efficiency of mills will decrease and considerable cost will be imposed to the mineral processing plants. As a matter of fact, various rocks with different component and diverse physical and mechanical properties are the most reasons of using unique rods and balls. The aim of this paper is to determine proper grinding media for the Esfordi phosphate mine. For this purpose, firstly, significant parameters and their associated effect on the grinding media are indicated and investigated. Ultimately, all of the appropriate factors and methods are collected for the selection of the reliable grinding media. In order to determine the proper grinding media, respect to the various produced rods and balls and evaluating the condition of Esfordi phosphate, four types of rods and balls has been selected. In the next stage, considering the associated parameters of grinding media including dimensions, stiffness, density, cost, input and output seed, mill velocity, work index, coherence index, percent of solid materials and etc, multi criteria and fuzzy multi criteria decision making are used for finding the best options. At last, steel balls and rods having chrome particles produced by Ductile Machine and ISC Tokyo are selected as the best ones respectively.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

Master of science in mining Exploitation Engineering

Selection of appropriate grinding media
considering operational parameters for
Esfordi phosphate complex

H.roshani

Supervisors:

Dr R. Khalou kakaie

Dr m. Karamozian

Advisors:

A. A.Hafezifar

December 2010