بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده پردیس بین المللی خوارزمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

استخراج مواد معدنی

ارائه شاخص تولید در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با استفاده از سیستم مهندسی سنگ

نگارنده : وحید قزوینی

اساتید راهنما:
دکتر رضا خالوکاکایی
دکتر محمد عطایی

شهریور ۱۳۹۵

شماره: ۴/۲۲۹۴ ۱۰ ۱۰
تاریخ: ۹۵/۷/۶
ویرایش: -

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای وحید قزوینی به شماره دانشجویی ۹۲۴۵۴۹۴ رشته معدن گرایش استخراج تحت عنوان **ارائه شاخص تولیددر معادن زیرزمینی ذغالسنگ با استفاده از سیستم مهندسی سنگ** که در تاریخ ۹۵/۶/۱۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: خوب امتیاز ۱۶) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر رضا خالوکاکایی	استاد	
	دکتر محمد عطایی	استاد	
۲- استاد مشاور			
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عباس نژاد		
۴- استاد ممتحن	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر رامین رفیعی	استادیار	

امضاء

رئیس دانشکده

تقدیم

به خانواده مهربانم که همیشه در همه

مراحل زندگی به من یاری رساندند.

با تشکر

از اساتید گرانقدر آقایان دکتر کاکایی و دکتر

عطایی که همواره ایجانب را در

پیشرفت کار یاری رساندند.

تعهد نامه

اینجانب **وحید قزوینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معدن** دانشکده **پردیس بین المللی خوارزمی**، دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارائه شاخص سطح تولید در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با استفاده از سیستم مهندسی سنگ در معدن مهماندویه غربی** تحت راهنمائی **دکتر رضا خالوکاکایی** و **دکتر محمد عطایی** متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

روش معدن‌کاری جبهه‌کار طولانی یکی از دو روش بنیادی در استخراج زیرزمینی زغال می‌باشد. در ایران به دلیل وضعیت اقتصادی نامناسب از یک سو و از طرف دیگر نبود روشی کارآمد جهت تعیین و امکان‌سنجی انتخاب نوع روش به کار رفته در استخراج زغال، معمولا سطح تولید در جایگاه اصلی خود قرار ندارد و از حالت غیر مکانیزه (ساده) در اکثر معادن زغال استفاده می‌شود. ممکن است در معادنی که در حالت غیر مکانیزه فعالیت می‌کنند در صورتی که برخی از تجهیزات به آن مجموعه اضافه شود سطح تولید افزایش یابد و حتی توجیه‌پذیری اقتصادی آن نیز افزایش یابد. بنابراین به کارگیری روشی مناسب برای ارزیابی شرایط و پارامترهای تاثیرگذار در توانایی تولید معادن راهگشای انتخاب روش استخراج (دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه) و قضاوت مهندسی در رابطه با انتخاب تجهیزات استخراج است که می‌تواند به بهبود سطح تولید در این معادن کمک نماید. در این پژوهش بر مبنای روش‌های استخراج جبهه‌کار طولانی و عوامل موثر در تولید زغال به شناسایی فاکتورهای موثر در سطح تولید در این روش پرداخته شده است. سپس با استفاده از عوامل شناسایی شده به ارزیابی این پارامترها پرداخته و به منظور تحلیل و شناسایی پارامترهای موثر در سطح تولید معادن زغال‌سنگ از مبنای روش احتمالاتی سیستم‌های مهندسی سنگ (PESQ) استفاده شده است. پس از ارزیابی این پارامترها به صورت احتمالاتی شاخص سطح تولید معرفی شده است که به ارزیابی پتانسیل سطح تولید در معادن می‌پردازد. در پایان نیز برای اعتبارسنجی شاخص ارائه شده از اطلاعات معدن مهماندویه بهره گرفته شده است که نتایج حاصل از شاخص با وضعیت موجود تطابق مناسبی دارد.

کلمات کلیدی:

جبهه‌کار طولانی، روش سیستم‌های مهندسی سنگ (RES)، کدگذاری احتمالاتی (PESQ)، شاخص سطح تولید معادن زغال‌سنگ

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱- کلیات تحقیق ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-اهداف پایان‌نامه ۳

۱-۳-ضرورت انجام پژوهش ۴

۱-۴-روش انجام تحقیق ۴

۱-۵-ساختار پژوهش ۶

۲- سیستم‌های مهندسی سنگ ۷

۲-۱-مقدمه ۸

۲-۲-رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ ۱۰

۲-۱-۱-کدگذاری در رویکرد RES ۱۳

۲-۲-۱-نمودار علت – اثر ۱۹

۲-۲-۲-روش‌های بهبود ماتریس اندرکنش ۲۱

۲-۳-جمع‌بندی ۳۰

۳- عوامل موثر بر سطح تولید معادن زغالسنگ ۳۱

۳-۱-مقدمه ۳۲

۳-۲-پارامترهای موثر در سطح تولید ۳۴

۳-۲-۱-نیروی کاری ماهر ۳۴

۳-۲-۲-جنس سنگ‌ها ۳۵

۳-۲-۳-یکنواختی لایه‌ها ۳۷

۳-۲-۴-ضخامت لایه ۳۷

۳-۲-۵-سرمایه‌گذاری در دسترس ۳۹

۳-۲-۶-وضعیت سیاسی کشور ۴۰

۳-۲-۷-میزان ذخیره قابل معدنکاری ۴۲

۳-۲-۸-شکستگی لایه‌ها ۴۳

۳-۲-۹- وضعیت فروش ماده معدنی ۴۵

۳-۲-۱۰-رضایتمندی کارکنان ۴۶

۳-۲-۱۱-آب موجود در معدن ۴۷

۳-۲-۱۲-کیفیت ماده معدنی ۴۸

۳-۲-۱۳-شرایط آب و هوایی ۴۸
۳-۲-۱۴-نگهداری لایه‌ها ۴۹
۳-۲-۱۵-شیب لایه ۴۹
۳-۲-۱۶- نرخ پیشروی ۵۰
۳-۳-طبقه‌بندی پارامترهای موثر در تولید ۵۰
۴- ارائه شاخص ارزیابی سطح تولید ۵۳
۴-۱- مقدمه ۵۴
۴-۲- ارزیابی کلی ماتریس اندرکنش ۵۵
۴-۳- ارزیابی احتمالاتی ماتریس اندرکنش ۵۹
۴-۳-۱- محاسبه وزن عوامل و شاخص سطح تولید ۷۵
۴-۴- مطالعه موردی ۹۳
۵-نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۹
۵-۱-نتیجه‌گیری ۱۰۰
۵-۲-پیشنهادات ۱۰۱
ضمیمه۱: بخشی از کد ارائه شده ۱۰۳

مراجع ۱۰۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: ماتریس اندرکنش در تفکر سیستمی (http://www.hydrofrac.com/hfn_co)..... ۹
شکل ۲-۲: ماتریس اندرکنش (Bartolomei, 2005)..... ۱۴
شکل ۲-۳: ماتریس اندرکنش با دو پارامتر اصلی (Hudson, 1992)..... ۱۵
شکل ۲-۴: کدگذاری با استفاده از شیب نمودارها..... ۱۸
شکل ۲-۵: ماتریس اندرکنش و علت و اثر (Naghadehi et al., 2011)..... ۲۰
شکل ۲-۶: نمودار C – E (Hudson, 1992)..... ۲۱
شکل ۲-۷: خط مسیرهای مکانیزم ماتریس ۵ متغیره (Jiao and Hudson, 1995)..... ۲۴
شکل ۲-۸: طرح FCM مربوط به سه پارامتر (Kalamaras, 1997)..... ۲۶
شکل ۲-۹: ماتریس اندرکنش برای M_0 (Zare et al., 2011)..... ۲۸
شکل ۲-۱۰: ماتریس اندرکنش برای M_1 (Zare et al., 2011)..... ۲۸
شکل ۲-۱۱: ماتریس اندرکنش برای M_2 (Zare et al., 2011)..... ۲۹
شکل ۲-۱۲ : ماتریس اندرکنش برای M_3 (Zare et al., 2011)..... ۲۹
شکل ۲-۱۳: ماتریس اندرکنش برای M_4 (Zare et al., 2011)..... ۲۹
شکل ۲-۱۴: نمودار علت - اثر احتمالاتی برای پارامتر زمینشناسی و سنگ شناسی (Zare et al., 2011)..... ۳۰
شکل ۳-۱: انواع روش استخراج زغال (www.uky.edu/kgs/coal/coal_mining.htm)..... ۳۴
شکل ۳-۲: برهمزدگی تنشها در اطراف یک لایه زغال (Sankar, 2010)..... ۳۶
شکل ۳-۳: تفکیکی از انواع هزینههای معدنکاری (Mohutsiwa and Musingwini, 2015)..... ۴۰
شکل ۳-۴: انواع گسل- a:نرمال b: پلهای c: معکوس d: گسل گودی شکل e: بالاآمدگی (Singh, 2004)..... ۴۴
شکل ۳-۵: وضعیت نامناسب شکستگیها و ایجاد اخلال در معدنکاری (Singh, 2004)..... ۴۵
شکل ۴-۱: نمودار علت-اثر..... ۵۸
شکل ۴-۲: نمودار شدت اندرکنش پارامترها..... ۵۹
شکل ۴-۳: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر شکستگی..... ۶۴
شکل ۴-۴: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر شکستگی..... ۶۴
شکل ۴-۵: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر آب..... ۶۵
شکل ۴-۶: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر آب..... ۶۵
شکل ۴-۷: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر جنس سنگ..... ۶۶
شکل ۴-۸:نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر جنس سنگ..... ۶۶
شکل ۴-۹: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر یکنواختی..... ۶۷

شکل ۴-۱۰: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر یکنواختی ۶۷
شکل ۴-۱۱: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر شیب ۶۸
شکل ۴-۱۲: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر شیب ۶۸
شکل ۴-۱۳: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر ضخامت ۶۹
شکل ۴-۱۴: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر ضخامت ۶۹
شکل ۴-۱۵: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر سرمایهگذاری ۷۰
شکل ۴-۱۶: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر سرمایهگذاری ۷۰
شکل ۴-۱۷: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر میزان ذخیره ۷۱
شکل ۴-۱۸: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر میزان ذخیره ۷۱
شکل ۴-۱۹: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر نیروی کار ۷۲
شکل ۴-۲۰: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر نیروی کار ۷۲
شکل ۴-۲۱:نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر آنالیز ماده معدنی ۷۳
شکل ۴-۲۲: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر آنالیز ماده معدنی ۷۳
شکل ۴-۲۳:نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر نرخ پیشروی ۷۴
شکل ۴-۲۴: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر نرخ پیشروی ۷۴
شکل ۴-۲۵: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر شکستگی ۷۷
شکل ۴-۲۶:توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر آب ۷۸
شکل ۴-۲۸: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر یکنواختی ۸۰
شکل ۴-۲۹: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر شیب ۸۱
شکل ۴-۳۰: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر ضخامت ۸۲
شکل ۴-۳۱: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر سرمایهگذاری ۸۳
شکل ۴-۳۲:توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر میزان ذخیره ۸۴
شکل ۴-۳۳: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر نیروی کاری ۸۵
شکل ۴-۳۴: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر آنالیز ماده معدنی ۸۶
شکل ۴-۳۵: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر نرخ پیشروی ۸۷
شکل ۴-۳۶: وزن عامل شکستگی ۸۸
شکل ۴-۳۷: وزن عامل آب ۸۸
شکل ۴-۳۸: وزن عامل جنس سنگ ۸۹
شکل ۴-۳۹: وزن عامل یکنواختی ۸۹
شکل ۴-۴۰: وزن عامل شیب ۹۰
شکل ۴-۴۱: وزن عامل صخامت ۹۰
شکل ۴-۴۲: وزن عامل سرمایهگذاری ۹۱
شکل ۴-۴۳: وزن عامل میزان ذخیره ۹۱

شکل ۴-۴۴: وزن عامل نیروی کار ۹۲
شکل ۴-۴۵:وزن عامل آنالیز ماده معدنی..... ۹۲
شکل ۴-۴۶: وزن عامل نرخ پیشروی..... ۹۳
شکل ۴-۴۷: توزیع احتمالاتی شاخص سطح تولید برای معدن زغالسنگ مهماندویه با سطح اعتماد ۹۵٪ ۹۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مقایسه دو رویکرد سیستمی و تحلیلی ۱۰
جدول ۲-۲: کاربردهای متفاوت RES (Hudson, 2014) ۱۱
جدول ۲-۳: مفهوم اعداد مختلف در روش ESQ ۱۷
جدول ۳-۱:کمترین ضخامت لایه زغال در کشورهای مختلف (Rakesh et al., 2015) ۳۸
جدول ۳-۲: تقسیمبندی منابع و ذخائر (اصانلو، ۱۳۷۸) ۴۲
جدول ۳-۳: معیار ارائه شده برای طبقهبندی عوامل موثر ۵۱
جدول ۴-۱: نمونهای از فرم نظرسنجی ارسال شده برای کارشناسان ۵۶
جدول ۴-۲:ماتریس میانگین نظرات کارشناسان ۵۷
جدول ۴-۳:ماتریس اندرکنش رخداد کد 0 ..... ۶۰
جدول ۴-۴:ماتریس اندرکنش رخداد کد ۱ ..... ۶۱
جدول ۴-۵:ماتریس اندرکنش رخداد کد ۲ ..... ۶۱
جدول ۴-۶:ماتریس اندرکنش رخداد کد ۳ ..... ۶۲
جدول ۴-۷: ماتریس اندرکنش رخداد کد ۴ ..... ۶۲
جدول ۴-۸: افرازهای مختلف برای ارزیابی شاخص سطح تولید ۷۶
جدول ۴-۹:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر شکستگی ۷۷
جدول ۴-۱۰:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر آب ۷۸
جدول ۴-۱۱: میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر جنس سنگ ۷۹
جدول ۴-۱۲:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر یکنواختی ۸۰
جدول ۴-۱۳:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر شیب ۸۱
جدول ۴-۱۴:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر ضخامت ۸۲
جدول ۴-۱۵:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر سرمایهگذاری ۸۳
جدول ۴-۱۶:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر میزان ذخیره ۸۴
جدول ۴-۱۷:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر نیروی کاری ۸۵
جدول ۴-۱۸:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر آنالیز ماده معدنی ۸۶
جدول ۴-۱۹:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر نرخ پیشروی ۸۷
جدول ۴-۲۰: پارامترهای آماری حاصل از شبیهسازی احتمالاتی با سطح اعتماد ۹۵٪ ۹۶

فصل اول:

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

روش معدن‌کاری جبهه‌کار طولانی[1] یکی از دو روش بنیادی در استخراج زیرزمینی زغال (روش دیگر استخراج، روش اتاق و پایه[2] است) می‌باشد. اصول اولیه در روش جبهه‌کار طولانی ساده است و عملیات استخراج در آن بدین صورت است که یک لایه زغال انتخاب و با بلوک‌بندی آن در پهنه‌های مشخص و با استفاده از ماشین‌های برنده زغال و در قالبی از عملیات پیوسته انجام می‌گیرد (Slatick, 1995).

در واقع روش جبهه‌کار طولانی رویکرد جدیدی در استخراج زغال نیست و اصول اولیه آن در اوایل قرن هفدهم در انگلستان استفاده شده است و در آن زمان این روش با نام شراپشایر[3] شناخته می‌شده است. اصلاحات زیادی در طی زمان در اصل روش اعمال شده است (Slatick, 1995).

روش جبهه‌کار طولانی بسته به مکانیزم روش که عملیات کندن ماده معدنی، حمل و نقل و نگهداری آن چگونه انجام شود به سه دسته ساده (غیرمکانیزه)، نیمه مکانیزه و مکانیزه تقسیم‌بندی می‌شود.

به طور خلاصه مجموعه تجهیزاتی که در این روش استفاده می‌شود عبارتند از (Williams, 2005):

- ماشین برش شامل:
  - شیررهای تک طبلک
  - شیررهای دو طبلکه
  - رنده
- سپرهای هیدرولیکی که برای نگهداری سقف استفاده می‌شوند.
- ناو زنجیری زرهی (AFC)
- لودر

[1] Longwall mining
[2] Room-and-pillar
[3] Shropshire

- نوار نقاله واسط و سیستم حمل و نقل

روش معدن‌کاری جبهه‌کار طولانی گران‌ترین روش معدنکاری زیرزمینی است و هزینه‌های آن در فراهم آوردن تجهیزات از روش اتاق و پایه بالاتر می‌باشد. در این روش هزینه ابتدایی سرمایه‌گذاری بالایی در حالت مکانیزه آن مورد نیاز است و تا زمان شروع تولید میزان درآمد حاصل از تولید زغال ناشی از توسعه راه‌های دسترسی، اندک خواهد بود (Chan, 2008).

این روش به دلیل نرخ تولید بالا (در حالت مکانیزه) از جمله روش‌های بزرگ مقیاس از نظر بهره-برداری است. به کارگیری روش مکانیزه مستلزم صرف هزینه‌های بالایی در بخش‌های مختلف می‌باشد و به همین دلیل پیاده‌سازی جبهه‌کار طولانی به صورت مکانیزه مستلزم مطالعات گسترده است. در ایران به دلیل وضعیت اقتصادی نامناسب از یک سو و از طرف دیگر نبود روشی کارآمد جهت تعیین و امکان‌سنجی انتخاب نوع روش به کار رفته در استخراج زغال، معمولا سطح تولید در جایگاه اصلی خود قرار ندارد و از حالت غیر مکانیزه (ساده) در اکثر معادن زغال استفاده می‌شود.

به عنوان مثال در معدنی که در حالت غیر مکانیزه فعالیت می‌کند ممکن است در صورتی که برخی از تجهیزات به آن مجموعه اضافه شود سطح تولید افزایش یابد.

بنابراین به کارگیری روشی مناسب برای ارزیابی شرایط و پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب روش استخراج (دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه) و قضاوت مهندسی در رابطه با انتخاب تجهیزات استخراج زغال می‌تواند به بهبود سطح تولید در این معادن کمک نماید.

۱-۲- اهداف پایان‌نامه

هدف از انجام این پژوهش ارائه یک شاخص سطح تولید در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با استفاده از سیستم مهندسی سنگ می‌باشد. برای این منظور بر مبنای روش‌های دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه جبهه‌کار طولانی و عوامل موثر در تولید زغال به شناسایی فاکتورهای موثر در سطح تولید در این روش پرداخته شده است. سپس با استفاده از عوامل شناسایی شده شاخصی معرفی می‌گردد که معرف توانایی تولید در یک معدن با مشخصات و ویژگی‌های منحصر به فرد آن باشد.

این شاخص برای معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در نظر گرفته شده است و با استفاده از آن می‌توان به دسته‌بندی سطح تولید در هر معدن براساس شرایط محیطی، اقتصادی و غیره پرداخت.

به عنوان مطالعه موردی از معدن زغال‌سنگ مهماندویه واقع در استان سمنان و از توابع شهرستان دامغان استفاده شده است. در این معدن از روش جبهه‌کار طولانی به صورت دستی (غیرمکانیزه) برای استخراج زغال استفاده می‌شود.

۱-۳- ضرورت انجام پژوهش

به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در آماده‌سازی‌ها، ماشین‌آلات و روش‌های استخراج در معادن و با توجه به طبیعت پیچیده‌ی پارامترهای موثر در انتخاب نوع روش استخراجی جبهه‌کار طولانی و تعیین سطح تولید حاصل از آن، انجام مطالعاتی در این راستا ضروری به نظر می‌رسد.

با در دست بودن یک شاخص مناسب به منظور تعیین سطح تولید می‌توان پیش از شروع به استخراج و در مرحله‌ی ابتدایی آن، با توجه به شرایط موجود از نظر اقتصادی، ساختاری در رابطه با توان تولیدی معدن قضاوت‌های اولیه‌ای نمود و به نتایجی در این زمینه رسید.

لذا با در نظر گرفتن پارامترهای موثر در ارزیابی سطح تولید و در صورت وجود شاخص ارزیابی توان تولیدی، می‌توان ریسک موجود در سرمایه‌گذاری کلان را کاهش داد و به صورت سیستماتیک روش استخراجی ارجح را انتخاب نمود.

۱-۴- روش انجام تحقیق

در راستای تعیین شاخص ارزیابی سطح تولید برای معادن زیرزمینی زغال در این تحقیق از رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ (RES[1]) استفاده شده است. روش RES در سال ۱۹۹۲ توسط هادسون[2] برای حل مسائل پیچیده مهندسی معرفی گردید. رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ از ماتریس اندرکنش از یک سو برای داشتن ابزاری تحلیلی و از طرف دیگر به منظور بهره بردن از روش نمایشی

[1] Rock Engineering Systems
[2] Hudson

برای توصیف پارامترهای مهم استفاده می‌نماید. در ماتریس اندرکنش همه‌ی فاکتورهای موثر در سیستم در امتداد قطر اصلی ماتریس چیده می‌شوند و تاثیر هر یک از پارامترها بر یکدیگر در درایه-های غیر قطر اصلی مشخص می‌شود (Khalokakaie and Naghadei, 2011).

به طور خلاصه می‌توان روند زیر را برای انجام این پژوهش در نظر گرفت:

- تعیین پارامترها و فاکتورهای موثر بر سطح تولید معادن زیرزمینی زغال سنگ
- تشکیل ماتریس اندرکنش مربوط به هدف مساله و کدگذاری احتمالاتی
- تعیین وزن فاکتورهای تاثیرگذار بر مساله
- به دست آوردن توزیع آماری عوامل تعیین شده در سطح تولید معادن زیرزمینی زغال-سنگ
- تعیین شاخص ارزیابی سطح تولید معادن زیرزمینی زغال‌سنگ
- اعتبارسنجی شاخص به دست آمده

برای محاسبه‌ی وزن فاکتورها و عملیات کمی‌سازی در روش RES شیوه‌های متفاوتی وجود دارد. ازجمله این روش‌ها در کمی‌سازی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد که در فصل دوم به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت:

- روش دوتایی
- روش نیمه عددی خبره (ESQ[1])
- شیب نمودار پارامترها
- روش تطبیقی
- روش احتمالاتی

[1] Expert Semi-Quantitative

به منظور تعیین وزن فاکتورها از رویکرد احتمالاتی در روش RES استفاده شده است. در واقع برای حل مسائل مربوط به عدم قطعیت در کدهای استفاده شده برای کمی‌سازی، کدگذاری احتمالاتی ماتریس اندرکنش می‌تواند راه‌گشا باشد و خطای ناشی از قضاوت مهندسی کاهش می‌یابد.

۱-۵- ساختار پژوهش

این پژوهش شامل ۵ فصل می‌باشد که در ادامه در رابطه با هر یک از فصول جمع‌آوری شده توضیحاتی مختصر ارائه خواهد شد.

فصل اول شامل مقدماتی در زمینه بیان مساله، ضرورت انجام پژوهش، هدف مسئله و چگونگی رسیدن به آن است.

در فصل دوم مفاهیم مربوط به سیستم‌های مهندسی سنگ ارائه می‌شود و در رابطه با روش‌کار آن توضیحاتی آورده شده است و در این فصل بیشتر بر جنبه احتمالاتی این رویکرد متمرکز شده و در انتهای آن مجموعه مطالعاتی که با استفاده از رویکرد احتمالاتی است به صورت اجمالی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در فصل سوم فصل ابتدا فاکتورهای اساسی و موثر در سطح تولید مشخص شده‌اند و در ادامه با استفاده از نظرات کارشناسان مرتبط، به ارائه‌ی یک طبقه‌بندی کلی در ارزیابی عوامل مؤثر در سطح تولید پرداخته شده است.

فصل چهارم مربوط به محاسبات کلی در زمینه RES احتمالاتی است. در این فصل ابتدا به ارزیابی کلی ماتریس‌های به دست آمده از نظرات کارشناسان پرداخته و سپس به صورت احتمالاتی نمودارهای علت و اثر، شدت اندرکنش و وزن هر یک از پارامترها مشخص شده‌اند. در انتهای فصل به اعتبارسنجی شاخص به دست آمده، پرداخته می‌شود. بدین منظور معدن زغال سنگ مهماندویه انتخاب شده است که دارای روش استخراجی دستی جبهه‌کار طولانی می‌باشد.

فصل پنجم به نتایج کلی به دست آمده از این پژوهش و پیشنهادات مفید در راستای چنین تحقیقاتی پرداخته شده است.

فصل دوم:

سیستم‌های مهندسی سنگ

۲-۱- مقدمه

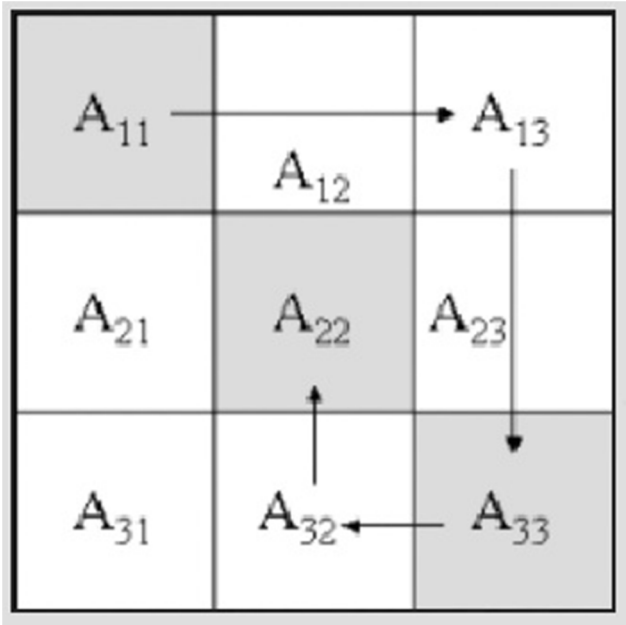
مشکلات جوامع انسانی و سازمان‌ها روز به روز پیچیده‌تر و حل آن‌ها نیازمند تفکر بهتر است. رویکرد سیستمی، مدعی ارائه روشی برای برخورد اصولی‌تر با پیچیدگی‌های دنیای کنونی است. رویکرد سیستم‌ها در سال ۱۹۴۰ به وسیله برتالنفی[1] مطرح شد. برتالانفی مخالف تقلیل‌گرایی بود و نظریه خود را تحت عنوان نظریه عمومی سیستم‌ها منتشر کرد. در واقع هدف تفکر سیستمی، بهبود درک محقق از ارتباط عملکرد بخش‌های مختلف سیستم است (مختاری، ۱۳۸۸).

بر طبق تعریف، سیستم مجموعه‌ای از عناصر است که با یکدیگر در تعامل هستند. طبق تعریف ارائه شده سیستم مجموعه‌ای از دو یا چند متغیر یا عنصر است که سه شرط زیر را داشته باشند (مختاری، ۱۳۸۸):

- هر عنصر سیستم بر رفتار و یا ویژگی‌های کل سیستم، موثر است.
- بین عناصر سیستم از نظر رفتاری و نوع تاثیر بر کل سیستم، وابستگی متقابل وجود دارد. یعنی نحوه رفتار هر عنصر و نیز نحوه تاثیر هر عنصر بر کل سیستم، بستگی به چگونگی رفتار حداقل یک عنصر دیگر از سیستم دارد.
- هر زیرمجموعه‌ای از عناصر تشکیل شود، بر رفتار کل سیستم موثر است و این تاثیر بستگی به حداقل یک زیرمجموعه دیگر از سیستم دارد. به عبارت دیگر اجزای یک سیستم چنان به هم مرتبط‌اند که هیچ زیرگروه مستقلی از آن‌ها نمی‌توان تشکیل داد.

معمولا برای حل بهتر و درک مناسب از مسائل تفکر سیستمی از یک ماتریس اندرکنش استفاده می‌شود (Haines, 2000). نمونه‌ی ساده‌ای از این ماتریس در شکل ۲-۱ نشاده داده شده است.

[1] Bertalanffy



شکل ۲-۱: ماتریس اندرکنش در تفکر سیستمی (http://www.hydrofrac.com/hfn_co)

در این ماتریس عناصر قطر اصلی شامل A_{11}, A_{22}, A_{33} به عنوان پارامترهای سیستم مورد مطالعه هستند و سایر درایه‌های این ماتریس گویای اندرکنش‌های موجود در این سیستم می‌باشند. در تفکر سیستمی به صورت کل نگر به مساله پرداخته می‌شود و سیستم به عنوان یک هدف یکتا در نظر گرفته می‌شود.

در واقع برای بررسی یک پدیده، نظام یا سیستم دو روش وجود دارد که این دو روش عبارتند از:

- روش تحلیلی
- روش سیستمی

در روش تحلیلی نگاه به سیستم از بیرون و بررسی تاثیرات متقابل سیستم و محیط بر یکدیگر است و در روش سیستمی نگاه به سیستم از درون آن و بررسی فرایندها، روش‌ها و جزئیات مدنظر می‌باشد. این دو روش مکمل یکدیگرند (Rosnay, 1997).

در جدول ۲-۱ برخی از تفاوت‌های کلی این دو روش ارائه شده است.

جدول ۲-۱: مقایسه دو رویکرد سیستمی و تحلیلی

روش سیستمی	روش تحلیلی
یکپارچگی سیستم و تمرکز بر تعامل بین عناصر	عناصر منفرد و مجزا فرض می‌شوند
مطالعه بر روی تاثیر اندرکنش‌ها	مطالعه بر روی ذات و علت اندرکنش بین اجزا
تاکید بر ادراک کلی	تاکید بر ادراک جز نگر و جزئیات
کسب آگاهی از اهداف	کسب آگاهی از جزئیات ضعیف مربوط به اهداف تعریف شده
اعتبارسنجی از طریق مقایسه رفتار مدل با واقعیت	اعتبارسنجی به وسیله اثبات تجربی

۲-۲- رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ

رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ اولین بار توسط هادسون[1] ارائه شده است که هدف اصلی از آن حل مسائل پیچیده‌ی مهندسی برای زمانی است که مسائل تکرارپذیر، وفق‌پذیر، بهره‌وری و اثربخشی با یکدیگر ترکیب می‌شوند (Hudson, 1992).

رویکرد RES به صورت گسترده در مسائل مختلف مهندسی کاربرد دارد از جمله می‌توان به مطالعات محیطی با در نظر گرفتن سوخت مصرفی، آلودگی حوضه‌های رودخانه، اکوسیستم جنگلی، مدیریت زباله‌های رادیواکتیو، آلودگی‌های ناشی از ترافیک، ریسک آلودگی مخازن اشاره نمود.

[1] Hadson

می‌توان بیان نمود که این رویکرد به صورت گسترده‌ای در دیگر کاربردهای مکانیک سنگ همچون مسائل کلی در پایداری شیب‌ها و یا در تحلیل پایداری تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی به کـار بـرده شـده است (Naghadehi et al., 2011).

در طی ۲۰ سال گذشته که روش RES در کتاب هادسون منتشر شده است از آن برای تحلیل سیستم‌های مختلف استفاده شده است (Hudson, 2014).

در جدول ۲-۲ خلاصه‌ای از آن‌ها آورده شده است.

جدول ۲-۲: کاربردهای متفاوت RES (Hudson, 2014)

نوع پروژه مهندسی و کشور	نویسنده - سال	برخی از متغیرهای اصلی
انفجار روباز انگلستان	لو و لاتام - ۱۹۹۹	بدون متغیرهای واضح و مشخص
انفجار روباز ایتالیا	فرامرزی - ۲۰۱۲	قطر چال، RMR، جهت‌داری شکستگی
بی‌ثباتی در شیب	مازکولا و هادسون – ۱۹۹۶	گسل‌ها، ساختارهای زمین-شناسی، تعداد دسته درزه
زلزله ناشی از بی‌ثباتی در شیب ایتالیا	کاستالدینی و همکاران – ۱۹۹۸	گسل‌های فعال، سنگ‌شناسی و ...
بی‌ثباتی در شیب یونان	روزس و همکاران – ۲۰۰۸	گسل‌های فعال، سنگ‌شناسی و ...
ریزش سنگ چین	ژانگ و همکاران – ۲۰۰۴	گسل‌های فعال، هندسه بلوک-ها، سنگ‌شناسی و ...
مهندسی زمین‌شناسی- چین	شانگ و همکاران – ۲۰۰۵	گسل‌ها، سنگ‌های رسوبی و دگرگونی و ..

زمین لغزش – یونان	ساباتاکاکیس و همکاران- ۲۰۱۲	ریزش، شرایط آب و هوایی و ...
زمین لغزش – ایتالیا	بودتا و همکاران – ۲۰۰۸	درزه‌داری، امواج و...
ریزش در شیب‌های طبیعی – ترکیه	گریان – ۲۰۰۸	شرایط آب، فاصله گسل‌ها و...
ریزش در شیب‌های طبیعی – یونان	روزوس – ۲۰۱۱	سنگ‌شناسی، شیب و ...
ریزش شیب جاده‌ای- ایران	کاکایی و همکاران- ۲۰۱۲	گسل‌ها، زمین‌شناسی و...
ریزش شیب جاده‌ای- ایران	نقدهی و همکاران - ۲۰۱۱	گسل‌ها، زمین‌شناسی و...
انفجار زیرزمینی – کانادا	آندریوس و همکاران – ۲۰۰۸	انرژی ماده منفجره و...
عملکرد TBM – یونان	بناردوس و همکاران – ۲۰۰۴	RMR، RQD و ...
پایداری تونل‌های مترو- کره	کیم و همکاران – ۲۰۰۸	RQD ، تنش و ....
جاده معادن زغال – چین	یانگ و ژانگ – ۱۹۹۷	RQD، SRF و ...
اندیس ریزش تونل- کره	شین و همکاران – ۲۰۰۹	بدون کاربرد

ویژگی‌های ساختاری و فرایندهای رادیواکتیویته - سوئد	اسکاگیس- ۱۹۹۷	بدون کاربرد
اندیس فرسایش سنگ	هیل و همکاران- ۱۹۹۸	بدون کاربرد
تجزیه و تحلیل محل نیروگاه	شانگ و همکاران – ۲۰۰۰	گسل‌ها، سنگ شناسی و ...

۱-۱-۱-کدگذاری در رویکرد RES

می‌توان کلیات رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ را به طور خلاصه شامل موارد زیر در نظر گرفت که عبارتند از (Hudson, 2014):

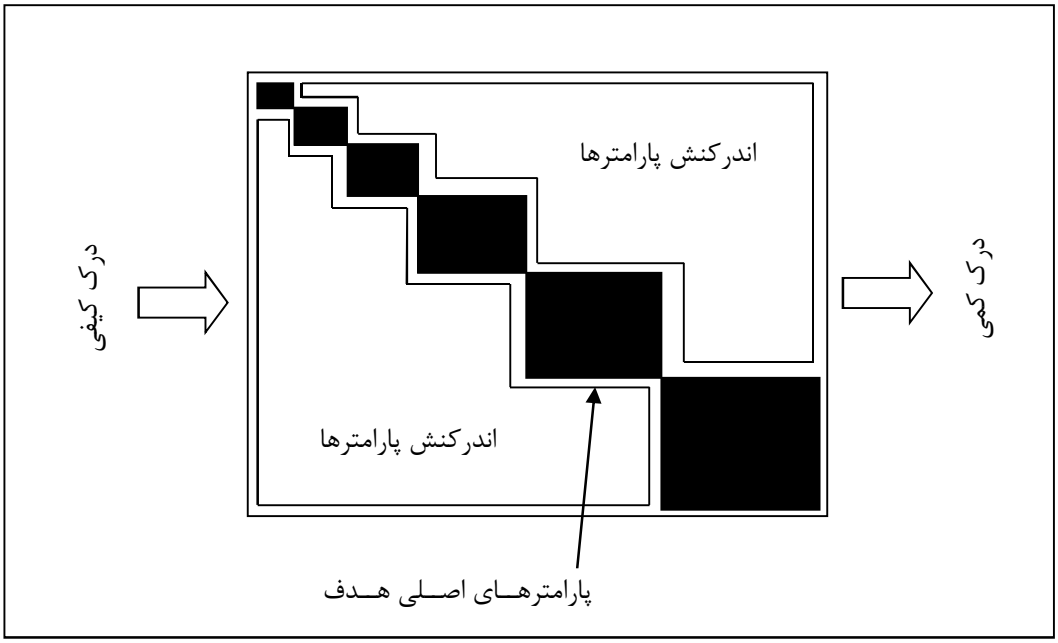
- ماتریس اندرکنش
- کدگذاری ماتریس با توجه به مفهوم اندرکنش‌های موجود در متغیرها
- نمودار علت – اثر

به عنوان یک پایه و اساس کلی در رویکرد RES از یک ماتریس اندرکنش استفاده می‌شود که پارامترهای اصلی و عمده در تحلیل هدف انتخاب و اندرکنش بین آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. این فرایند ارزیابی کامل و جامعی از فاکتورها و اثر متقابل آن‌ها را ناشی خواهد شد. مزیت اصلی که در این سیستم موجود است به در نظر گرفتن تمامی تاثیرات بالقوه همه‌ی پارامترها بازمی‌گردد (Hudson, 2014).

دلیل اصلی و عمده در این موضوع که رویکرد RES عدم قطعیت‌ها را کاهش می‌دهد این است که مطالعه‌ی اندرکنش‌های مربوط به فاکتورهای هدف مساله نشان می‌دهند که اندرکنش غالب و اصلی در سیستم ناشی از چه فاکتورهایی می‌باشد و چه فاکتورها و پارامترهایی کمتر بر سیستم تاثیر گذار هستند و برعکس. این فرایند سبب کاهش عدم قطعیت در رویکرد مورد بحث می‌شود.

رویکرد RES بیشتر از آن که یک روشی ترکیبی باشد یک روش تحلیلی است. به عبارت دیگر، مدل مکانیکی یا مهندسی سنگ با این فرض ساخته نمی‌شود که متغیرها به صورت خودکار قطعی در نظر گرفته شوند بلکه با مطالعه‌ی مسئله و شکستن آن به مسأله‌های کوچک‌تر شامل متغیرهای اصلی صورت می‌پذیرد و با ارزیابی اهمیت آن‌ها برای درک و تحلیل اهمیت نسبی این پارامترها می‌توان یک مدل مناسب و جامع را طراحی نمود (Hudson, 2014).

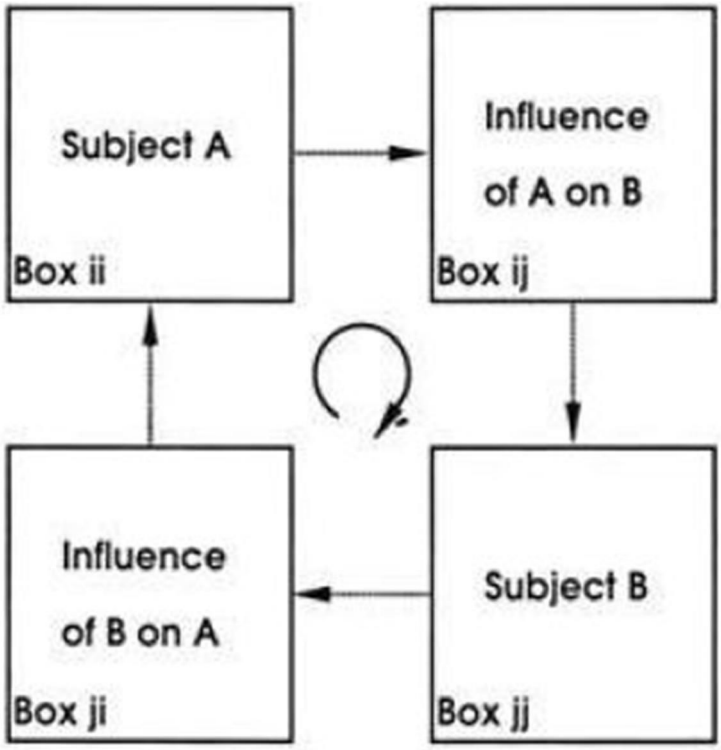
همانگونه که پیش از این ذکر شد، ابزار بنیادی و اصلی در روش RES ماتریس اندرکنش مورد استفاده در آن می‌باشد. نمونه‌ای از این ماتریس در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: ماتریس اندرکنش (Bartolomei, 2005)

همان‌گونه که از شکل ۲-۲ مشخص است در این رویکرد برآشش پارامترهای موثر در مسأله از یک درک کلی در رابطه با موضوع و با استفاده از ماتریس اندرکنش و فرایند محاسباتی آن می‌توان به یک درک کمی و ارزیابی کمیتی رسید.

ماتریس اندرکنشی که هادسون در کتاب خود در سال ۱۹۹۲ ارائه کرده است به صورت شکل ۲-۳ می‌باشد. در این رابطه اشاره شده است که ماتریس اندرکنش تلفیقی از متغیرهای ویژه‌ای را فراهم می‌آورد که بر سیستم موثر هستند و برعکس. هنگامی که همه‌ی این تاثیرات برای تمامی متغیرها اعمال شد، عملیات متعددی را می‌توان بر روی ماتریس حاوی آن‌ها به دست آورد (Hudson, 1992).



شکل ۲-۳: ماتریس اندرکنش با دو پارامتر اصلی (Hudson, 1992)

شکل ۲-۳ یک ماتریس ساده ۲*۲ است که از دو متغیر A و B تشکیل شده است. پارامترهای اصلی بر روی قطر اصلی ماتریس قرار می‌گیرند، تأثیر پارامتر A بر روی پارامتر B در بالا راست قرار می‌گیرد و تاثیر B بر A در پایین چپ قرار دارد. در واقع در این روش برای نشان دادن تأثیر هر پارامتر بر دیگری به صورت قراردادی از جهت عقربه‌های ساعت استفاده شده است (Hudson, 2014).

باید توجه داشت که هر ردیف در ماتریس اندرکنش محتوی اثری است که ناشی از متغیر قطر اصلی همان ردیف بر روی دیگر متغیرهای موجود در ماتریس اندرکنش است. متعاقبا هر ستون در ماتریس نشان دهنده‌ی تاثیر دیگر متغیرها بر روی متغیر موجود در آن ستون می‌باشد.

پس از طراحی ماتریس اندرکنش به همراه متغیرهای اصلی، گام بعدی کدگذاری اجزای خارج از قطر اصلی برای نشان دادن میزان اهمیت آن‌ها یا ایجاد توانایی انجام محاسبات ریاضی بر روی این ماتریس است. بر طبق نظر نویسنده روش RES، پنج روش متفاوت برای کدگذاری درایه‌های خارج از قطر اصلی در ماتریس اندرکنش وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است.

این روش‌ها عبارتند از:

- روش دوتایی[1]
- روش نیمه عددی خبره (ESQ)[2]
- شیب نمودار پارامترها[3]
- روش تطبیقی از یک رویکرد سیستمی مستقیم[4]
- روش صریح[5]

الف – روش دوتایی

در این روش برای کمی‌سازی اندرکنش‌ها تنها دو حالت وجود دارد. این دو حالت به صورت حالات روشن یا خاموش در نظر گرفته می‌شوند. اگر درایه مورد نظر کمی‌سازی، شرایط لازم را دارا باشد به آن عدد یک اختصاص داده می‌شود و در صورتی‌که مکانیزم مورد نظر مورد قبول واقع نشود به درایه آن صفر اختصاص داده می‌شود.

ب- روش ESQ

[1] binary
[2] Expert Semi-Quantitative (ESQ)
[3] Slope of the linear
[4] Solution to partial different equation
[5] Explicitly

در واقع این روش توسعه یافته روش دوتایی است چرا که به درایه‌های ماتریس پنج مقدار ۰، ۱، ۲، ۳ و ۴ اختصاص می‌یابد. مفهوم هریک از این اعداد در جدول ۲-۳ نشان داده شده است.

جدول ۲-۳: مفهوم اعداد مختلف در روش ESQ

کد کمی‌سازی	مفهوم کد
۰	بدون تاثیر
۱	اندرکنش ضعیف
۲	اندرکنش متوسط
۳	اندرکنش قوی
۴	اندرکنش بحرانی

از مزایای این روش نسبت به روش دوتایی، حساسیت بیشتر آن است زیرا کمی‌سازی براساس ۵ کلاس مختلف انجام می‌گیرد. اما عیب عمده این روش مربوط به تغییرپذیری بالای آن در تخصیص و کمی‌سازی است.

از طرف دیگر از آن‌جایی که عمل کدگذاری توسط کارشناس انجام می‌شود می‌تواند باعث ذهن-گرایی شود.

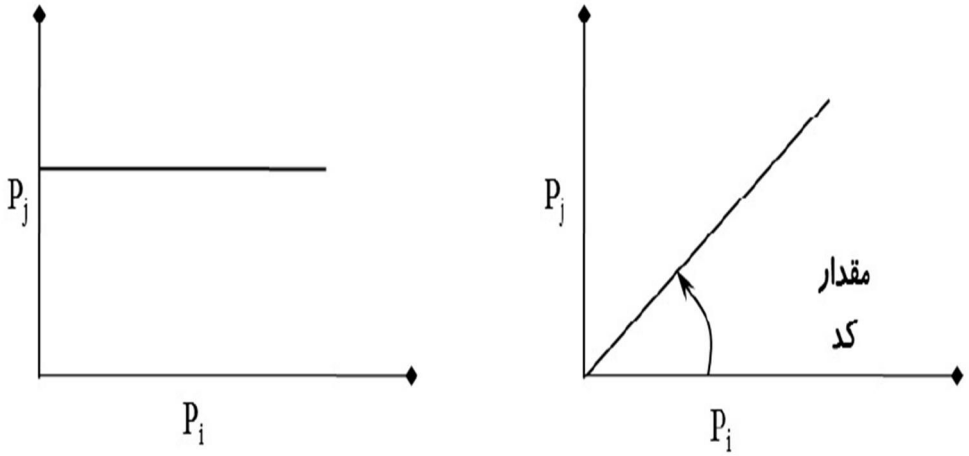
اما با وجود این مشکلات به دلیل سادگی روش و عدم وجود یک روش جایگزین در حال حاضر این روش بیشترین کاربرد را داراست.

ج- شیب نمودار پارامترها

این روش با استفاده از شیب نمودار همه‌ی درایه‌های غیر از قطر اصلی عمل کمی‌سازی را انجام می‌دهد. بدین صورت که اگر نمودار هر دو پارامتر به صورت افقی باشد به منزله عدم وابستگی این دو

درایه است. و اگر این نمودار دارای شیبی بیش از صفر باشد مقدار وابستگی آن‌ها براساس شیب این نمودار تعیین می‌شود.

البته یکی از معایب اصلی این روش عدم خطی بودن اکثر روابط بین پارامترها و ایجاد خلل‌هایی برای تعیین وابستگی است.



شکل ۲-۴: کدگذاری با استفاده از شیب نمودارها

چ- روش تطبیقی از یک رویکرد سیستمی مستقیم

در این روش تمامی روابط بین پارامترها در ماتریس اندرکنس به صورت معادلات مشتقات جزیی (PDE) بیان می‌شود. که در ماتریس‌هایی با ابعاد بزرگ باعث سختی و پیچیدگی محاسبات می‌شود.

ح-روش صریح

در این روش ابتدا فرضی مبنی بر در دست بودن تمامی اطلاعات مربوط به اندرکنش‌ها وجود دارد سپس با استفاده از تحلیل عددی و اطلاعات موجود بایستی رفتار واقعی اندرکنش درایه‌ها را مورد بررسی قرار داد. البته از آن‌جایی که تسلط و آگاهی کامل بر اندرکنش‌های مختلف هرگز حاصل نمی-شود در نتیجه نمی‌توان از این روش به درستی استفاده کرد.

۲-۲-۱-نمودار علت – اثر

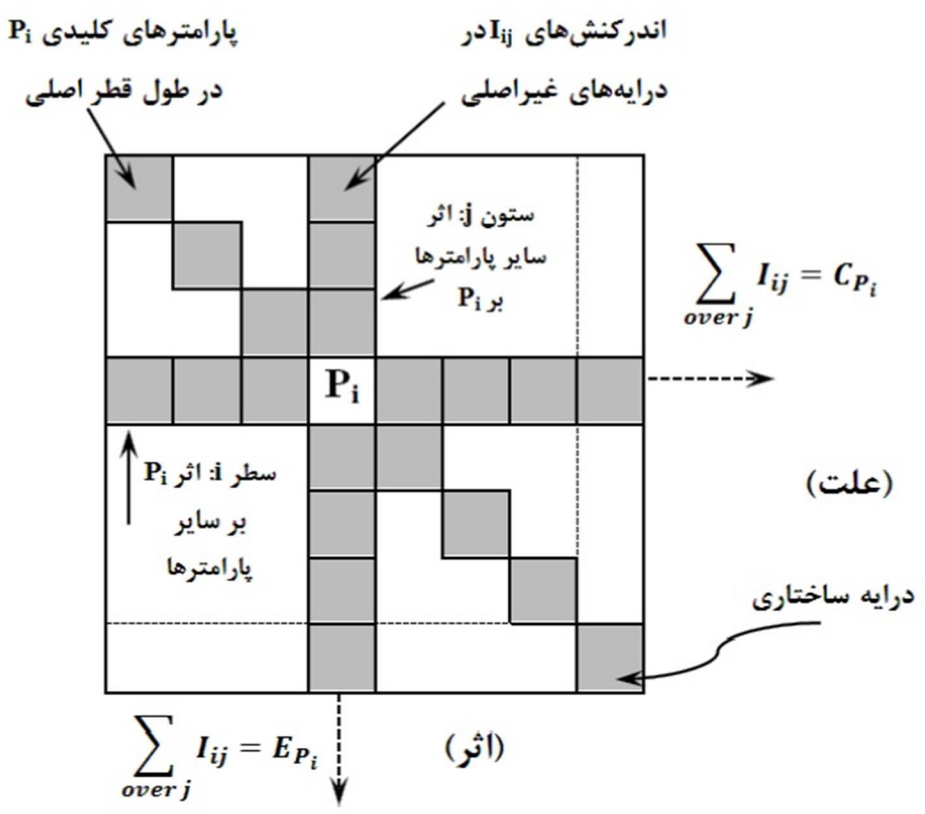
همانگونه که پیش از این ذکر شده عناصر موجود در سطر و ستون دارای مفاهیم جداگانه‌ای برای ماتریس اندرکنش می‌باشند. همانگونه که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است مجموعه مقادیر در هر سطر به عنوان علت[1] برای پارامتر موجود در قطر اصلی همان ردیف می‌باشد. به همین صورت مجموع مقادیر متغیرها در هر ستون نشان دهنده‌ی اثر[2] برای پارامتر موجود در قطر اصلی همان ستون است.

بدان علت از واژه‌های علت و اثر استفاده می‌شود که در واقع مجموع هر سطر نشان دهنده‌ی چگونگی تغییرات به علت متغیر موجود در همان سطر بر روی دیگر متغیرهای قطر اصلی ماتریس اندرکنش است و از سوی دیگر هر ستون نشان دهنده‌ی اثر دیگر متغیرها بر روی متغیر مدنظر در همان ستون می‌شوند (Hudson, 2014).

باید توجه داشت که مقادیر C + E نشان دهنده‌ی چگونگی کنش آن متغیر خاص با سیستم را بازگو می‌نماید و هر چه این مقدار عدد بزرگتری باشد اندرکنش بالاتری را نشان می‌دهد. مقادیر C – E نیز نشان دهنده‌ی چگونگی غلبه‌گی متغیر بر سیستم یا برعکس می‌باشد، بدین مفهوم که مقادیر مثبت برای آن نشان دهنده‌ی این مطلب است که تاثیر آن متغیر بر سیستم بیشتر می‌باشد.

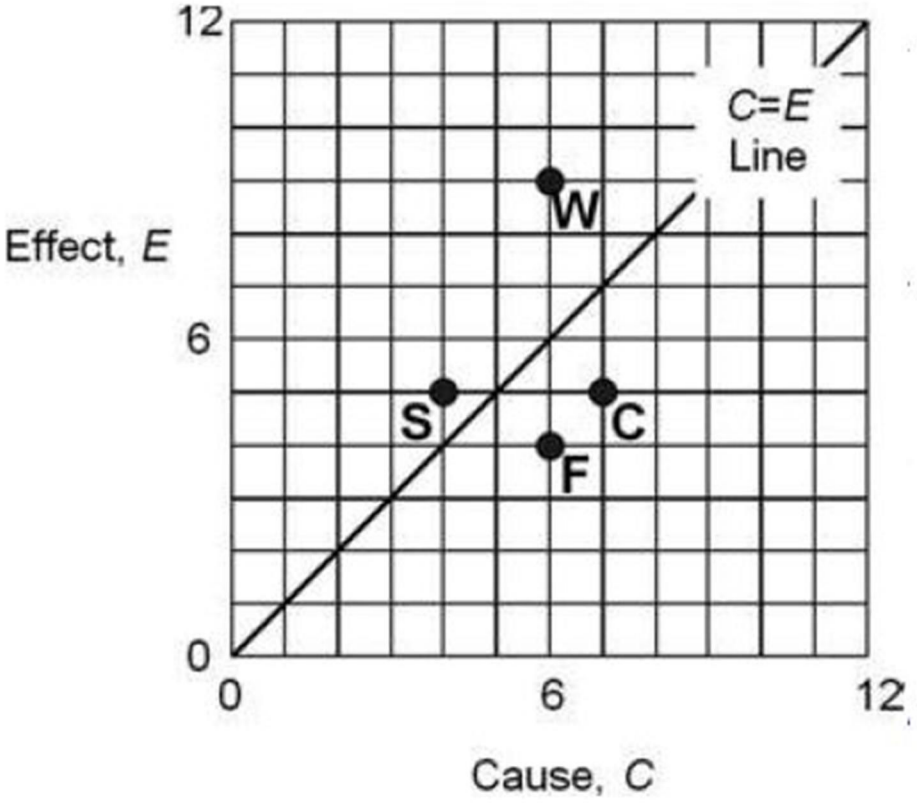
بنابراین مقادیر مثبت در C – E نشان دهنده‌ی متغیرهای غالب بر سیستم و مقادیر منفی نشان دهندی متغیر مغلوب در برابر سیستم است یعنی سیستم تاثیر بیشتری بر متغیر اعمال می‌کند.

[1] Cause
[2] Effect



شکل ۲-۵: ماتریس اندرکنش و علت و اثر (Naghadehi et al., 2011)

با توجه به شکل ۲-۶ متغیرهایی با مقادیر C + E بالا، متغیرهایی با اندرکنش زیاد با سیستم به حساب می‌آیند و در واقع اگر در متغیری مقادیر $C > E$ باشد به عنوان متغیر غالب در نظر گرفته می‌شود و در سمت راست خط C = E قرار می‌گیرد و وضعیت متغیر مغلوب عکس حالت ذکر شده است.



شکل ۲-۶: نمودار C – E (Hudson, 1992)

۲-۲-۲- روش‌های بهبود ماتریس اندرکنش

برای رفع مشکل کدگذاری و رفع معایب روش‌های مختلف آن، در تکمیل ماتریس اندرکنش که اساس روش RES را در خود دارد رویکردهای دیگری ارائه شده است. این رویکردها عمدتا براساس روش‌های مختلف کدگذاری می‌باشند و با اعمال تغییراتی در چگونگی کدگذاری، روش تکمل ماتریس اندرکنش را تغییر می‌دهند که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- تئوری سیستم‌های خاکستری
- نظریه گراف
- نظریه استفاده از شبکه‌های عصبی
- استفاده از طرح شناخت فازی
- روش کدگذاری نیمه عددی خبره احتمالاتی

در ادامه هریک از روش‌های مذکور معرفی می‌شوند.

۲-۲-۲-۱- تئوری سیستم‌های خاکستری[1]

تئوری سیستم خاکستری که مربوط به علوم مختلف می‌باشد اولین بار توسط دنگ[2] در اوایل ۱۹۸۰ معرفی شده است. از آن جایی که این تئوری توانایی سروکار داشتن با مسائلی را دارد که دارای پارامترهای ناشناخته و یا با اطلاعات کم هستند در علوم مختلف مورد توجه واقع شده است (Deng, 1989).

به عنوان یک اولویت نسبت به مدل‌های آماری مرسوم، مدل‌های مبتنی بر تئوری سیستم خاکستری تنها با استفاده از مقداری از اطلاعات محدود می‌توانند تخمین‌های جالبی از سیستم‌های نامعلوم و ناشناخته و یا فاقد اطلاعات کافی ارائه نماید (Kayacan et al., 2010).

در طی دو دهه‌ی گذشته، تئوری سیستم خاکستری به سرعت توسعه یافته است و مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. در تئوری این سیستم، هر سیستم را می‌توان با استفاده از یک رنگ نشان داد که نشان دهنده‌ی میزان اطلاعات در رابطه با سیستم است.

در روش نظریه سیستم‌های خاکستری که توسط لو[3] و لاتام[4] ارائه شده است سیستم مهندسی سنگ و اندرکنش‌های موجود در بین متغیرها را می‌توان بر خصوصیات سیستم خاکستری مطابقت داد. علت این تطبیق عدم وجود اطلاعات کافی در رابطه با اندرکنش‌ها می‌باشد.

شیوه کدگذاری ارائه شده توسط آنان به عنوان کدگذاری عددی پیوسته[5] (CQC) نامیده شده است. از جمله کارهای انجام شده در زمینه RES که کدکذاری ماتریس اندرکنش آن با استفاده از روش CQC صورت گرفته است می‌توان به استفاده ارائه دهندگان روش در سال ۱۹۹۹ تحت عنوان "توسعه سیستم ارزیابی قابلیت انفجار توده‌سنگ" (Latham and Lu, 1999) و همچنین به مقاله

[1] Grey system
[2] Deng
[3] Lu
[4] Latham
[5] Continuous Quantitative Coding

"تعیین نرخ پیش‌روی TBM به روش سیستم‌های مهندسی سنگ با استفاده از CQC" (یاوری، منصوری، ابراهیمی، ۱۳۹۱) اشاره نمود. کدکذاری در این روش در محدوده‌ی ۰ تا ۱۰۰ انجام می‌گیرد و در واقع حساسیت این روش نسبت به روش ESQ بیشتر می‌باشد.

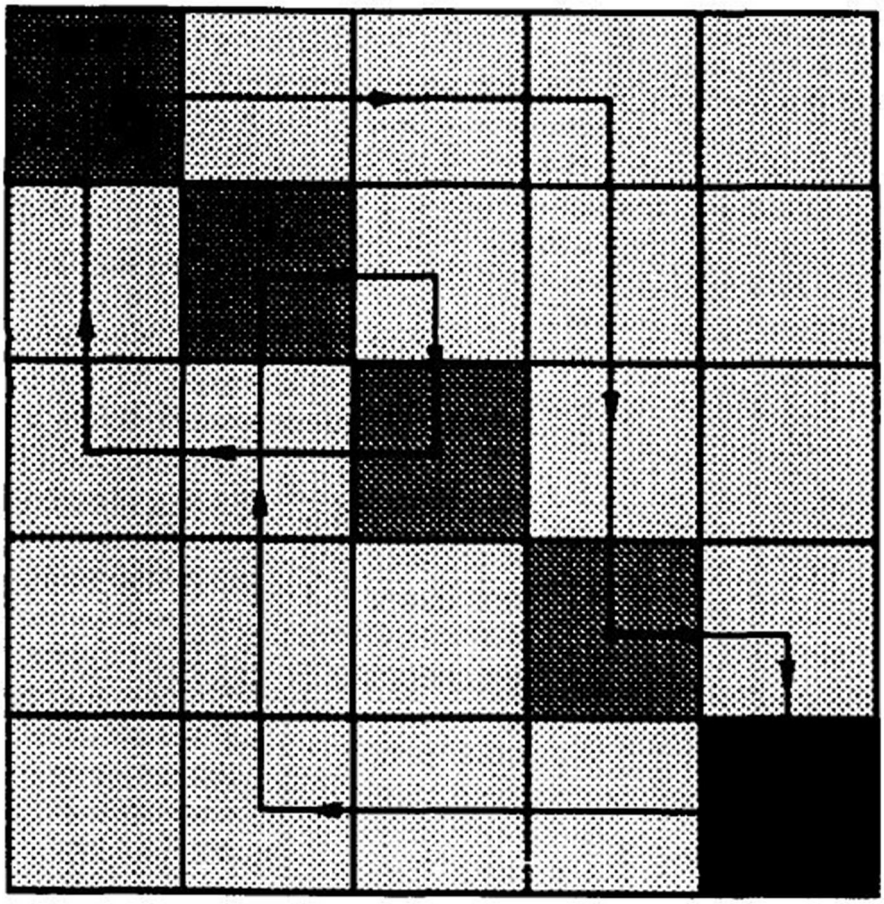
۲-۲-۲-۲- نظریه گراف[1]

مدل تماماً مرتبط[2] یا FCM توسط جیانو و هادسون در رابطه با توسعه‌ی RES در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است. این مدل براساس دو ساختار اصلی RES و نظریه گراف توسعه داده است. ابزار اولیه در RES ماتریس اندرکنش آن می‌باشد و برای تمامی درایه‌های خارج از قطر اصلی روابط به صورت دوتایی در نظر گرفته شده است بدین مفهوم که اندرکنش هر دو متغیر در یک درایه مرتبط با آن‌ها جایگزین شده است. در مدل FCM ماتریس اندرکنش به صورت یک مکانیزم شبکه‌ای در نظر گرفته می‌شود و روابط بیش از دو متعیر به صورت همزمان در نظر گرفته می‌شود. نظریه گراف برای ارزیابی ترکیبی از همه‌ی مکانیزم‌های موجود استفاده می‌شود. یک ویژگی کلیدی آن شناسایی مکانیزم حلقه-های بازخورد و میزان ثبات آن‌ها است (Jiao and Hudson, 1995).

مزیت مدل FCM در مهندسی سنگ این است که حالت اولیه متعیرها، اندرکنش‌های دوتایی، همه‌ی مکانیزم مسیرها و هر گام در فرایندهای مرتبط به خوبی روشن و واضح است.این مدل برای مکانیزم‌های خطی توسعه داده شده است (Jiao and Hudson, 1995)

در شکل ۲-۷ خط مسیرهای مکانیزمی با یک ماتریس ۵ متغیره نشان داده شده است.

[1] Graph theory
[2] Fully -Coupled Model



شکل ۲-۷: خط مسیرهای مکانیزم ماتریس ۵ متغیره (Jiao and Hudson, 1995)

۲-۲-۲-۳- نظریه استفاده از شبکه‌های عصبی

استفاده از شبکه‌های عصبی توسط یانگ[1] و ژانگ[2] در بهبود رویکرد سیستم مهندسی سنگ در سال ۱۹۹۸ به انجام رسیده است. با در نظر گرفتن تحلیل‌های مربوط به روش‌های کدگذاری و فرایند یادگیری شبکه‌های عصبی همچون روش BP[3]، شبکه عصبی می‌تواند یک ابزار مفید از ورودی‌های سیستم را به خروجی‌های مهندسی سنگ مرتبط نماید (Yang and Zhang, 1998).

نتایج تحلیل شبکه عصبی می‌تواند راهی مشابه با ماتریس اندرکنش در نتایج سیستم FCM را ایفا نماید. تجزیه و تحلیل اندرکنش متغیرها به عنوان ورودی و خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته می-

[1] Yang
[2] Zhang
[3] Back Propagation

شوند. در اصول این روش لایه‌های میانی با استفاده از اطلاع کافی از اندرکنش اثرات متقابل بین عوامل ورودی و خروجی ساخته می‌شوند.

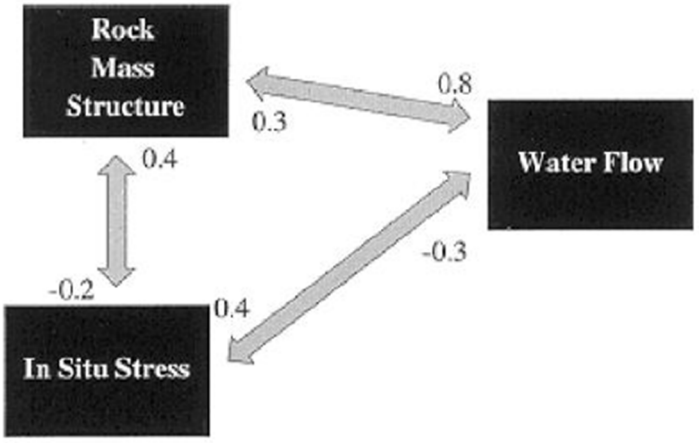
از جمله سودمندی اصلی این روش می‌توان به حالت دینامیکی ماتریس اندرکنش به دست آمده از این روش اشاره کرد. زیرا در این روش با توجه به در دست بودن اطلاعات کافی از اندرکنش‌ها مدل-سازی دقیقی از آن‌ها صورت می‌پذیرد و با کمترین خطا می‌توان درایه‌های ماتریس اندرکنش را تکمیل نمود (Yang and Zhang, 1998).

۲-۲-۲-۴- استفاده از طرح شناخت فازی

در سال ۱۹۹۷ روشی برای کدگذاری ماتریس اندرکنش سیستم مهندسی سنگ توسط کلاماراس ارائه شده است که به عنوان طرح شناخت فازی (FCM)[1] مطرح شده است و در این روش برای کدگذاری از اعداد در محدوده‌ی [-1,+1] استفاده می‌شود. در این رویکرد اگر دو متغیر در ارتباط مستقیم با یکدیگر باشند یا افزایش یکی، سبب افزایش دیگری شود، اندرکنش مثبت برای آن در نظر گرفته می‌شود و در حالت معکوس مقادیر منفی را برای آن در نظر می‌گیرند. در حالتی که اندرکنشی وجود نداشته باشد از صفر استفاده می‌شود (Kalamaras, 1997)

کلاماراس در مقاله خود به عنوان نمونه اندرکنش سه عامل ساختار سنگ، تنش‌های برجا و جریان آب را با استفاده از روش FCM ارائه کرده است که در شکل ۲-۸ نشان داده شده است.

[1] Fuzzy cognitive Map



شکل ۲-۸: طرح FCM مربوط به سه پارامتر (Kalamaras, 1997)

او از این روش کدگذاری برای پیش‌بینی نرخ پیش‌روی در ساخت تونل استفاده کرده است.

۲-۲-۲-۵- روش کدگذاری نیمه عددی خبره احتمالاتی

زارع و همکارانش در سال ۲۰۱۱ برای غلبه بر عدم قطعیت موجود در روش ESQ از رویکرد احتمالاتی در کدکذاری ماتریس اندرکنش استفاده‌کرده‌اند. که در روش ESQ هیچ گونه عدم قطعیتی در نظر گرفته نمی‌شود و عناصر به صورت ضمنی (تلویحی) امتیاز دهی می‌شوند. که این کدگذاری با اعداد ۰ تا ۴ است که صفر نشان دهنده‌ی عدم تأثیر و ۴ نشان دهنده‌ی حالت بحرانی است (Zare et al., 2011).

در واقع مقادیر کدگذاری در ماتریس اندرکنش نمی‌توانند به صورت ثابت یا قطعی باشند و مقادیر آن‌ها به نوع مسئله نیز بستگی دارند و در این نوع کدگذاری بسته به شرایط ویژه هر مسئله نیاز به کدگذاری جدید و اصلاح شده می‌باشد و در بسیاری از موارد کدهای روش ESQ نمی‌توانند به درستی اندرکنش ویژه و صحیح مربوط به مسئله‌ی مورد مطالعه را ارائه دهند. به همین دلیل، یک روش ابتکاری با عنوان ESQ احتمالاتی را ارائه کرده است (PESQ)[1] و با استفاده از این روش عدم قطعیت در مساله‌ی کدگذاری ESQ دخیل داده می‌شود (Zare et al., 2011).

[1] Probabilistic ESQ

به صورت کلی در روش RES کدگذاری به صورت استفاده از تجربه و دانش خبره (ESQ)، قضاوت-های مهندسی و یا با استفاده از تحلیل‌های عددی یا نظری صورت می‌گیرد. به عنوان مثال در روش ESQ حتی تنوع در افراد مورد استفاده به عنوان خبره نتیجه نهایی یا عدد مورد نظر برای هر درایه غیر قطر اصلی را به صورت قطعی در نظر می‌گیرد در حالی که در اکثر مسائل عدم قطعیت بخش مهمی از مسأله را تشکیل می‌دهد و از طرف دیگر ممکن است خبره‌گان مختلف اعداد مختلفی را برای یک درایه در نظر بگیرند.

بدین منظور برای رفع این مشکل می‌توان از روش PESQ استفاده کرد. بدین صورت که مقادیر احتمالاتی به اعداد کدهای ممکن و به دست آمده از هر کارشناس برای هر ماتریس اندرکنش، اختصاص داده می‌شود. به عبارت دیگر برای هر یک از اندرکنش‌ها دانستن احتمال هریک از اعداد ۰ تا ۴ براساس نظرات هر کارشناس وجود دارد. این اطلاعات می‌توانند به عنوان یک مجموعه از ماتریس‌ها ارائه شوند و در این مورد ماتریس با در نظر گرفتن کدهای ۰ تا ۴، که هر یک از این ماتریس‌ها محتوی موقعیت‌های i و j هستند، احتمالی که کد ویژه نشان دهنده‌ی تأثیر P_i بر روی P_j می‌باشد را بازگو می‌نماید البته باید در نظر داشت که مجموعه احتمالات مربوط به هریک از درایه‌های غیر قطری در ۵ ماتریس برابر یک می‌شود.

زارع و همکارانش در مقاله ارائه شده به بررسی تعدادی از شیب‌های سنگی در منطقه‌ی خوش ییلاق ایران پرداخته‌اند. هدف اصلی آن‌ها مطالعه، تحلیل و شناسایی مهمترین پارامترهای مؤثر در پایداری شیب در منطقه است. بنابراین، ۹ پارامتر که در کنترل پایداری شیب‌های سنگی مؤثر هستند به عنوان پارامترهای مهم انتخاب شده‌اند. این پارامترها عبارتند از (Zare et al., 2011):

- زمین شناسی و سنگ شناسی
- گسل‌ها و چین خوردگی
- ناپایداری پیشین
- مقاومت سنگ بکر

- هوازدگی
- خصوصیات مکانیکی ناپیوستگی ها
- شرایط هیدرولیکی
- ارتفاع شیب
- شیب

عامل دهم که به عنوان هدف مطالعه به ماتریس اندرکنش اضافه شده است پتانسیل ناپایداری شیب‌های سنگی است. در اشکال ۲-۹ تا ۲-۱۳ نمونه‌ای از ماتریس اندرکنش برای کدهای صفر تا چهار نشان داده شده است.

P_1	5	5	5	5	5	5	10	5	5
5	P_2	5	90	20	0	0	5	5	5
100	100	P_3	95	20	5	15	0	5	5
100	100	5	P_4	0	0	90	0	0	5
100	100	5	0	P_5	5	100	95	95	5
100	100	0	100	100	P_6	95	90	5	0
100	100	5	95	0	0	P_7	55	80	5
100	100	5	100	100	100	5	P_8	0	5
100	100	0	100	100	100	95	90	P_9	0
100	100	100	100	100	100	100	100	100	P_{10}

P_1: Geology and lithology; P_2: Faults and folds; P_3: Previous instabilities; P_4: Intact rock strength; P_5: Weathering; P_6: Mechanical properties of discontinuities; P_7: Hydraulic conditions; P_8: Slope height; P_9: Slope inclination; P_{10}: Potential instability.

شکل ۲-۹: ماتریس اندرکنش برای M_0 (Zare et al., 2011)

P_1	25	15	5	15	20	15	15	10	5
15	P_2	5	10	55	10	10	25	20	5
0	0	P_3	5	55	25	45	5	10	15
0	0	10	P_4	5	20	10	15	15	10
0	0	5	10	P_5	10	0	5	5	5
0	0	20	0	0	P_6	5	10	20	0
0	0	5	5	5	5	P_7	30	15	5
0	0	5	0	0	0	15	P_8	15	5
0	0	0	0	0	0	5	10	P_9	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{10}

P_1: Geology and lithology; P_2: Faults and folds; P_3: Previous instabilities; P_4: Intact rock strength; P_5: Weathering; P_6: Mechanical properties of discontinuities; P_7: Hydraulic conditions; P_8: Slope height; P_9: Slope inclination; P_{10}: Potential instability.

شکل ۲-۱۰: ماتریس اندرکنش برای M_1 (Zare et al., 2011)

P_1	40	15	15	20	40	40	45	25	15
60	P_2	15	0	15	10	15	40	45	15
0	0	P_3	0	20	40	25	20	25	55
0	0	50	P_4	15	50	0	55	50	40
0	0	15	60	P_5	50	0	0	0	15
0	0	50	0	0	P_6	0	0	65	0
0	0	15	0	15	10	P_7	15	5	15
0	0	15	0	0	0	65	P_8	50	15
0	0	0	0	0	0	0	0	P_9	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{10}

P_1: Geology and lithology; P_2: Faults and folds; P_3: Previous instabilities; P_4: Intact rock strength; P_5: Weathering; P_6: Mechanical properties of discontinuities; P_7: Hydraulic conditions; P_8: Slope height; P_9: Slope inclination; P_{10}: Potential instability.

شکل ۲-۱۱: ماتریس اندرکنش برای M_2 (Zare et al., 2011)

P_1	25	45	50	40	30	25	20	40	55
15	P_2	55	0	10	55	55	20	20	55
0	0	P_3	0	5	25	10	50	45	20
0	0	30	P_4	55	25	0	20	25	30
0	0	55	20	P_5	25	0	0	0	55
0	0	25	0	0	P_6	0	0	10	10
0	0	55	0	60	70	P_7	0	0	55
0	0	55	0	0	0	10	P_8	25	55
0	0	10	0	0	0	0	0	P_9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{10}

P_1: Geology and lithology; P_2: Faults and folds; P_3: Previous instabilities; P_4: Intact rock strength; P_5: Weathering; P_6: Mechanical properties of discontinuities; P_7: Hydraulic conditions; P_8: Slope height; P_9: Slope inclination; P_{10}: Potential instability.

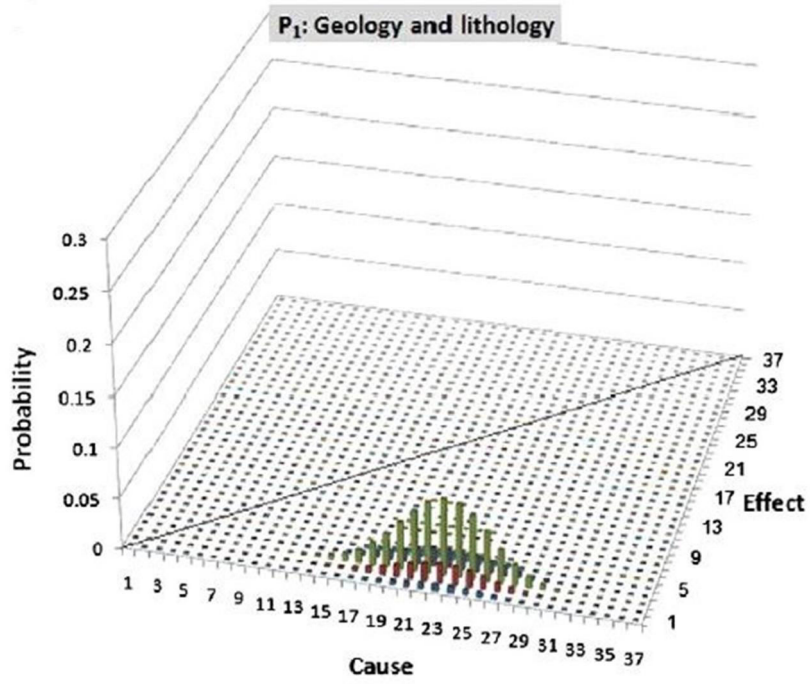
شکل ۲-۱۲ : ماتریس اندرکنش برای M_3 (Zare et al., 2011)

P_1	5	20	25	20	10	15	10	20	20
5	P_2	20	0	0	25	20	10	10	20
0	0	P_3	0	0	5	5	25	15	5
0	0	15	P_4	25	5	0	10	10	15
0	0	20	10	P_5	10	0	0	0	20
0	0	5	0	0	P_6	0	0	0	90
0	0	20	0	20	15	P_7	0	0	20
0	0	20	0	0	0	5	P_8	10	20
0	0	90	0	0	0	0	0	P_9	90
0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{10}

P_1: Geology and lithology; P_2: Faults and folds; P_3: Previous instabilities; P_4: Intact rock strength; P_5: Weathering; P_6: Mechanical properties of discontinuities; P_7: Hydraulic conditions; P_8: Slope height; P_9: Slope inclination; P_{10}: Potential instability.

شکل ۲-۱۳: ماتریس اندرکنش برای M_4 (Zare et al., 2011)

در شکل ۲-۱۴ نمونه‌ای از نمودار علت – اثر احتمالاتی برای پارامتر اول نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۴: نمودار علت - اثر احتمالاتی برای پارامتر زمین‌شناسی و سنگ شناسی (Zare et al., 2011)

۲-۳- جمع‌بندی

در این فصل به تشریح سیستم، نگاه سیستمی و بررسی رویکرد سیستمی پرداخته شد. در رابطه با رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ به تشریح اصول و بنیان آن تمرکز شد. مجموعه کاربردهای مختلف آن در بخش‌های مختلف به اجمال بررسی گردید. پس از بررسی روش RES به رویکردهای بهبود آن همچون روش‌های تئوری سیستم‌های خاکستری، نظریه گراف، نظریه استفاده از شبکه‌های عصبی، استفاده از طرح شناخت فازی و روش کدگذاری نیمه عددی خبره احتمالاتی که عموما به دنبال بهبود روش کدگذاری این روش هستند بسنده شد.

در فصل بعدی به بررسی عوامل موثر در سطح تولید زغال پرداخته می‌شود و براساس این عوامل به تحلیل سیستمی آن پرداخته خواهد شد.

فصل سوم :

عوامل موثر بر سطح تولید

معادن زغال‌سنگ

۳-۱- مقدمه

زغال یکی از منابع عظیم انرژی در جهان به شمار می‌آید و در محدوده‌ی بزرگی از ساختار و کیفیت‌ها تشکیل می‌شود. زعال را می‌توان در دو دسته کلی گروه‌بندی نمود:

- زغال سخت

که این نوع زغال شامل زغال‌های کک شونده است که برای تولید فولاد استفاده می‌شوند و هم می‌تواند شامل دیگر زغال‌های بیتومین و آنتراسیت‌ها باشد که به منظور تولید قدرت و بخار استفاده می‌شوند.

- زغال قهوه‌ای

این دسته نیز شامل لیگنیت‌ها می‌شود که عمدتا به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

زغال‌ها می‌توانند محدوده وسیعی را از نظر رطوبت (۲-۴۰٪)، سولفور (۰.۲- ۸٪) و محتوی خاکستر (۵-۴۰٪) را شامل شوند. این عوامل و فاکتورها می‌توانند بر ارزش زغال به عنوان یک سوخت تاثیرگذار باشند و حتی عوامل و مسائل زیست‌محیطی را منجر شوند.

عمق، ضخامت، شکل لایه زغال، گستردگی، شیب، جنس سنگها و عوامل مختلف دیگری در روش استخراج و میزان زغال استخراج شده تاثیر گذار هستند (Hartman, 1992).

معدن‌کاری زغال به دو روش عمده سطحی و زیرزمینی انجام می‌گیرد که تعیین نوع روش استخراج آن عمدتا به شرایط زمین‌شناسی زغال بستگی دارد.

روش سطحی تنها در مواردی توجیه اقتصادی دارد که لایه در نزدیکی سطح زمین باشد. این روش بازیابی بیشتری نسبت به روش زیرزمینی استخراج دارد. این نوع روش به چهار زیرمجموعه مسطحی[1]، کنتوری[2]، برداشت قله‌ای[3] و روش آگر[1] تقسیم‌بندی می‌شود

[1] Area mining
[2] Contour mining
[3] Mountaintop mining

(www.uky.edu/kgs/coal/coal_mining.htm).در معدن‌کاری زیرزمینی زغال سنگ دو روش کلی وجود دارد:

- معدن‌کاری اتاق و پایه[۲]

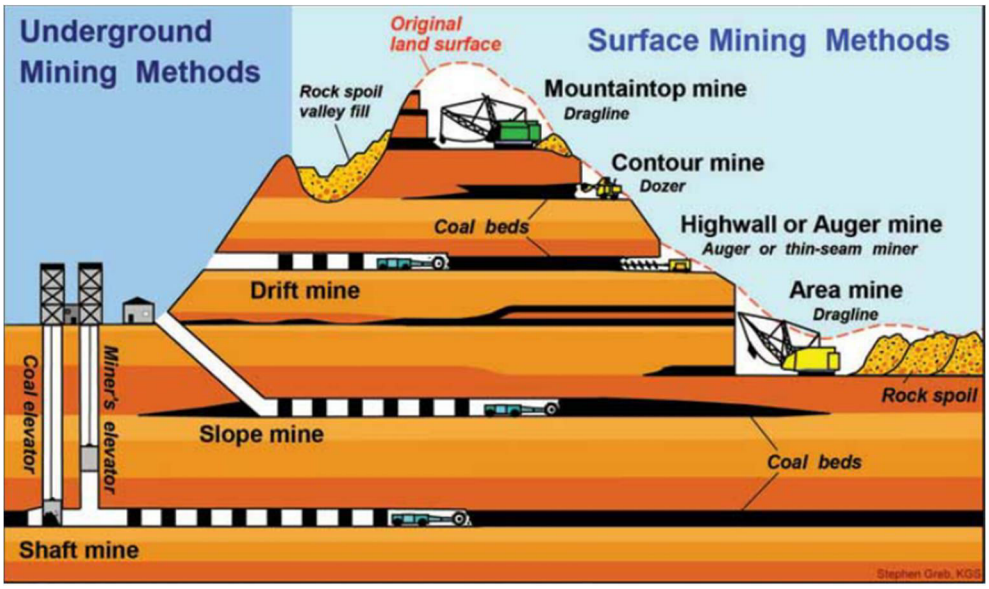
در معدن‌کاری اتاق و پایه کانسار زغال با استفاده از برش‌های شبکه‌ای با عنوان اتاق معدن‌کاری می شود و بخش‌هایی از زغال برای حفظ نگهداری محیط به عنوان پایه نگهداری می‌شوند.

- معدن‌کاری جبهه‌کار طولانی[۳]

این روش معدن‌کاری شامل استخراج کامل لایه زغال از یک بخش آن می‌شود که با استفاده از شیررهای[۴] مکانیزه صورت می‌گیرد. در این روش بیش از ۷۵٪ از کانسار زغال را می‌توان از پنل[۵] استخراجی بازیابی نمود.

در شکل ۳-۱ نمایی از هر دو روش روباز و زیرزمینی و هر یک از زیرمجموعه‌های آن نشان داده شده است.

[1] Auger mining
[2] Room & Pillar
[3] Longwall mining
[4] Shearer
[5] Panel



شکل ۳-۱: انواع روش استخراج زغال (www.uky.edu/kgs/coal/coal_mining.htm).

هدف این فصل گردآوری مجموعه پارامترهای تاثیرگذار در سطح تولید معادن زغال‌سنگ است لـذا در ادامه مجموعه‌ای از پارامترهای مهم و تاثیرگذار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

قابل ذکر است که در این تحقیق فرض شده است لایه‌های زغال فاقد گاز CH_4 و So_2 می‌باشند و تهویه آن‌ها به صورت طبیعی انجام می‌شود.

۳-۲- پارامترهای موثر در سطح تولید

۳-۲-۱-نیروی کاری ماهر

منابع انسانی باارزش‌ترین و مهم‌ترین عامل توسعه هر کشوری می‌باشند. محققان و اندیشمندان مدیریت امروزه بر این باورند که نیروی انسانی مهمترین و ارزشمندترین منبع رقابتی در هر سیستم می‌باشند، و سرمایه انسانی یک سیستم و در سطح فراتر سرمایه انسانی یک کشور می‌تواند همه نیازهای استراتژیک آن‌ها را برآورده کند.

در عصر حاضر بهره‌وری را یک روش، مفهوم و نگرشی درباره کار و زندگی می‌نامند. در واقع بهره-وری معیاری از ستاده کالاها و خدمات نسبت به ورودی نیروی انسانی، مواد، تجهیزات و غیره است.

امروزه نقش و اهمیت نیروی انسانی در فرایند تولید و ارائه خدمات در جوامع بشری به عنوان مهم‌ترین عامل مشخص شده است. با نگاهی به مراحل تمدن بشری مشخص می‌شود که نقش نیروی انسانی از نیروی کار ساده به سرمایه انسانی تکامل یافته است، چرا که پیشرفت تکنولوژی بدون تحولات نیروی انسانی فاقد کارایی است. در عصر حاضر دیگر تنها تزریق منابع مالی به عنوان فاکتور اصلی توسعه به شمار نمی‌آید بلکه تحولات و بهره‌وری نیروی انسانی با رشد خود سبب ارتقای سیستم‌ها و به تبع آن توسعه نظام‌های اقتصادی در جهان می‌شوند، به نحوی که سرمایه‌های انسانی میزان سرمایه‌های مادی را تعیین می‌کنند.

به عبارت ساده‌تر بهبود بهره‌وری به معنای به دست آوردن خروجی بیشتر از ورودی‌هاست که به مفهوم تولید و یا به معنای سخت کار کردن نیست، بلکه به صورت بهتر کار کردن با آن‌چه موجود است، تعریف می‌شود.

حال برای افزایش تولید و به تبع افزایش بهره‌وری می‌توان بهره‌روی نیروی کاری را مدنظر قرار داد. در واقع افزایش تخصص نیروی کاری می‌تواند سبب افزایش تولید و افزایش بهره‌وری گردد و این هدف با جمع‌آوری افرادی که در زمینه‌های مختلف معدنکاری زغال تخصص مناسب را داشته باشند میسر خواهد شد.

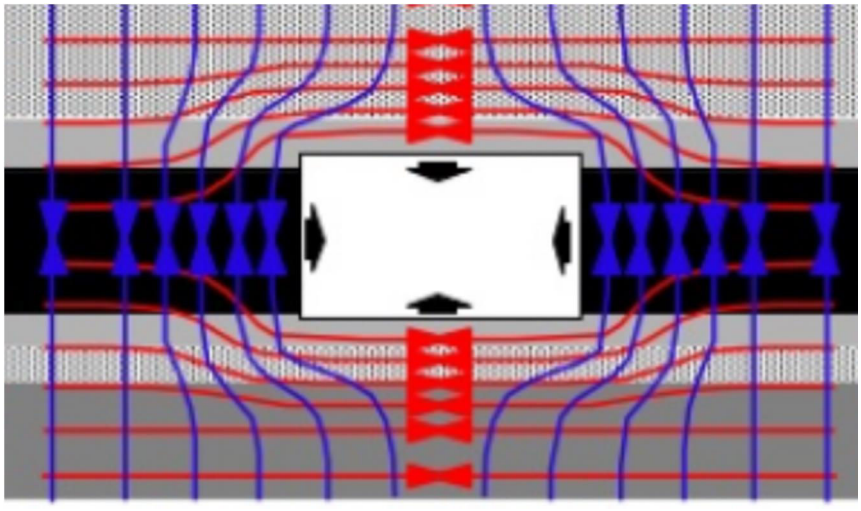
۳-۲-۲- جنس سنگ‌ها

جنس سنگ‌ها پارامتری در ارزیابی نوع سنگ و تاثیر آن در روند معدنکاری است. عمدتا جنس سنگ‌ها در حیطه شیل، سیلت‌استون، ماسه سنگ، آهک و یا رس تغییر می‌کند و یا می‌تواند ترکیبی از این سنگ‌ها باشد (اصانلو، ۱۳۷۸). وجود این نوع سنگ‌های محتلف می‌تواند سبب تغییر در مقدار فشار پوشان سنگ و یا مقاومت سنگ دربرگیرنده شود که بدین ترتیب در صورت نبود مقاومت کافی به علت تنش‌های موجود از طرف زمین، امکان رانش و یا حرکت در اثر عملیات معدنکاری وجود خواهد داشت در چنین شرایطی وضعیت روش معدنکاری و یا سیستم نگهداری مورد نیاز دست‌خوش تغییر می‌شود.

در واقع باید توجه داشت که تنش‌های زمین مهم‌ترین بار موجود در کارهای مهندسی و مهندسی سنگ است و تنش‌های برجا با اعمال تغییرات توسط معدن‌کاری سبب پدیده‌های مختلفی همچون رانش، جابه‌جایی لایه‌ها و انفجار سنگ و غیره خواهند شد که طبیعتا جنس سنگ‌های منطقه در ایجاد چنیین پدیده‌هایی موثر خواهند بود (Zhao et al, 2012).

به عنوان مثال سنگ‌های ماسه سنگ دانه‌ریز در برابر تنش‌های موجود استحکام بالاتری نسبت به شیل‌ها از خود نشان می‌دهند و درنتیجه جنس سنگ‌ها در انتخاب نوع معدنکاری زغال و میزان تولید آن تاثیر مستقیم خواهد داشت.

از سوی دیگر می‌توان به این نکته اشاره کرد که سنگ‌های کمر پایین ماده معدنی نیز تاثیر به سزایی در روند معدن‌کاری خواهند داشت و در کنترل فشار طبقات بالایی، تحمل وزن ماشین‌آلات و اعمال سیستم نگهداری موثر خواهند بود. در شکل ۳-۲ نمایی شماتیک از وضعیت تنش‌های افقی و قائم در یک لایه زغال نشان داده شده است که حفر این فضا در لایه زغال سبب برهم‌زدگی وضعیت تنش‌ها خواهد شد و براساس جنس سنگ‌ها و سطح تحمل آن‌ها تمهیدات لازم اتخاذ می‌گردد.



شکل ۳-۲: برهم‌زدگی تنش‌ها در اطراف یک لایه زغال (Sankar, 2010)

۳-۲-۳-یکنواختی لایه‌ها

عوارض زمین‌شناسی و تعداد آن‌ها در گسترش لایه زغال موثر هستند و به عبارت دیگر می‌توانند به راحتی در میزان سطح تولید تاثیرگذار باشند. زیرا در صورت استفاده از ماشین‌آلاتی که در استخراج زغال به کار گرفته می‌شوند این عوارض زمین‌شناسی در کار این وسایل اخلال ایجاد می-نمایند، بدین صورت که وجود گسل‌ها و یا عدم یکنواختی لایه به میزان کم، برای این تجهیزات قابل رفع می‌باشد اما در حالتی که ابعاد و میزان این عوارض زیاد باشد در روند پیشروی اخلال ایجاد می-کند.

در صورتی که لایه بدون گسل باشد از یکنواختی بالاتری در طول استخراج برخوردار خواهد بود و در نتیجه نیاز کمتری به جابجایی تجهیزات و غیره خواهد بود و یکنواختی لایه سبب افزایش تولید می‌شود.

۳-۲-۴-ضخامت لایه

ضخامت لایه زغال یک پارامتر زمین‌شناسی مهم در طی عملیات انتخاب روش معدن‌کاری زیرزمینی مناسب برای استخراج با بهره‌وری مناسب می‌باشد. شایان ذکر است که افزایش بیش از حد لایه زغال چالش‌هایی را برای معدن‌کاری زیرزمینی موثر و کارآمد در این لایه‌های ضخیم به وجود خواهد آورد. با وجود این که استاندارد جهانی برای ضخامت مناسب لایه زغال وجود ندارد اما کشورهای مختلف محدودیت‌های متفاوتی را برای دسته‌بندی لایه‌های زغال ارائه کرده‌اند که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱:کمترین ضخامت لایه زغال در کشورهای مختلف (Rakesh et al., 2015)

ردیف	کشور	کمترین ضخامت پذیرفته شده لایه (m)	مجموع ذخیره (Mt)
۱	استرالیا	۴	۱۸۱۲۸
۲	چین	۳.۵	۹۸۸۸۳
۳	کانادا	۴	۸۷۰۸
۴	فرانسه	۴	۴۲۷
۵	مجارستان	۳.۵	۲۲۵
۶	هند	۴.۸	۳۵۳۴۵
۷	ژاپن	۲.۳	۱۰۰۰
۸	ترکیه	۳.۵	۶۰۵۶
۹	آمریکا	۳	۱۱۳۲۳۰
۱۰	لهستان	۳.۳	۲۰۸۰۰
۱۱	یوگسلاوی	۳.۵	۸۴۶۵

لایه‌های ضخیم با پوشش کم، در حالت کلی با استفاده از روش‌های سطحی استخراج می‌شوند. مکانیزاسیون در مقیاس بزرگ نقش کاربردی در موفقیت این روش‌ها را بازی می‌کند. در حالیکه در لایه‌ها با ضخامت مناسب ولی با پوشش زیاد روش‌های زیرزمینی به عنوان روش ارجح به کار گرفته می‌شوند.

باید توجه داشت که در روش‌های زیرزمینی استخراج زغال نقش ضخامت لایه در کنار عوارض زمین‌شناسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا در ضخامت‌های کم نمی‌توان روش‌های زیرزمینی مکانیزه را به درستی به کار گرفت و ترقیق ماده معدنی و عدم توانایی استفاده از تجهیزات مکانیزاسیون در لایه‌های کم ضخامت سطح تولید و اقتصادی بودن معادن را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

بدیهی است که لایه‌ها با ضخامت اندک تاثیر چشم‌گیری در فرایند معدنکاری در هر دو روش استخراج مکانیزه یا سنتی دارد و افزایش آن سبب اقتصادی شدن استخراج خواهد شد.

۳-۲-۵-سرمایه‌گذاری در دسترس

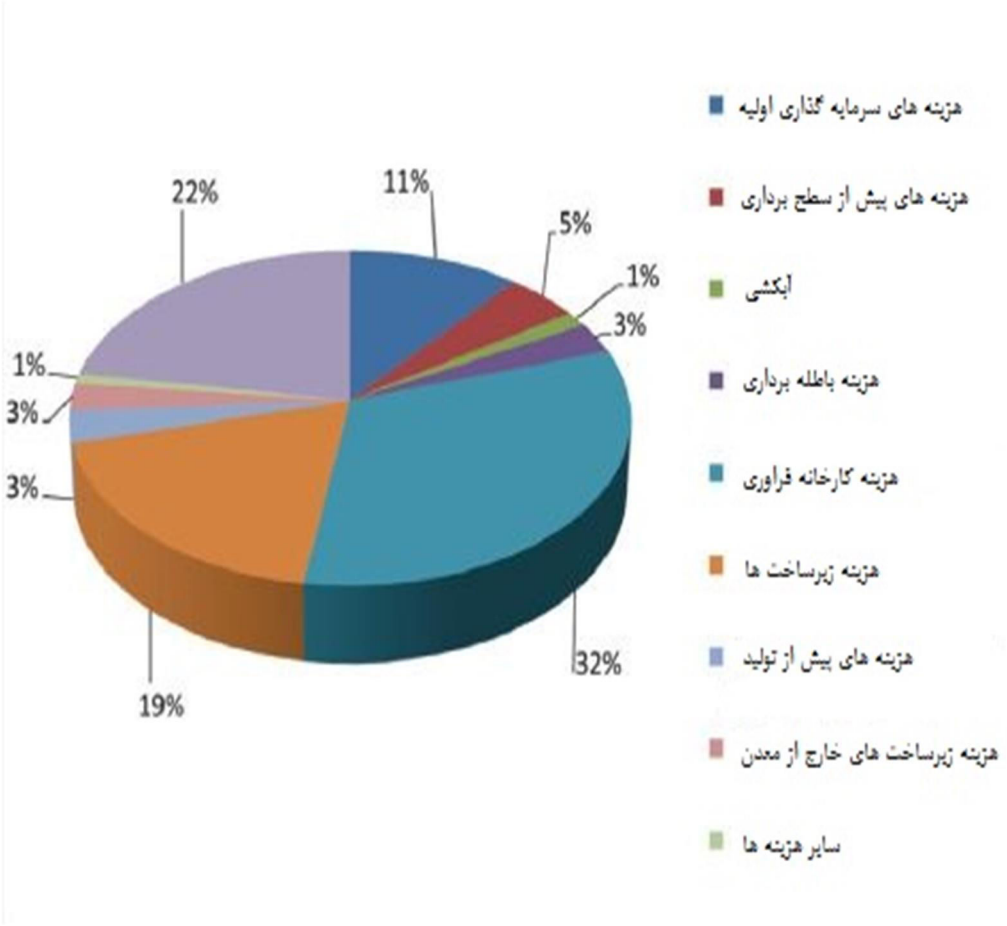
در فرایند ارزیابی و تصمیم‌گیری پروژه‌های معدنی، پیش‌بینی نوسانات آینده یک پارامتر کلیدی است. تخمین هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی در هر طرح معدنی برای ارزیابی پروژه‌های معدنی در تمام طول عمر آن الزامی است (Shafiee et al., 2009).

تخمین هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقشی اساسی در تصمیم‌گیری‌های پروژه‌ها در رابطه با میزان تاخیر یا انصراف از انجام آن را ایفا می‌نماید. بنابراین ضروری است که با دقت مناسبی هزینه‌های سرمایه‌گذاری براساس سطح مورد نیاز از تخمین، پیش‌بینی شوند. فقدان دید اساسی و کلی از تخمین هزینه‌های سرمایه‌گذاری سبب اثرات سو بر روند معدن‌کاری خواهد شد.

در ابتدای مراحل تخمین، یافتن اطلاعات مربوط به همه‌ی فازهای پروژه‌ی معدنی کاری دشوار و با ریسک می‌باشد. از جمله اطلاعات مورد نیاز برای تخمین هزینه‌ها شامل هزینه‌های تامین نیروی الکتریکی، هزینه‌های تجهیزات معدن‌کاری، دستمزدها، هزینه‌های مرتبط با زمین‌شناسی و هزینه‌های فراوری و سایر هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

اجزای ارزیابی اقتصادی بر پایه اطلاعات مطالعات امکان‌پذیری است اما این اطلاعات به صورت جامع و دقیق در راستای تخمین هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز تهیه و تدوین نمی‌شوند. در نتیجه کوچکترین تغییرات در روباره‌ها و یا هزینه‌های جابه‌جایی مواد معدنی می‌تواند سبب تأثیرات چشم‌گیری در هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز شود که حتی اقتصادی بودن پروژه را نیز دست‌خوش تغییر نماید.

به عنوان نمونه در شکل ۳-۳ تفکیکی از هزینه‌های معدن‌کاری نشان داده است و همان‌گونه که قابل مشاهده است هزینه‌های سرمایه‌گذاری حدود ۱۱٪ کل هزینه‌های معدن‌کاری را شامل می‌شود.



شکل ۳-۳: تفکیکی از انواع هزینه‌های معدن‌کاری (Mohutsiwa and Musingwini, 2015)

بنابراین اطلاعات معدنی نقش اساسی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری بازی می‌نمایند. لذا باید در نظر داشت که برای یک معدن زیرزمینی زغال تخمین هزینه‌های سرمایه‌گذاری به درستی تعیین گردد زیرا این پارامتر تاثیر به سزایی در تهیه ماشین‌آلات، انتخاب روش استخراج و سایر نیازمندهای معدن در مسیر استخراج دارد لذا افزایش آن سبب افزایش توان تولیدی معدن می‌شود.

۳-۲-۶-وضعیت سیاسی کشور

صنعت معدن‌کاری جهان همواره با چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی روبه‌رو است که تشدید کننده وضعیت آن می‌باشند و به همین علت شرکت‌های معدن‌کاری بایستی شرایط پیچیده‌ی مختلفی را با یکدیگر ترکیب نمایند تا بتوانند طرح کلی و استراتژی خود را منعطف پایه‌ریزی نمایند.

عوامل متفاوتی می‌توانند از شرایط سیاسی موجود در کشورها باعث اختلال یا رشد در صنعت معدن‌کاری و یا صنایع وابسته به آن شوند. از آن‌جایی که پرداختن به این بحث در این تحقیق نمی-گنجد در ادامه به صورت مختصر، تنها به چند عامل تاثیرگذار اشاره خواهد شد.

- از جمله عواملی که از مهمترین آن به شمار می‌آید، هزینه انجام عملیات معدن‌کاری در رسیدن به تولید محصول است. در واقع با وجود تنش‌های اساسی در کشور و یا وخامت اوضاع سیاسی از یک سو هزینه‌های خرید تجهیزات گران‌تر از مقدار واقعی است و حتی ممکن است دسترسی به برخی تجهیزات غیرممکن باشد و از سوی دیگر هزینه صرف شده برای تولید محصول بالاتر از مقدار متعارف خواهد بود.
- عامل دیگری که از شرایط سیاسی بسیار تاثیرپذیر خواهد بود بی‌نظمی در قیمت محصولات است در واقع با وجود شرایط سیاسی نامناسب تثبیت و ارئه محصولات با قیمت مناسب امکان‌پذیر نیست در نتیجه شرایط سیاسی ایده‌ال می‌تواند در تثبیت قیمت‌های محصولات و حتی تجهیزات اثر مثبت داشته باشد که این تثبیت قیمت در توانایی معادن برای ادامه کار و فعالیت و داشتن برنامه‌ریزی به منظور افزایش تولید بسیار مفید می‌باشد.
- بحران در تأمین نیروی کاری متخصص از عواملی است که توسط شرایط سیاسی کشور محدود و یا فراگیر می‌شود. به عبارت دیگر، در صورتی‌که شرایط سیاسی کشورها نامناسب باشد توانایی آن‌ها در کسب تجربیات و تامین نیروی متخصص از سایر کشورها سلب خواهد شد و از طرف دیگر آموزش نیروهای کاری داخلی نیز با مشکلاتی روبه‌رو خواهد شد.
- از عوامل مهم در رشد شرکت‌ها و معادن استفاده از منابع مالی غیرسنتی[1] است. بدین مفهوم که در دنیای امروزی و با افزایش سطح هزینه‌ها در فعالیت‌های مختلف باید از منابع مالی جدیدی بهره برد که تنها با استفاده از علوم روز قابل استفاده است. در واقع شرکت‌های مختلف نیازمند ایجاد

[1] Non-Traditional Financing

روابط با بازارهای خارجی جدید و مناسبی هستند که از طریق آن‌ها بتوانند منابع مالی مورد نیاز خود را تأمین نمایند و در این راستا نیازمند استفاده از تراکنش‌های مالی می‌باشند و این تراکنش‌ها تنها با روابط سیاسی مناسب با دنیای امروزی امکان‌پذیر است.

در صورتی که کشوری دارای دیپلماسی پویا باشد و از وضعیت سیاسی مناسب در سطح جهانی برخوردار باشد می‌تواند تجهیزات و تکنولوژی‌های جدید مورد نیاز در استخراج را به راحتی و با هزینه متعارف آن تهیه نماید و بازارهای هدف را برای فروش محصولات شناسایی نماید در غیر این صورت تحریم‌ها و سایر عوامل می‌توانند تاثیر منفی در تولید معدن داشته باشند.

۳-۲-۷- میزان ذخیره قابل معدن‌کاری

بین ذخیره و منابع معدنی تفاوت‌هایی وجود دارد. تاکنون یک روش خاص و یکسان برای برآورد منابع و ذخایر، شناخته نشده است. در واقع ذخیره به آن بخش از منابع زغال‌سنگ اطلاق می‌شود که از نظر فنی و اقتصادی در زمان حاضر و با توجه به محدودیت‌های زمان حال قابل استخراج و برداشت باشد. به عبارت دیگر ذخیره مقداری از منابع موجود است که به عنوان ذخیره قابل معدن‌کاری در نظر گرفته می‌شود (IBP, 2015). در جدول ۳-۲ تقسیم‌بندی کلی منابع و ذخایر زغال‌سنگ براساس روش سازمان زمین‌شناسی آمریکا نشان داده شده است.

جدول ۳-۲: تقسیم‌بندی منابع و ذخائر (اصانلو، ۱۳۷۸)

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="3">منابع شناخته شده</td><td colspan="2">منابع شناخته نشده</td></tr>
<tr><td>قطعی</td><td>احتمالی</td><td>ممکنه</td><td>فرضی، مبتنی بر تحلیل اطلاعات</td><td>نظری، مبتنی بر نظرات زمین‌شناسی</td></tr>
<tr><td>اقتصادی</td><td colspan="3">منابع قابل استخراج (ذخائر)</td><td rowspan="3">منابع</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>آستانه اقتصادی</td><td colspan="3">ذخائر اقتصادی پایه</td></tr>
<tr><td>مستعد اقتصادی</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

پارامتر میزان ذخیره قابل معدن‌کاری به این نکته اشاره می‌کند که ذخیره معدنی باید محتوی کمترین مقدار ممکن از ماده معدنی باشد تا بتواند هزینه‌های حاصل از معدن‌کاری و سرمایه‌گذاری-های انجام شده را پوشش دهد. به عنوان مثالی از حداقل میزان ذخیره می‌توان به معادن روباز زغال-سنگ اشاره کرد، در این معادن حداقل ذخیره مورد نیاز برای راه‌اندازی فعالیت‌های یک معدن در حدود ۱۰ میلیون تن است (Shilts, 1999).

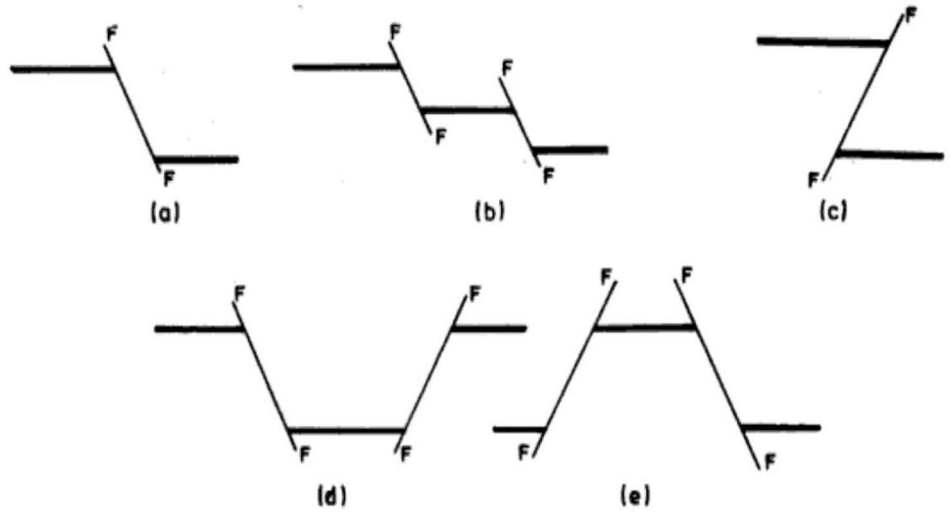
افزایش این پارامتر می‌تواند سبب افزایش تولید معدن شده و همچنین در انتخاب روش معدنکاری آن نیز تاثیر به سزایی خواهد داشت.

۳-۲-۸-شکستگی لایه‌ها

شکستگی‌ها اثرات متعددی بر لایه‌های زغالی و معدن‌کاری آن دارند. از جمله این آثار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Nelson, 1981):

- توانایی جابه‌جایی لایه‌ها توسط شکستگی‌ها

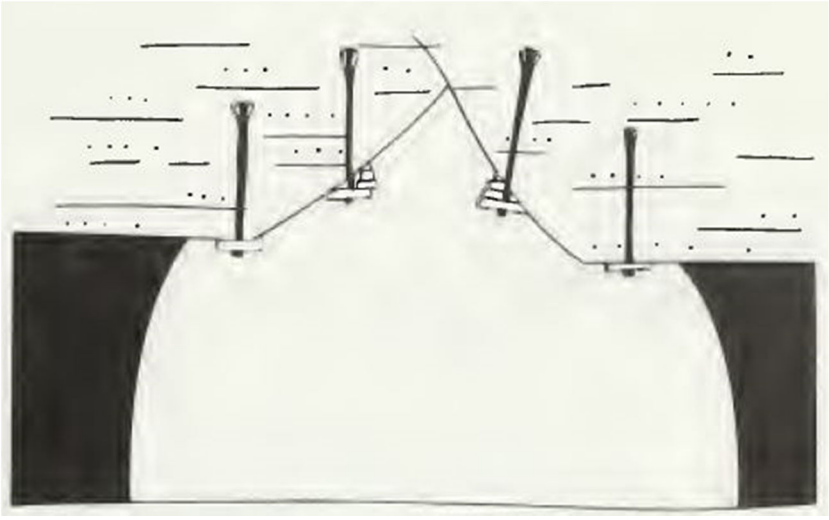
این عمل سبب بروز مشکلاتی در فرایند معدن‌کاری لایه می‌شود. در واقع در صورتی که دو طرف لایه نسبت به یکدیگر جابه‌جایی داشته باشند به آن گسل گفته می‌شود. این گسل‌ها می‌توانند سبب کند شدن استخراج لایه و در موارد استخراج سنتی نیاز به حفر دویل‌های متعدد برای یافتن لایه زغال می‌شود. در شکل ۳-۴ انواع مختلف گسل نرمال، معکوس، پله‌ای، بالا آمدگی، گسل گودی شکل نشان داده شده است (Singh, 2004).



شکل ۳-۴: انواع گسل- a:نرمال b: پله‌ای c: معکوس d: گسل گودی شکل e: بالاآمدگی (Singh, 2004)

- تضعیف سقف در معدن زیزمینی از جمله معادن زغال‌سنگ

هر نوع شکستگی تمایل به افزایش ناپایداری‌ها در سقف معدن زیرزمینی دارد در چنین شرایطی که ناپایداری‌ها افزایش می‌یابد هراس کارگران افزایش یافته و سبب کاهش در میزان تولید خواهد شد. شکستگی‌ها از اهمیت خاصی برخورد هستند و حتی در باز کردن معدن نیز باید عملیات به درستی و در راستای مناسبی انجام گیرد زیرا ممکن است همین شکستگی‌ها در ادامه معدنکاری سبب بروز مشکلات جدی و ریزش‌های اساسی شوند. به عنوان نمونه یک دهانه باز شده نامناسب در شکل ۳-۵ نشان داده شده است که تاثیر شکستگی‌ها را در ریزش‌های آتی و احتمالی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵: وضعیت نامناسب شکستگی‌ها و ایجاد اخلال در معدن‌کاری (Singh, 2004)

- نفوذ سیالات (آب و گاز) در امتداد شکستگی‌ها

گاهی اوقات مشکلاتی در اثر نفوذ سیالاتی همچون آب و یا گازهای انفجاری یا سمی در لایه‌های زغالی به وجود می‌آید. به عبارت دیگر شکستگی‌های موجود می‌توانند به عنوان عاملی در انتقال این مواد عمل نمایند و سبب بروز مشکلاتی شوند.

در مجموع لایه‌هایی که شکستگی‌های فراوانی دارند سبب ناپایداری، افزایش ترقیق، احتمال انفجار، افزایش حضور آب در محیط معدن‌کاری و افزایش هزینه‌ها شوند که تاثیری منفی بر اقتصادی بودن فعالیت‌ها خواهد داشت.

۳-۲-۹- وضعیت فروش ماده معدنی

مواد معدنی پس از استخراج نیازمند بازارهای مناسب برای فروش می‌باشند. در این راستا بعضی از معادن، مواد معدنی خود را به صورت خام به بازارهایی فراوری به فروش می‌رسانند و معادن دیگری نیز وجود دارند که پس از فراوری مواد معدنی خام خود، محصولات فراوری شده را در اختیار بازار فروش قرار می‌دهند. در صورتی‌که در یک کشور زیرساخت‌های مناسب به منظور فراوری محصولات معدنی و مهیا کردن شرایط مورد نیاز برای فروش محصولات تولید شده در بازارهای داخلی و خارجی

به درستی انجام گیرد از پتانسیل موجود در آن کشور به خوبی استفاده خواهد شد که زمینه‌ی شکوفایی اقتصادی و رشد صنعتی معدنی آن نیز تضمین می‌گردد.

بنابراین بازار مناسب ماده معدنی جهت خرید محصول تولید شده عامل مهمی در راستای ایجاد انگیزه در راه‌اندازی و بهره‌برداری از معادن می‌باشد و تاثیر چشم‌گیری در سطح تولیدی آن خواهد داشت.

۳-۲-۱۰- رضایت‌مندی کارکنان

دو عامل اساسی در اعمال مدیریت، انسان و نظام‌های عملیاتی سازمان‌ها می‌باشند. از آن جا که نظام‌های عملیاتی توسط انسان‌ها به اجرا در می‌آیند، بنابراین می‌توان ادعا نمود که مهم‌ترین سرمایه سازمان‌ها و نیروی انسانی شاغل در آن‌هاست. در سال‌های اخیر سازمان‌های پیشرفته و موفق بخش عظیمی از زمان و سرمایه خود را به نیروی انسانی اختصاص داده‌اند تا آن را برای افزایش بهره‌وری و کارایی خود به کار گیرند. پیش‌نیاز این امر نیز شناخت منابع انسانی نه تنها از نظر کمیت بلکه همچنین از نظر کیفیت و نوع نگرش آن نسبت به شغل خود در سیستم کاری می‌باشد (تهوری، ۱۳۸۴).

نگرش فرد نسبت به شغل خود، برآورده ساختن نیازهای شغلی وی مطابق با توانایی‌ها و تمایلاتش را در برمی‌گیرد و رابطه مستقیمی با رضایت شغلی وی دارد، به طوری که گاهی این دو را به جای یکدیگر استفاده می‌کنند. هر چه هدف‌های سازمان به خواسته‌ها و آرمان‌های کارکنان آن نزدیک‌تر باشد و مدیریت بتواند نگرش مثبت شغلی در افراد ایجاد کند و به عبارتی، شرایط مناسبی را در راستای رضایت شغلی آنان فراهم آورد، سریع‌تر و بهتر به نتایج مثبت و ایده‌ال آن شرکت یا سازمان خواهند رسید.

رضایت شغلی به گفتهٔ بسیاری از کارشناسان، یکی از چالش برانگیزترین مفاهیم سازمانی و پایه‌ی بسیاری از سیاست‌ها و خط مشی‌های مدیریت برای افزایش بهره‌وری و کارآیی سازمان می‌باشد و از

موضوعاتی است که از دهۀ ۱۹۲۰ به بعد بارها در سازمان‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است (تهوری، ۱۳۸۴).

رضایت‌مندی کارکنان بر سلامت جسمی و روحی افراد، رضایت‌مندی از زندگی، بهره‌وری و عملکرد آن‌ها، تعهداتشان نسبت به کار و سازمان و کیفیت خدماتی که به سازمان ارائه خواهند کرد بسیار تاثیرگذار خواهد بود لذا سیاست‌گذاری مدیران باید به گونه‌ای باشد که با شناخت هر چه بیشتر عوامل موثر بر رضایت‌مندی کارکنان خود می‌توانند استراتژی‌های موثری برای بهره‌وری بیشتر این منابع ارزشمند در راستای تحقق تولید مناسب اجرا نمایند.

در معادن نیز همچون سایر سازمان‌ها رضایت افراد از کار در بهره‌وری و افزایش سطح تولید بسیار تاثیرگذار خواهد بود بالاخص که معدن‌کاری از دسته کارهای سخت در جهان به شمار می‌آید در نتیجه رضایت کارکنان نقش به سزایی در افزایش میزان تولید خواهد داشت.

۳-۲-۱۱- آب موجود در معدن

بسیاری از معادن در زیر سطح آب‌های زیززمین قرار گرفته‌اند که سبب حضور آب‌های زیرزمینی در محیط کاری خواهد شد. حضور آب‌های زیرزمینی در معادن سبب کاهش در روند تولید، کاهش توانایی کنترل زمین برای حفظ نگهداری و کاهش ایمنی در این معادن خواهد شد (Straskraba and Effner, 1998).

حضور آب‌های زیرمینی از یک سو به عنوان عامل مزاحم در استخراج مواد معدنی ایفای نقش می‌کند و از سوی دیگر به عنوان عاملی حیاتی برای انسان و کره زمین می‌باشد. لذا بایستی به نحو درستی آن را از محیط معدن خارج کرده و همزمان سلامت و آلودگی آن نیز در این مسیر کنترل شود تا منجر به مسائل حاد زیست محیطی نشود.

روش‌های مختلفی برای کنترل آب‌های زیرزمینی ارائه شده است که به طور خلاصه موارد زیر به عنوان تعدادی از این روش‌ها به شمار می‌آیند:

- نشت‌ناپذیری آن از سطح زمین

- انجماد زمین
- دوغاب
- آبکشی توسط پمپ‌ها

۳-۲-۱۲-کیفیت ماده معدنی

آزمایش‌هایی که بر روی نمونه زغال انجام می‌گیرد به مراحل اکتشاف و موارد استفاده آن بستگی دارد. تفاوت در خواص فیزیکی .و شیمیایی زغال‌سنگ باعث کاربری متفاوت و بازارهای فروش متفاوت برای این ماده معدنی خواهد شد. زغال‌سنگ‌هایی که به عنوان سوخت در نیروگاه‌ها یا کارخانجات استفاده می‌شوند با زغال‌سنگ‌های کک‌شو و هر دو نوع با زغال‌سنگ‌هایی که جهت تبدیل به نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند، متفاوتند (اصانلو، ۱۳۷۸).

به عنوان مثال در زغال‌سنگ‌های انرژی‌زا اندازه‌گیری دو عامل انرژی حرارتی و مقدار سولفور در آن‌ها از اهمیت به سزایی برخوردار هستند. لذا کیفیت ماده معدنی براساس آزمایشات و آنالیزهای مربوطه و بر طبق کاربری مورد نیاز تعیین خواهد شد.

در صورتی که کیفیت ماده معدنی از حداقل استاندارهای درخواستی بازار فروش آن کمتر باشد حتی با میزان ذخیره بالا نیز، اقتصادی بودن خود را از دست خواهد داد در حالی‌که کیفیت بالای آن می‌تواند بسیاری هزینه‌ها را به دلیل باارزش بودن جبران نماید و سبب توانایی معادن در افزایش سطح تولید خود شود.

۳-۲-۱۳-شرایط آب و هوایی

از آنجایی که اکثر معادن در نقاط بیابانی یا کوهستانی قرار دارند در نتیجه شرایط آب و هوایی بد می‌تواند در روند ارسال ماده معدنی استخراج شده به بازار فروش یا سایر مکان‌ها و حتی امکان فراهم شدن شرایط استخراج در محیط معدن نیز اخلال ایجاد نماید و در نتیجه تعداد روزهای کاری از دست رفته در معدن زیادتر شوند و سطح تولید به میزان چشم‌گیری در طول سال کاهش یابد.

۳-۲-۱۴-نگهداری لایه‌ها

موفقیت در روش‌های مختلف معدن‌کاری زیرزمینی زغال تا حد زیادی وابسته به توانایی کنترل سقف و دیواره‌های معدن می‌باشند. در شرایط مختلف، انتخاب نامناسب روش کنترل سقف می‌تواند هزینه‌های صرف شده را تا حد زیادی به سمت اقتصادی یا غیراقتصادی بودن بهره‌برداری از معدن جابه‌جا نماید. در نتیجه برای انتخاب نوع سیستم نگهداری مناسب باید به عواملی همچون سقف بلاواسطه، ضخامت لایه‌ها، شرایط زمین‌شناسی و شرایط کف و سقف توجه نمود (عطایی، ۱۳۹۰).

بنابراین توجه به این نکته که آیا لایه‌های موجود قابلیت تخریب را داشته و یا اینکه نیازمند اعمال سیستم نگهداری باشند و از سوی دیگر روش‌معدن‌کاری به کار رفته در فرایند استخراج ماده معدنی اجازه تخریب را فراهم آورد یا خیر و یا در صورت به کار بردن سیستم نگهداری، از سیستم مناسب و با هزینه‌های متعارف و متناسب استفاده شود به صورت قابل توجه‌ای می‌تواند هزینه‌های صرف شده در تولید را کاهش یا افزایش دهد که در صورت کاهش هزینه‌ها امکان توسعه استخراج و افزایش سطح تولید امکان‌پذیر خواهد شد.

یکی از معیارهای مقایسه روش‌های استخراجی با یکدیگر بررسی پیوستگی تولید در آن‌ها است. هر چه معدن دارای عملیات پیوسته‌تری در تولید باشد ظرفیت تولید نیز بیشتر می‌شود. در واقع افزایش نیاز معدن به نگهداری سبب کاهش میزان پیوستگی و کاهش تولید آن خواهد شد. اما در معادنی که به دلیل شرایط موجود می‌توان از سیستم‌های نگهدارنده قدرتی استفاده نمود تاثیر منفی نگهداری بر تولید کم‌رنگ‌تر می‌شود و با این که هزینه‌های سرمایه‌گذاری این تجهیزات گران می‌باشد اما پیوستگی تولید را افزایش می‌دهند.

۳-۲-۱۵- شیب لایه

هرچه شیب لایه‌های زغال کم‌تر باشد برای استخراج مکانیزه آن بهتر است. مکانیزاسیون عملیات معدن‌کاری از دیرباز مورد توجه مهندسان معدن بوده است. با مکانیزاسیون توانایی تولید معدن چندین برابر حالت سنتی خواهد شد. پیاده‌سازی میزان و توانایی مکانیزاسیون و گسترش آن در روند

استخراج به شرایط گوناگونی بستگی دارد و در هر محیطی قابل اجرا نیست. اما مهمترین اهداف مکانیزاسیون در کاهش هزینه‌های استخراج و در نتیجه اقتصادی‌تر کردن عملیات، افزایش تولید و ایمنی است (عطایی، ۱۳۹۰) و یکی از شرایط مهم در مکانیزاسیون، شیب مناسب لایه‌های زغال است به طوری‌که در شیب‌های کمتر از ۳۰ درجه قابل اجرامی‌باشند اما مناسب‌ترین شیب در حدود ۱۲درجه می‌باشد و در غیر این صورت نمی‌توان از مکانیزاسیون بهره برد و سطح تولیدی معدن بسیار کاهش می‌یابد.

۳-۲-۱۶-نرخ پیشروی

شرایط حاکم و دیکته شده از طرف زمین از یک سو و استفاده از تجهیزات و فن‌آوری از سوی دیگر نرخ پیشروی را در معادن زغال کنترل می‌کنند. در صورتی که شرایط ساختاری زمین همچون گسل، آب یکنواختی لایه و غیره در وضعیت مناسبی قرار داشته باشند می‌توان با افزایش هزینه‌های سرمایه-گذاری اولیه و تامین فن‌آوری روز نرخ پیشروی را تا حد بهینه‌ی آن درمعادن افزایش داد. حصول نرخ پیشروی بهینه می‌تواند به افزایش سطح تولید کمک شایانی نماید و از پتانسیل تولیدی معدن حداکثر استفاده را نمود که خود عاملی در کاهش هزینه‌های جاری و افزایش بازدهی معدن است.

۳-۳- طبقه‌بندی پارامترهای موثر در تولید

به منظور بررسی و ارزیابی سطح تولید با کمک رویکرد RES نیاز به ایجاد یک طبقه‌بندی کلی برای پارامترهای موثر و سپس ارائه شاخص مدنظر براساس این طبقه‌بندی احساس می‌شود. لذا بایستی برای هر یک از پارامترها و برمبنای ذات آن‌ها که توسط کارشناسان مربوطه قابل درک می-باشد یک تقسیم‌بندی امتیازات یا به عبارتی طبقه‌بندی مناسبی برای آن‌ها ایجاد شود.

در ادامه برای پارامترهای ذکر شده طبقه‌بندی مناسبی براساس نظر کارشناسان البرزشرقی و معدن مهماندویه به صورت کلی در جدول ۳-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۳: معیار ارائه شده برای طبقه‌بندی عوامل موثر

پارامتر	امتیازات اختصاص داده شده				
	۰	۱	۲	۳	۴
نیروی کاری ماهر	فاقد تجربه	تجربه کم	تجربه متوسط	با تجربه	تجربه زیاد
جنس سنگ‌ها	سست	تقریبا سست	تقریبا محکم	محکم	-
یکنواختی لایه‌ها	غیریکنواخت I>۱.۵	نیمه یکنواخت 1.5>I>۰.۵	یکنواخت ۰.۵>I>۰	-	-
ضخامت لایه	نامناسب <۱ متر	تقریبا مناسب ۱-۳ متر	مناسب >۳ متر	-	-
سرمایه‌گذاری در دسترس	عدم توانایی خرید تجهیزات روز دنیا	توانایی تهیه لوازم ضروری و به روز	توانایی خرید و تهیه تکنولوژی روز	-	-
وضعیت سیاسی کشور	وضعیت منزوی در تعامل سیاسی	تعامل سیاسی با برخی از کشورهای دارای تکنولوژی	تعامل با صاحبان تکنولوژی روز دنیا	-	-
میزان ذخیره قابل معدن‌کاری	ذخیره کم (کمتر از ۱۰۰۰۰۰۰)	تا حدودی کم (بین ۱تا ۱۰میلیون تن)	تقریبا زیاد (بین ۱۰تا ۱۰۰ میلیون تن)	ذخیره زیاد (بیش از ۱۰۰ میلیون تن)	-
شکستگی لایه‌ها	شکستگی‌های زیاد و محیط کاملا تکتونیزه	وجود دسته درزه و گسل‌های با جابه-جایی در هر ۱۰۰ متر	وجود دسته درزه یا گسل‌های بدون جابه-جایی در هر ۱۰۰ متر	وجود دسته درزه یا گسل‌های بدون جابه‌جایی در هر ۳۰۰ متر	بدون شکستگی-های بزرگ
وضعیت فروش ماده معدنی	رکود اقتصادی در کشور	صنعت و معدن روبه رشد در کشور (کشور در حال توسعه)	کشور توسعه یافته	-	-
رضایت‌مندی کارکنان	عدم رضایت‌مندی	رضایت‌مندی نسبی	وجود رضایت شغلی	-	-
آب موجود در معدن	پایین‌تر از سطح سفره-های زیرزمینی و نیاز به آبکشی گسترده در محیط معدن	آبکشی محدود (در ورودی‌ها یا بخشی از سال)	بدون نیاز به آبکشی	-	-
کیفیت ماده معدنی	خاکستر بیشتراز ۳۰ و پلاستومتری کمتر از ۱۵	خاکستر ۲۵ تا ۳۰ و پلاستومتری کمتر از ۱۵	خاکستر ۲۵ تا ۳۰ و پلاستومتری بیشتر از ۱۵	خاکستر ۸ تا ۲۵ و پلاستومتری بیشتر از ۱۵	-
شرایط آب و هوایی	منطقه کوهستانی با بارش‌های جوی سنگین	بدون ریزش‌های سنگین	-	-	-
شیب لایه	پرشیب (۴۰ تا ۷۰ درجه)	شیب‌دار (۳۰ تا ۴۰ درجه)	نسبتا شیب‌دار(۱۵-۳۰ درجه)	کم شیب (۰-۱۵)	-
نرخ پیشروی	۱>	۱<x<۲	۲<x<۳	۳<x<۴	۴<

۳-۴- جمع‌بندی

در این فصل مجموعه پارامترهای مؤثر در ارزیابی سطح تولید یک معدن زغال‌سنگ زیرزمینی مورد بحث قرار گرفت. هر یک از این پارامترها بر توان تولیدی یک معدن اثرات متفاوتی دارند به طوری‌که حتی برخی از آن‌ها می‌توانند سبب غیراقتصادی شدن معدن گردند.

در انتهای این فصل یک جدول طبقه‌بندی براساس نظرات کارشناسان انتخاب شده در تحقیق حاضر تهیه شد که با استفاده از این طبقه‌بندی می‌توان به شاخص سطح تولید نزدیک‌تر گردید. در فصل بعدی به ارزیابی این پارامترها و ارائه شاخص سطح تولید پرداخته می‌شود.

فصل چهارم:

ارائه شاخص ارزیابی سطح تولید

۴-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی و پیاده‌سازی رویکرد RES احتمالاتی در ارائه شاخص سطح تولید پرداخته شده است. بدین منظور در اولین گام نتایج کلی که از روش RES مرسوم به دست می‌آید مورد تحلیل قرار گرفته است. این نتایج شامل ماتریس میانگین از مجموعه ماتریس‌های موجود، نمودار علت-اثر ماتریس میانگین و شدت اندرکنش پارامترهای موجود در تحلیل مساله می‌باشد.

در گام بعدی نمودارهای توزیع احتمالاتی برای علت و اثر هر پارامتر به صورت جداگانه آورده شده است. مهمترین گام برای محاسبه شاخص ارزیابی تولید به دست آوردن وزن هر یک از پارامترهای ماتریس اندرکنش است. برای این منظور پس از به دست آوردن نمودارهای توزیع احتمالاتی علت و اثر، نمودارهای احتمالاتی مجموع علت و اثر به دست آمده است که در ادامه به صورت تفصیلی به این عوامل پرداخته خواهد شد.

قابل ذکر است که برای یافتن نتایج حاصل از RES احتمالاتی به علت این‌که تعداد پارامترهای درگیر در حل زیاد می‌باشد در نتیجه زمان حل ماتریس‌های اندرکنش بالا رفته و زمان زیادی را می‌طلبد، لذا تعدادی از این پارامترها که در شاخص ارزیابی سطح تولید اهمیت کمتری دارند از روند ارزیابی حذف شده‌اند.

از جمله این پارامترها شامل وضعیت فروش ماده معدنی، وضعیت سیاسی کشور، وضعیت فروش ماده معدنی، رضایت‌مندی کارکنان، شرایط آب و هوایی و نگهداری لایه است زیرا این پارامتر اهمیت کمتری در توانایی بالقوه تولید معدن خواهد داشت و در واقع این عوامل به صورت جنبی در توانایی معدن برای تامین مالی یا ایمنی خود و یا در بالفعل کردن پتانسیل ذخیره معدن تاثیرگذار هستند و تاثیرات آن‌ها در توانایی بالقوه تولید معدن نسبت به سایر پارامترها کمتر می‌باشد.

پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق به قرار زیر است:

P_1: شکستگی
P_2: آب

P_3: جنس سنگ
P_4: یکنواختی
P_5 ، : شیب
P_6: ضخامت
P_7: سرمایه گذاری
P_8: میزان ذخیره
P_9: نیروی کار
P_{10}: آنالیز ماده
P_{11}: نرخ پیشروی

۴-۲- ارزیابی کلی ماتریس اندرکنش

برای ارزیابی کلی ماتریس اندرکنش ابتدا از ماتریس‌های تکمیل شده توسط تیمی از کارشناسان معدن البرز شرقی و معدن مهماندویه میانگین‌گیری می‌شود. در این تحقیق از نظرات ۱۵ کارشناس استفاده شده است. در جدول ۴-۲ ماتریس میانگین حاصل از نظرات کارشناسان درج شده است. در جدول ۴-۱ نمونه‌ای از این فرم نظرسنجی ارائه شده است.

جدول ۴-۱: نمونه‌ای از فرم نظرسنجی ارسال شده برای کارشناسان

پارامترها / امتیاز	۰	۱	۲	۳	۴
تاثیر جنس سنگ‌ها بر نیروی کاری ماهر					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر آب موجود در منطقه					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر یکنواختی لایه‌ها					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر ضخامت لایه‌ها					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر نگهداری لایه‌ها					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر شیب لایه					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر سرمایه‌گذاری در دسترس					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر وضعیت سیاسی کشور					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر میزان ذخیره قابل معدن‌کاری					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر وضعیت شکستگی لایه					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر وضعیت بازار فروش ماده معدنی					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر رضایت‌مندی کارکنان					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر شرایط آب و هوایی					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر آنالیز ماده معدنی					
تاثیر جنس سنگ‌ها بر توان تولیدی					

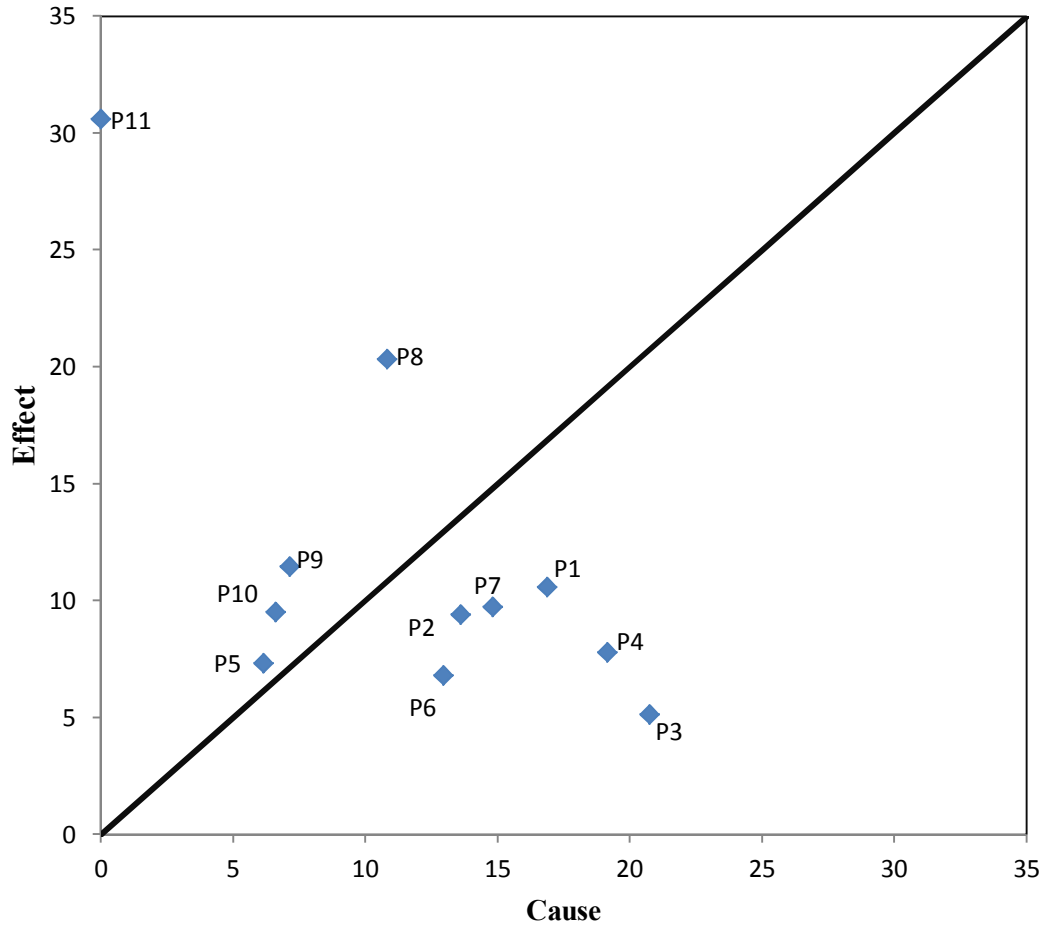
جدول ۴-۲:ماتریس میانگین نظرات کارشناسان

P_1	**2.800**	**1.733**	**2.933**	**0**	**0**	**0**	**2.600**	**2.067**	**1.400**	**3.333**
1.867	**P_2**	**1.867**	**0**	**0**	**0**	**1.600**	**2.200**	**1.533**	**1.667**	**2.867**
2.667	**2.400**	**P_3**	**2.600**	**1.800**	**2.067**	**1.867**	**2.400**	**0**	**2.000**	**2.933**
2.000	**1.800**	**1.533**	**P_4**	**1.333**	**1.867**	**2.200**	**3.267**	**1.867**	**0**	**3.267**
0	**1.400**	**0**	**0**	**P_5**	**0**	**0**	**0**	**2.000**	**0**	**2.733**
1.600	**0**	**0**	**1.400**	**1.533**	**P_6**	**0**	**3.133**	**0**	**1.533**	**3.733**
0.933	**1.000**	**0**	**0.867**	**1.133**	**1.133**	**P_7**	**2.467**	**2.333**	**1.733**	**3.200**
1.533	**0**	**0**	**0**	**1.533**	**1.733**	**0**	**P_8**	**1.667**	**1.200**	**3.133**
0	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**2.000**	**1.867**	**P_9**	**0**	**3.267**
0	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**2.067**	**2.400**	**0**	**P_{10}**	**2.133**
0	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**P_{11}**

P_1: شکستگی، P_2: آب، P_3: جنس سنگ، P_4: یکنواختی، P_5: شیب، P_6: ضخامت، P_7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P_9: نیروی کار، P_{10}: آنالیز ماده، P_{11}: نرخ پیشروی

همان‌گونه که در فصل دوم بیان شده مجموع سطری درایه‌ها برابر با اثـر آن پـارامتر بـر سیسـتم و مجموع ستونی برابر با تاثیرپذیری آن پارامتر از سیستم می‌باشد که با رسم ایـن زوج مرتـب بـرای هـر یک از پارامترها بر روی یک نمودار (C-E) می‌توان به غالب یا مغلوب بودن هر یک از پارامترها پی برد.

در نمودار شکل ۴-۱ نمودار علت-اثر ماتریس میانگین نشان داده شده است.



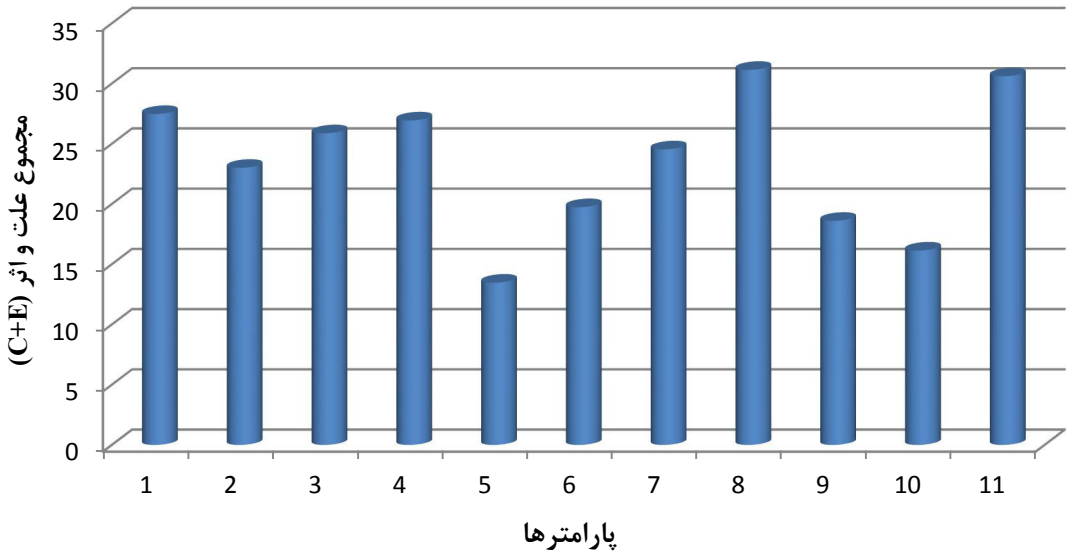
شکل ۴-۱: نمودار علت-اثر

P_1: شکستگی، P_2: آب، P_3: جنس سنگ، P_4: یکنواختی، P_5: شیب، P_6: ضخامت، P_7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P_9: نیروی کار، P_{10}: آنالیز ماده، P_{11}: نرخ پیشروی

با توجه به شکل ۴-۱ پارامتری که بیشترین فاصله را از خط C=E دارد و به سمت محور علت می‌باشد به عنوان پارامتر غالب و برعکس پارامتری که در نزدیکی محور اثر بوده و بیشترین فاصله را با خط C=E دارا باشد به عنوان مغلوب‌ترین پارامتر در نظر گرفته می‌شود در نتیجه پارامتر جنس سنگ غالب‌ترین پارامتر و نرخ پیشروی نیز به عنوان مغلوب‌ترین عامل می‌باشد.

از جمله شاخص‌های مهمی که در ماتریس اندرکنش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد شدت اندرکنش هر پارامتر است که از مجموع علت و اثر برای هر پارامتر به دست می‌آید (C+E). شدت اندرکنش میزان کنش بین سیستم و عوامل را نشان می‌دهد. بدین مفهوم که هر چه میزان شدت اندرکنش پارامترها

بالاتر باشد نشان از اهمیت آن پارامتر در سیستم است. در شکل ۴-۲ نمودار شدت اندرکنش پارامترها براساس ماتریس میانگین نشان داده شده است.



شکل ۴-۲: نمودار شدت اندرکنش پارامترها

که در این نمودار اعداد ۱ تا ۱۱ در محور افقی به ترتیب نشان دهنده پارامترهای P_1 تا P_{11} می‌باشند که عبارتند از P1: شکستگی، P2: آب، P3: جنس سنگ، P4: یکنواختی، P5: شیب، P6: ضخامت، P7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P9: نیروی کار، P10: آنالیز ماده، P11: نرخ پیشروی ، و طبق این نمودار پارامتر P_8 یا میزان ذخیره دارای بیشترین شدت اندرکنش می‌باشد.

۴-۳- ارزیابی احتمالاتی ماتریس اندرکنش

در این تحقیق برای ارزیابی احتمالاتی رویکرد RES از نظرات ۱۵ کارشناس استفاده شده است. همان‌گونه که پیش از این ذکر شد در روش احتمالاتی مبنای محاسبات استفاده از ماتریس‌های ویژه‌ای با نام‌های M_0، M_1، M_2، M_3 و M_4 می‌باشد. هر یک از این ماتریس‌ها نماینده احتمال رخداد هر کد برای تمامی درایه‌های ماتریس‌های اندرکنش می‌باشند.

روش به دست آوردن این ماتریس‌ها بدین گونه است که برای هر درایه خاص، محاسبه می‌شود که چه تعدادی از کارشناسان یک کد خاص (۰،۱،۲،۳ یا ۴) را برای آن درایه منظور کرده‌اند به عبارت

دیگر تعداد کارشناسانی که یک کد را برای آن درایه انتخاب کرده‌اند بـر مجمـوع کارشناسـان تقسـیم می‌شود و عدد حاصل به عنوان احتمال رخداد آن کد در همان درایه در نظر گرفته می‌شود.

اگر برای همه‌ی کدهای موجود همین روال دنبال گردد مجموعه مـاتریس‌هـای انـدرکنش M_0 تـا M_4 به دست خواهند آمد.

این روش برای همه‌ی ماتریس‌های اندرکنش انجام شده است و نتایج آن‌ها در ماتریس‌های جـداول ۴-۳ تا ۴-۷ نشان داده شده است.

اگر یکی از این درایه‌ها به عنوان نمونه تشریح شود برای سایر درایه‌ها نیز به همین صورت می‌تـوان تحلیل مشابه‌ای را دنبـال کـرد. بـه عنـوان نمونـه در درایـه (۱،۲) کـه نماینـده تـاثیر جریـان آب بـر شکستگی‌های موجود است به احتمال ۱۳/۳۳٪ این دو مستقل از یکدیگر بوده (بدون انـدرکنش) و بـه احتمـال ۲۶/۶۷٪ اندرکنش ضعیف، ۲۰٪ انـدرکنش متوسـط، ۳۳/۳۳٪ انـدرکنش قـوی و بـه احتمـال ۶/۶۷٪ اندرکنش بحرانی دارند.

که می‌توان به این نتیجه رسید که اندرکنش این دو پارامتر به احتمال زیاد متوسط تـا قـوی مـی-باشد. برای سایر پارامترها نیز می‌توان به همین صورت تحلیل نمود.

جدول ۴-۳:ماتریس اندرکنش رخداد کد 0

P_1	0	20	6.67	100	100	100	100	6.67	13.33	0
13.33	P_2	6.67	100	100	100	26.67	100	6.67	26.67	0
0	6.67	P_3	6.67	20	13.33	20	100	13.33	100	0
20	0	13.33	P_4	40	20	0	100	6.67	13.33	0
100	13.33	100	100	P_5	100	100	100	100	20	0
13.۳3	100	100	13.33	20	P_6	100	100	0	100	0
60	53.33	100	60	53.33	46.67	P_7	33.33	6.67	6.67	0
100	100	100	100	100	100	0	P_8	46.67	0	6.67
26.67	100	100	100	26.67	20	100	100	P_9	20	0
100	100	100	100	100	100	0	26.67	13.33	P_{10}	0
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	P_{11}

P_1: شکستگی، P_2: آب، P_3: جنس سنگ، P_4: یکنواختی، P_5: شیب، P_6: ضخامت، P_7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P_9: نیروی کار، P_{10}: آنالیز ماده، P_{11}: نرخ پیشروی

جدول ۴-۴:ماتریس اندرکنش رخداد کد ۱

P_1	0	20	0	0	0	0	0	6.67	13.33	0
26.67	P_2	26.67	0	0	0	20	0	13.33	6.67	0
6.67	13.33	P_3	13.33	33.33	26.67	13.33	0	6.67	0	0
13.33	40	40	P_4	26.67	26.67	26.67	0	0	13.33	0
0	46.67	0	0	P_5	0	0	0	0	6.67	6.67
46.67	0	0	40	33.33	P_6	0	0	6.67	0	0
6.67	13.33	0	26.67	13.33	20	P_7	13.33	13.33	20	0
0	0	0	0	0	0	6.67	P_8	26.67	20	13.33
33.33	0	0	0	33.33	26.67	0	0	P_9	26.67	0
0	0	0	0	0	0	26.67	46.67	26.67	P_{10}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{11}

P_1: شکستگی، P_2: آب، P_3: جنس سنگ، P_4: یکنواختی، P_5: شیب، P_6: ضخامت، P_7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P_9: نیروی کار، P_{10}: آنالیز ماده، P_{11}: نرخ پیشروی

جدول ۴-۵:ماتریس اندرکنش رخداد کد ۲

P_1	33.33	20	6.67	0	0	0	0	26.67	33.۳3	6.67
20	P_2	33.33	0	0	0	33.33	0	40	46.67	20
33.33	20	P_3	20	20	20	26.67	0	13.33	0	13.33
20	33.33	20	P_4	20	26.67	26.67	0	6.67	46.67	6.67
0	26.67	0	0	P_5	0	0	0	0	40	20
6.67	0	0	33.33	13.33	P_6	0	0	20	0	6.67
20	13.33	0	0	0	6.67	P_7	26.67	26.67	20	13.33
0	0	0	0	0	0	26.67	P_8	13.33	40	20
6.67	0	0	0	6.67	20	0	0	P_9	26.67	13.33
0	0	0	0	0	0	46.67	26.67	26.67	P_{10}	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{11}

P_1: شکستگی، P_2: آب، P_3: جنس سنگ، P_4: یکنواختی، P_5: شیب، P_6: ضخامت، P_7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P_9: نیروی کار، P_{10}: آنالیز ماده، P_{11}: نرخ پیشروی

جدول ۴-۶:ماتریس اندرکنش رخداد کد ۳

P_1	46. 67	26. 67	66. 67	0	0	0	0	40	20	46.67
33. 33	P_2	33. 33	0	0	0	20	0	13.33	20	73.33
40	53. 33	P_3	33. 33	0	20	40	0	60	0	73.33
33. 33	26. 67	13. 33	P_4	0	20	33.33	0	33.33	13.33	60
0	0	0	0	P_5	0	0	0	0	13.33	46.67
33. 33	0	0	13. 33	20	P_6	0	0	33.33	0	13.33
13. 33	20	0	13. 33	33. 33	26.67	P_7	6.67	26.67	33.33	46.67
0	0	0	0	0	0	46.67	P_8	6.67	26.67	33.33
20	0	0	0	20	20	0	0	P_9	13.33	46.67
0	0	0	0	0	0	13.33	0	13.33	P_{10}	66.67
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{11}

P_1: شکستگی، P_2: آب، P_3: جنس سنگ، P_4: یکنواختی، P_5: شیب، P_6: ضخامت، P_7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P_9: نیروی کار، P_{10}: آنالیز ماده، P_{11}: نرخ پیشروی

جدول ۴-۷: ماتریس اندرکنش رخداد کد ۴

P_1	20	13.33	20	0	0	0	0	20	20	46.67
6.67	P_2	0	0	0	0	0	0	26.67	0	6.67
20	6.67	P_3	26.67	26.67	20	0	0	6.67	0	13.33
13.33	0	13.33	P_4	13.33	6.67	13.33	0	53.33	13.33	33.33
0	13.33	0	0	P_5	0	0	0	0	20	26.67
0	0	0	0	13.33	P_6	0	0	40	0	80
0	0	0	0	0	0	P_7	20	26.67	20	40
0	0	0	0	0	0	20	P_8	6.67	13.33	26.67
13.33	0	0	0	13.33	13.33	0	0	P_9	13.33	40
0	0	0	0	0	0	13.33	0	20	P_{10}	33.33
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P_{11}

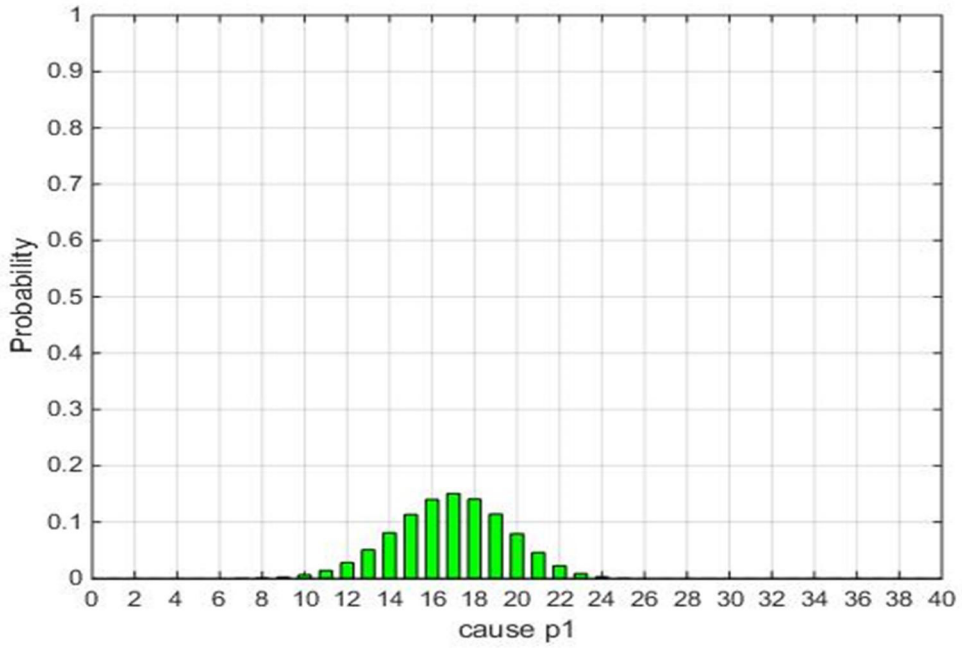
P_1: شکستگی، P_2: آب، P_3: جنس سنگ، P_4: یکنواختی، P_5: شیب، P_6: ضخامت، P_7: سرمایه گذاری، P_8: میزان ذخیره، P_9: نیروی کار، P_{10}: آنالیز ماده، P_{11}: نرخ پیشروی

همان‌گونه که زارع و همکاران اشاره نموده‌اند در روش کدگذاری PESQ احتمال‌های هر کد در درایه‌های غیر از قطر اصلی موجود است و این موضوع بدین مفهوم است که در این روش به جای مقادیر قطعی و یکتای علت و اثر (C,E)، توزیع‌های احتمال برای C_i و E_i را می‌توان به دست آورد (زارع نقدهی، ۱۳۹۰)

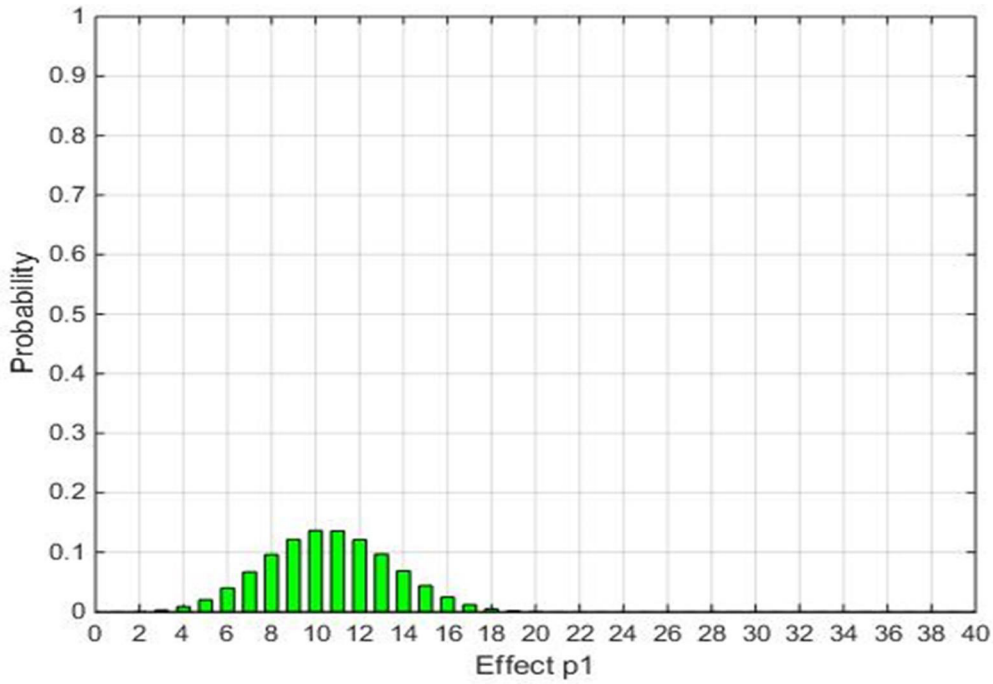
در این رویکرد با استفاده از توزیع‌های احتمالاتی و به کار گرفتن قوانین ساده و اصلی احتمالات می‌توان مقادیر علت و اثر احتمالاتی را برای هر پارامتر به دست آورد. از آن‌جایی که به علت تعداد بالای درایه‌ها در ماتریس‌های اندرکنش نمی‌توان به صورت دستی محاسبات احتمالاتی را انجام داد لذا برای محاسبه و رسم نمودارهای حاصل و براساس قوانین احتمال برای پیشامدهای ناسازگار یک کد در محیط نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده که بخشی از این کد در ضمیمه قرار داده شده است.

در هر سطر یا ستون از ماتریس مورد مطالعه ۱۰ درایه غیر قطر اصلی وجود دارد که در هر یک مقادیر صحیح بین ۰ تا ۴ قرار می‌گیرد و در نتیجه توزیع‌های احتمالاتی اعدادی بین ۰ تا ۴۰ را خواهند داشت. در نمودارهای اشکال ۴-۳ تا ۴-۲۴ توزیع‌های احتمالاتی برای هر یک از پارامترها به صورت مجزا آورده شده است.

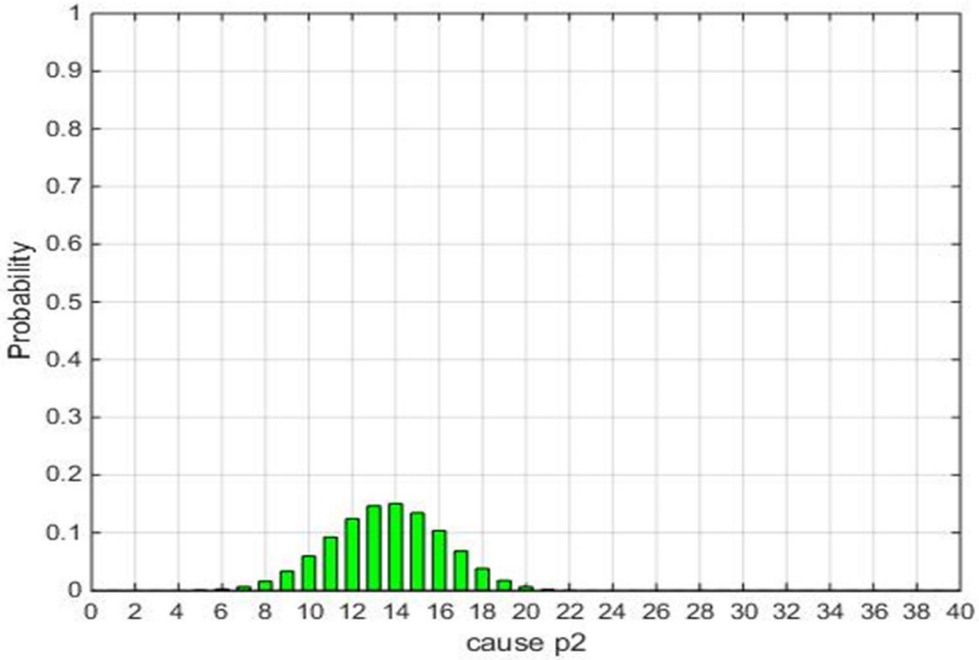
برای نمونه در تحلیل هر نمودار بدین گونه عمل می‌شود که با سطح احتمال معلوم می‌توان حوزه امکان یک پارامتر را بررسی نمود به عنوان مثال برای پارامتر اول یا شکستگی به احتمال بالای ۵۰ درصد مقدار علت یا C_1 در حوزه‌ی ۱۵ تا ۱۹ می‌باشد زیرا هر یک از ستون‌های نشان داده شده بیانگر احتمال رخداد یک عدد است لذا ستون‌های بلندتر احتمال رخداد بالاتری را توصیف می‌نمایند با جمع احتمال این ستون‌ها حوزه‌ای از اعداد که دارای احتمال رخداد بیشتری هستند مشخص می‌گردد.



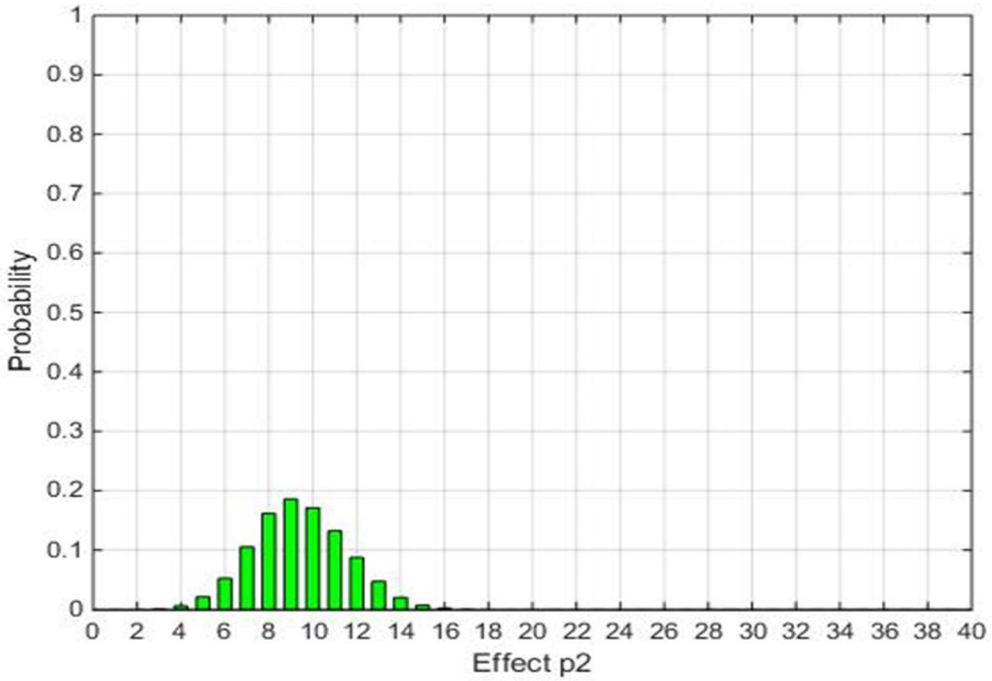
شکل ۴-۳: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر شکستگی



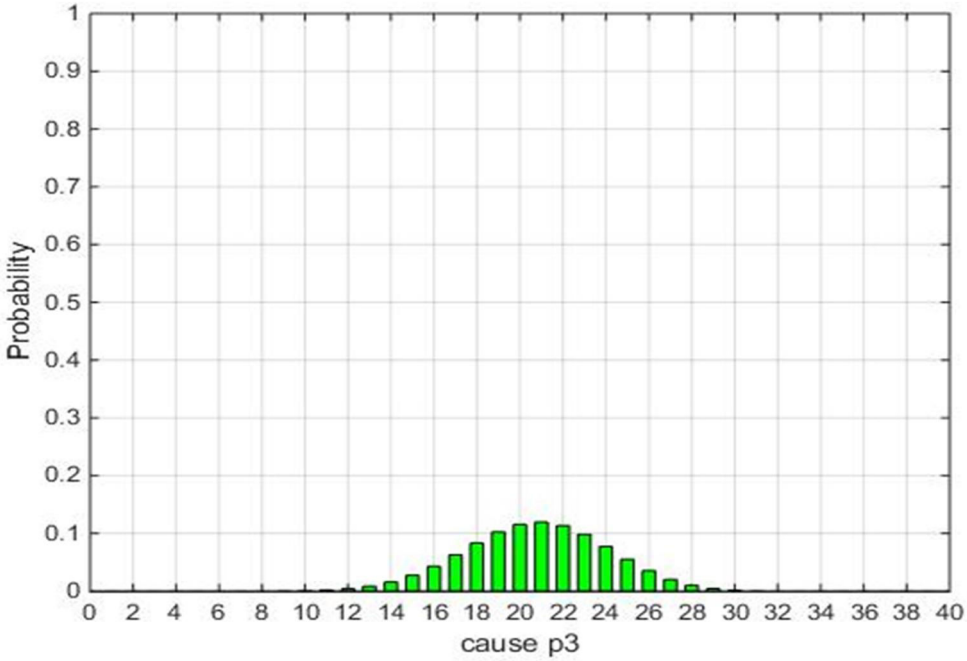
شکل ۴-۴: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر شکستگی



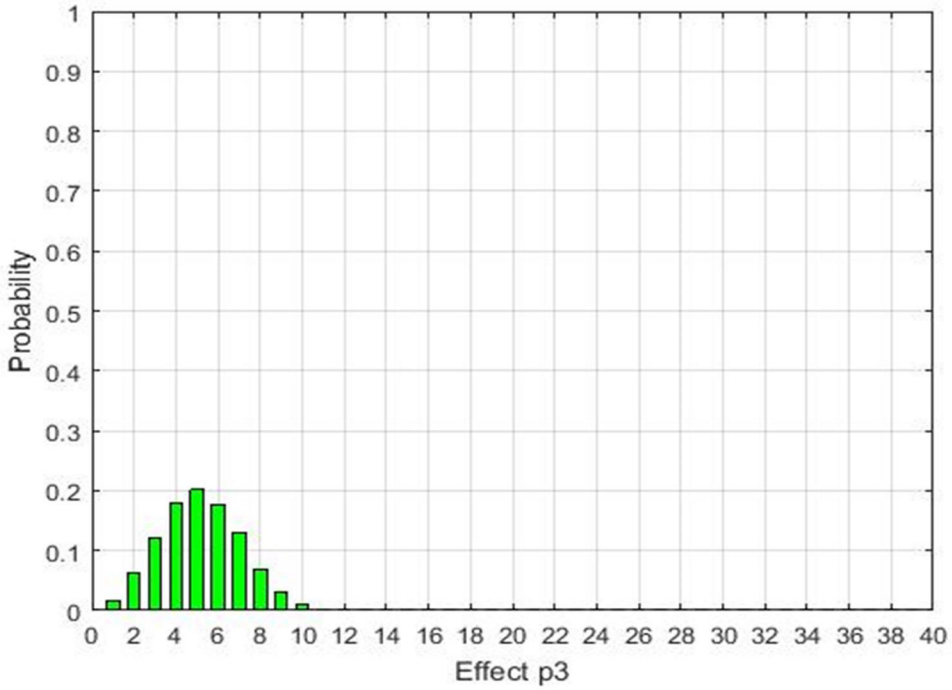
شکل ۴-۵: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر آب



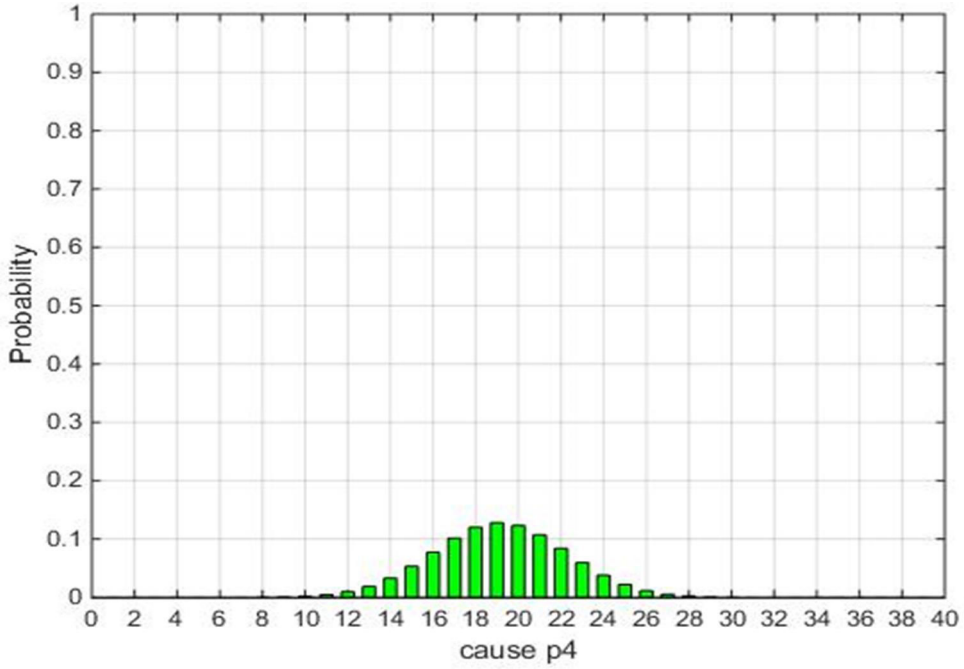
شکل ۴-۶: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر آب



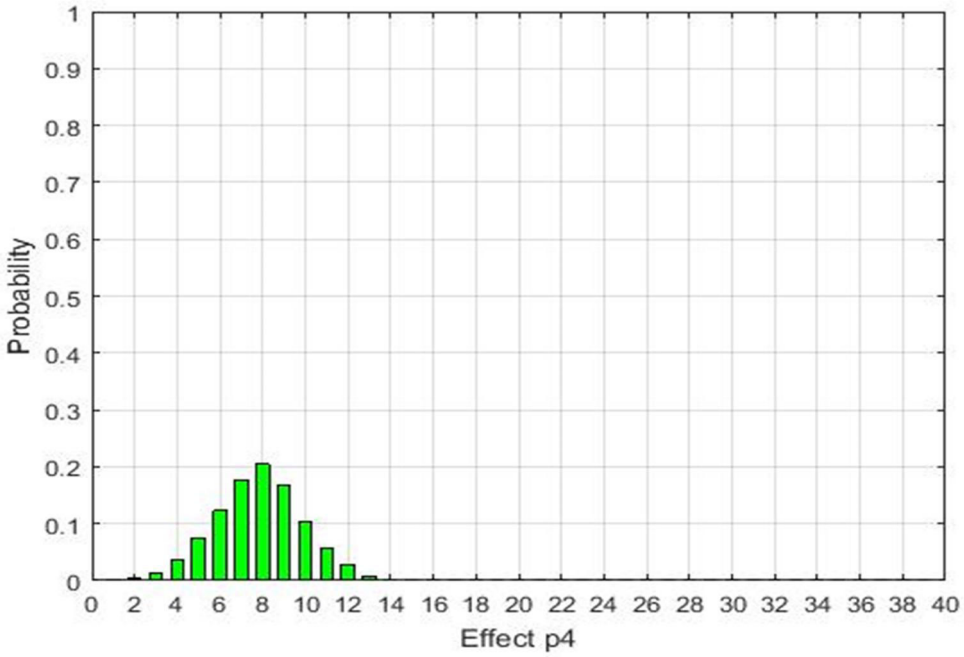
شکل ۴-۷: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر جنس سنگ



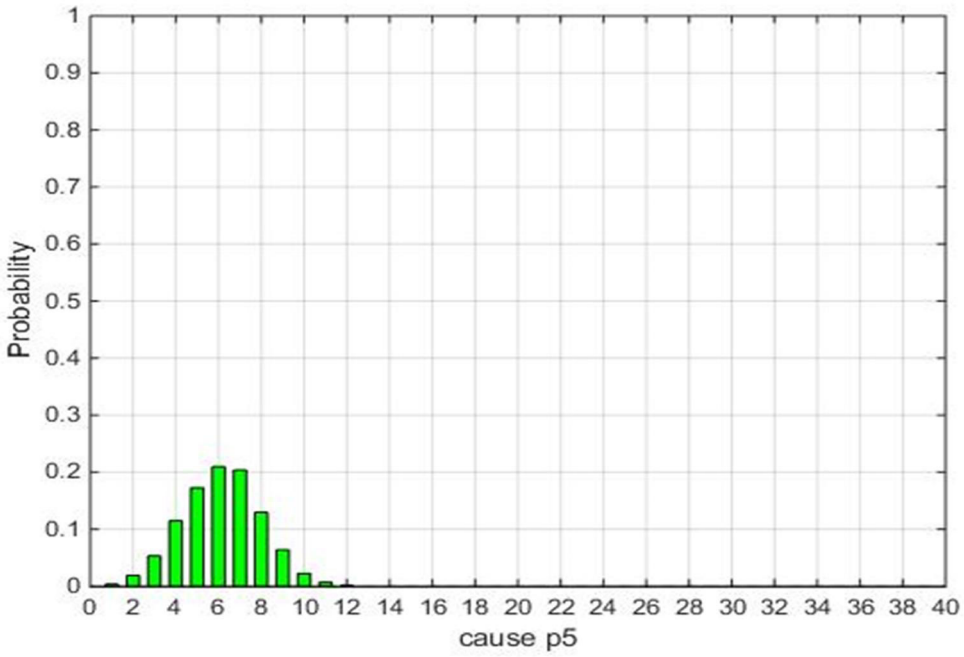
شکل ۴-۸:نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر جنس سنگ



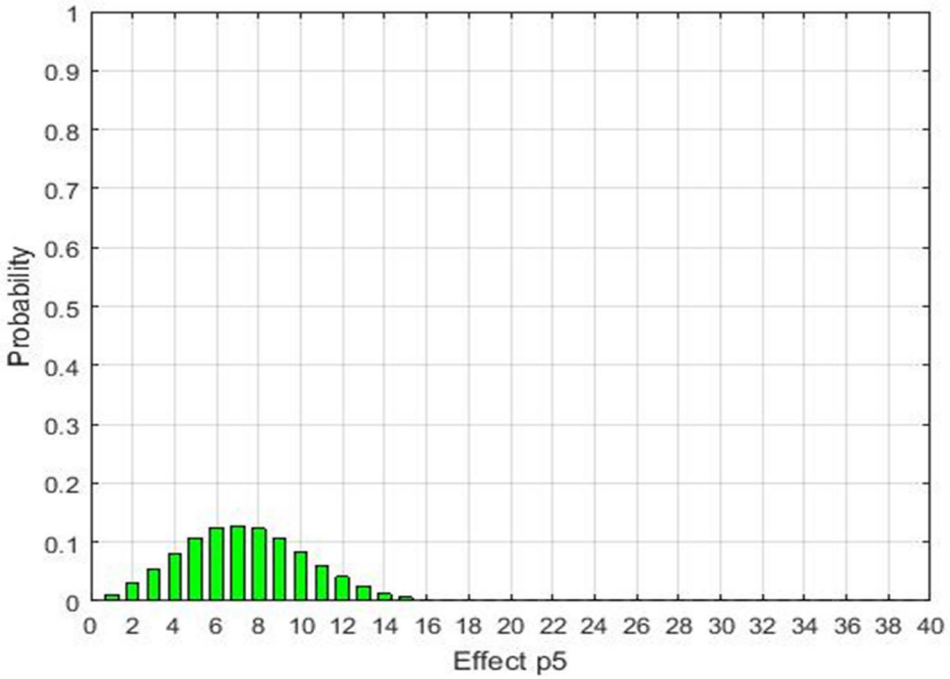
شکل ۴-۹: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر یکنواختی



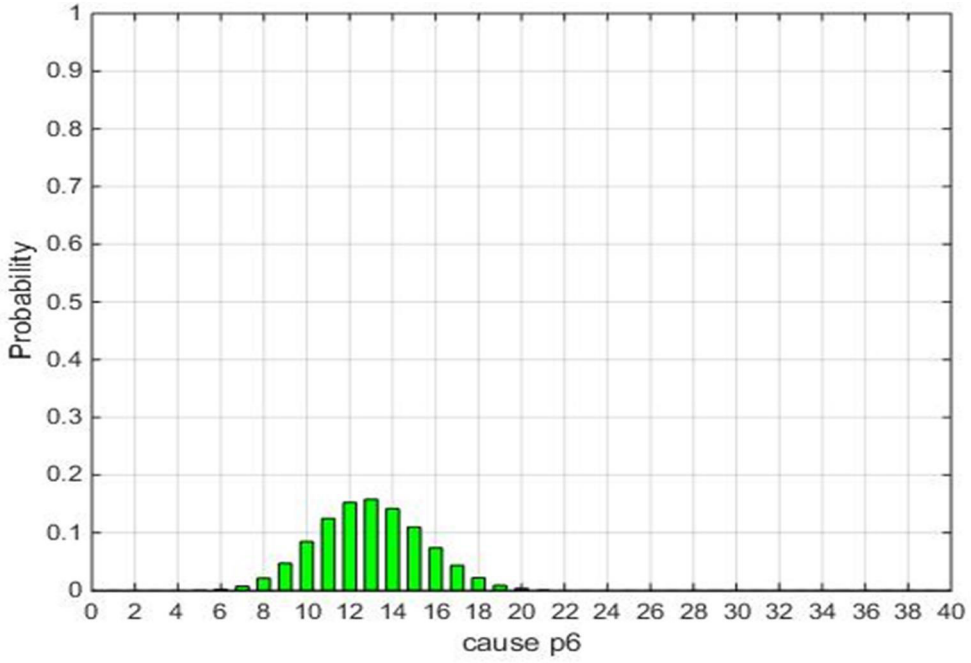
شکل ۴-۱۰: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر یکنواختی



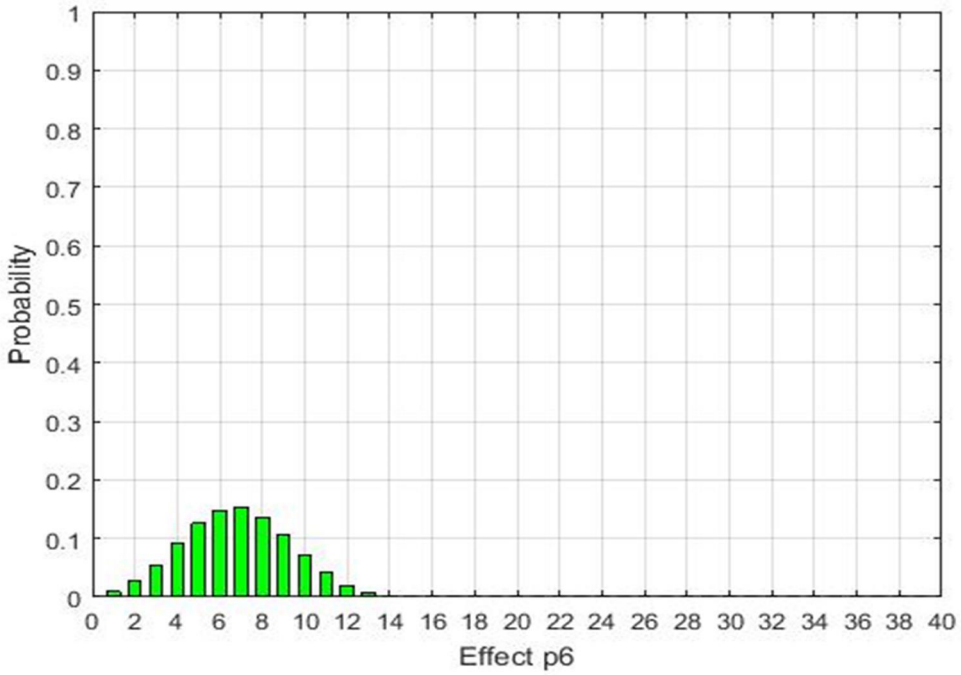
شکل ۴-۱۱: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر شیب



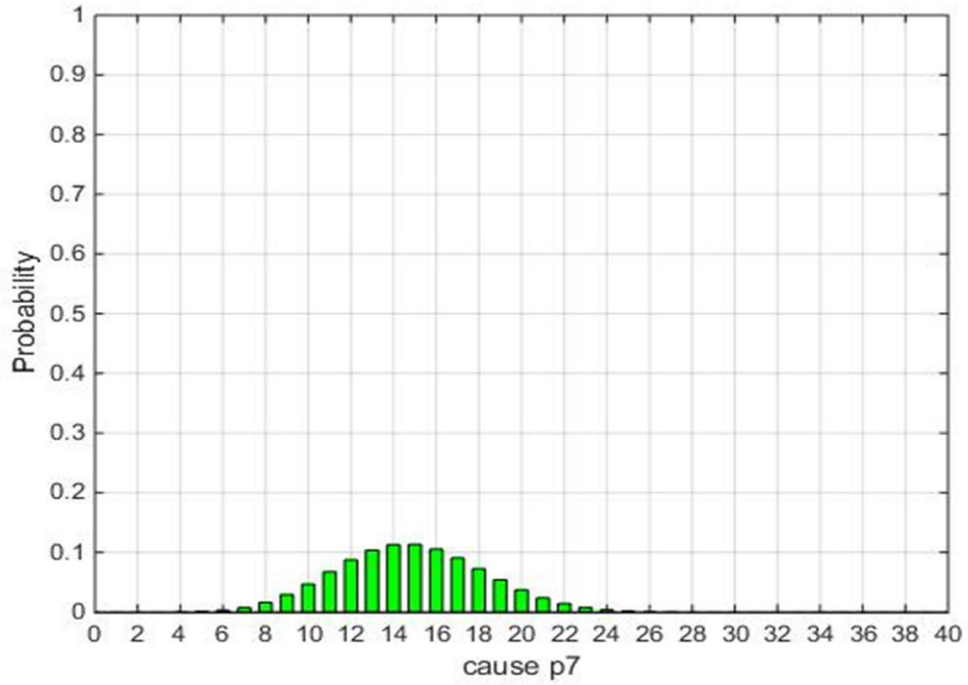
شکل ۴-۱۲: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر شیب



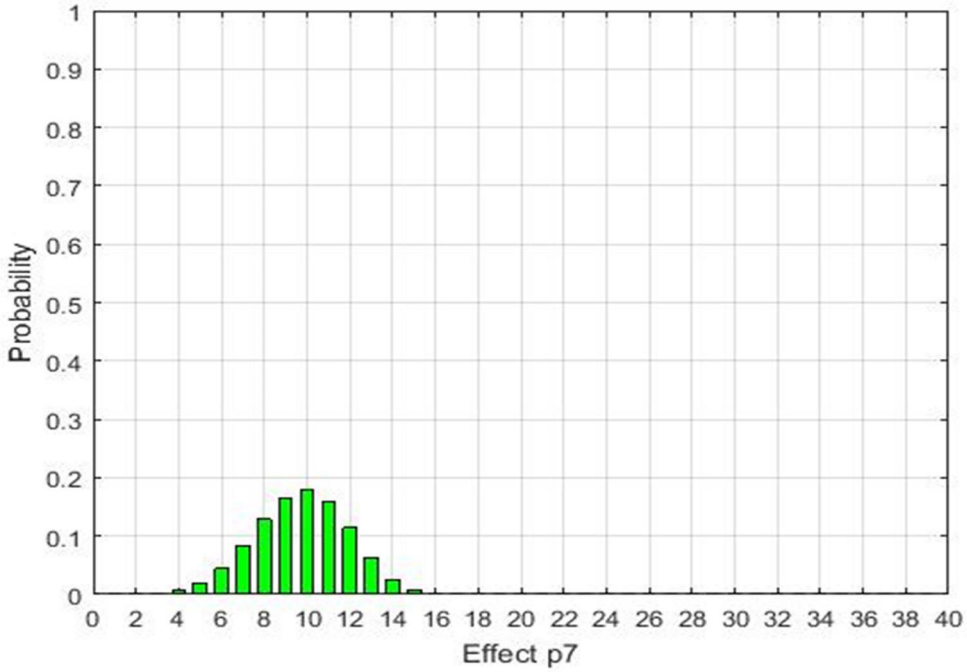
شکل ۴-۱۳: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر ضخامت



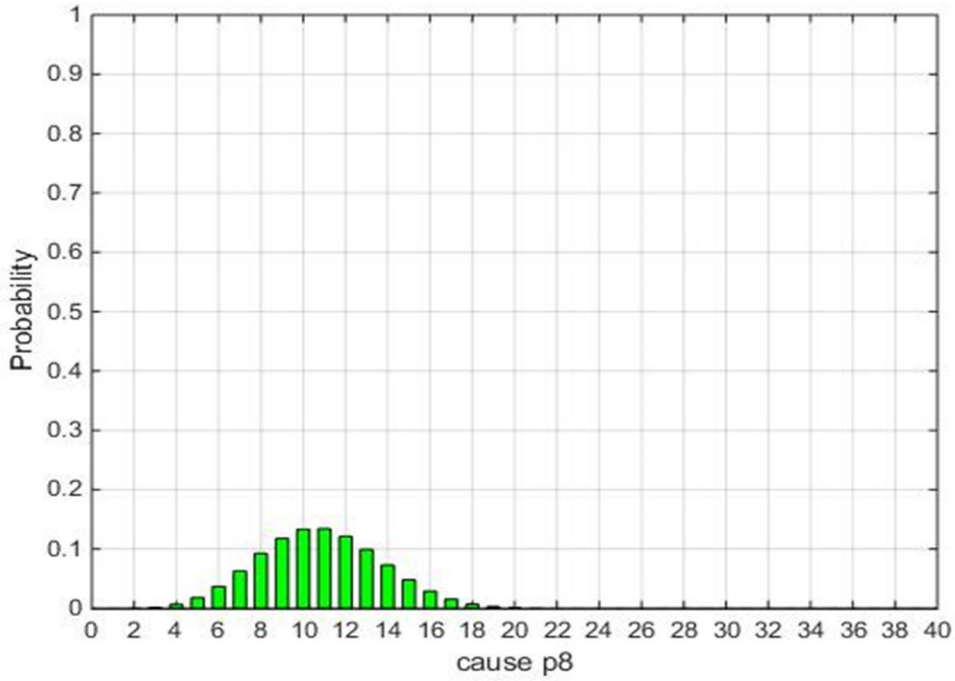
شکل ۴-۱۴: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر ضخامت



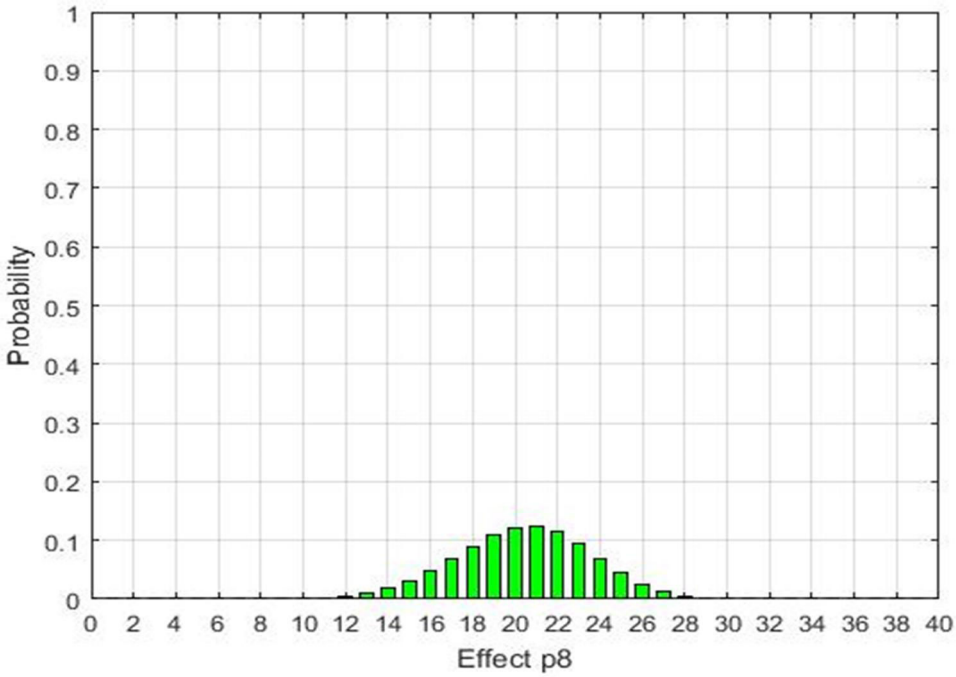
شکل ۴-۱۵: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر سرمایه‌گذاری



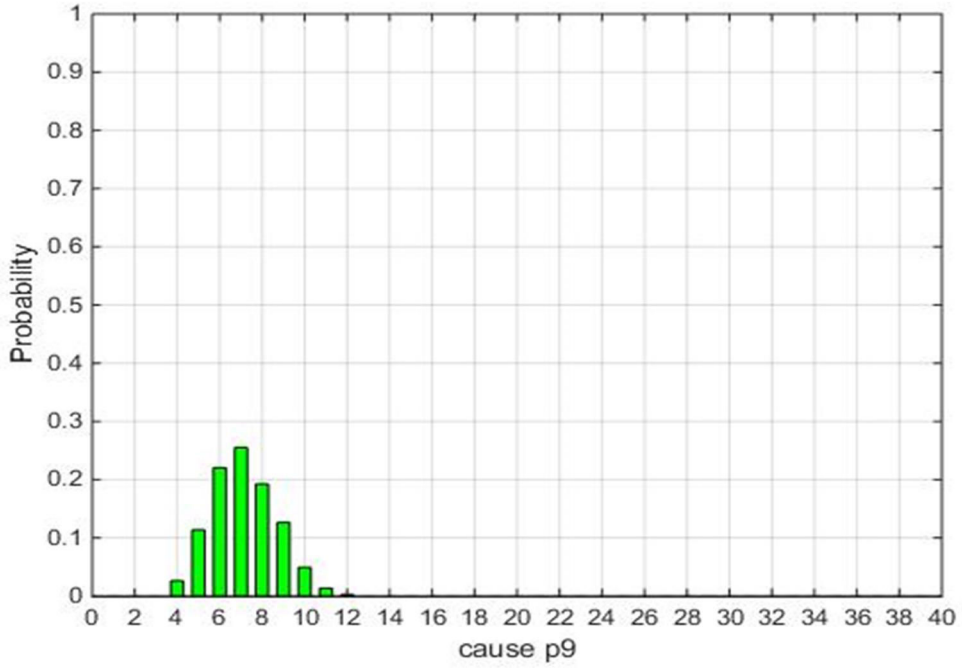
شکل ۴-۱۶: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر سرمایه‌گذاری



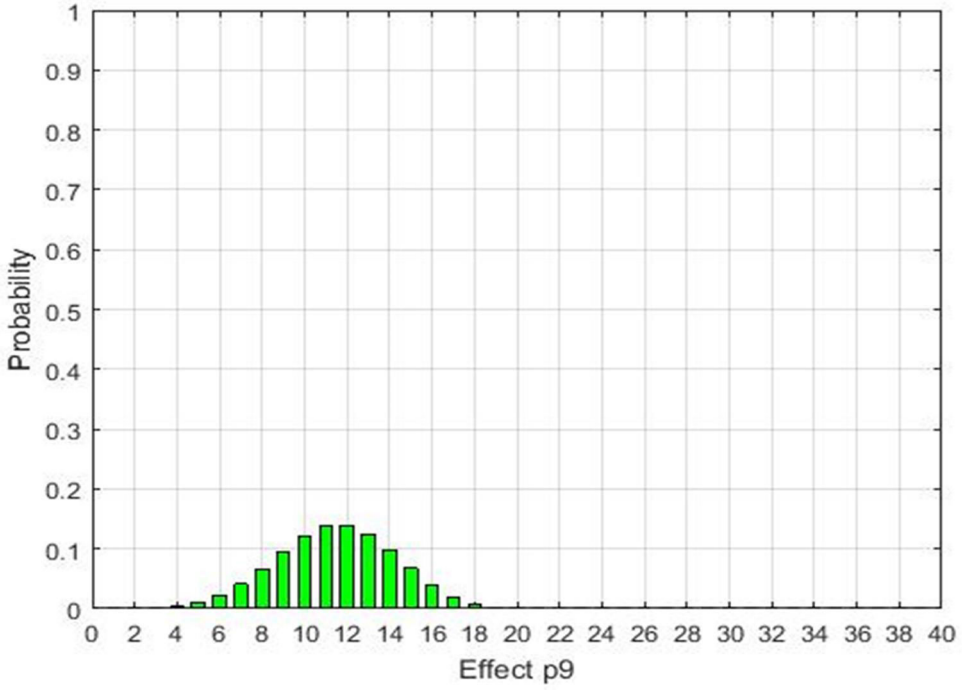
شکل ۴-۱۷: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر میزان ذخیره



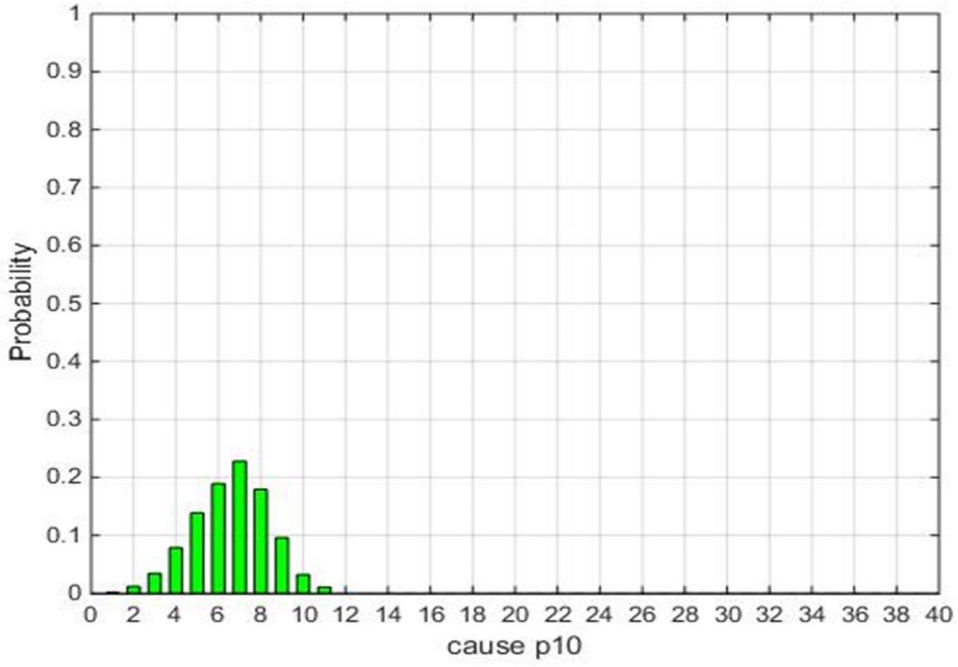
شکل ۴-۱۸: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر میزان ذخیره



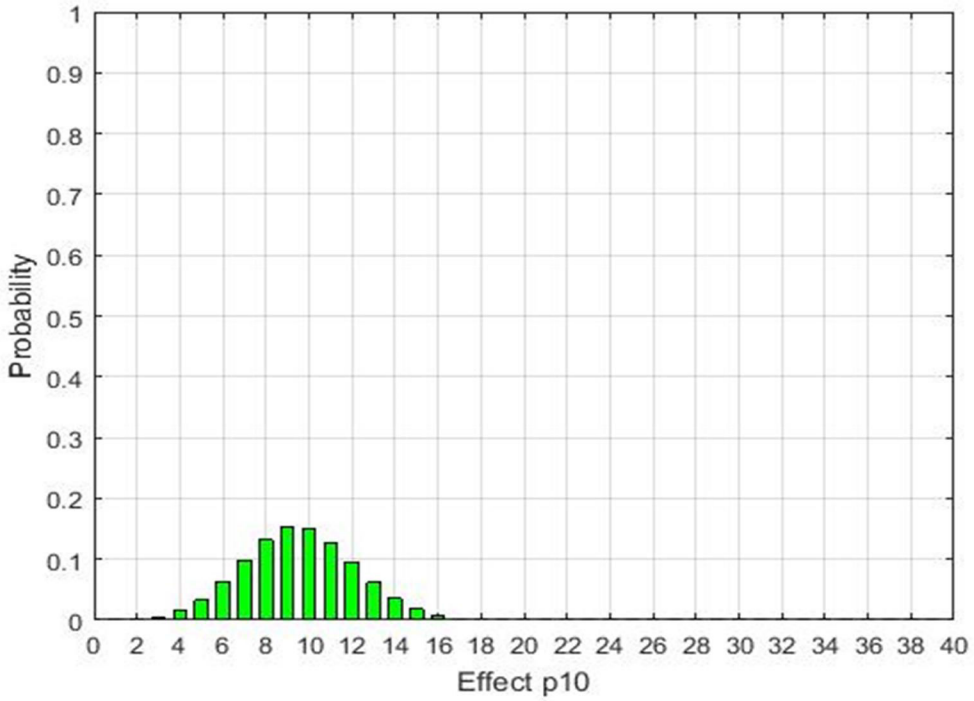
شکل ۴-۱۹: نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر نیروی کار



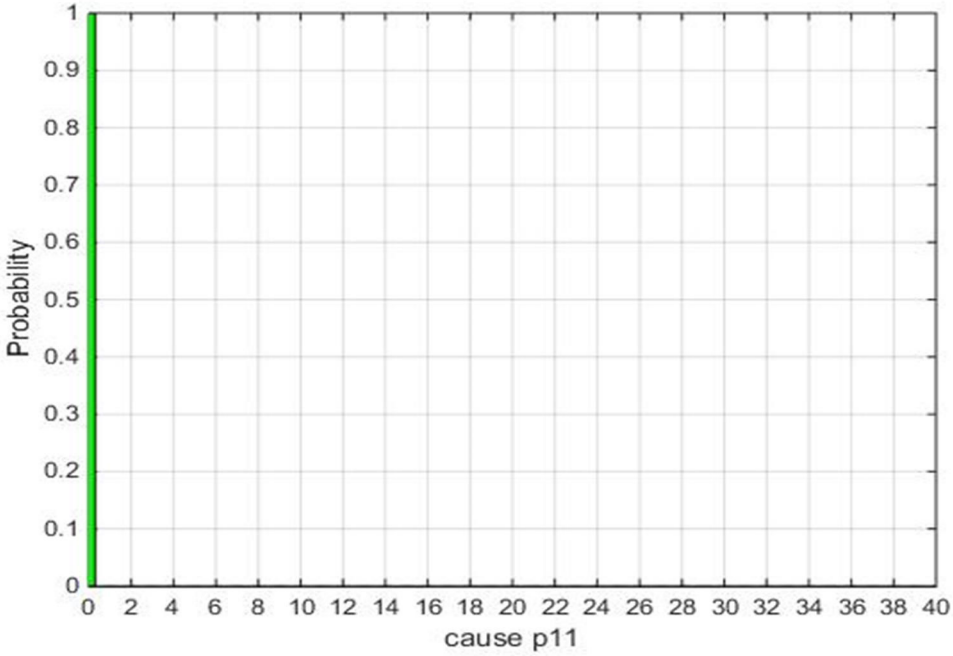
شکل ۴-۲۰: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر نیروی کار



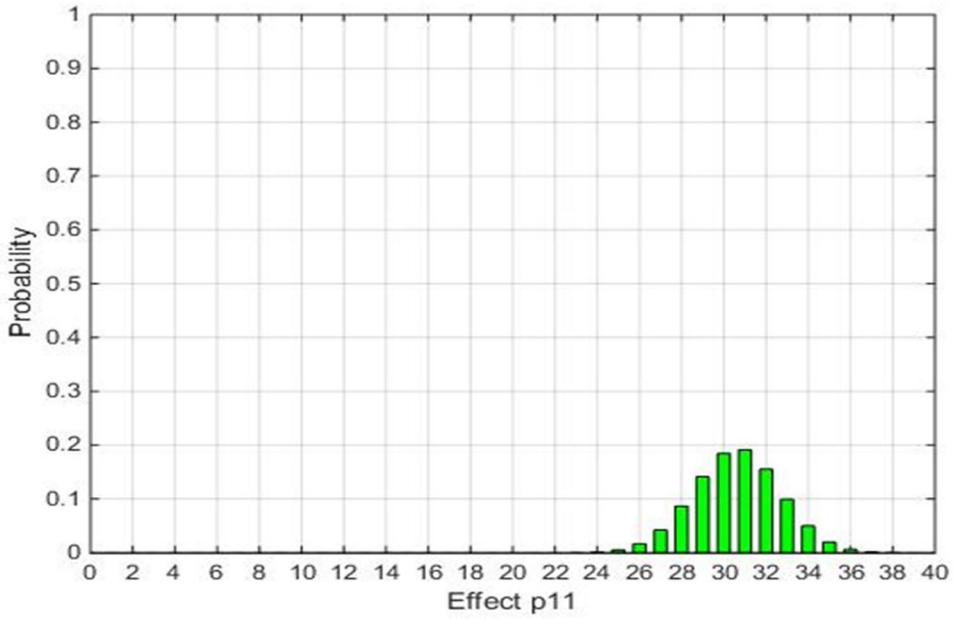
شکل ۴-۲۱:نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر آنالیز ماده معدنی



شکل ۴-۲۲: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر آنالیز ماده معدنی



شکل ۴-۲۳:نمودار توزیع احتمالاتی علت برای پارامتر نرخ پیشروی



شکل ۴-۲۴: نمودار توزیع احتمالاتی اثر برای پارامتر نرخ پیشروی

۴-۳-۱-محاسبه وزن عوامل و شاخص سطح تولید

پس از محاسبه و رسم توزیع‌های احتمالاتی به منظور تعیین شاخص توان تولیدی بایستی وزن هر یک از عوامل محاسبه شود. برای محاسبه وزن هر یک از پارامترها از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$a_{\mathrm{i}} = \frac{\mathrm{C_i} + \mathrm{E_i}}{\sum \mathrm{C_i} + \sum \mathrm{E_i}}$$

در این رابطه از متغیرهای زیر استفاده شده است:

C_i: علت پارامتر i

E_i: اثر پارامتر i

a_i: وزن عامل i

برای آن‌که بتوان وزن هر عامل را محاسبه نمود بر طبق فرمول بالا ابتدا باید مجموع علت و اثر را برای هر پارامتر محاسبه نمود، اما از آن‌جا که علت و اثر برای هر پارامتر به صورت توزیع‌های احتمالاتی مطرح و به دست آمده‌اند لذا ناگریز باید مقادیر C_i+E_i نیز به صورت توزیع احتمالاتی محاسبه و مقادیر حاصل را بر مقدار جمع به دست آمده از علت و اثر ماتریس میانگین تقسیم نمود.

با محاسبه توزیع‌های احتمالاتی برای وزن هر عامل خطای قضاوت‌های افراد و کارشناسان را می‌توان به میزان قابل توجهی کاهش داد.

در اشکال ۴-۲۵ تا ۴-۴۶ نمودارهای مربوط به شدت اندکنش (C_i+E_i) و وزن عوامل a_i برای هر یک نشان داده شده است.

محاسبه وزن هر پارامتر این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان با استفاده از مقادیر طبقه‌بندی شده و ارائه شده در فصل سوم شاخص سطح تولید را به دست آورد. برای آن‌که بتوان شاخص سطح تولید را محاسبه نمود می‌توان از فرمول ارائه شده توسط هادسون[1] بهره برد.

$$PI = \sum a_i \frac{p_i}{p_{max}}$$

[1] Hudson

در این فرمول از موارد زیر استفاده شده است که عبارتند از:

PI: شاخص سطح تولید

که مقدار این شاخص پس از محاسبه باید براساس یک جدول طبقه‌بندی ارزیابی گـردد. در جـدول ۴-۸ طبقه‌بندی مربوط به شاخص سطح تولید ارائه شده است.

جدول ۴-۸: افرازهای مختلف برای ارزیابی شاخص سطح تولید

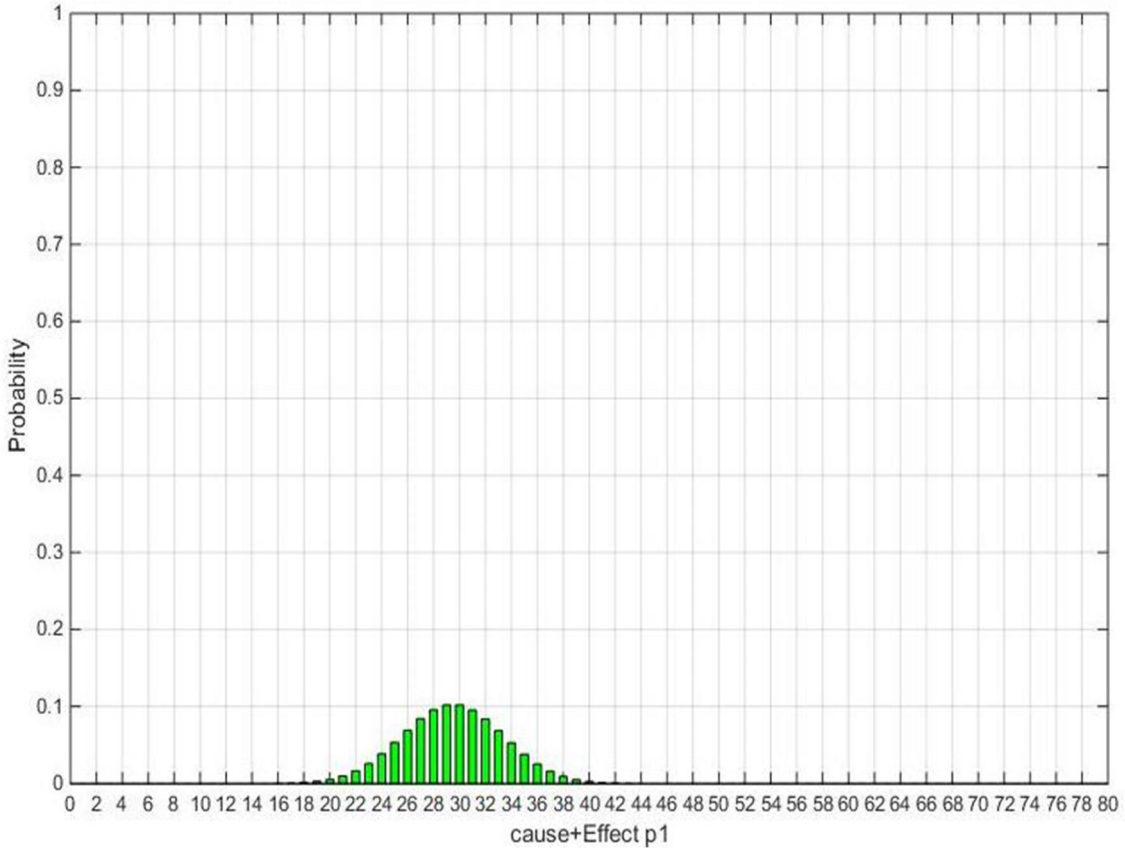
توصیف شاخص سطح تولید					
سطح تولید پایین		سطح تولید متوسط		سطح تولید بالا	
٪۱۷-۰	٪۳۳-۱۸	٪۵۱-۳۴	٪۶۷-۵۲	٪۸۳-۶۸	٪۱۰۰-۸۴
بسیار ضعیف	**ضعیف**	**متوسط**	**خوب**	**بسیار خوب**	**عالی**

a_i: وزن هر یک از عوامل

p_i: امتیاز پارامتر i که براساس مقادیر جدول ۳-۳ اختصاص داده می‌شود.

p_{max}: حداکثر امتیازی که هر عامل می‌تواند به خود اختصاص دهد و از آن برای یکه کردن استفاده می‌شود.

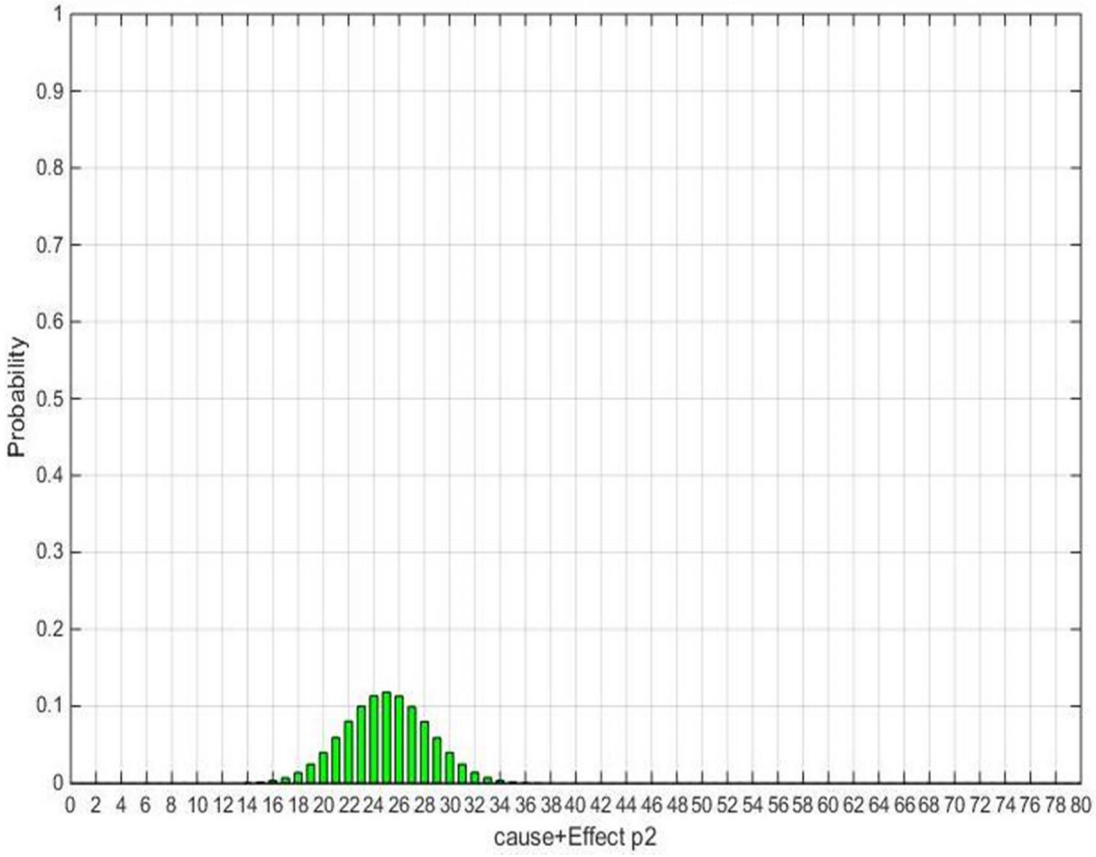
در نهایت شاخص سطح تولید عددی در محدوده‌ی صفر تا یک به دست خواهد آمد.



شکل ۴-۲۵: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر شکستگی

جدول ۴-۹:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر شکستگی

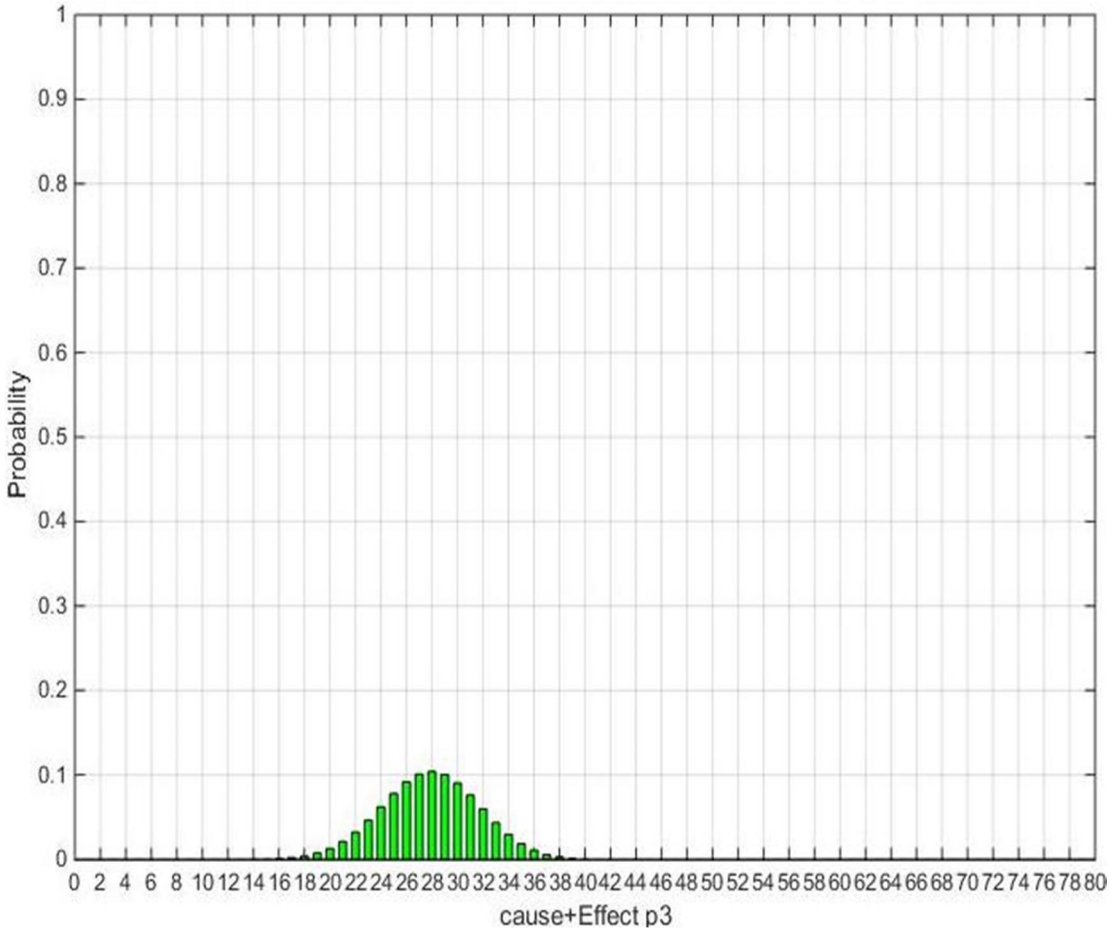
میانگین	انحراف معیار
۳۰	۱۳/۱۳



شکل ۴-۲۶:توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر آب

جدول ۴-۱۰:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر آب

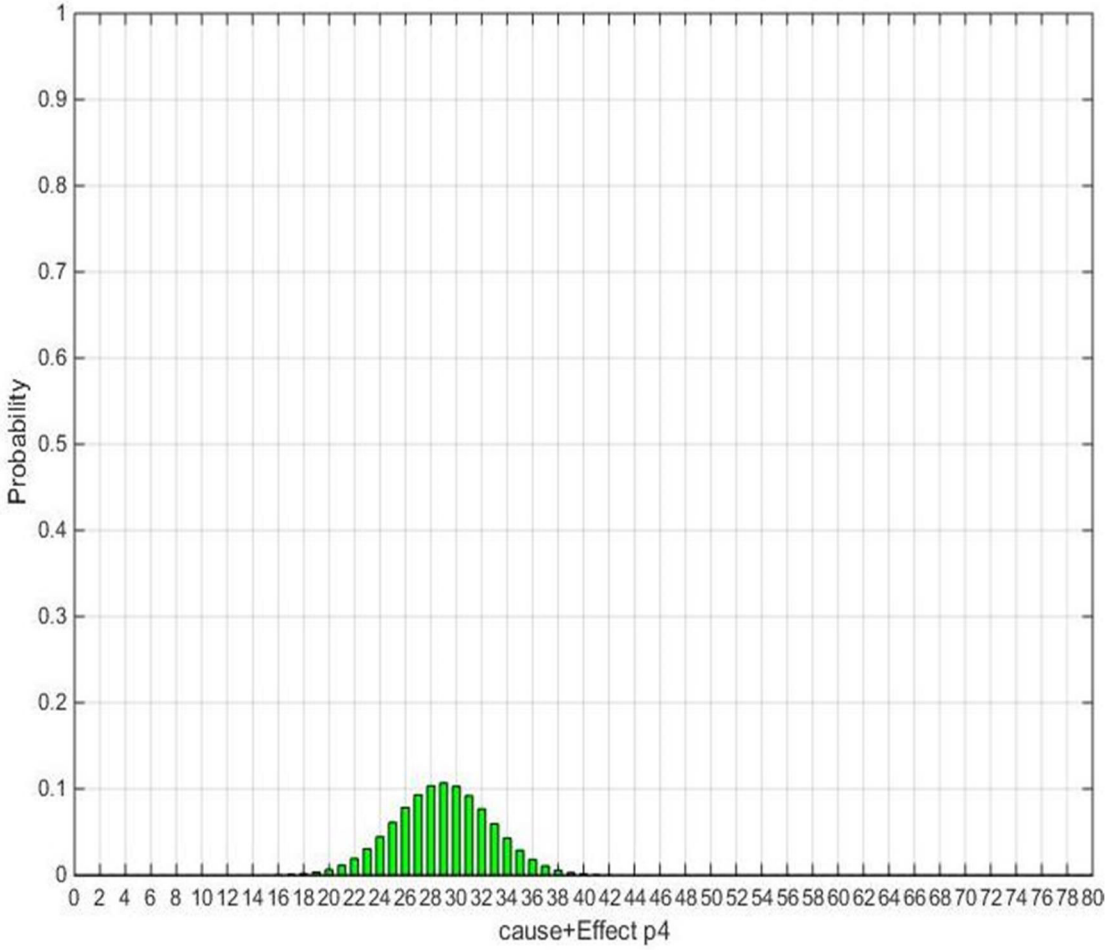
میانگین	انحراف معیار
۲۶/۵	۱۱/۱۱



چ

جدول ۴-۱۱: میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر جنس سنگ

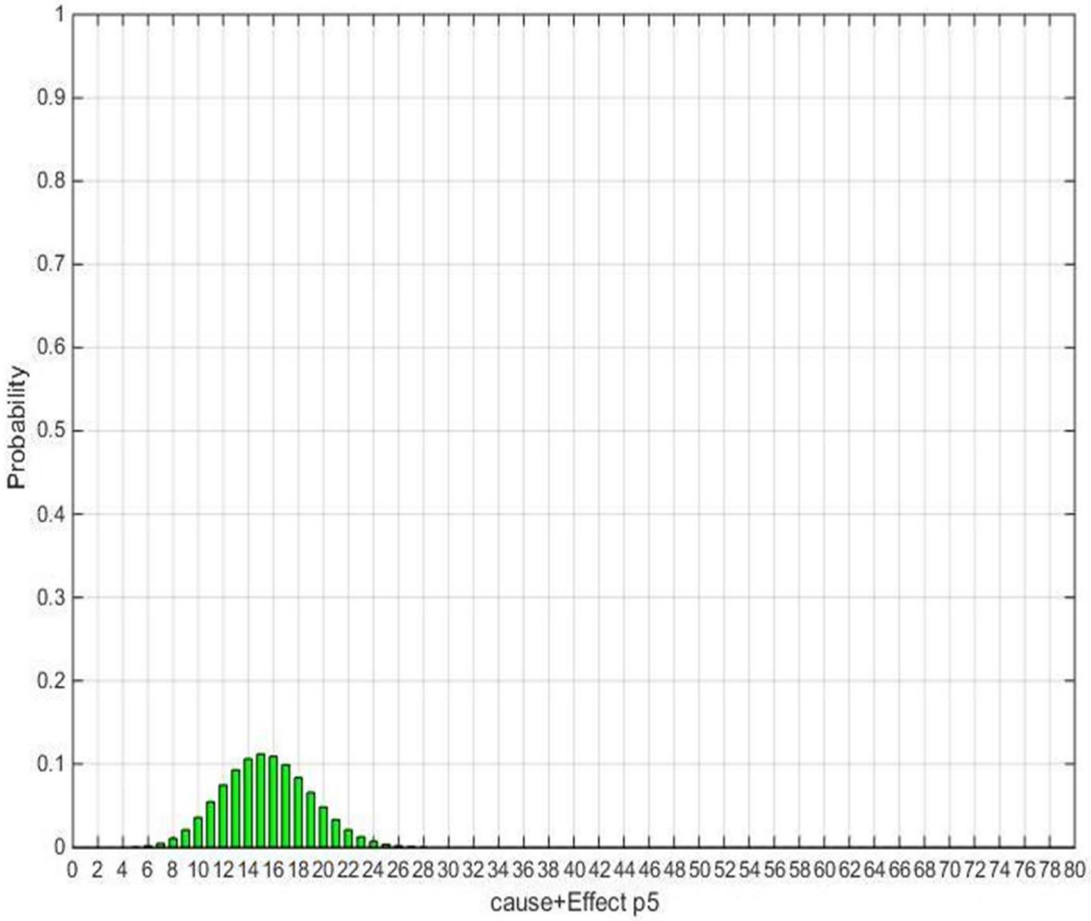
میانگین	انحراف معیار
۲۷	۱۲/۵۶



شکل ۴-۲۷: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر یکنواختی

جدول ۴-۱۲:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر یکنواختی

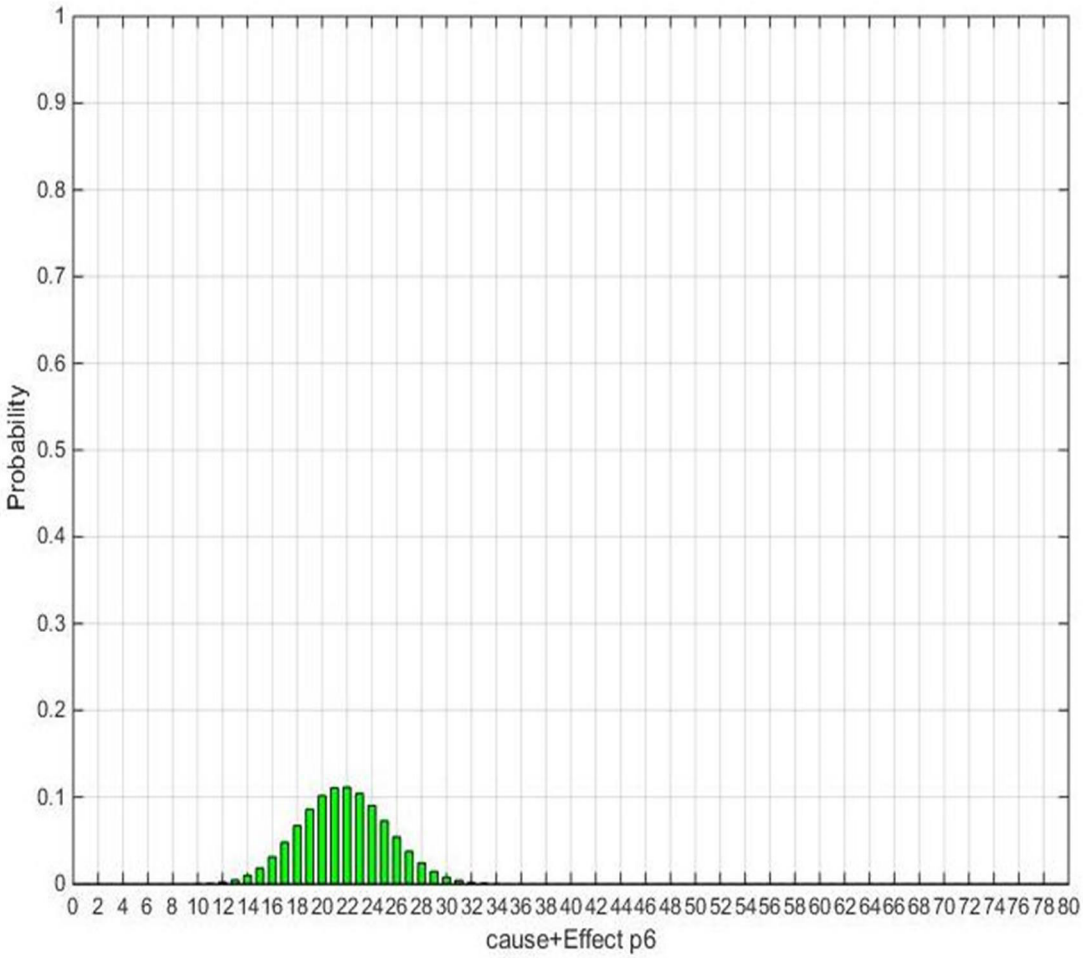
میانگین	انحراف معیار
۲۹/۵	۱۳/۴۲



شکل ۴-۲۸: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر شیب

جدول ۴-۱۳:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر شیب

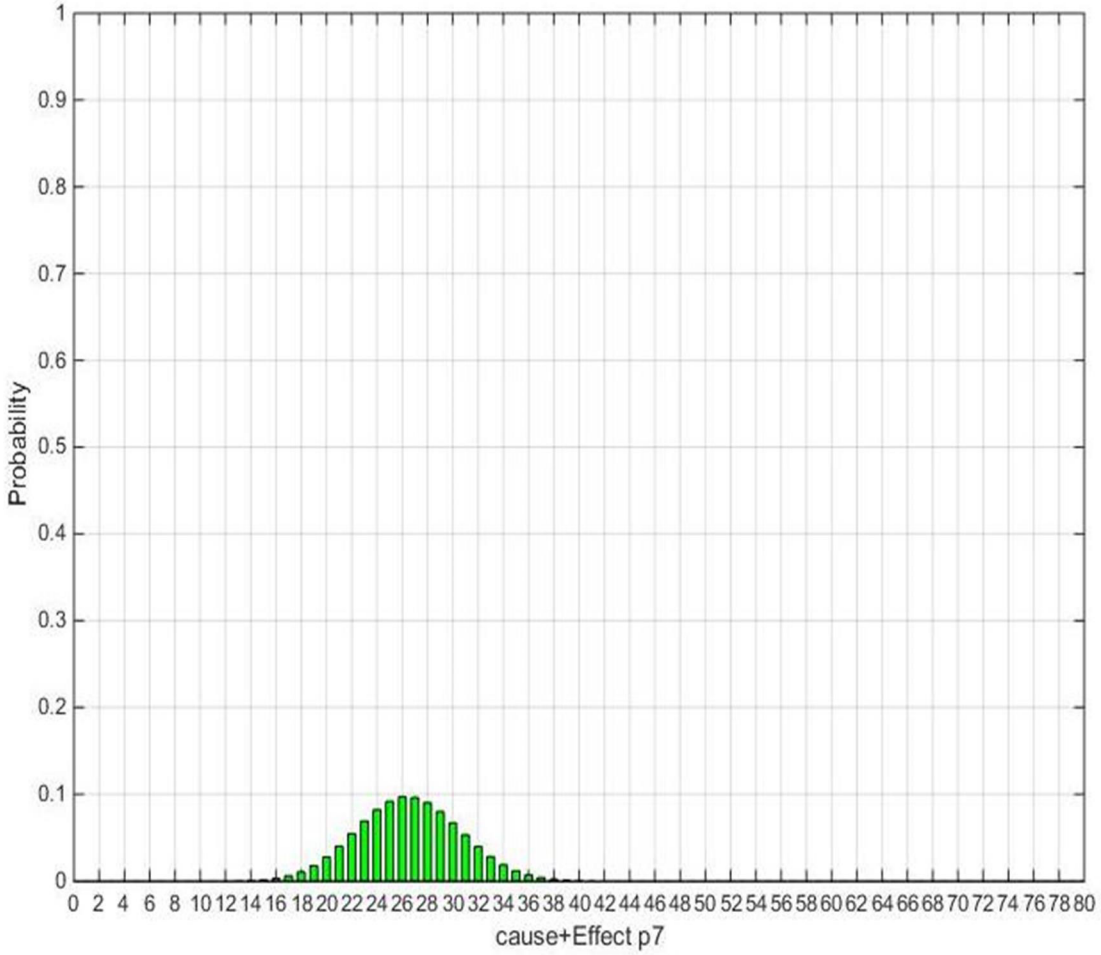
میانگین	انحراف معیار
۱۹	۹/۰۹



شکل ۴-۲۹: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر ضخامت

جدول ۴-۱۴:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر ضخامت

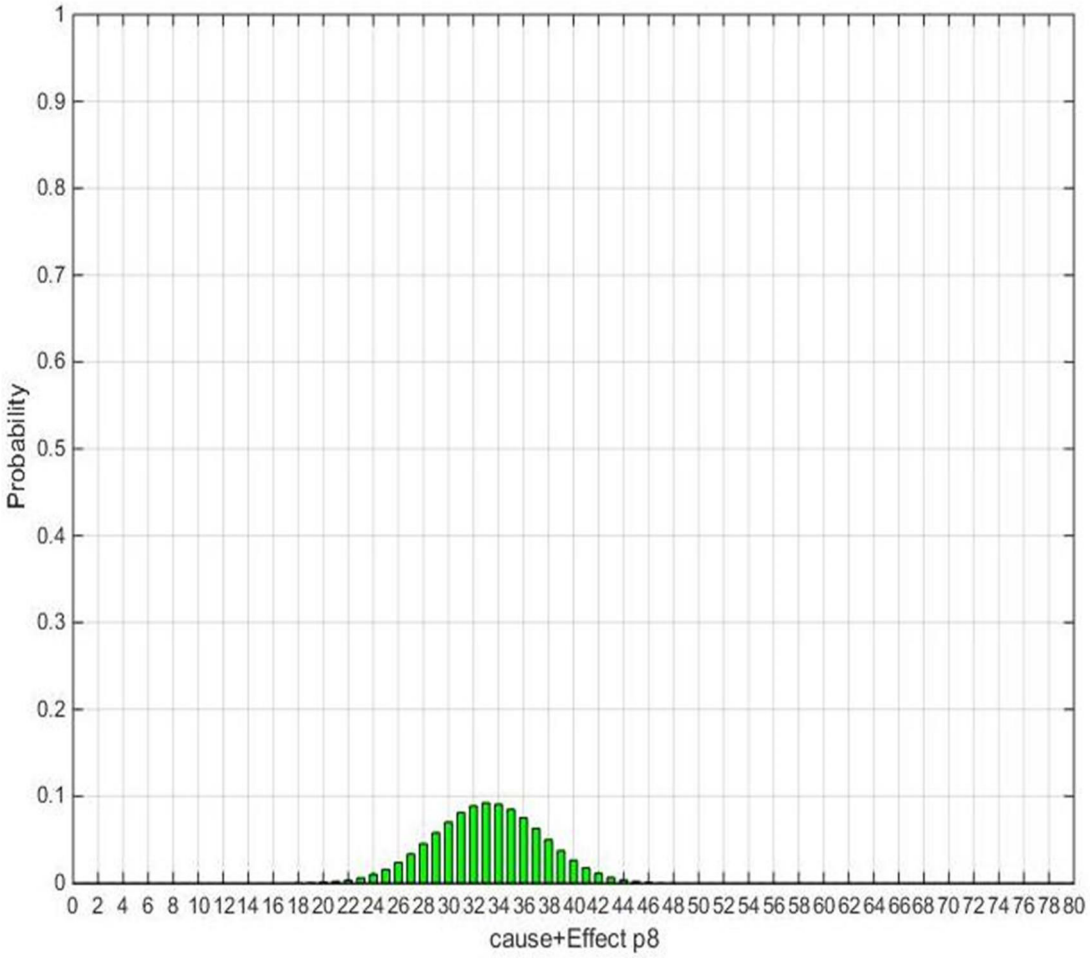
میانگین	انحراف معیار
۲۳	۱۰/۲۴



شکل ۴-۳۰: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر سرمایه‌گذاری

جدول ۴-۱۵:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر سرمایه‌گذاری

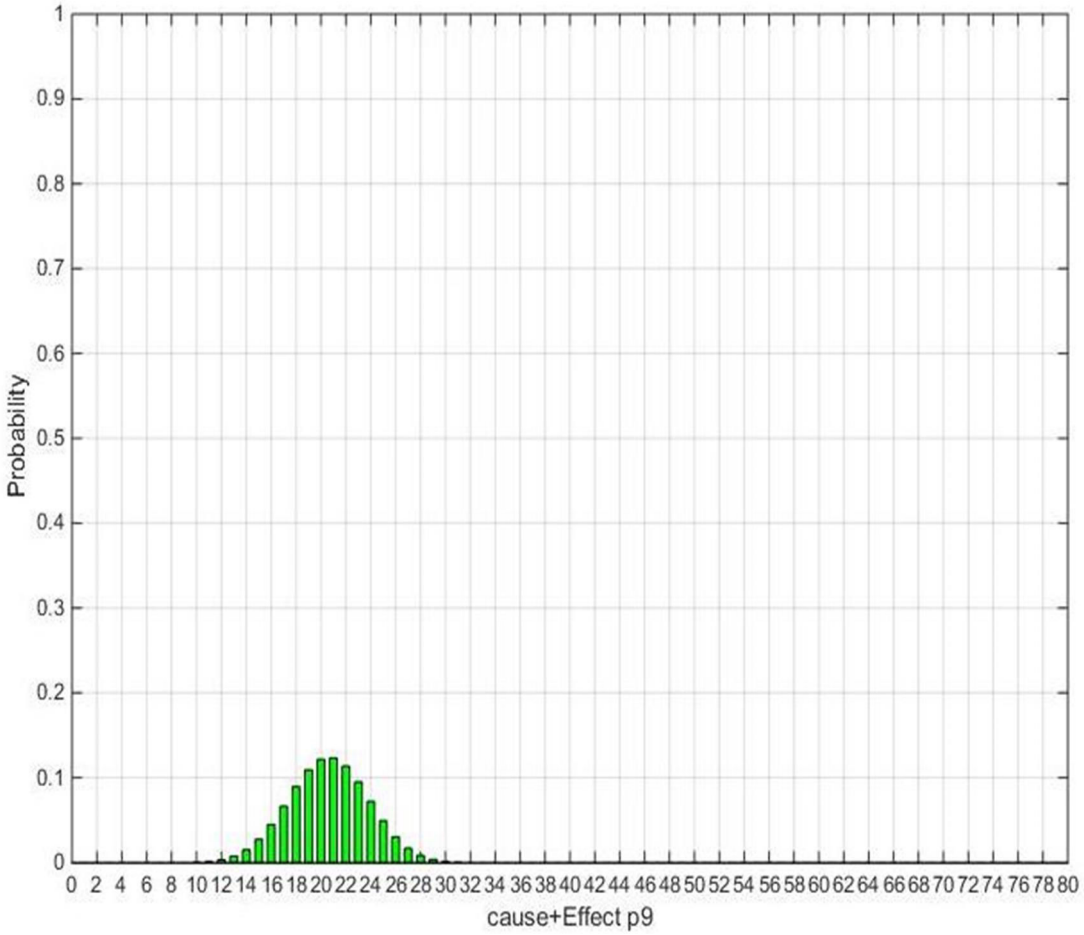
میانگین	انحراف معیار
۲۸	۱۲/۸۴



شکل ۴-۳۱:توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر میزان ذخیره

جدول ۴-۱۶:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر میزان ذخیره

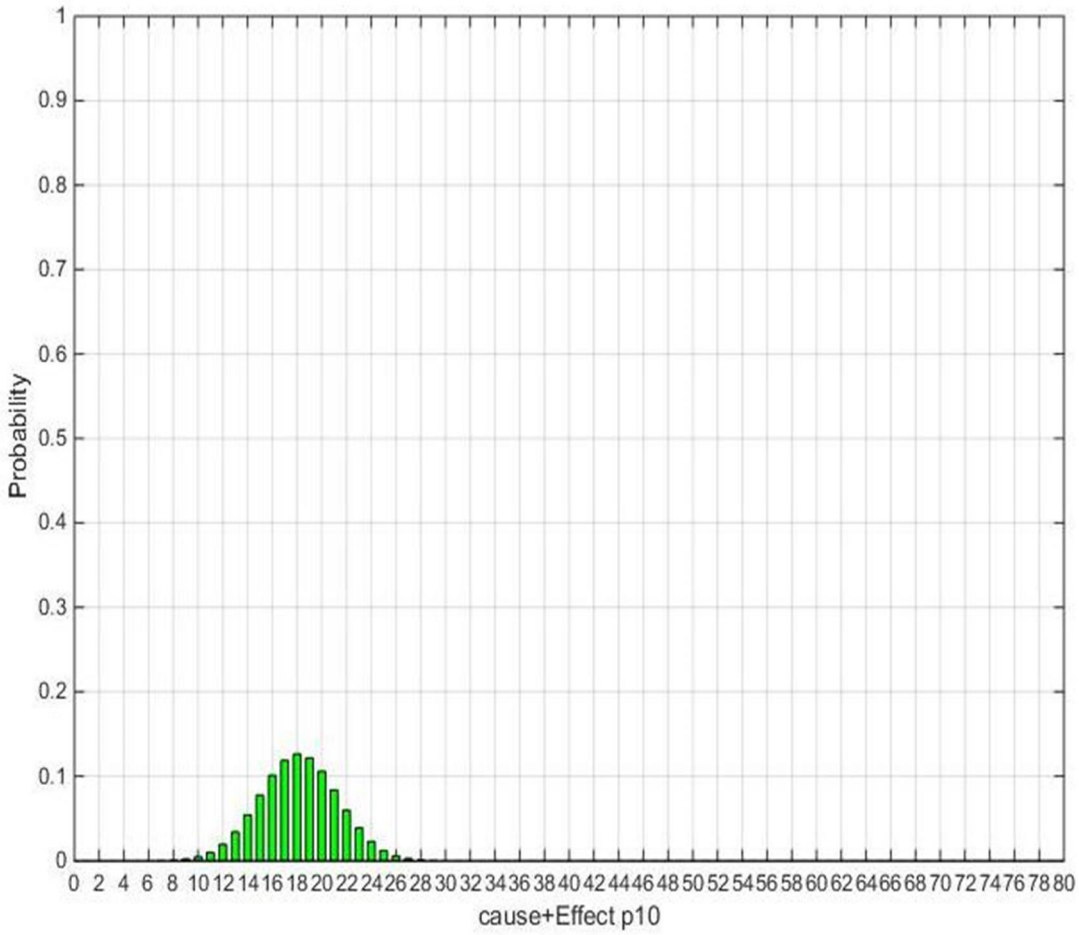
میانگین	انحراف معیار
۳۲/۵	۱۵/۷۳



شکل ۴-۳۲: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر نیروی کاری

جدول ۴-۱۷:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر نیروی کاری

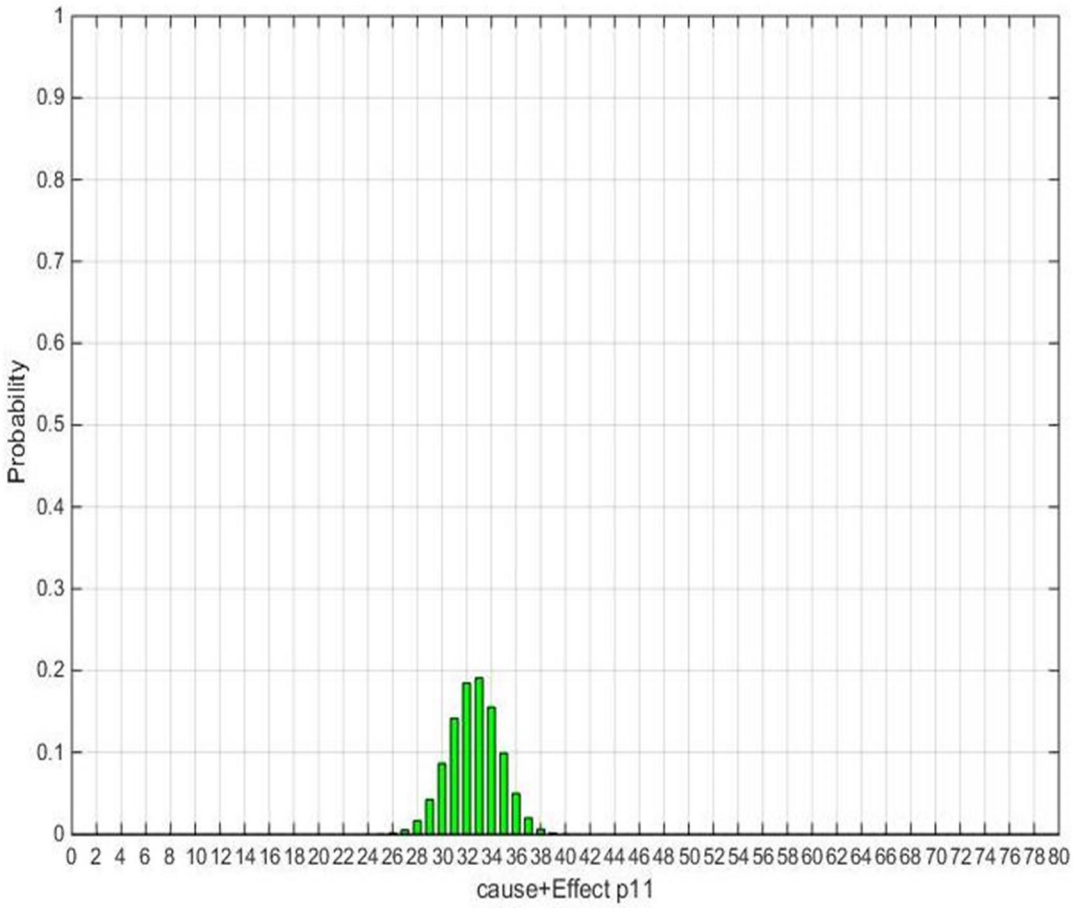
میانگین	انحراف معیار
۲۲/۵	۹/۳۸



شکل ۴-۳۳: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر آنالیز ماده معدنی

جدول ۴-۱۸:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر آنالیز ماده معدنی

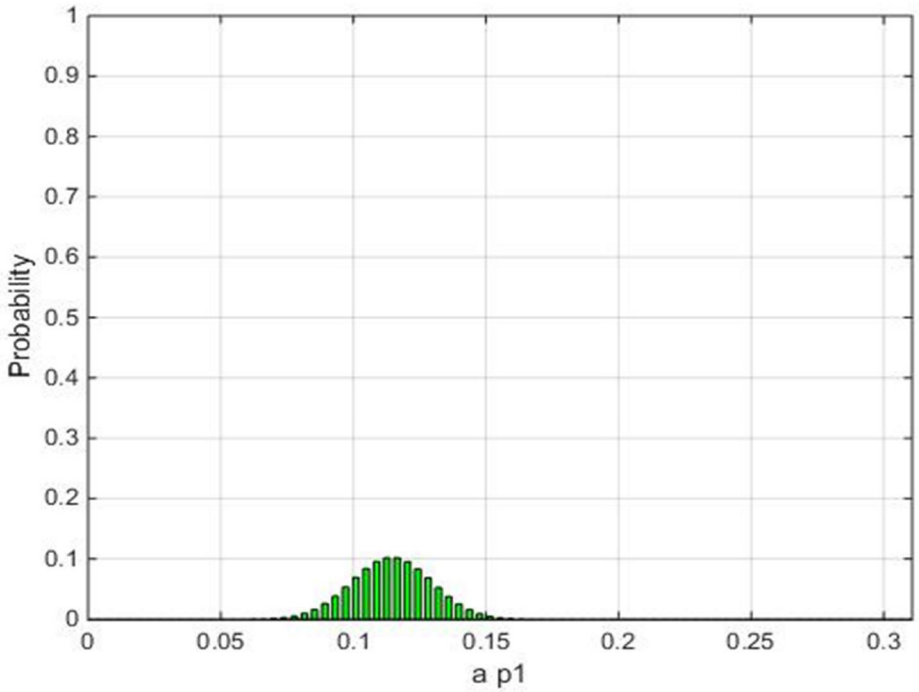
میانگین	انحراف معیار
۱۹	۹/۰۹



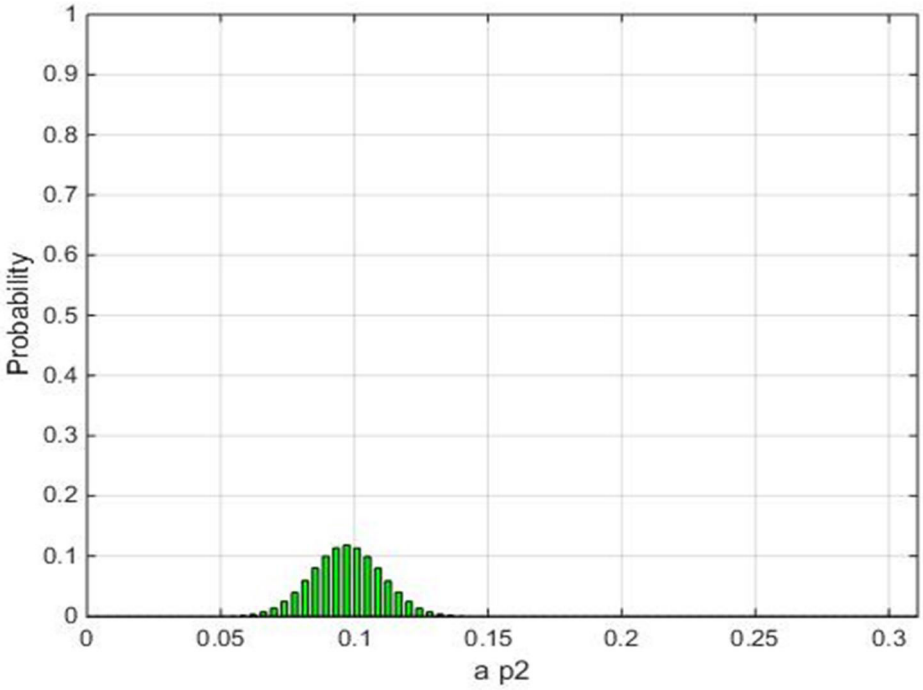
شکل ۴-۳۴: توزیع احتمال برای شدت اندرکنش پارامتر نرخ پیشروی

جدول ۴-۱۹:میانگین و انحراف معیار برای شدت اندرکنش پارامتر نرخ پیشروی

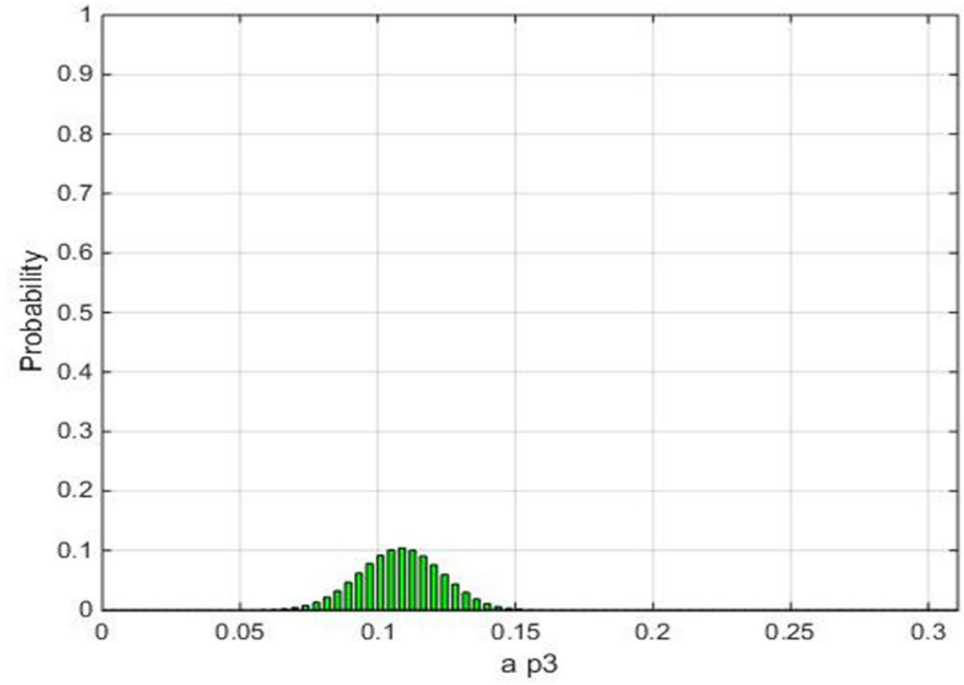
میانگین	انحراف معیار
۳۲	۶/۲۰



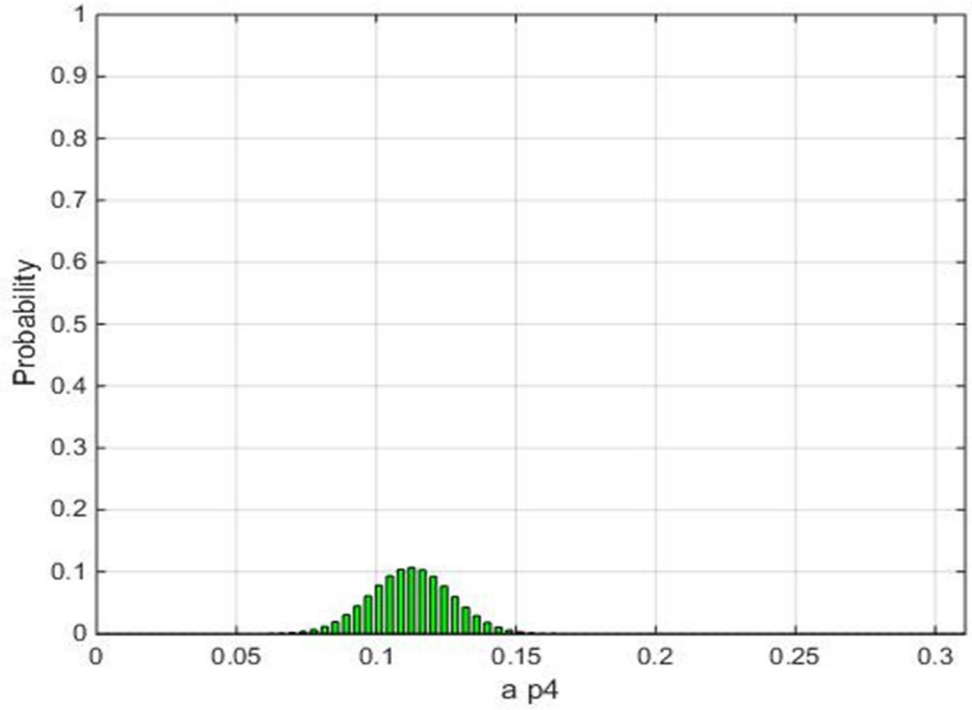
شکل ۴-۳۵: وزن عامل شکستگی



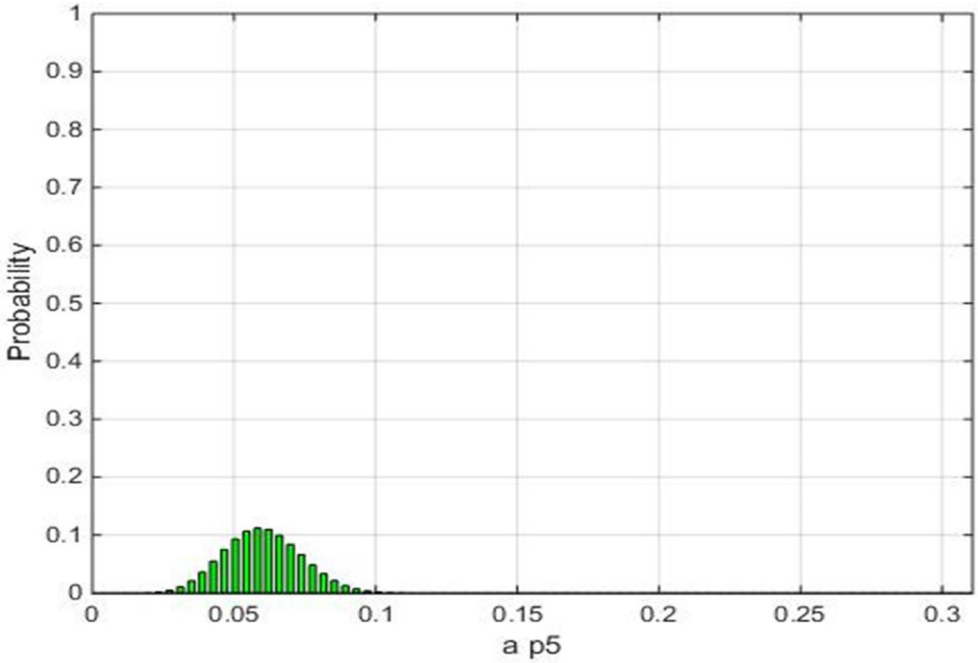
شکل ۴-۳۶: وزن عامل آب



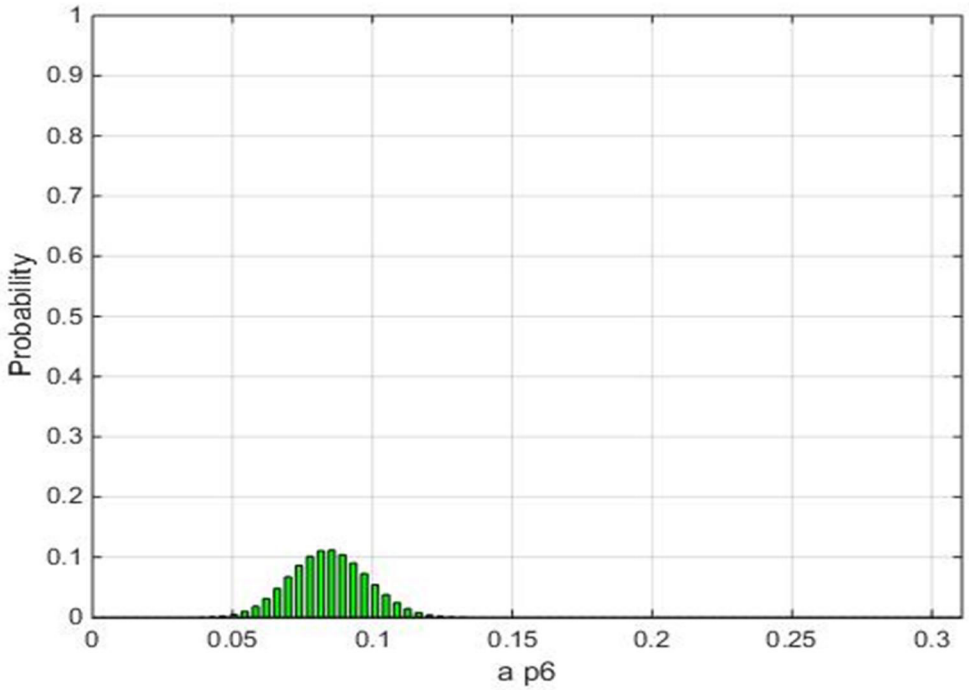
شکل ۴-۳۷: وزن عامل جنس سنگ



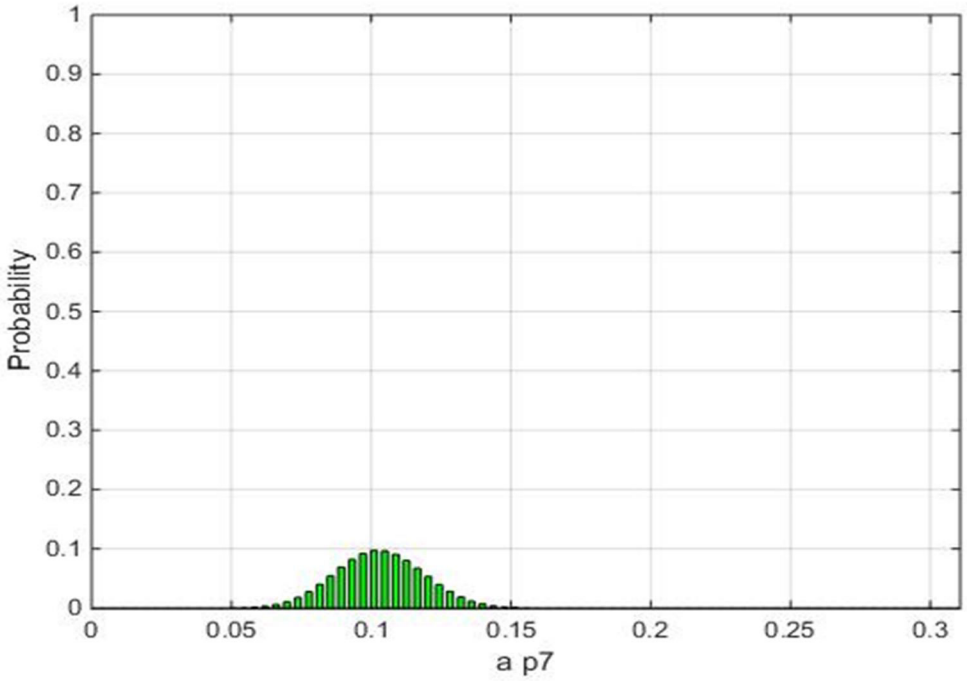
شکل ۴-۳۸: وزن عامل یکنواختی



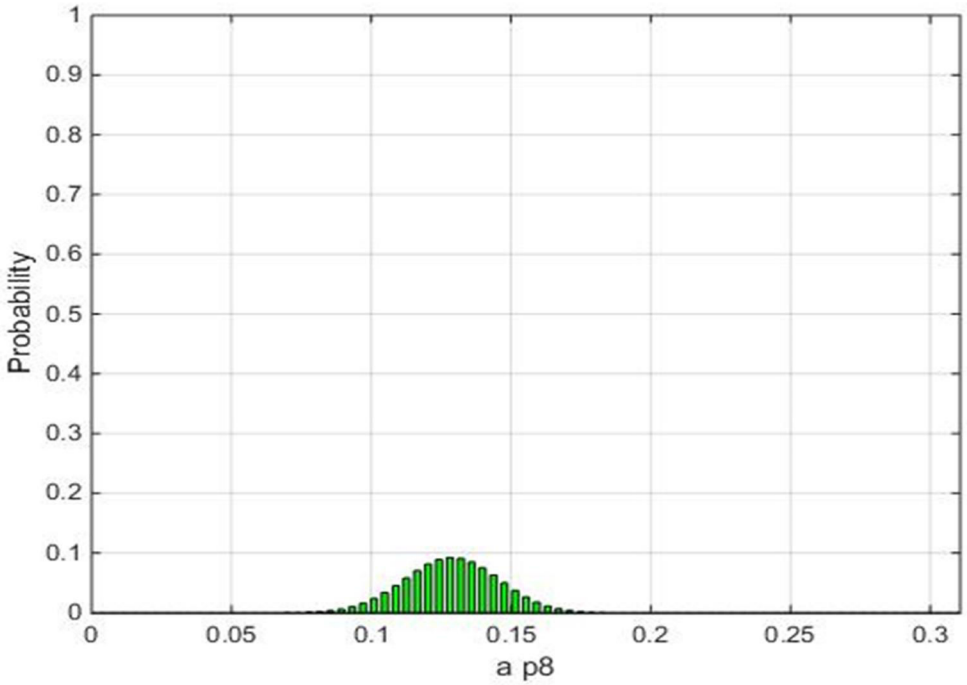
شکل ۴-۳۹: وزن عامل شیب



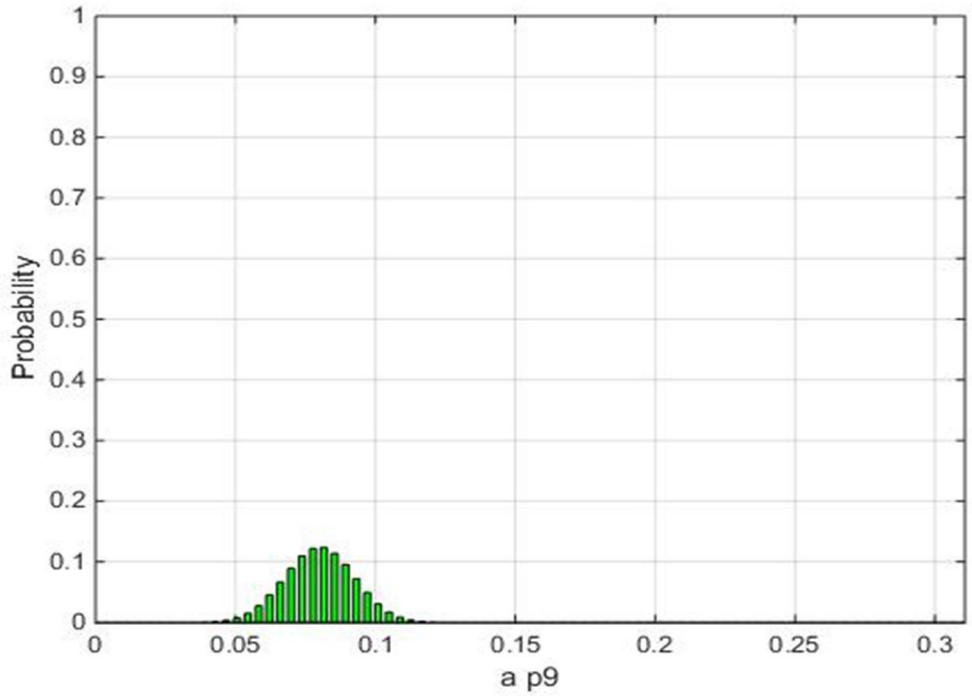
شکل ۴-۴۰: وزن عامل صخامت



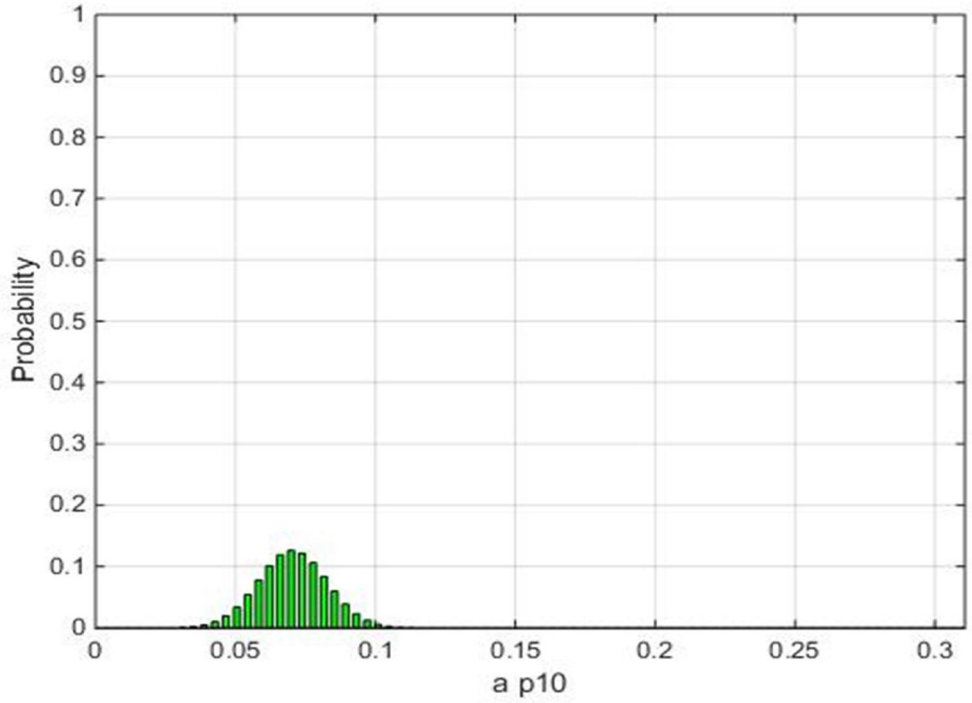
شکل ۴-۴۱: وزن عامل سرمایه‌گذاری



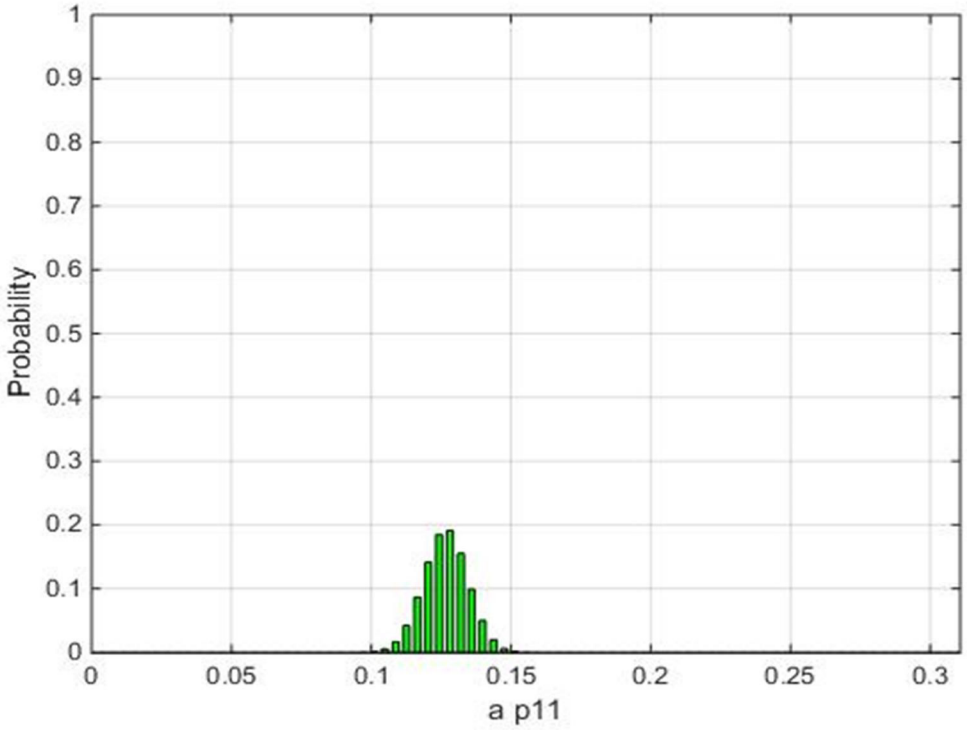
شکل ۴-۴۲: وزن عامل میزان ذخیره



شکل ۴-۴۳: وزن عامل نیروی کار



شکل ۴-۴۴:وزن عامل آنالیز ماده معدنی



شکل ۴-۴۵: وزن عامل نرخ پیشروی

۴-۴- مطالعه موردی

منطقه ممدویه در عرض جغرافیائی $36^{\circ}24'$ و طول جغرافیایی $54^{\circ}34'$ واقع است. این ناحیه در حد واسط طزره و معدن دهملا قرار دارد و از نظر مورفولوژی شامل چهار دره عرضی است که از غرب به شرق عبارتند از از دره رزمجا، دره ممدویه، دره تونل و تأسیسات معدن و گرگ دره. این دره‌ها با شیبی به طرف جنوب به دره اصلی دهملا که جهت شرقی غربی دارد می‌پیوندند. دیواره جنوبی دره اخیر را طبقات برموتریاس و پالئوزوئیک تشکیل می‌دهد (طرح اکتشافی معدن مهماندویه).

اولین بار در سال ۱۳۴۸ توسط کارشناسان شوروی میکائیل[1] منطقه ممدویه مورد شناسائی قرار گرفت که ضمن آن اثرگذاری شدید، تکتونیک توسط نامبرده در این ناحیه یادآوری شده بود و تا مدتی که توجهات اولیه روی منطقه پشکلات در طزره معطوف بود ممدویه چندان در مد نظر قرار

[1] - Mickael

نداشت. تا اینکه ضرورت اکتشاف زغال‌های چوب زمین شناسان را تحت فشار پیدا کردن نواحی دیگری قرار داد.

نخست در اواسط سال ۱۳۵۰ آقایان خارجیکف، مانزلفسکی، شجری-رضوی به بررسی‌های اولیه در ممدویه پرداختند و طی آن یک بلوک نسبتاً سالم برای تهیه نقشه سطحی انتخاب گردید که اینک به ممدویه مرکزی معروف گردیده و تأسیسات معدن در آن پیاده شده است.

کل ذخیره ممدویه مرکزی در سویت پشکلات ۱/۵۴۱ هزار تن و در بخش کلاریز ۶۵ هزار تن تعیین گردیده است. به این ترتیب بدون ممدویه شرقی که احتمال بودن زغال در آن زیاد است منطقه ممدویه مرکزی مجموعاً ۱/۶۰۶ هزار تن در کاتگوری‌های C_1 و C_2 ذخیره دارد (طرح اکتشافی معدن مهماندویه).

از منطقه ممدویه با وسعت کمی‌که دارد (۷-۶ کیلومتر مربع) استخراج از سطح زیر ۱۵۰۰ متر ارتفاع با تکتونیک زیاد این منطقه و ذخیره کم چنان‌چه مقرون به صرفه باشد حداقل مشکلات فراوانی ایجاد می نماید.

مقداری که مسلماً زیاد نخواهد بود ممکن است از ممدویه شرقی به ذخایر فعلی اضافه کرد. ممدویه غربی خالی از ارزش اقتصادی است و از جانب شرق ممدویه به طرف دهملا چنان با وضع آشفته‌ای از نقطه نظر نظم قرارگیری سویت‌ها و ساب سویت‌ها مواجه است که به هیچ وجه امیدی برآن نیست و صرفاً به خاطر ثابت نمودن چنین نتیجه منفی است که اینک در دره دهملا-ممدو نقشه $\frac{1}{5000}$ تهیه شده است (طرح اکتشافی معدن مهماندویه).

ولی اگر آنچنان که تاکنون دیده شده ضرورت استخراج زغال با پلاستیسیته زیاد گاه بیگاه تأکید شود در این صورت منطقه ممدویه علیرغم ذخیره کم خود معدن منحصر بفردی از این نقطه نظر در ایران است.

از آن‌جایی که در این تحقیق از رویکرد احتمالاتی استفاده شده است لذا برای تخمین شاخص سطح تولید از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو[1] استفاده شده است. روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو یک نوع از روش‌های شبیه‌سازی متکی بر نمونه‌گیری تصادفی تکراری و تحلیل آماری برای محاسبه نتایج است و به دلیل آن‌که محاسبات تکرار شونده در سطح گسترده در آن انجام می‌گیرد نیازمند پیاده-سازی با رایانه می‌باشد (Raychaudhuri, 2008).

گام‌های انجام و اجرای شبیه‌سازی مونت کارلو برای یک فرایند فیزیکی به صورت زیر است (Raychaudhuri, 2008):

- تولید مدل‌های استاتیکی که در واقع محدوده‌ای از ورودی‌های مساله را در شرایط ممکن تولید می‌نمایند.
- تولید متغیرهای تصادفی که با استفاده از توابع توزیع ورودی صورت می‌گیرد.
- تحلیل ورودی‌ها براساس محاسبات مشخص و تعیین شده.

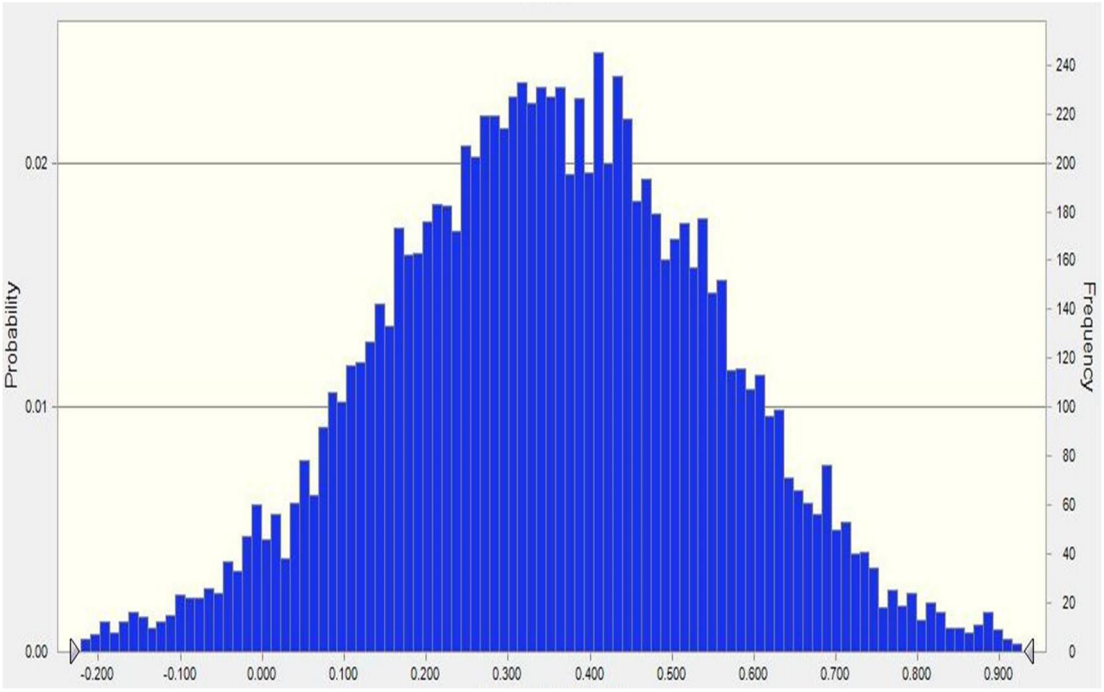
در هر مساله براساس نیاز آن تعداد تکرارها مشخص می‌گردد. در بررسی و براورد شاخص سطح تولید از ۱۰۰۰۰ تکرار برای شبیه‌سازی مونت‌کارلو خروجی استفاده شده است. برای اجرای الگوریتممونت‌کارلو نرم‌افزارهای متفاوتی وجود دارد. در این تحقیق از نرم‌افزار Crystal Ball استفاده شده است. از آن‌جایی که براساس فرمول ارائه شده برای شاخص، حاصل تقسیم دو پارامتر $\frac{p_i}{p_{max}}$ مدنظر است و از سوی دیگر این مقدار به عنوان یک ضریب ثابت در نظر گرفته می‌شود و پارامتر دیگر a_i به صورت توزیع احتمالاتی است لذا در نرم‌افزار Crystal ball با وارد کردن مشخصات حاصل از هر یک از توزیع‌های احتمالاتی مربوط به وزن هر پارامتر و تعیین فرمولاسیون جمع بین این پارامترها می‌توان مشخصات شبیه‌سازی نهایی را به دست آورد.

در شکل ۴-۴۷ توزیع احتمالاتی شاخص سطح تولید معدن زغال‌سنگ مهماندویه با ۱۰۰۰۰ تکرار نشان داده شده است.

[1] Monte Carlo

براساس این شبیه‌سازی مقدار متوسط شاخص سطح تولید با سطح اعتماد ۹۵٪ برابر بـا ۳۱٪ مـی-باشد.

با توجه به جدول ۴-۸ سطح تولید این معدن در حیطه، با تولید پایین یا ضعیف قرار می‌گیـرد کـه در نتیجه می‌توان به این کلیت دست یافت که این معدن از یک سو دارای تولید ضعیف مـی‌باشـد و از سوی دیگر نمی‌توان در این معدن تنها با سرمایه‌گذاری گسترده به سـطح تولیـد بـالا و قابـل تـوجهی رسید و شرایط اعمال شده از سوی زمین سبب عدم توانایی معدن در تولید بالا می‌باشد.



شکل ۴-۴۶: توزیع احتمالاتی شاخص سطح تولید برای معدن زغال‌سنگ مهماندویه با سطح اعتماد ۹۵٪

مقادیر حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو در جدول ۴-۷ ارائه شده است.

جدول ۴-۲۰: پارامترهای آماری حاصل از شبیه‌سازی احتمالاتی با سطح اعتماد ۹۵٪

میانگین ٪	میانه	انحراف معیار	واریانس	Min	Max
۳۱/۶۵	/۳۱	۰.۱۷	۰.۰۲۵۶	-۰.۵۳	۱.۲۱

۴-۵- جمع‌بندی

این فصل به بررسی پارامترهای موثر در سطح تولید معادن زیرزمینی به روش احتمالاتی به منظور ارائه شاخص سطح تولید پرداخته شد. در اولین گام نتایج کلی قابل برداشت از روش RES مرسوم مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته که این نتایج شامل ماتریس میانگین از مجموعه ماتریس‌های موجود، نمودار علت-اثر ماتریس میانگین و شدت اندرکنش پارامترهای موجود در تحلیل مساله است..

سپس به منظور ارزیابی نمودارهای توزیع احتمالاتی برای علت و اثر هر پارامتر به صورت جداگانه آورده شده است در انتها برای محاسبه شاخص ارزیابی تولید وزن هر یک از پارامترهای ماتریس اندرکنش با استفاده از نمودارهای شدت اندرکنش به دست آمد و با به کارگیری طبقه‌بندی ارائه شده در فصل سوم شاخص سطح تولید معرفی گردید.

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در آماده‌سازی‌ها، ماشین‌آلات و روش‌های استخراج در معادن و با توجه به طبیعت پیچیده‌ی پارامترهای موثر در انتخاب نوع روش استخراجی جبهه‌کار طولانی و تعیین سطح تولید حاصل از آن، انجام مطالعاتی در این راستا ضروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش بر مبنای روش‌های دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه جبهه‌کار طولانی و عوامل موثر در تولید زغال به شناسایی فاکتورهای موثر در سطح تولید در این روش پرداخته شده است. سپس با استفاده از عوامل شناسایی شده شاخص سطح تولید به دست آمد، که معرف توانایی تولید در یک معدن با مشخصات و ویژگی‌های منحصر به فرد آن است.

با در دست بودن یک شاخص مناسب به منظور تعیین سطح تولید می‌توان پیش از شروع به استخراج و در مرحله‌ی ابتدایی آن، با توجه به شرایط موجود از نظر اقتصادی، ساختاری در رابطه با توان تولیدی معدن قضاوت‌های اولیه‌ای نمود و به نتایجی در این زمینه رسید.

لذا با در نظر گرفتن پارامترهای موثر در ارزیابی سطح تولید و در صورت وجود شاخص آن، می‌توان ریسک موجود در سرمایه‌گذاری کلان را کاهش داد و به صورت سیستماتیک روش استخراجی ارجح (دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه) را انتخاب نمود.

در راستای تعیین شاخص ارزیابی سطح تولید برای معادن زیرزمینی زغال در این تحقیق از رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ (RES[1]) استفاده شده است.

لذا ابتدا مجموع عواملی که در سطح تولید یک معدن زغال‌سنگ موثر است با استفاده از نظرات کارشناسان، منابع و با توجه به سابقه‌ی نویسنده در معادن زغال جمع‌آوری شده است. پس از جمع‌آوری پارامترهای موثر، به منظور ارائه شاخص سطح تولید هر یک از پارامترها طبقه‌بندی شده و به افرازهای مختلفی براساس نظرات کارشناسان تقسیم‌بندی شده‌اند

[1] Rock Engineering Systems

با استفاده از رویکرد RES احتمالاتی، ماتریس‌های اندرکنش M_0 تا M_4 بـه دسـت آمـده و سـپس نمودارهای توزیع احتمالاتی علت-اثر رسم شده‌اند. به منظور بررسـی انـدرکنش پارامترهـا بـا سیسـتم نمودارهای احتمالاتی، شدت اندرکنش برای عوامل مختلف ترسیم شده است که نشان دهنده‌ی شـدت اندرکنش بالا برای میزان ذخیره و نرخ پیشروی در ارزیابی سطح تولیدی می‌باشند.

در آخرین گام وزن هر یک از عوامل برای محاسبه‌ی شاخص تولید با استفاده از منطـق احتمـالاتی به دست آمده است. با استفاده از وزن هر یک از عوامل و طبقه‌بندی ارائه شده برای پارامترهـا شـاخص سطح تولید قابل دسترسی می‌باشد.

به منظور مطالعه‌ی موردی از معدن مهماندویه در این تحقیق استفاده شده است کـه بـا توجـه بـه روش احتمالاتی به کار رفته در این پژوهش از روش شبیه‌سـازی مونـت‌کـارلو بـرای بـه دسـت آوردن شاخص سطح تولید استفاده شده است.

نتایج به دست آمده از شاخص نشان دهنده‌ی سطح ضعیف تولیـد بـرای ایـن معـدن اسـت کـه در واقعیت نیز روش جبهه‌کار طولانی دستی برای استخراج این معدن به کار برده می‌شود کـه دلیلـی بـر عدم توانایی این معدن در سطح تولید بالا است. در نتیجه می‌توان به این کلیت دسـت یافـت کـه ایـن معدن از یک سو دارای تولید ضعیف می‌باشد و از سوی دیگر نمی‌توان در این معدن تنهـا بـا سـرمایه-گذاری گسترده به سطح تولید بالا و قابل توجهی رسید و ویژگی‌های ساختاری زمین پـارامتر مسـدود کننده‌ی افزایش سطح تولید است.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به اهمیت سطح تولید و درک پتانسیل واقعی معادن و مطالعات اندکی که در ارائه‌ی روش-های نوین و کارامد در این راستا وجود دارد نتایج حاصل از این پایان‌نامه می‌تواند شروع مناسبی باشد. لذا پیشنهادات زیر جهت ادامه‌ی این چنین مطالعاتی بیان می‌شود:

- استفاده از منطق فازی برای افزایش دقت نتـایج حاصـل از طبقـه‌بنـدی معیارهـا و یـا در طبقه‌بندی شاخص

- استفاده از روش‌های نوین تخمین ذخیره و مدل‌سازی به منظور تعیین عددی میزان سطح تولید و مقایسه آن با روش‌های دیگر همچون RES
- استفاده از رویکرد فازی در روش RES و مقایسه آن با نتایج احتمالاتی

بخشی از کد تهیه شده در محیط نرم‌افزار :MATLAB

```
clc;
clear all;
% daryafte matrix input b tedade expert;
exp1 = xlsread ( 'matrix','1' );
exp2 = xlsread ( 'matrix','2' );
exp3 = xlsread ( 'matrix','3' );
exp4 = xlsread ( 'matrix','4' );
exp5 = xlsread ( 'matrix','5' );
exp6 = xlsread ( 'matrix','6' );
exp7 = xlsread ( 'matrix','7' );
exp8 = xlsread ( 'matrix','8' );
exp9 = xlsread ( 'matrix','9' );
exp10 = xlsread ( 'matrix','10' );
exp11 = xlsread ( 'matrix','11' );
exp12 = xlsread ( 'matrix','12' );
exp13 = xlsread ( 'matrix','13' );
exp14 = xlsread ( 'matrix','14' );
exp15 = xlsread ( 'matrix','15' );
%first : all cell same input matrix.
%second : tedade 0,1,2..,4 moshakhas.
%third : matrix ma0,ma1,...moshakhas.
for t = 1 : 11
   for y = 1 : 11
      if t ~= y

m00=horzcat(exp1(t,y),exp2(t,y),exp3(t,y),exp4(t,y),exp5(t,y),exp6(t,y),exp7(t,y),exp8(t,y),exp9(t,y),exp10(t,y),exp11(t,y),exp12(t,
y),exp13(t,y),exp14(t,y),exp15(t,y));
            zero = 0;
             one = 0;
             two = 0;
             three = 0;
             four = 0;
            for j = 1 : 15
              if m00 (j) == 0
                 zero = zero +1;
              elseif m00 (j) == 1
                 one = one + 1;
              elseif m00 (j) == 2
                 two = two + 1;
              elseif m00 (j) == 3
                 three = three + 1;
              else
                four = four + 1;
              end
              m0 (t,y) = ((zero/15)*100);
```

```
            m1 (t,y) = ((one/15)*100);
            m2 (t,y) = ((two/15)*100);
            m3 (t,y) = ((three/15)*100);
            m4 (t,y) = ((four/15)*100);
          end
            clear zero;
            clear one;
            clear three;
            clear four;
        end
      end
  end
  % hazfe drayehaye ghotre asli
ma0(1,1:10) = m0(1,2:11);
    ma0 (2,1) = m0(2,1);
    ma0 (2,2:10) = m0(2,3:11);
    ma0 (3,1:2) = m0(3,1:2);
    ma0 (3,3:10) = m0(3,4:11);
    ma0 (4,1:3) = m0(4,1:3);
    ma1(1,1:10) = m1(1,2:11);
    ma1 (2,1) = m1(2,1);
    ma1 (2,2:10) = m1(2,3:11);
    ma1 (3,1:2) = m1(3,1:2);
    ma1 (10,10) = m1 (10,11);
    ma1 (11,1:10) = m1 (11,1:10);
    ma2(1,1:10) = m2(1,2:11);
    ma2 (2,1) = m2(2,1);
    ma2 (2,2:10) = m2(2,3:11);
    ma2 (3,1:2) = m2(3,1:2);
    ma2 (3,3:10) = m2(3,4:11);
    ma2 (4,1:3) = m2(4,1:3);
    ma2 (10,1:9) = m2 (10,1:9);
    ma2 (10,10) = m2 (10,11);
    ma3(1,1:10) = m3(1,2:11);
    ma3 (2,1) = m3(2,1);
    ma3(2,2:10) = m3(2,3:11);
    ma3 (3,1:2) = m3(3,1:2);
    ma3 (3,3:10) = m3(3,4:11);
    ma3 (4,1:3) = m3(4,1:3);
    ma3 (4,4:10) = m3(4,5:11);
    ma3 (5,1:4) = m3(5,1:4);
    ma4 (2,1) = m4(2,1);
    ma4 (2,2:10) = m4(2,3:11);
    ma4 (3,1:2) = m4(3,1:2);
    ma4 (3,3:10) = m4(3,4:11);
    ma4 (4,1:3) = m4(4,1:3);
% baraye tashkile matrice koliye halate momken
    clear i;
    clear j;
```

```
o = 1;
for i = 0 : 4
   for j = 0 : 4
      for ii = 0 :4
         for k = 0 : 4
            for kk = 0 : 4
               for r = 0 :4
                  a  = [ i j ii k kk r];
                  bigmat {1,o} = a;
                  o = o + 1;
               end
            end
         end
      end
   end
end
clear i;
clear j;
v = 1;
for i = 0 : 4
   for j = 0 : 4
      for m = 0 : 4
         for n = 0 : 4
            u  = [i j m n];
            bigmat {2,v} = u;
            v = v + 1;
         end
      end
   end
end



clear k;
% tashkile matrix majmoo adad.
sum0 = 0;
for hj = 1 : 40
   sum (hj) = 0;
end
%ebteda matrix koli tashkil va sepas farayande jostojoo anjam mishavad


for p = 1 : 11
   for iii = 1 : 15625
      for a = 1 : 625
         clear tashkh0;
         clear tashkh1;
         clear tashkh2;
         clear tashkh3;
         clear tashkh4;
```

```
clear hasezar;
clear tashkh0;
clear tashkh1;
clear tashkh2;
clear tashkh3;
clear tashkh4;
clear sumargham;
kkk = cell2mat (bigmat(1,iii));
kkk (7 : 10) = cell2mat (bigmat(2,a));
k2 = kkk;
sumargham = k2(1)+k2(2)+k2(3)+k2(4)+k2(5)+k2(6)+k2(7)+k2(8)+k2(9)+k2(10);
tashkh0 = find (k2 == 0);
tashkh1 = find (k2 == 1);
tashkh2 = find (k2 == 2);
tashkh3 = find (k2 == 3);
tashkh4 = find (k2 == 4);
barr0 = [];
barr1 = [];
barr2 = [];
barr3 = [];
barr4 = [];
```

- Bartolomei, J., (2005), “searching for real option opportunities in an engineering system”, pp. 1-11.
- Chan, M., (2008), “Coal Supply and cost under technological and environmental uncertainly”, Phd Thesis, Carnegie Mellon University, pp. 7-11.
- Deng, J., (1982), “control problems of grey systems”, system & control letters, Vol 1, No 5.
- Hadson, J., Harrison, J., (1992), “A New approach to studying complete rock engineering problems”, Quarterly journal of engineering geology,vol. 25, pp. 93-105.
- Haines, S., (2000), “The Systems Thinking Approach to Strategic Planning and Management”. CRC Press.
- Hartman, L., (1992), “SME Mining Engineering Handbook”, Third Edition.
- Hudson J., (2014), “A review of Rock Engineering Systems (RES) applications over the last 20 years”, CRC Press.
- Jiao, Y., Hudson, J., (1995) “the fully-coupled model for rock engineering systems”, International Journal of Rock Mechanicis and Science, vol. 32 No. 5. pp. 491-512.
- Kalamaras, G., (1997), “a computer-based system for supporting decisions for tunneling in rock under conditions of uncertainty”, International Journal of Rock Mechanicis and Science, vol. 34, No. 3-4, pp. 1-8.
- Kayacan, E., Ulutas, B., Kaynak, O., (2010), “Grey system theory-based models in time series prediction”, Expert system with application, pp. 1-3.
- Kumar, R., Singh, A., Mishra, A., Singh R., (2015), “Underground mining of thick coal seams”, International Journal of Mining Science and Technology vol. 25, No. 6, pp. 885–896.
- Latham, J., Lu, P., (1999), “Development of an assessment system for the blastability of rock masses”, International Journal of Rock Mechanicis and Science, Vol. 36, pp. 41–55.
- Mohutsiwa, M., Musingwini, C., (2015), access at www.scielo.org.za /scielo.php ?script=sci_ arttext&pid=S0038-223X2015000800020.
- Naghadehi, M., Khalokakaie, R., A, (2012), “Probabilistic system methodology to analyze the importance of factors affecting the stability of rock slopes”, Vol. 118, issues. 3-4, pp. 82–92.
- Nelson, W., (1981), “GEOLOGIC DISTURBANCES IN ILLINOIS COAL SEAMS”.
- Raychaudhuri, s., “introduction to Monte Carlo simulation”, Proceeding of the simulation Conference, 2008.
- Rosnay, J., (1997), “Analytic VS. Systemic Approaches”, principle cybernetic web: http://pespmc1.vub.ac.be/analsyst.html.

- Senkar, U., (2010), “review of role of insitu horizontal stress in coal mines”, http://www.slideshare.net/sankarsulimella/horizonta-stress.
- singh, R., (2004), “Principles and Practices of Modern Coal Mining”.
- Shafiee, s., Nehring, M., Topal, E., Estimating Average Total Cost of Open Pit Coal Mines in, access at http:// www.infomine.com/ library/ publications/ docs/ Shafiee2009a.pdf.
- Shilts, W., (1999), “Availability of coal Resources for Mining in lllinois”, Department of Natural Resource, internet access at: https: //www.isgs.illinois. edu/sites /isgs/files /files /coal-maps/ofs1999-7.pdf.
- Slatick, R., (1995), “Longwall Mining”. Energy Information Administration/ Longwall.
- Straskraba, V., Effner, S., Water control in underground mines, International mine water association, at: http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/ index.cgi/ 4265704/ FID1578/pdf/coal_nuc/tr0588.pdf.
- Williams, A., (2005), “Undeground coal mining: factors, cost, and time consideration”, NCCI, at: http://www.thecoalinstitute.org/ckfinder/userfiles/files/Fall_Skelly_Loy.pdf.
- Internet access: **www.uky.edu/kgs/coal/coal_mining.htm**.
- Internet access: www.hydrofrac.com/hfn_co.
- Yang, Y., Zhang, Q., (1998), “the application of neural networks to rock engineering systems (RES)”, International Journal of Rock Mechanicis and Science, Vol. 35 No. 6, pp. 727–745.
- Zhao, H., Ma, F., Xu, J., Gua, J., (2012), “In situ stress field inversion and its application in mining induced rock mass movement”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 53, pp. 120–128.
- اصانلو، مهندسی زغال سنگ، انتشارات ناقوس اندیشه، ۱۳۷۸.
- تهوری، زهرا، بررسی میزان رضایت شغلی کارکنان شاغل در بخش مدیریت پردازش کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران، فصلنامه علوم و فناوری اطلاعات، دوره ۲۱، شماره ۲، ۱۳۸۴.
- عطایی، روشهای استخرج زیرزمینی، جلد دوم، ۱۳۹۱.
- مختاری، قاسم، مقدمه‌ای بر تفکر سیستمی، ویرایش ششم، ۱۳۸۸.
- طرح اکتشافی معدن مهماندویه

Abstract:

Longwall mining is one of two basic methods in coal underground mining. In Iran due to the poor economic situation and lack of an efficient method to determine the mining method and its feasibility, production level is not usually appropriate and non-mechanized methods are used in most coal mines. Maybe in coal mine is added equipment, production level increased. So using an appropriate method to parameter assessment in production level is achieved by mining method selection guide and this can help to improve the level of production in these mines. in this study, based on coal mining methods and factors affecting, influence parameters on the level of production are discussed. Then using the factors identified to assessing these parameters and in order to analyze and identify factors affecting the level of production in coal mine, based on probabilistic rock engineering systems (PESQ) methods are used. After assessing these parameters have been introduced production level index as probabilistic that it deals to assessing the potential level of production in mine. Finally to validation the proposed index, from information of MEHMANDOYE mine is used that the results of the index is good agreement with existing conditions.

Key words:

Longwall mining, Rock Engineering Systems, probabilistic coding, Production level Index, Coal mines

Shahroud University of Technology

Kharazmi International Campus

M.Sc. Thesis in mineral Exploration

Production Level Index in Underground Coal Mines Based on Rock Engineering Systems

By:Vahid Ghazvini

Supervisors:

Dr. Reza Khalukakayy

Dr. Mohammad Ataei

September 2017