

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته مهندسی نفت گرایش حفاری

استفاده از داده‌های دال بیت در انتخاب مته به کمک شبیه سازی مونت کارلو

نگارنده: بهنام کنعانی

اساتید راهنما:

دکتر سجاد نگهبان

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

اساتید مشاور

دکتر مهدی شاداب‌فر

مهندس رضا جهان مهین

دی ماه ۱۳۹۹

شماره: ۳۶۹۹/۴۲.۳
تاریخ: ۳۰/۱۲/۹۹

باسم تعالی



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای بهنام کنعانی برانقار با شماره دانشجویی ۹۷۳۴۱۸۴ رشته مهندسی نفت گرایش حفاری تحت عنوان استفاده از داده‌های دال بیت در انتخاب مته به کمک شبیه سازی مونت کارلو که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۰/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۸/۹۹
ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد
نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر سجاد نگهبان	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی	دانشیار	
۳- استاد مشاور اول	دکتر مهدی شاداب فر	مدرس	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد رداد	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر مهرداد سلیمانی منفرد	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر یوسف شیری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد عطائی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم اثر:

تقدیم به تمام زحماتشان خط مقدم صنعت نفت که با از خودگذشتگی در سخت ترین شرایط، کار و تلاش می کنند.

شکر و قدردانی:

پاس سیکران پروردگار یکتا را که، هستیان بخشد و به طریق علم و دانش راهنمایان شد و به هم نشینی به روان علم و دانش ممتحرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیای ساخت.

و پاس از:

پدر عزیزم، به خاطر تمامی زحمات، فداکاری ها و حمایت های بی دریغت

مادر عزیزم، دیای سیکران فداکاری و عشق که وجودم برایت همه ننج بود و وجودت برایم همه مهر

همسر و فرزند عزیزم که وجودشان امید بخش زندگی من است

مهندسان و بهکاران در صنعت نفت به ویژه مهندس عبدی و مهندس کاظم زاده که از علم و تجربه خود به من آموختند تا در این

راه کام بردارم.

در انتها از اساتید محترم، جناب آقایان دکتر نگهبان، دکتر کاکار روحانی و دکتر شاداب فر که بارهمنامی های ارزنده تلاش

کردند به مقصود خود دست یابم، کمال قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **بهنام کنعانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی نفت - گرایش حفاری** دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه استفاده از داده‌های **دال بیت در انتخاب مته به کمک شبیه سازی مونت کارلو**، تحت راهنمایی دکتر سجاد نگهبان و دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی 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 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 رایانه‌ای، 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:

یکی از روش‌های انتخاب مته، استفاده از جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده است. این جدول طبقه‌بندی، یک روش قاعده‌مند برای ثبت خرابی‌ها و اثرات پارامترهای قابل کنترل و غیرقابل کنترل حفاری بر روی مته است. مته‌ای که از چاه خارج می‌شود، حاوی اطلاعات بسیار مهمی از شرایط حفاری است که با استفاده از این جدول، می‌توان اطلاعات مناسبی را از آن استخراج کرد.

با توجه به شرایط حفاری و عدم قطعیتی که در انتخاب مته وجود دارد، در این پژوهش برای نخستین بار، از داده‌های مته‌های کارکرده و شبیه‌سازی مونت کارلو برای ارزیابی شاخص عملکرد مته استفاده شد. به همین منظور ابتدا، داده‌ها پیش‌پردازش و برای استفاده در شبیه‌سازی آماده شدند. سپس رابطه شاخص عملکرد به عنوان یک مدل جدید برای تعیین میزان فرسودگی تعریف شد. در ادامه با توجه به داده‌های گذشته، الگوریتمی برای تولید داده‌های مصنوعی به دو روش مونت کارلو و بوت‌استرپ مونت کارلو مورد استفاده قرار گرفت. در روش مونت کارلو از میان چهار مته مورد مطالعه (517, M423, M223 و M1665)، مته M223 با شاخص عملکرد 0.73 برای حفره $12-1/4$ با دقت 99% انتخاب گردید. در روش بوت‌استرپ مونت کارلو برای انتخاب مته از احتمال فراگذشت (Exceedance probability) شاخص عملکرد استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که با افزایش شاخص عملکرد، احتمال فراگذشت به شدت افت کرده به طوری که برای شاخص عملکرد بزرگتر از 0.65 احتمال فراگذشت به زیر 5% می‌رسد که بیانگر نامحتمل بودن دستیابی مته‌ها به این سطح از عملکرد می‌باشد. با این حال از میان چهار مته مورد بررسی، مته M223 احتمال فراگذشت بیشتری را نشان داد که می‌تواند مته مناسبی برای حفاری باشد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب مته، جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده، پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها، شبیه‌سازی مونت کارلو

فهرست مطالب

۱.....	فصل اول: کلیات
۲.....	۱-۱ مقدمه
۴.....	۱-۲ سابقه موضوع
۸.....	۱-۳ اهداف و ضرورت انجام تحقیق.....
۹.....	۱-۴ روش انجام تحقیق
۱۰.....	۱-۵ ساختار پایان نامه.....
۱۱.....	فصل دوم: تئوری تحقیق.....
۱۲.....	۲-۱ مقدمه.....
۱۳.....	۲-۲ انواع مته‌های حفاری
۱۳.....	۲-۲-۱ مته‌های کاجی
۱۵.....	۲-۲-۲ مته های تیغه ثابت
۱۷.....	۲-۲-۳ مته های مغزه گیری
۱۷.....	۲-۳ روش‌های انتخاب مته
۱۸.....	۲-۳-۱ روش هزینه حفاری در واحد عمق
۲۰.....	۲-۳-۲ روش انرژی ویژه در حفاری سنگ.....
۲۱.....	۲-۳-۳ روش نرخ نفوذ.....
۲۵.....	۲-۳-۴ روش شبکه عصبی
۲۵.....	۲-۳-۵ طبقه‌بندی مته های کارکرده
۳۰.....	۲-۴ روش مونت کارلو
۳۱.....	۲-۴-۱ پیشینه روش مونت کارلو.....
۳۲.....	۲-۴-۲ مراحل شبیه سازی مونت کارلو از یک فرآیند فیزیکی.....
۳۳.....	۲-۴-۳ روش شناسایی توزیع ورودی
۳۳.....	۲-۴-۴ تولید متغیر تصادفی.....
۳۴.....	۲-۴-۵ آنالیز خروجی شبیه سازی مونت کارلو.....

۳۴	۲-۴-۶ همگرایی روش مونت کارلو.....
۳۴	۲-۴-۷ روش بوت استرپ مونت کارلو.....
۳۶	۲-۵ تبدیل داده و محاسبات آماری.....
۳۶	۲-۵-۱ تبدیل داده.....
۳۸	۲-۵-۲ محاسبات آماری.....
۳۸	۲-۵-۲-۱ میانگین.....
۳۸	۲-۵-۲-۲ واریانس.....
۳۹	۲-۵-۲-۴ تابع حالت حدی.....
۴۰	۲-۵-۲-۵ احتمال فراگذشت.....
۴۱	فصل سوم: انتخاب مته با استفاده از داده‌های جدول طبقه‌بندی به کمک روش مونت کارلو.....
۴۲	۳-۱ مقدمه.....
۴۳	۳-۲ موقعیت و مشخصات زمین شناسی میدان مورد مطالعه.....
۴۴	۳-۳ روش هزینه حفاری در واحد عمق.....
۴۷	۳-۴ لیست و پیش پردازش داده‌ها.....
۵۱	۳-۵ تعریف شاخص عملکرد مته.....
۵۲	۳-۶ انتخاب مته با استفاده از جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده به کمک روش مونت کارلو.....
۵۲	۳-۶-۱ مشخص کردن تابع توزیع احتمال مشخصه‌ها.....
۶۱	۳-۶-۲ تولید نمونه تصادفی.....
۶۵	۳-۶-۳ محاسبه شاخص عملکرد.....
۶۷	۳-۶-۴ آنالیز و نتیجه‌گیری.....
۷۴	۳-۷ انتخاب مته با استفاده از جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده به کمک روش بوت استرپ مونت کارلو.....
۷۵	۳-۷-۱ آنالیز و تصمیم‌گیری.....
۷۶	۳-۸ همگرایی روش مونت کارلو.....
۷۹	۳-۹ نمودار احتمال فراگذشت.....
۸۷	فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۸۸	۴-۱ نتیجه‌گیری.....
۹۰	۴-۲ پیشنهادات.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ انواع مته‌های حفاری ۱۳
- شکل ۲-۲ مته‌های کاجی ۱۴
- شکل ۳-۲ مته‌های تیغه ثابت ۱۶
- شکل ۴-۲ مته‌های مغزه‌گیری ۱۷
- شکل ۵-۲ مته‌های کارکرده ۲۷
- شکل ۶-۲ ردیف دندانه‌های داخلی ۲۹
- شکل ۷-۲ ردیف دندانه‌های خارجی ۳۰
- شکل ۸-۲ اندازه‌گیری قطر مته ۳۰
- شکل ۹-۲ روش رد- پذیرش ۳۴
- شکل ۱۰-۲ توصیف شماتیک از نمونه‌گیری بوت استرپ ۳۷
- شکل ۱-۳ سازندهای میدان مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۲-۳ هزینه حفاری واحد عمق برای مته‌های مورد مطالعه ۴۵-۴۴
- شکل ۳-۳ نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مته 517 ۵۴-۵۳
- شکل ۴-۳ نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مته M423 ۵۶-۵۵
- شکل ۵-۳ نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مته M223 ۵۸-۵۷
- شکل ۶-۳ نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مته M1665 ۶۰-۵۹
- شکل ۷-۳ مشخصه‌های شبیه‌سازی شده جدول طبقه‌بندی مته 517 ۶۲-۶۱
- شکل ۸-۳ مشخصه‌های شبیه‌سازی شده جدول طبقه‌بندی مته M423 ۶۲-۶۳
- شکل ۹-۳ مشخصه‌های شبیه‌سازی شده جدول طبقه‌بندی مته M223 ۶۳-۶۴
- شکل ۱۰-۳ مشخصه‌های شبیه‌سازی شده جدول طبقه‌بندی مته M1665 ۶۴-۶۵
- شکل ۱۱-۳ شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته 517 ۶۵
- شکل ۱۲-۳ شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته M423 ۶۶
- شکل ۱۳-۳ شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته M223 ۶۶

- شکل ۳-۱۴ شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته M1665 ۶۶
- شکل ۳-۱۵ مقایسه میانگین شاخص‌های عملکرد شبیه‌سازی شده مته‌های مورد مطالعه ۷۲
- شکل ۳-۱۶ مقایسه میانگین شاخص عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده ۷۳
- شکل ۳-۱۷ مقایسه احتمال فراگذشت مته‌های مورد مطالعه ۷۶
- شکل ۳-۱۸ نمودار همگرایی روش مونت‌کارلو ۷۸-۷۹
- شکل ۳-۱۹ نمودار احتمال فراگذشت برای چهار مته ۸۲
- شکل ۳-۲۰ نمودار انحراف معیار در برابر احتمال فراگذشت محاسبه شده ۸۳-۸۵

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ نحوه نام گذاری مته‌های کاجی..... ۱۵
- جدول ۲-۲ نحوه نام‌گذاری مته‌های تیغه ثابت ۱۷
- جدول ۳-۲ توصیف کاراکترهای جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده ۲۹
- جدول ۱-۳ هزینه حفاری در واحد عمق چهار مته مورد مطالعه ۴۶
- جدول ۲-۳ جدول طبقه‌بندی مته‌های مورد مطالعه ۴۷
- جدول ۳-۳ نحوه تبدیل داده‌ها ۴۹
- جدول ۴-۳ داده‌های پردازش شده جدول طبقه‌بندی مته‌های مورد مطالعه ۵۰
- جدول ۵-۳ مقایسه میانگین و انحراف استاندارد مشخصه‌های جدول طبقه‌بندی مته 517 ۶۸
- جدول ۶-۳ مقایسه میانگین و انحراف استاندارد مشخصه‌های جدول طبقه‌بندی مته M423 ۶۹
- جدول ۷-۳ مقایسه میانگین و انحراف استاندارد مشخصه‌های جدول طبقه‌بندی مته M223 ۷۰
- جدول ۸-۳ مقایسه میانگین و انحراف استاندارد مشخصه‌های جدول طبقه‌بندی مته M1665 ۷۱
- جدول ۹-۳ مقایسه میانگین و انحراف استاندارد شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته‌های مورد مطالعه ۷۲
- جدول ۱۰-۳ احتمال فراگذشت حاصل از شبیه‌سازی مته‌های مورد مطالعه ۷۶
- جدول ۸-۳ احتمال فراگذشت برای مقادیر مختلف R_0 ۷۰

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

پارامترهای موثر بر عملکرد مته، الگوهای پیچیده‌ای دارند. رابطه بین خصوصیات سازند، مشخصات سیال حفاری، طراحی مته و پارامترهای عملیاتی در این الگو قابلیت درک آسانی را ندارند. برای حفاری یک چاه، متغیرهایی از قبیل سایز مته، وزن روی مته، سرعت چرخش، نرخ پمپاژ، متراژ حفاری و نوع مته، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از این رو بر اساس عملکرد مته‌ها در چاه‌های همجوار^۱ می‌توان نوع مته را انتخاب نمود [۱].

از جمله اطلاعاتی که از چاه‌های همجوار بدست آید، جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده^۲ است که پس از پایان حفاری، مته از چاه خارج شده، خصوصیات فیزیکی و ظاهری آن بررسی و براساس فرسودگی و خوردگی‌های ایجاد شده در قسمت‌های مختلف، کد طبقه بندی به آن تعلق می‌گیرد.

این کد طبقه‌بندی، توسط انجمن بین‌المللی پیمانکاران حفاری^۳ (IADC) در سال ۱۹۹۲، برای طبقه‌بندی مته‌های کارکرده ارائه شد. در این روش یک مته کارکرده با ترکیبی از ۸ کد به صورت عدد و حروف انگلیسی وضعیت فرسودگی آن مشخص می‌شود [۲].

به عنوان مثال مته 115 پس از حفاری و خارج شدن از چاه وضعیت آن با ۸ مشخصه به صورت کد طبقه‌بندی (1-1-BU-A-E-I-NO-TD) مشخص می‌شود. کارشناسان حفاری با مشاهده مجموعه‌ای از این کدهای طبقه بندی شده مته‌های مختلف، می‌توانند از شدت آسیب‌دیدگی و فرسایش مته‌های حفاری اطلاع کسب کرده و برای انتخاب مته مناسب برای حفر چاه‌های جدید تصمیم‌گیری کنند.

در این مطالعه تلاش شد برای نخستین بار با استفاده از جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده و شبیه‌سازی، وضعیت فرسودگی مته‌ها پیش‌بینی شود.

¹ Offset well

² Dull Bit grading

³ International Association of Drilling Contractors

شبیه‌سازی به معنی تقلید از عملیات یک فرآیند تکرارپذیر است. اگر فرآیند توسط تقریب یا فرض اداره شود در این حالت به عنوان مدل شناخته می‌شود. در حال حاضر مدل بر اساس روش‌های ریاضی حل می‌شود. طراحی یک مدل شبیه‌سازی می‌تواند پیشرفت در سیستم را نشان دهد. مدل ریاضی برای پیش‌بینی رفتار سیستم راه‌حل تحلیلی یا شبیه‌سازی دارد. اگر از راه‌حل‌های ساده یک جواب واحد بدست آورد، نتیجه تحلیلی است اما وقتی نتیجه اثرات پیچیده، زمان‌بر و مقادیر بزرگ باشند، نتایج پس از پردازش، شبیه‌سازی می‌شوند. مدل شبیه‌سازی، دینامیک یا استاتیک است. اگر رفتار سیستم در تغییرات زمان بررسی شود، به آن شبیه‌سازی دینامیک گویند. اما اگر رفتار سیستم در بخشی از زمان بررسی شود، به آن شبیه‌سازی استاتیک گویند که شبیه‌سازی مونت‌کارلو^۱، یک شبیه‌سازی استاتیک است [۳].

در این مطالعه، داده‌های جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده، به عنوان متغیر در نظر گرفته شده‌اند. سپس رابطه جدیدی به نام شاخص عملکرد مته به عنوان مدل استاتیک که بتوان در شبیه‌سازی استفاده کرد، تعریف شد. در ادامه روش مونت‌کارلو و روش بوت‌استرپ مونت‌کارلو برای شبیه‌سازی بکار گرفته شدند.

در روش مونت‌کارلو^۲ با استفاده از کاراکترهای جدول مته‌های کارکرده، شاخص عملکرد هر مته محاسبه می‌شود. سپس مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برای شاخص‌های عملکرد هر مته مشخص و با توجه به تابع توزیع احتمال، مقادیر عددی تصادفی، به کمک نرم‌افزار تولید می‌شود. در نهایت اعداد تصادفی تولید شده به متغیر جدید (شاخص عملکرد جدید) مرتبط و نتایج به شکل توزیع خروجی یا هیستوگرام ارائه می‌شود. این نتیجه نامشخص به عنوان راهنمایی برای تعیین سطح اطمینان و انتخاب پارامترهای مهم، به منظور بهینه‌سازی ریسک و عدم قطعیت است.

¹ Monte Carlo simulation

² Monte Carlo Method (MCM)

در روش بوت‌استرپ^۱ مونت کارلو با جایگذاری از داده‌های موجود به شکل تصادفی، تعدادی از داده‌ها انتخاب و به عنوان مؤلفه‌های دسته داده تصادفی ذخیره شدند. سپس میانگین هر کدام از دسته‌های تشکیل شده در یک بردار ذخیره شده تا به عنوان داده‌های تصادفی تولیدی از متغیر مد نظر در فرآیند تحلیل مونت کارلو مورد استفاده قرار گیرند. در آخر نیز با بررسی معیارهای آماری نتایج شبیه‌سازی، مته مناسب برای حفاری چاه‌های بعدی انتخاب شدند.

۱-۲ سابقه موضوع

افراد مختلف، تحقیقات فراوانی در زمینه انتخاب مته مناسب انجام دادند. اما مطالعه در زمینه انتخاب مته به کمک روش مونت کارلو با استفاده از جدول طبقه‌بندی تاکنون صورت نگرفته است. به همین جهت، منابع محدودی در این زمینه در دسترس بود. بنابراین، ابتدا مطالعات مربوط به روش‌های انتخاب مته مورد بررسی قرار گرفت.

بیلجیوس^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۰ از یک شبکه عصبی مصنوعی^۳ سه لایه برای انتخاب نوع مته استفاده می‌کند. آنها برای تعیین رابطه پیچیده بین سازند، خصوصیات مته و پارامترهای حفاری از چندین مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند [۱].

عزیزی در سال ۱۳۸۵ در مطالعه ارزیابی روش‌های طراحی حفاری (انتخاب نوع و تعداد مته) در حفاری های نفت و گاز ایران و ارائه روش بهینه نشان داد که روش هزینه حفاری در واحد عمق^۴ در یک سازند به دلیل تغییرات خواص ژئومکانیکی و تاثیر بر عملکرد مته، نمی‌تواند معیار معتبر برای ارزیابی مته مورد استفاده و انتخاب مته جدید باشد. حتی روش انرژی ویژه^۵ به دلیل وابستگی به پارامترهای غیرمرتبط با کارکرد مته، نمی‌تواند به عنوان مکمل معتبر برای روش هزینه حفاری در واحد عمق به

¹ Bootstrap Monte Carlo

² Bilgesu

³ Artificial Neural Network (ANN)

⁴ Cost per foot (CPF)

⁵ Specific Energy

کار رود. به همین دلیل خواص ژئومکانیکی میدان و ارزیابی عملکرد مته مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد استفاده از روش تعیین مقاومت سنگ با استفاده از مدول یانگ و حجم شیل، می‌تواند مکمل خوبی برای روش هزینه حفاری در واحد عمق برای شرایط ایران به کار رود. اما نتایج این روش نیز بایستی بر اساس پارامترهای حفاری تعدیل شود. براساس مطالعات انجام شده در میدان مورد بررسی، روش هزینه حفاری در واحد عمق، با توجه به همبستگی بالا با ارزیابی مته‌های کارکرده، از پتانسیل بالایی برای ارزیابی عملکرد و تعیین عمر مته، همزمان با حفاری، برخوردار است [۴].

بروسزکو^۱ در سال ۲۰۱۲ با استفاده از نرم افزار DROPS Simulator مته حفاری مناسب را برای یک چاه، مشخص می‌کند. این شبیه‌ساز با ترکیب داده‌های انواع مته، پارامترهای عملیاتی، سازندهای زمین شناسی و مشخصات جغرافیایی چاه به منظور استخراج بهترین نرخ نفوذ حفاری^۲ استفاده می‌شود. اما به دلیل انتخاب فرضیه‌های نامناسب در این نرم‌افزار، نتایج بدست آمده دقیق نبوده و با شرایط واقعی مطابقت کمتری داشته است [۵].

کوستا^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۵ از تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو همراه با رویکرد شبکه بیزی^۴ استفاده کردند. از روش مونت کارلو برای شبیه‌سازی سناریوها با توجه به متغیرهای ورودی و از شبکه بیزی برای تخمین متغیر خروجی نرخ نفوذ حفاری استفاده شده است [۶].

ریتز^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۸ فرسایش مته در حین حفاری را با ترکیب کردن یک معادله فیزیکی، تکنیکی برای آنالیز ریسک و داده‌کاوی به منظور تخمین رفتار مته در هر متر حفاری با استفاده از روش مونت کارلو انجام دادند [۷].

¹ Boryczko

² Rate of penetration

³ Costa

⁴ Bayesian Networks (BN)

⁵ Reitz

مومنی و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از شبیه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی کد IADC مته و نرخ نفوذ را پیش‌بینی کردند که دقت شبیه‌سازی ۹۵٪ بود [۸].

در ادامه مطالعات مربوط به روش مونت‌کارلو که در زمینه مهندسی نفت انجام شده، مورد بررسی قرار گرفت.

ریید^۱ در سال ۱۹۷۲ برای اولین بار یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر تجربه را با استفاده از روش مونت‌کارلو در صنعت حفاری را پیشنهاد می‌کند. بهینه‌سازی شامل یافتن حداقل مقدار هزینه حفاری در واحد عمق است که مشمول محدودیت‌های خاصی است. از روش مونت‌کارلو در اینجا برای یافتن پارامترهای عملکرد روش هزینه حفاری در واحد عمق استفاده می‌شود. کارآیی این روش به دلیل معایبی که دارد به شدت محدود شده و کمتر به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹].

کوک^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۶ برای تخمین حجم ذخیره دو میدان نفتی در ترکیه با استفاده از روش مونت‌کارلو، اطلاعات میدان را ارزیابی کرده و به وسیله آنالیز ریسک و پکیج نرم‌افزاری ساختن تصمیم که به طراحی تصمیم^۳ معروف است، به نتایج قابل قبولی دست یافتند [۱۰].

کوملوسی^۴ در سال ۲۰۰۹ تأیید می‌کند که مسئله اساسی در تخمین حجم هیدروکربن مخزن از نظر اقتصادی، بازیابی مخزن است. این کار پیچیده به دلیل محدود بودن اطلاعات است. به همین دلیل از روش مونت‌کارلو در این مطالعه استفاده شده است. تمرکز اصلی در این مقاله برآورد تابع چگالی احتمال مورد استفاده در روش مونت‌کارلو برای متغیرها در سه میدان مختلف است. با توجه به نتایج بدست آمده، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، ابزاری مناسب برای ارزیابی مخزن است [۱۱].

¹ Reed

² Kok

³ Design of Experiment (DOE)

⁴ Komlosi

کرامتی و همکاران در سال ۱۳۹۳ مطالعه ای برای تعداد بهینه چاه ها در یکی از میادین جنوب غربی ایران با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها با دو روش مونت کارلو و الگوریتم ژنیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، سناریوی چاه های افقی برای تولید میدان مورد مطالعه، تولید مناسب تر و بازه اقتصادی بالاتری در مقایسه با چاه های عمودی دارد [۱۲].

ربیعی و همکاران در سال ۱۳۹۵ بر اساس نتایج آزمایش های مکانیک سنگ روی نمونه های سنگی معدن گلگهر سیرجان و هم چنین برداشت های صحرائی مورد نیاز، به بررسی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ پرداختند. سپس میزان حساسیت این پارامترها نسبت به تغییر نوع تابع توزیع آماری شاخص مقاومت زمین شناسی، در زمان استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان حساسیت روابط هوک و براون برای تعیین پارامترهای مختلف ژئومکانیکی توده سنگ نسبت به تغییر نوع تابع توزیع شاخص مقاومت زمین شناسی یکسان نیست. میزان حساسیت پارامترهای مختلف نسبت به تغییر نوع تابع توزیع شاخص مقاومت زمین شناسی برای زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و مقاومت کلی کم تر از ۵٪، مدول کم تر از ۱۰٪ و برای مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی کمتر از ۲۵٪ بدست آمده است [۱۳].

در سال ۱۳۹۵ ورمزیاری در مطالعه ای در مورد تخمین اشباع آب سازندی یکی از مخازن نفتی جنوب غربی ایران با استفاده از چهار روش آماری آنالیز خوشه ای، روش مونت کارلو، رگرسیون قطعه ای-خطی و رگرسیون قطعه ای-غیرخطی استفاده کرد. از ۱۲۱۲ داده موجود، ۹۱۲ داده برای تحلیل و ۳۰۰ داده برای آزمون مدل ها به طور تصادفی انتخاب شده اند. با استفاده از آنالیز خوشه ای، داده های ورودی بر اساس تشابه به سه دسته تقسیم شدند. سپس داده های هر کلاستر با رگرسیون قطعه ای-خطی و قطعه ای-غیرخطی مورد تحلیل قرار گرفتند. میزان همبستگی داده های هر کلاستر اندازه گیری شد، همچنین در این مطالعه با استفاده از روش مونت کارلو و معادله حاصل از روش رگرسیون قطعه ای-غیرخطی، ۸۰۰۰ داده تصادفی شبیه سازی شد و در نهایت با استفاده از توابع چگالی مقادیر شبیه سازی

شده و مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شدند. نتایج نشان داد که ضمن کارایی قابل قبول همه مدل‌ها، روش مونت کارلو و رگرسیون قطعه‌ای-غیرخطی از کارایی بالاتری در این پیش‌بینی برخوردار می‌باشند [۱۴].

همانگونه که ملاحظه کردید تاکنون مطالعاتی برای انتخاب مته با استفاده از روش احتمالاتی و جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده انجام نشده است. بنابراین در این تحقیق تلاش شده با استفاده از روش مونت کارلو و داده‌های جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده، مته مناسب حفاری انتخاب شود.

۱-۳ اهداف و ضرورت انجام تحقیق

همانطور که در قسمت قبلی گفته شد، پارامترهای مختلفی وجود دارد که در نظر گرفتن همه آنها برای انتخاب مته بسیار پیچیده و سخت است. روش‌های مختلفی برای انتخاب مته حفاری وجود دارد که در زیر به آنها اشاره شده است:

- ارزیابی و مقایسه داده‌های چاه‌های همجوار که می‌توان با بررسی اطلاعات آن، تصمیم‌گیری بهتر و بهینه‌سازی عملیات حفاری را انتظار داشت. اطلاعات جدول ارزیابی مته‌های کارکرده از جمله داده‌های بسیار مفید است که برای انتخاب مته کمک شایانی می‌کند [۱۲].
- استفاده از روش هزینه حفاری در واحد عمق برای هر مته که با مقایسه هزینه‌های مختلف، می‌توان مته مناسب را انتخاب کرد [۱۵].
- معادله انرژی ویژه، تقریباً برابر با نسبت انرژی ورودی به نرخ نفوذ خروجی است که بر اساس آن مته مناسب را می‌توان انتخاب کرد [۱۶].
- مدل‌های مختلف نرخ نفوذ که با استفاده از این مدل‌ها می‌توان مته با حداکثر نرخ نفوذ را انتخاب نمود [۱۷].
- انتخاب مته با استفاده از تجربه افرادی که در منطقه حفاری کرده‌اند [۲].

تمامی این روش‌ها همراه با خطای محاسباتی و انسانی می‌باشند در افزایش هزینه‌ها بسیار تاثیرگذار هستند. هزینه مته حفاری معادل با ۳٪ از هزینه کل چاه می‌باشد، اما تاثیر عملکرد مته در هزینه کلی چاه ممکن است به طور قابل توجهی هزینه بر باشد. از این رو انتخاب مناسب مته در کاهش هزینه کلی چاه بسیار حائز اهمیت است.

امروزه صنعت نفت و گاز تاکید جدی بر کاهش هزینه و اقتصادی کردن آن دارد. یک راه حل مطمئن شبیه‌سازی پدیده‌ها و عملیات در شرایط مجازی است که با هزینه پایین‌تری انجام می‌شود. مخصوصاً در حفاری دریایی که با مشکلات خطرناک و پرهزینه مواجه هستیم. بنابراین انتخاب مناسب مته می‌تواند برای فعالیتهای آینده عملیات حفاری مفید و کاربردی می‌باشد [۴].

یکی از مزیت‌های این تحقیق، داده‌های جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده است که قبلاً در شبیه‌سازی انتخاب‌های مته به کار گرفته نشده و به کار بردن روش مونت کارلو که با بررسی همه احتمالات و انتخاب بهترین حالت، دقت انتخاب و نزدیک بودن به واقعیت را برای ما فراهم می‌کند. از سوی دیگر روش اشاره شده در این تحقیق، می‌تواند برای تکمیل نرم افزارهای انتخاب مته بکار رود.

۱-۴ روش انجام تحقیق

۱- جمع‌آوری داده‌های جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده از گزارشات روزانه چاه‌های میدان

مورد مطالعه برای حفره "12-1/4"

۲- انتخاب ۴ مته پرکاربرد در حفاری میدان مطالعه

۳- تبدیل داده‌های کیفی به کمی جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده و نرمال کردن داده‌ها

۴- تعریف رابطه جدید به عنوان شاخص عملکرد مته

۵- شبیه‌سازی شاخص عملکرد چهار مته مورد مطالعه به روش مونت کارلو و بوت‌استرپ

مونت کارلو به کمک نرم‌افزار Excel و Matlab

۶- انتخاب مته مناسب به کمک معیارهای آماری

۱-۵ ساختار پایان نامه

فصل اول موضوعات کلی در خصوص جدول مته‌های کارکرده حفاری، روش مونت کارلو، تاریخچه روش انتخاب مته و ضرورت به کار بردن روش مونت کارلو در صنعت نفت، مطالبی ارائه شد.

فصل دوم در رابطه با انواع مته‌های حفاری، روش‌های انتخاب مته، تشریح کاراکترهای جدول ارزیابی مته‌های کارکرده، روش مونت کارلو و محاسبات آماری مورد استفاده در این تحقیق بیان شده است.

فصل سوم در خصوص روش انجام فرآیند انتخاب مته با استفاده از جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده به روش مونت کارلو پرداخته شده است.

فصل چهارم از مطالب و شبیه سازی انجام شده نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی ارائه شده است.

فصل دوم: تئوری تحقیق

۲-۱ مقدمه

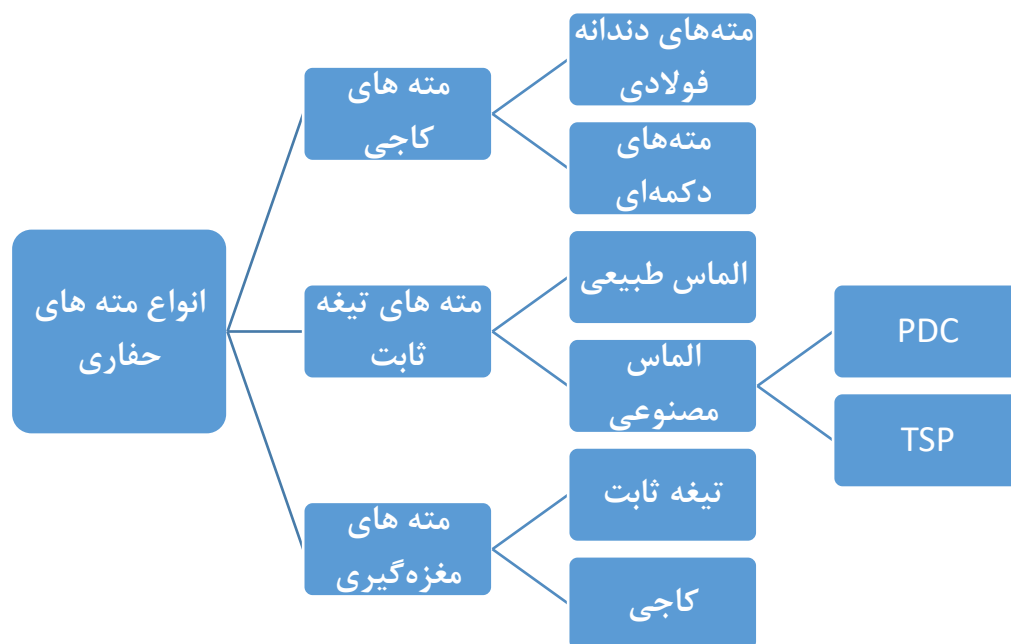
مته اصلی ترین ابزار مورد استفاده در حفاری بوده و انتخاب بهترین مته و شرایط حفاری متناظر با آن، یکی از اساسی ترین مشکلاتی است که مهندسان حفاری با آن مواجه می‌باشند. انتخاب مته مناسب در گذشته و قبل از تولید مته‌هایی با طراحی‌های جدید، ابتکاری و بهبود طراحی مته‌های پیشین، فرآیندی نسبتاً ساده بود.

در حال حاضر تنوع مته‌ها بسیار بیشتر و روند انتخاب مته بهینه پیچیده‌تر گردیده است. اما در کنار آن، روش‌های جدیدی نیز برای انتخاب مته مناسب، ابداع شده است. اولین و رایج‌ترین روش انتخاب مته، استفاده از هزینه حفاری در واحد عمق می‌باشد. اما کارایی این روش به دلیل تاثیر آن از عواملی که به رفتار مته اصلاً مرتبط نیست، به شدت محدود و کمتر به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای حل مشکلات موجود در این روش، روش‌هایی مانند انرژی ویژه در حفاری سنگ، نرخ نفوذ، روش طبقه‌بندی مته‌های کارکرده و استفاده از شبکه عصبی برای انتخاب مته معرفی شده‌اند. اما هر کدام از این روش‌ها تنها پارامترهای مشخص و محدودی را به کار می‌برند که باعث به وجود آمدن عدم قطعیت در انتخاب مته می‌شود [۴].

بنابراین در این فصل، ابتدا انواع مته‌های حفاری چاه‌های نفت و گاز معرفی می‌شوند. سپس انواع روش‌های انتخاب مته و محدودیت‌های آنها شرح داده می‌شود. در ادامه با توجه به عدم قطعیت موجود در انتخاب مته، روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو توضیح داده خواهد شد. در انتها نیز روش تبدیل داده و معیارهای آماری مورد استفاده در این تحقیق بیان می‌شود.

۲-۲ انواع مته‌های حفاری

مته‌های حفاری به سه گروه مته‌های کاجی^۱، مته‌های تیغه ثابت^۲ و مته‌های مغزه‌گیری^۳ تقسیم می‌شوند. انواع مته‌های حفاری در شکل (۱-۲) نشان داده شده است [۲].



شکل (۱-۲) انواع مته های حفاری [۲]

۲-۲-۱ مته‌های کاجی

هنگام چرخش رشته حفاری، کاج‌های مته حول محور خود به چرخش درآمده و سپس در اثر وزن اعمالی روی مته، دندان‌های مته در سنگ فرورفته و باعث خرد شدن سنگ می‌شوند. اگر دندان‌های روی کاج مته تراشیده شده باشند به آنها مته‌های دندانانه فولادی^۴ گفته می‌شود (شکل الف ۲-۲) و اگر دندان‌ها روی کاج قرار داده شده باشند به آنها دندانانه دکمه‌ای^۵ گفته می‌شود (شکل ب ۲-۲). مته‌های کاجی، اولین بار در سال ۱۹۰۹ توسط شخصی به نام هیوز^۶ طراحی شد. در ابتدا این مته‌ها دارای دو

¹ Roller Bit

² Fixed Bit

³ Core Bit

⁴ Milled Tooth Bit

⁵ Insert Tooth Bit

⁶ Hughes

کاج بودند که اشکال عمده آن توپی شدن مته بود. در سال ۱۹۳۰ مته‌های سه کاجی طراحی شدند که کاج‌ها در یکدیگر فرو می‌رفتند و باعث تمیز شدن مته می‌شدند. کاج این مته‌ها توسط بیرینگ‌هایی به بدنه مته متصل می‌شوند که باعث می‌شود همراه با چرخش مته، کاج مته نیز روی سازند بچرخد. این خاصیت باعث عمل کلنگ زنی می‌شود که علاوه بر خراشیدن، عمل خرد کردن را نیز انجام می‌دهد. علاوه بر این، وجود سه کاج باعث پخش شدن وزن به طور یکنواخت بر روی سازند و حفر چاهی با قطر ثابت می‌شود [۲].



(ب) مته دندان‌دکمه‌ای



(الف) مته دندان‌فولادی

شکل (۲-۲) مته‌های کاجی (الف) مته دندان‌فولادی و (ب) مته دندان‌دکمه‌ای [۲]

IADC در سال ۱۹۸۷ روشی را برای طبقه‌بندی مته‌های کاجی ارائه کرد که طی آن هر مته کاجی با سه رقم شناخته می‌شود. این روش در سال ۱۹۹۲ تکمیل‌تر شد و در حال حاضر به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸]. نحوه نامگذاری مته‌های کاجی در جدول (۱-۲) آمده است.

جدول (۲-۱) نحوه نام گذاری مته‌های کاجی [۲]

مته دندان‌ه دکمه‌ای				مته دندان‌ه فولادی			رقم اول
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
خیلی سخت		سخت		متوسط		نرم	رقم دوم
۴		۳		۲		۱	
Sealed friction bearing gage protected	Sealed friction bearing	Sealed roller bearing gage protected	Sealed roller bearing	Roller bearing Gage protected	Roller bearing Air-cooled	Standard roller bearing	رقم سوم
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	

۲-۲-۲ مته‌های تیغه ثابت

در این مته‌ها قسمت متحرک وجود ندارد و تنها عمل حفاری با انجام خراشیدن توسط مته انجام می‌شود. این مته‌ها به دو دسته مته‌های الماسی طبیعی و مته‌های الماس مصنوعی^۱ تقسیم می‌شوند. در مته‌های الماس طبیعی، قطعات ریز الماس طبیعی در تاج مته استفاده شده است. اندازه این الماس‌ها کوچک و تعداد آنها زیاد است و بنابراین فاصله کمی بین بدنه مته و کف چاه ایجاد می‌شود (شکل ۲-۳ الف). قیمت این نوع مته‌ها، نسبت به مته‌های کاجی بالاتر است. به همین دلیل مته‌های الماس مصنوعی طراحی شد که باعث کاهش هزینه مته‌های تیغه ثابت شده ولی کارکرد خوب آنها را دارد. در این مته‌ها الماس‌های مصنوعی بر روی تیغه‌های ثابت مته جوش داده شده و عمل خراش سازند را انجام می‌دهند. این نوع مته به دلیل سرعت بالای حفاری در برخی سازندها و قیمت کمتر از مته‌های الماس طبیعی در سرتاسر دنیا به طور گسترده به کار می‌روند. (شکل ۲-۳ ب) [۲].

^۱ Polycrystalline Diamond (PCD)



(ب) مته‌های الماس مصنوعی



(الف) مته‌های الماس طبیعی

شکل (۳-۲) مته‌های تیغه ثابت، (الف) مته‌های الماس طبیعی و (ب) مته‌های الماس مصنوعی [۲]

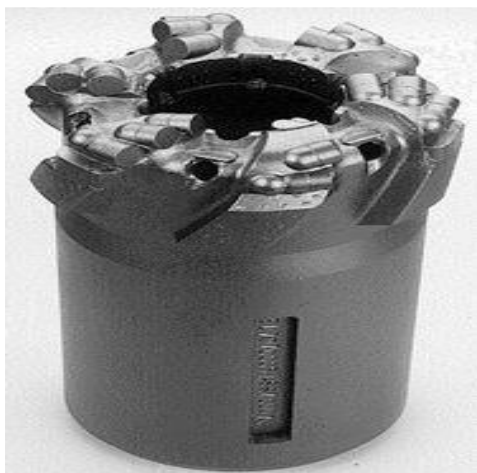
در سال ۱۹۸۷ برای مته‌های تیغه ثابت IADC روشی برای نام‌گذاری ارائه کرد که هر مته تیغه ثابت با یک حرف و سه رقم شناخته می‌شود. این روش در سال ۱۹۹۲ تکمیل تر شد و به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت [۱۹]. جدول (۲-۲) نحوه نام‌گذاری مته‌های تیغه ثابت نشان داده شده است.

جدول (۲-۲) نحوه نام‌گذاری مته‌های تیغه ثابت [۲]

بدنه فولادی		بدنه ماتریکسی		حرف اول
S		M		
۴	۳	۲	۱	رقم اول
۵۰ یا بیشتر	۴۰ تا ۵۰ تیغه	۳۰ تا ۴۰ تیغه	۳۰ تیغه یا کمتر	
تیغه‌های ۸ میلی‌متر	تیغه‌های ۱۳/۳ میلی‌متر	تیغه‌های بین ۱۴ تا ۲۴ میلی‌متر	تیغه‌های بزرگتر از ۲۴ میلی‌متر	رقم دوم
پروفایل بلند	پروفایل متوسط	پروفایل کوتاه	پروفایل مسطح	رقم سوم

۲-۲-۳ مته های مغزه گیری

این نوع از مته ها جهت انجام عملیات مغزه گیری از سازند مورد استفاده قرار می گیرند. مرکز این نوع از مته ها خالی است که باعث برش استوانه ای از سازند می شود و اجازه می دهد نمونه سازند درون مته رفته و وارد لوله مغزه گیر شود [۲]. مته های مغزه گیری هم به صورت کاجی و هم به صورت تیغه ثابت وجود دارند شکل (۲-۴).



(ب) مته مغزه گیری دندانانه ثابت



(الف) مته مغزه گیری کاجی

شکل (۲-۴) مته های مغزه گیری، (الف) مته مغزه گیری کاجی و (ب) مته مغزه گیری دندانانه ثابت [۲]

۲-۳ روش های انتخاب مته

تا همین اواخر، انتخاب مناسب ترین مته از طریق آزمون و خطا صورت می گرفت، بنابراین انتخاب مته نامناسب گاه باعث صرف هزینه های بسیار زیادی می شود. اما در سال های اخیر محققین سعی کردند با استفاده از روش های شبیه سازی فرآیند حفاری، هزینه عملیات را کاهش دهند. در ادامه این پیشرفت ها نرم افزارها و پس از آنها برنامه های هوشمند کامپیوتری برای انتخاب مته مناسب به کار گرفته شدند [۴].

برخی از مواردی که به وسیله مهندسين حفاری در انتخاب مته مورد توجه قرار می گیرند عبارتند از:

۱- جدول طبقه بندی IADC که لیستی تقریبی از انواع مته‌های کاجی مورد استفاده در سازندهایی با سختی مشخص را ارائه می‌دهند که بر اساس سختی سازند مته مناسب انتخاب می‌شود.

۲- اطلاعات جدول مته که پارامترهای مختلفی از جمله مشخصات مته، پارامترهای حفاری، مشخصات سیال حفاری و جدول طبقه‌بندی مته‌هایی مورد استفاده، در انتخاب مته به کار می‌رود.

۳- اطلاعات زمین‌شناسی در مورد سختی سازندهای مختلف چاه حفاری [۲].

حال با توجه به اطلاعات مختلفی که در اختیار مهندسان حفاری قرار دارد، روش‌های مختلفی نیز برای انتخاب مته مناسب وجود دارد. از جمله این روش‌ها، روش هزینه حفاری در واحد عمق، روش انرژی ویژه در حفاری سنگ، روش نرخ نفوذ، روش طبقه‌بندی مته‌های کارکرده و استفاده از شبکه عصبی می‌باشند.

در ادامه به معرفی هر یک از آنها پرداخته و مزایا و معایب هر کدام از آنها را شرح داده خواهد شد.

۱-۳-۲ روش هزینه حفاری در واحد عمق

در بیشتر مواقع، کاهش هزینه‌های چاه همراه با افزایش نرخ نفوذ است. اما با توجه به شرایط کنونی بازار، مجریان و پیمانکارانی موفق‌ترند که تا حد امکان اقتصادی عمل کنند. در سال‌های اخیر قیمت مته رو به افزایش بوده است. بنابراین پارامترهای حفاری نبایستی فقط بر اساس نرخ نفوذ تعیین شود. در عوض تصمیم‌گیری‌ها باید بر روی کاهش هزینه حفاری در واحد عمق حفاری بازه مورد نظر متمرکز شود. با طراحی یک برنامه انتخاب مته بر اساس هزینه حفاری در واحد عمق، فاکتورهای اقتصادی مانند هزینه دکل، قیمت مته و نرخ نفوذ برای تولید کمترین هزینه حفاری در واحد عمق، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند [۲۰].

بیشترین و معمول‌ترین کاربرد هزینه حفاری، ارزیابی کارایی مته رانده شده است. هزینه حفاری بازه حفر شده از یک چاه، در یک راندن مته، مجموع قیمت مته، هزینه تعویض مته و هزینه عملیاتی دکل حفاری برای زمان مورد نیاز برای حفاری آن بازه می‌باشد. اگر هزینه راندن مته بر طول حفاری شده

تقسیم شود، هزینه حفاری در واحد عمق بازه حفاری شده بدست می‌آید. برای یک مته معین، در صورت انتخاب صحیح وزن روی مته و سرعت دوران (rpm)، هزینه در واحد عمق حداقل خواهد بود. قیمت مته و هزینه بالا و پایین بردن رشته حفاری و تعویض مته برای راندن یک مته مشخص، ثابت می‌باشد. کل زمانی که برای حفاری بازه مورد نظر (ΔD) لازم است، مجموع زمان حفاری (t_b)، زمان توقف (t_c) و زمان بالا و پایین بردن رشته حفاری و تعویض مته (t_t) است. رابطه زیر هزینه حفاری را نشان می‌دهد [۱۵].

$$C_f = \frac{C_b + C_r * (t_b + t_c + t_t)}{\Delta D} \quad (2-1)$$

که در آن:

C_f : هزینه حفاری واحد طول (\$/ft)

C_b : قیمت مته (\$)

C_r : هزینه دکل، (\$/hr)

t_b : مجموع زمان حفاری، (hr)

t_c : مدت زمان توقف، (hr)

t_t : مدت زمان تعویض مته، (hr)

ΔD : طول حفاری شده با مته مورد نظر، (ft)

تا زمانی که تابع هزینه حفاری، عوامل ریسک را در نظر نمی‌گیرد، نتایج ارزیابی هزینه حفاری بایستی توسط قضاوت مهندسی اصلاح گردد. در صورتی که ریسک برخورد با مشکلات حفاری مانند گیر لوله، انحراف چاه و ... به طور چشمگیری افزایش می‌یابد، کاهش هزینه راندن مته لزوماً باعث کاهش هزینه یک چاه نمی‌گردد.

مدت زمان تعویض مته (t_1)، همیشه به سادگی تعیین نمی‌شود. مگر اینکه مته مستقیماً به درون چاه رانده شود، حفاری کرده و سپس از چاه خارج شود. بدون آنکه در این فاصله فعالیت جانبی دیگری صورت بگیرد. اگر مته به دلیل دیگر بیرون کشیده شود، بایستی دقت شود که این زمان به زمان تعویض مته یا حفاری اضافه نشود.

از طرف دیگر هزینه دکل (C_r) می‌تواند هزینه حفاری واحد طول را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. برای یک قطر معلوم چاه که با نرخ نفوذ یکسان در یک میدان با دکل‌های مختلف حفاری شده است، هزینه حفاری در هر ساعت خواهد بود. اگر هزینه دکل را ثابت فرض کنیم، مقادیر بدست آمده واقعی نبوده و مقدار هزینه حفاری در واحد عمق به عنوان معیاری برای ارزیابی کارکرد مته، به وسیله عواملی که اصلاً به رفتار مته مرتبط نیست تغییر می‌کند [۲۱].

۲-۳-۲ روش انرژی ویژه در حفاری سنگ

مفهوم انرژی ویژه در حفاری سنگ اولین بار توسط تیلز^۱ (۱۹۶۵) به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری کارایی مکانیکی کارهای انجام شده بر روی سنگ، پیشنهاد شد. انرژی ویژه به عنوان انرژی مورد نیاز برای حفر واحد حجم سنگ معرفی می‌شود. این مفهوم تاکنون به طور گسترده در مطالعات انجام شده بر روی سنگ، هم به عنوان شاخص کارایی و هم به عنوان مقیاس قابلیت حفاری، مورد استفاده قرار گرفته است. برای حفاری حجم مشخصی از سنگ یک حداقل انرژی، که به طور تئوری قابل محاسبه است، مورد نیاز می‌باشد. این مقدار کاملاً وابسته به طبیعت و ویژگی سنگ است. در اجرا و حفاری این حجم از سنگ، انرژی مورد نیاز برابر یا بیشتر از این حداقل تئوری خواهد بود. تفاوت بین مقادیر تئوری و حقیقی، همچنین تفاوت بین مقادیر حقیقی، هنگام استفاده از ابزارهای مختلف حفاری، وجود مقدار کار اضافی به عنوان مثال حفاری مجدد خرده‌ها، غلبه بر اصطکاک و انرژی منتقل شده به سنگ‌های اطراف چاه و همچنین گرم کردن سیال حفاری می‌باشد. مقادیر انرژی ویژه برای ابزارهای مختلف که

^۱ Teals

سنگ یکسانی را حفاری کرده‌اند، می‌تواند به عنوان مقیاسی برای تعیین ابزاری با بیشترین کارایی در شرایط حفاری موجود به کار می‌رود [۱۶].

همچنین می‌توان از انرژی ویژه به عنوان شاخصی برای نشان دادن تغییرات لیتولوژی و تصحیح انتخاب مته بر اساس کارکرد حفاری استفاده نمود. روش انرژی ویژه به تنهایی برای انتخاب مته به کار نمی‌رود، بلکه به عنوان وسیله کمکی از طریق روش‌های دیگر، مانند رکورد مته‌ای قبلی و هزینه حفاری در واحد عمق، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲].

رابطه زیر انرژی ویژه سنگ را نشان می‌دهد:

$$SE = \frac{4WR + 8\pi NT}{\pi D^2 R} \quad (2-2)$$

که در آن:

SE: انرژی ویژه

W: وزن روی مته، (Klb/in)

R: نرخ نفوذ مته، (ft/hr)

N: سرعت دوران، (rpm)

T: گشتاور، (lb-ft)

D: قطر سطح مقطع، (in)

۳-۳-۲ روش نرخ نفوذ

یکی دیگر از روش‌های انتخاب مته مناسب برای حفاری چاه، انتخاب مته بر اساس نرخ نفوذ است. نحوه تاثیر متغیرهای مهم حفاری مورد بحث در نرخ نفوذ، کاملاً پیچیده بوده و تنها تا حدودی شناخته شده می‌باشند. بنابراین هنوز یک مدل دقیق ریاضی برای فرآیند حفاری امکان پذیر نشده است. هر چند که چندین مدل ریاضی که در آنها تلاش شده است تا روابط مشخص با هم ترکیب شوند، ارائه شده است.

این مدل‌ها به نحوی می‌باشند که امکان استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی را برای انتخاب بهترین وزن روی مته و سرعت دوران، فراهم می‌سازند تا بتوان حداقل هزینه در هر فوت حفاری دست یافت. نرخ نفوذ برای مته‌های تیغه ثابت با معلوم بودن میزان نفوذ تیغه (کاتر یا جزء برنده) در سازند به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$R = L_{pe} n_{pe} N \quad (2-3)$$

که در آن:

R : نرخ نفوذ مته، (ft / hr)

L_{pe} : نفوذ موثر هر کدام از تیغه‌ها، (in)

n_{pe} : تعداد تیغه‌های موثر

N : سرعت دوران مته، (rpm)

همچنین نرخ نفوذ برای مته‌های کاجی با فرض این که تاثیرات وزن روی مته، سرعت دوران، سایش دندانها و سایر پارامترها مستقل از یکدیگر بوده، می‌توان با استفاده از معادله بورگان^۱ و یانگ^۲ با قالب زیر محاسبه کرد [۱۷]:

$$R = (f_1)(f_2)(f_3)(f_4)(f_5)(f_6)(f_7)(f_8) \quad (2-4)$$

که در آن:

$$f_1 = e^{2/303} a_1$$

$$f_2 = e^{2/303} a_2 (10000-D)$$

¹ Bourgoyne

² Young

$$f_3 = e^{2/303 a_3 D^{0/69} (g_p - 9)}$$

$$f_4 = e^{2/303 a_4 D (g_p - \rho_c)}$$

$$f_5 = \left[\frac{\left(\frac{W}{d_b} \right) - \left(\frac{W}{d_b} \right)_t}{4 - \left(\frac{W}{d_b} \right)_t} \right]^{a_5}$$

$$f_6 = \left(\frac{N}{60} \right)^{a_6}$$

$$f_7 = e^{-a_7 h}$$

$$f_8 = \left(\frac{F_j}{1000} \right)^{a_8}$$

پارامترهای مورد استفاده در این روابط عبارتند از:

D: عمق عمودی چاه (TVD) ، (ft)

g_p : گرادیان فشار سیال سازند، $\left(\frac{lb_m}{gal} \right)$

ρ_c : چگالی متوسط جریان

$\left(\frac{W}{d_p} \right)_t$: وزن آستانه روی مته در هر اینچ از قطر مته که در آن، مته شروع به حفاری می‌کند،

(1000lb/in)

h: نسبت سایش دندانها

F_j : نیروی ضربه هیدرولیک در زیر مته، (lbf)

a_1 تا a_8 : ثابت هایی که باید بر اساس شرایط حفاری منطقه انتخاب شوند.

این معادله توسط بورگان و یانگ ارائه شده است. در این مدل، پیشنهاد شده تا هشت تابع برای مدل

کردن اثر اکثر متغیرهای حفاری استفاده شود.

ثابت های a_1 تا a_8 را می توان با استفاده از داده های حفاری های انجام شده از قبل در آن منطقه در صورت وجود، محاسبه کرد.

تابع f_1 ، بیانگر تاثیرات استحکام سازند و نوع مته بر نرخ نفوذ می باشد. همچنین این تابع شامل اثر متغیر حفاری مانند گل حفاری، ذرات جامد موجود در آن و سایر پارامترها است که در مدل حفاری به آنها پرداخته نشده است.

توابع f_2 و f_3 ، اثر تراکم سازند را بر نرخ نفوذ مدل سازی می کنند. تابع f_2 ، افزایش مقاومت سنگ ناشی از تراکم نرمال سنگ با افزایش عمق را مدلسازی کرده و تابع f_3 ، نیز تاثیر تراکم پایین را به دلیل فشارهای غیرعادی موجود در سازند مدلسازی می کند.

تابع f_4 ، اثر فرو تعادل را بر سرعت حفاری مدلسازی می کند. این تابع در حالتی که فشار منفذی با فشار ته چاه برابر باشد، دارای مقدار یک است.

توابع f_5 و f_6 اثر وزن روی مته و سرعت دوران را بر سرعت حفاری مدلسازی می کنند. قابل ذکر است که f_5 در حالت $\frac{W}{d_p} = 4000 \frac{lb_f}{in}$ دارای مقداریک بوده و f_6 نیز در حالت $N = 60 \text{ rpm}$ ، دارای مقدار تقریبی یک می باشد. a_5 در محدوده $0/5$ تا 2 بوده و a_6 نیز در محدوده بین $0/4$ تا 1 می باشد.

تابع f_7 تاثیر ساییدگی دندان را بر نرخ نفوذ مته مدلسازی می کند. در حالتی که سایش دندان مته صفر باشد، مقدار آن یک خواهد بود. مقادیر رایج a_7 برای مته های دندان آسیابی در محدوده بین $0/3$ تا $1/5$ می باشد.

تابع f_8 تاثیر هیدرولیک مته را بر نرخ نفوذ مدل می کند. نیروی ضربه جت به عنوان پارامتر هیدرولیکی مورد نظر انتخاب شده است که در مقدار 1000 lb دارای مقدار نرمالیزه یک می باشد [۱۷].

در اختیار داشتن همه داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی نرخ نفوذ مته‌های کاجی نیازمند سیستم‌های مدرن مانیتور کننده چاه و ثبت کننده داده‌ها می‌باشد. در بسیاری از موارد داده‌هایی با چنین کیفیتی در دسترس نبوده و عملاً استفاده از این مدل بسیار سخت خواهد شد.

۴-۳-۲ روش شبکه عصبی

این روش بر اساس نرخ نفوذ مطلوب برای انتخاب مته استفاده می‌شود. در این فرآیند، یک شبکه ۳ لایه شامل لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی ایجاد شده است. اندازه مته، سطح جریان سیال حفاری، طول حفاری، وزن روی مته، سرعت چرخش مته، نرخ گردش گل، فشار گل، مقاومت تک محوره سازند و وزن گل به عنوان ورودی و کدهای مته‌های حفاری به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند. به کمک این روش، مته مناسب حفاری که نرخ نفوذ مورد نظر را فراهم می‌کند با دقت ۹۶٪ پیش‌بینی می‌شود [۸].

روش شبکه عصبی با در نظر گرفتن تقریباً همه پارامترهای موثر و دقت پیش‌بینی بالا، مته مناسب حفاری را مشخص می‌کند.

بنابراین به دلیل ضعف‌هایی که در روش‌های مختلف انتخاب مته وجود دارد، استفاده از یک روش جدید، می‌تواند به انتخاب مته مناسب کمک کند. به همین دلیل با توجه به اهمیت جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده در انتخاب مناسب مته و عدم مطالعه کاربردی در این زمینه، در این تحقیق سعی شده با استفاده کاربردی از این جدول و روش مونت کارلو، یک روش جدید برای انتخاب مته حفاری معرفی شود.

۵-۳-۲ طبقه‌بندی مته‌های کارکرده

استفاده از روش‌های طبقه‌بندی مته‌های کارکرده، نقش عمده‌ای در توسعه تکنولوژی ساخت مته‌های حفاری دارد. در گذشته نیز مهندسان حفاری به طور تجربی آموخته بودند که می‌توان با بررسی

فرسودگی مته، نوع مته بعدی و پارامترهای حفاری متناظر با آن را تعیین نمود. این موضوع هنری بود که حفاران خوب را از دیگران مجزا می‌کرد. شرکت‌های تولید کننده مته با آموزش هنر ارزیابی مته‌های کارکرده، به تعداد زیادی از پرسنل، نقش عمده‌ای در این زمینه ایفا کردند. به طوری که ارزیابی فرسودگی مته به بخش جدایی ناپذیر کار حفاری تبدیل شد.

دستورالعمل ارتباط الگوی سایش مته به عوامل پدید آورنده آن و راه مقابله با این عوامل در اواسط دهه ۱۹۵۰ ارائه شد. این دستورالعمل گرچه روشی مفید بود، اما به دلیل کمبود واژگان رایج و مشترک برای توصیف سایش مته و ثبت شرایط فرسودگی در گزارشات حفاری، محدودیت‌هایی به همراه داشت. از سوی دیگر، مطالعات اساسی بر روی کارکرد مته باعث درک بهتر تاثیرات شدید اقتصادی سایش مته و رابطه نزدیک آن با انتخاب مته و پارامترهای عملیاتی گردید و نیاز به یک استاندارد جامع برای گزارش میزان فرسودگی مته بیشتر گردید.

انجمن پیمانکاران حفاری آمریکا^۱ (AAODC) اولین استاندارد طبقه‌بندی مته‌های کارکرده را در سال ۱۹۶۱ ارائه داد. این روش سرآغاز روش مشابه دندان-یاطاقان-اندازه^۲، برای گزارش سایش مته بود. در سال ۱۹۶۳ روش درجه بندی مته AAODC که از یک مقیاس هشت درجه ای برای توصیف سایش دندان و یاطاقان استفاده می‌کرد، پذیرفته شد. در این روش، عدد هشت نشان دهنده سایش کامل، صاف شدن، شکستن یا از دست دادن دندان مته و همچنین قفل شدن و از کار افتادن یاطاقان است. این روش تا سال ۱۹۸۵ بدون تغییرات اساسی باقی ماند. IADC به همراه SPE در سال ۱۹۹۲ یک روش قاعده‌مند برای ثبت خرابی‌ها و اثرات قابل کنترل و غیرقابل کنترل حفاری بر روی مته معرفی کرده‌اند. اثرات قابل کنترل مانند وزن روی مته، سرعت چرخش مته، خواص سیالات حفاری و اثرات غیرقابل کنترل مانند تغییرات شرایط زمین‌شناسی است. هدف این روش برداشت آسان، سریع و موثر اطلاعات بر اساس ثبت دقیق تجربیات مته است. به این روش، طبقه‌بندی مته‌های کارکرده یا جدول

¹ American Association of Drilling Contractor

² Tooth-Bearing-Gauge (T.B.G)

استاندارد IADC گفته می‌شود. در واقع یک روش سیستمی برای ارزیابی مته کارکرده و یک روش یکپارچه برای گزارش دادن از وضعیت مته است [۱۸].

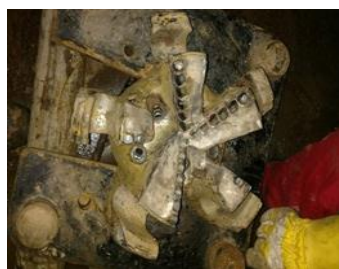
این جدول، کدهایی را برای گزارش درجه ساییدگی مته نسبت به ساختار دندانها، یاتاقانها، ساختار قطر مته و در نهایت بخشی برای توضیحات بیشتر اختصاص داده است. با استفاده از این کدها می‌توان برخی از جنبه‌های بسیار مهم ساییدگی مته را هم به صورت کمی و کیفی درآورده و در گزارش‌های مته ثبت کرد. ارزیابی مته‌های کارکرده به دلایل زیر می‌تواند مفید باشد:

- ✓ بهبود انتخاب مته برای حفاری‌های بعدی
- ✓ مشخص کردن اثر پارامترهایی همچون وزن روی مته، سرعت چرخش مته و ... هنگام حفاری به جهت بهبود این پارامترها در حفاری‌های بعدی
- ✓ مشخص کردن وضعیت فرسودگی مته
- ✓ کمک به تشخیص زمان مناسب برای بیرون کشیدن مته
- ✓ کمک به ارزیابی عملکرد مته و بهبود طراحی مته

روش طبقه‌بندی مته‌های کارکرده می‌تواند برای انواع مته‌های کاجی، ثابت و مغزه‌گیری به کار رود. در شکل (۲-۵) تصاویری از مته‌های کارکرده نشان داده شده است.



(ج) مته مغزه‌گیری کارکرده



(ب) مته تیغه ثابت کارکرده



(الف) مته کاجی کارکرده

شکل (۲-۵) مته‌های کارکرده (الف) مته کاجی کارکرده (ب) مته تیغه ثابت کارکرده (ج) مته مغزه‌گیری کارکرده [۲۳]

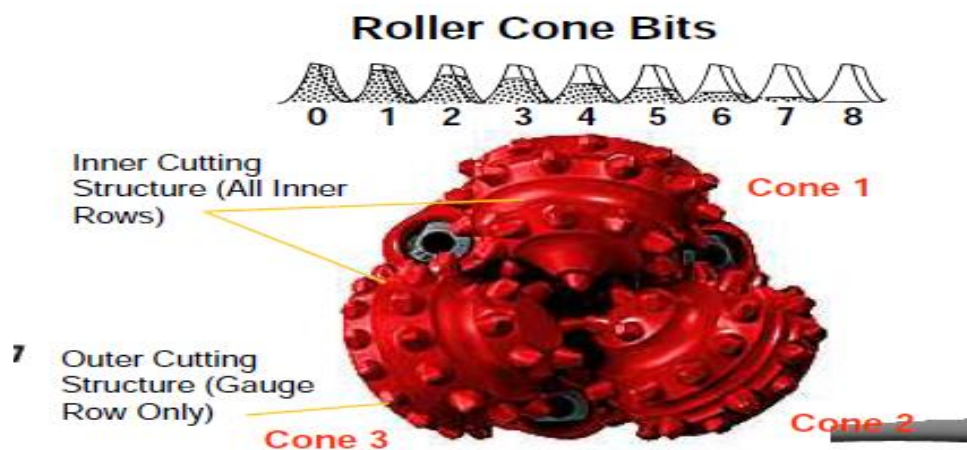
مته به دلایل مختلف از جمله کاهش نرخ نفوذ، تغییرات زمین‌شناسی، رسیدن به عمق نهایی و ... به سطح زمین آورده می‌شود. سپس مهندسان ناظر بر عملیات، وضعیت مته را از نظر فرسایش و کارایی

بر اساس جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده ارزیابی می‌کنند. این جدول، شامل هشت مشخصه مختلف است که با اعداد و حروف مخفف انگلیسی وضعیت فرسودگی مته را نشان می‌دهد. این هشت مشخصه اثر عواملی چون پارامترهای وزن روی مته، سرعت چرخش مته، هیدرولیک سیال حفاری و زمین‌شناسی بر روی مته را نشان می‌دهند. کارشناسان حفاری با مشاهده مجموعه‌ای از این کدهای طبقه‌بندی شده، از شدت آسیب‌دیدگی و فرسایش مته در حفره‌های مختلف اطلاعات کسب کرده و برای انتخاب مته مناسب برای حفر چاه‌های جدید تصمیم‌گیری می‌کنند [۲]. شرح و توصیف هر هشت مشخصه در جدول (۳-۲) آمده است.

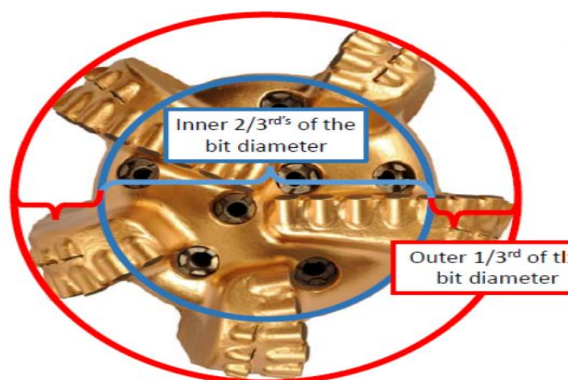
جدول (۳-۲). توصیف مشخصات جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده [۲]

عنوان ستون	شرح																											
۱- ردیف دندان‌های داخلی (Inner Teeth)	در این ستون وضعیت $\frac{2}{3}$ از دندان‌های داخلی با مقیاس ۰ تا ۸ به صورت خطی مشخص می‌شود، به طوری که دندان‌های سالم با عدد صفر و دندان‌های کاملاً فرسوده با عدد ۸ مشخص می‌شوند. شکل (۶-۲)																											
۲- ردیف دندان‌های خارجی (Outer teeth)	در این ستون وضعیت $\frac{1}{3}$ از دندان‌های خارجی با مقیاس ۰ تا ۸ به صورت خطی مشخص می‌شود، به طوری که دندان‌های سالم با عدد صفر و دندان‌های کاملاً فرسوده با عدد ۸ مشخص می‌شوند. شکل (۷-۲)																											
۳- خصوصیات فرسودگی (Dull Characteristics)	در این ستون چگونگی و علت خرابی دندان‌های مته با کدهای مخفف انگلیسی مشخص می‌شود. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>BC: Broken Cone</td> <td>ER: Erosion</td> <td>PN: Plugged Nozzle</td> </tr> <tr> <td>BF: Bond Failure</td> <td>FC: Flat Crested</td> <td>RG: Rounded Gauge</td> </tr> <tr> <td>BT: Broken Teeth</td> <td>HC: Heat Checked</td> <td>RO: Ring Out</td> </tr> <tr> <td>BU: Balled Up Bit</td> <td>JD: Junk Damage</td> <td>SD: Shirttail Damage</td> </tr> <tr> <td>CC: Cracked Cone</td> <td>LN: Lost Nozzle</td> <td>SS: Shelf Sharpening</td> </tr> <tr> <td>CD: Cone Dragged</td> <td>LT: Lost Teeth</td> <td>TR: Tracking</td> </tr> <tr> <td>CI: Cone Interference</td> <td>OC: Off center Wear</td> <td>WO: Wash Out</td> </tr> <tr> <td>CR: Cored</td> <td>PB: Pinched Bit</td> <td>WT: Worn Teeth</td> </tr> <tr> <td>CT: Chipped Teeth</td> <td>LC: Lost Cone</td> <td>NO: No Dull Grading</td> </tr> </table>	BC: Broken Cone	ER: Erosion	PN: Plugged Nozzle	BF: Bond Failure	FC: Flat Crested	RG: Rounded Gauge	BT: Broken Teeth	HC: Heat Checked	RO: Ring Out	BU: Balled Up Bit	JD: Junk Damage	SD: Shirttail Damage	CC: Cracked Cone	LN: Lost Nozzle	SS: Shelf Sharpening	CD: Cone Dragged	LT: Lost Teeth	TR: Tracking	CI: Cone Interference	OC: Off center Wear	WO: Wash Out	CR: Cored	PB: Pinched Bit	WT: Worn Teeth	CT: Chipped Teeth	LC: Lost Cone	NO: No Dull Grading
BC: Broken Cone	ER: Erosion	PN: Plugged Nozzle																										
BF: Bond Failure	FC: Flat Crested	RG: Rounded Gauge																										
BT: Broken Teeth	HC: Heat Checked	RO: Ring Out																										
BU: Balled Up Bit	JD: Junk Damage	SD: Shirttail Damage																										
CC: Cracked Cone	LN: Lost Nozzle	SS: Shelf Sharpening																										
CD: Cone Dragged	LT: Lost Teeth	TR: Tracking																										
CI: Cone Interference	OC: Off center Wear	WO: Wash Out																										
CR: Cored	PB: Pinched Bit	WT: Worn Teeth																										
CT: Chipped Teeth	LC: Lost Cone	NO: No Dull Grading																										
۴- محل فرسایش (Location)	از یک کد حرفی برای مشخص کردن محل فرسودگی استفاده می‌شود. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">مته های الماسی</th> <th colspan="2">مته های کاجی</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C: Cone</td> <td>S: Shoulder</td> <td>N: Nose Row</td> <td>G: Gage Row</td> </tr> <tr> <td>N: Nose</td> <td>G: Gage</td> <td>M: Middle</td> <td>A: All Row</td> </tr> <tr> <td>T: Taper</td> <td>A: All</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	مته های الماسی		مته های کاجی		C: Cone	S: Shoulder	N: Nose Row	G: Gage Row	N: Nose	G: Gage	M: Middle	A: All Row	T: Taper	A: All													
مته های الماسی		مته های کاجی																										
C: Cone	S: Shoulder	N: Nose Row	G: Gage Row																									
N: Nose	G: Gage	M: Middle	A: All Row																									
T: Taper	A: All																											
۵- بیرینگ مته (Bearing/ Seal)	برای مته های مخروطی آب بندی نشده از مقیاس خطی صفر تا هشت برای نشان دادن عمر یاطاقانی که مورد استفاده قرار گرفته استفاده می‌شود. برای یاطاقان های آب بندی شده از یک کد حرفی استفاده می‌شود. برای مته های ثابت نیز از حرف X استفاده می‌شود.																											

بیرینگ های seal نشده		یک مقیاس خطی بین ۰ تا ۸ برای تخمین عمر بیرینگ استفاده می شود.
بیرینگ های seal شده	E: seal موثر	F: seal خراب
	N: عدم امکان درجه بندی	X: مته الماسی
۶- گیج مته (Gauge)		برای گزارش تغییر اندازه قطر مته استفاده می شود. اگر قطر مته کاهش یابد بصورت کسری از $\frac{1}{16}$ اینچ ثبت می گردد. شکل (۲-۸)
۷- دیگر خصوصیات فرسودگی (Other)		اگر مته مشخصات دیگری از فرسودگی داشته باشد بایستی کدهای مشابه ستون سوم را به کار برد.
۸- دلیل بیرون کشیدن مته (Reason Pulled)		از کدهای دو یا سه حرفی برای گزارش دلایل پایان کار مته استفاده می شود.
BHA: Change Bottom Hole Assembly	CM: Condition mud	LOG: Run logs
DMF: Downhole motor failure	CP: Core point	PP: Pump Pressure
DTF: Down hole Tool Failure	FM: Formation change	PR: Penetration rate
DSF: Drill string failure	HP: Hole problem	Rig: Rig repair
DST: Drill steam test	LIH: Lift in hole	TD: Total Depth
DP: Drill plug	HR: Hours on Bit	TW: Twist off
		TQ: Torque
		WC: Weather conditions



شکل (۲-۶) ردیف دندان‌های داخلی [۲۳]



شکل (۷-۲) ردیف دندان‌های خارجی [۲۳]



شکل (۸-۲) اندازه‌گیری قطر مته [۲۳]

۲-۴ روش مونت کارلو

روش مونت کارلو تکنیکی است که از طریق نمونه‌سازی آماری، پاسخ‌های تقریبی برای مسائل کمی فراهم می‌کند. روش مونت کارلو یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه نتایج استفاده می‌کند. این روش معمولاً برای شبیه‌سازی‌های فیزیکی، ریاضیاتی و اقتصادی استفاده می‌شود. از طرف دیگر این روش یک طبقه از الگوریتم‌های محاسبه‌گر می‌باشند که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه‌گیری تکرار شونده تصادفی اتکاء می‌کنند و برای شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آنها وجود دارد مفید است. روش‌های تصادفی برای محاسبه و آزمایش (عموماً به

عنوان شبیه سازی تصادفی شناخته می‌شوند) را می‌توان تا اولین پیشگامان نظریه احتمال دنبال کرد ولی به طور ویژه می‌توان پیشینه آن را در دوران قبل از محاسبات الکترونیکی دنبال کرد.

تفاوت اساسی که معمولاً درباره روش شبیه‌سازی مونت کارلو بیان می‌شود این است که به طور اصولی نوع روش شبیه‌سازی را معکوس می‌کند و نظر مسائل را با یافتن مدل مشابه احتمالی به خود جلب می‌کند. ولی روش‌های پیشین شبیه‌سازی و مدل‌سازی آماری، عموماً عکس این کار، یعنی استفاده از شبیه‌سازی برای امتحان کردن مسائل مشخص قطعی را انجام می‌دادند [۲۴].

۱-۴-۲ پیشینه روش مونت کارلو

روش شبیه‌سازی مونت کارلو ابتدا توسط مترو پلیس^۱، نیومن^۲ و یولام^۳ برای تشریح پتانسیل برهم‌کنش مولکول‌های ترکیبات گازی اورانیوم استفاده شد که در ساخت بمب اتم در خلال جنگ جهانی دوم (پروژه منهتن) به کار گرفته شد. علاقه شدید یولام ریاضیدان، به بازی‌هایی بر مبنای شانس، این ایده را مطرح کرد که آیا می‌توان رفتار فرآیند مورد بررسی را به کمک رخداد‌های تصادفی تشریح کرد. هنگامی که او تعطیلات را در منطقه مونت کارلو می‌گذراند، به ابداع این روش و جزئیات آن پرداخت. در مجموعه‌ای از مقالات ارائه شده توسط این گروه پس از اتمام جنگ، ضمن معرفی روش، نکات مختلف آن تشریح و پشتوانه ریاضی آن ارائه و کاربرد آن در حل مسائل مربوط به پروژه منهتن معرفی شد، بدین ترتیب نام مونت کارلو بر این روش اطلاق شد [۲۵].

¹ Metropolis

² Neumann

³ Ulam

۲-۴-۲ مراحل شبیه سازی مونت کارلو از یک فرآیند فیزیکی

الف- تولید مدل استاتیک: هر شبیه سازی مونت کارلو با یک مدل قطعی که بسیار شبیه به سناریو واقعی است شروع می شود. اغلب از روابط ریاضی که مقادیر ورودی در آن وارد می شود استفاده می شود و آنها را به خروجی مورد نظر تبدیل می کند.

ب- شناسایی توزیع ورودی: هنگامی که مدل استاتیک قطعی شد، مولفه های ریسک به مدل اضافه می شود. از آنجا که ریسک، ناشی از ماهیت تصادفی متغیرهای ورودی است، سعی در شناسایی توزیع های اصلی می شود. این مرحله به داده های گذشته نیاز دارد. روش های آماری استاندارد برای شناسایی توزیع ورودی وجود دارد.

ج- تولید متغیر تصادفی: بعد از شناسایی توزیع اصلی برای متغیر ورودی، یک مجموعه از اعداد تصادفی (به آن متغیر تصادفی یا نمونه تصادفی گویند) بر اساس این توزیع تولید می شود. یک مجموعه از اعداد تصادفی، شامل یک مقدار برای هر متغیر تصادفی، در مدل قطعی استفاده خواهد شد، تا یک مجموعه از مقادیر خروجی را ارائه دهد. سپس این فرآیند با تولید مجموعه های بیشتر از اعداد تصادفی برای هر توزیع ورودی تکرار می شود و مجموعه ای از مقادیر خروجی تولید می شود.

د- آنالیز و تصمیم گیری: بعد از اینکه نمونه ای از مقادیر خروجی از شبیه سازی جمع آوری شد، تجزیه و تحلیل آماری (میانگین، واریانس، انحراف استاندارد، احتمال فراگذشت و ...) بر روی آن می توان انجام داد. این مرحله برای تصمیماتی که ممکن است بعد از اجرای شبیه سازی اتخاذ شود، اطمینان آماری می دهد [۲۶].

۳-۴-۲ روش شناسایی توزیع ورودی

روش‌های آماری استاندارد برای شناسایی توزیع‌های ورودی وجود دارد که اغلب به آن جفت کردن توزیع^۱ گفته می‌شود. هنگامی که داده‌های گذشته برای پارامترهای ورودی وجود دارند، از روش عددی استفاده می‌شود تا داده‌ها را در یک توزیع گسسته یا پیوسته قرار گیرد. جفت کردن رایج‌ترین روش شناسایی توزیع احتمال مناسب است. هر توزیع احتمال با پارامترهایی مانند شکل، مقیاس و محل مشخص می‌شود. بنابراین جفت کردن توزیع، اساساً یافتن پارامترهای توزیع است که می‌تواند داده‌های مورد نظر را تولید کند.

بعد از این مرحله باید از صحت جفت شدن توزیع اطمینان حاصل کرد. این کار به وسیله برازش آماری صورت می‌گیرد. برازش آماری^۲، اندازه‌گیری آماری از صحت جفت شدن مجموعه داده از یک توزیع می‌باشد [۲۶].

۳-۴-۴ تولید متغیر تصادفی

سه روش مهم و پرکاربرد برای تولید عدد تصادفی روش پذیرش - رد^۳، روش تبدیل معکوس تابع توزیع^۴ و استفاده از توابع کتابخانه‌ای است. که در این مطالعه از روش کتابخانه‌ای برای تولید عدد تصادفی استفاده شد.

منظور از روش کتابخانه‌ای، توزیع توابع‌ای است که در محیط نرم افزار به صورت پیش فرض موجود می‌باشند. نرم افزارهای مختلفی از جمله Excel، Easyfit و ... وجود دارند که با وارد کردن متغیر تصادفی در محیط نرم افزار، تابع توزیع آنها را می‌توان رسم کرد. سپس با پارامترهای توزیع که از نرم‌افزار بدست آمده می‌توان متغیر تصادفی بر اساس پارامتر توزیع تولید کرد.

¹ Distribution Fitting

² Goodness of Fit Statistic

³ Reject – accept algorithm

⁴ Inverse Transform Method

متغیرهایی که در توزیع‌های مذکور تحت عنوان پارامترهای توزیع معرفی شده‌اند، صرفاً کنترل کننده وضعیت توزیع هستند. که به وسیله آنها نرم افزار می‌تواند وضعیت و شکل توزیع تعیین شده را تشخیص دهد. مثلاً در توزیع نرمال، متغیر، یک میانگین و یک انحراف معیار دارد، که با μ و σ نمایش داده می‌شود. در واقع با این دو پارامتر می‌توان به ازای هر x یک $f(x)$ پیدا کرد و تابع توزیع آنرا رسم کرد. در این مطالعه از روش کتابخانه‌ای برای تولید متغیر تصادفی استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا داده‌های گذشته جمع آوری و در نرم افزار Easyfit وارد می‌شوند. سپس یک سری پارامترها که نشان دهنده وضعیت قرارگیری توزیع مورد نظر روی نمودار هستند بدست می‌آید که با کمک آن پارامترها، شبیه‌سازی توسط نرم افزار Matlab انجام می‌شود [۲۸].

۵-۴-۲ آنالیز خروجی شبیه سازی مونت کارلو

نتیجه شبیه‌سازی از یک مدل به طور معمول در معرض آنالیز آماری قرار می‌گیرد و میانگین^۱، واریانس^۲، انحراف استاندارد^۳ و سایر معیارهای آماری نتایج محاسبه می‌شود [۲۶]. در این پژوهش برای اطمینان از کافی بودن متغیر تصادفی تولید شده از روش همگرایی روش مونت کارلو^۴ استفاده شده است.

۶-۴-۲ همگرایی روش مونت کارلو

مسئله دیگری که در روش مونت کارلو مهم است تولید نمونه‌های تصادفی به تعداد کافی است. اگر تعداد نمونه تصادفی کم باشد دقت جواب روش مونت کارلو کمتر می‌شود. بنابراین مسئله همگرایی روش مونت کارلو مطرح می‌شود. همگرایی روش مونت کارلو، روند تغییرات مقدار احتمال به مقدار نهایی را نشان می‌دهد [۲۹].

۲-۴-۷ روش بوت استرپ مونت کارلو

¹ Mean

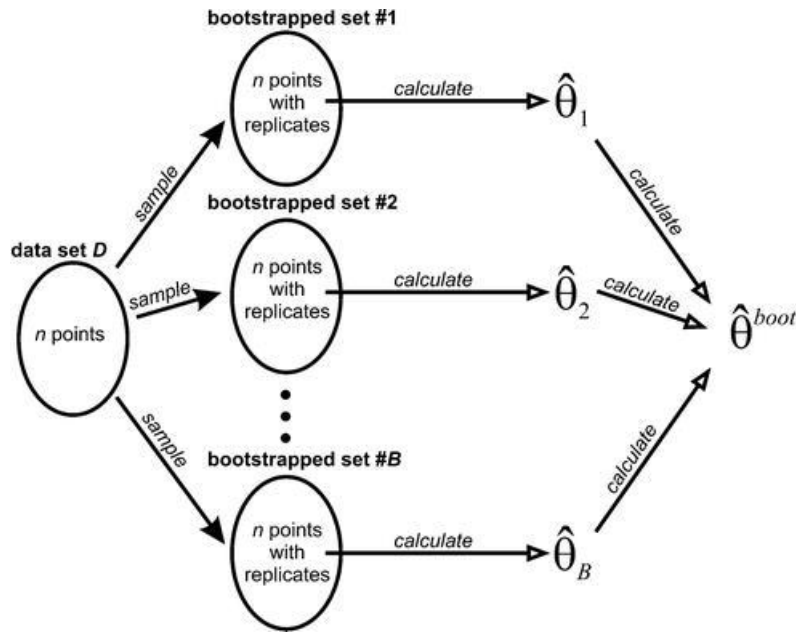
² Variance

³ Standard deviation

⁴ Convergence

گاهی برای نمونه‌گیری از متغیرهای فرض شده در مسئله یک مشکل اساسی این است که تعداد داده‌های در دسترس برای تصمیم‌گیری در رابطه با میانگین، انحراف معیار و تابع توزیع حاکم بر مسئله کم می‌باشد. به عبارتی با تکیه بر حجم موجود از داده‌ها نمی‌توان با اطمینان خصوصیات احتمالاتی متغیرهای تصادفی را استخراج کرد تا بتوان نمونه‌های تصادفی تولید نمود. از این رو در این پژوهش علاوه بر روش نمونه‌گیری مستقیم از تابع توزیع، از روش نمونه‌گیری بوت‌استرپ مونت کارلو نیز استفاده شده است. نمونه‌گیری بوت‌استرپ به عنوان جایگزینی برای محاسبات مبتنی بر فرض‌های پارامتری توسعه داده شده است، چرا که در عموم مسائل مهندسی تعداد داده‌های در دسترس محدود بوده و برآورد پارامترها و خصوصیات احتمالاتی حاکم بر متغیرها مشکل می‌باشد. از این رو روش نمونه‌گیری بوت‌استرپ به عنوان یک تخمین از توزیع آماری می‌تواند جایگزین مناسبی باشد.

در نمونه‌گیری بوت‌استرپ با جایگذاری از داده‌های موجود، باز نمونه‌گیری کرده به گونه‌ای که اندازه باز نمونه برابر با اندازه مجموعه داده اصلی باشد. به عنوان مثال، ابتدا با استفاده از یک جایگشت تصادفی با تکرار، برای هر متغیر تصادفی ۱۰۰۰۰ دسته داده تصادفی تشکیل می‌دهیم. یعنی از میان داده‌های موجود به شکل تصادفی، تعدادی از داده‌ها انتخاب و به عنوان مؤلفه‌های دسته داده تصادفی ذخیره شدند. سپس میانگین هر کدام از دسته‌های تشکیل شده در یک بردار ذخیره شده تا به عنوان داده‌های تصادفی تولیدی از متغیر مدنظر در فرآیند تحلیل مونت کارلو مورد استفاده قرار گیرند. فرآیند تشریح شده برای روش نمونه‌گیری بوت‌استرپ به صورت شماتیک در شکل ۲-۱۰ نمایش داده شده است. برای شبیه‌سازی به روش bootstrapping مونت کارلو، باید از تولید کننده عدد تصادفی یکنواخت استفاده کرد [۳۰].



شکل (۲-۱۰) توصیف شماتیک از نمونه گیری بوت استرپ [۳۱]

در این مطالعه از هر دو روش مونت کارلو و بوت استرپ مونت کارلو برای تولید متغیر تصادفی استفاده خواهد شد.

۲-۵ تبدیل داده و محاسبات آماری

۲-۵-۱ تبدیل داده

مقدارهای کمی از طریق شمارش یا سنجش با ابزارهای اندازه گیری بدست می آیند. این نوع داده ها به وسیله اعداد نمایش داده می شوند. مانند طول، وزن، فشار و ... از آنجا که این نوع داده ها به صورت عددی هستند امکان انجام محاسبات ریاضی روی آنها وجود دارد. پس می توان میانگین، واریانس و دیگر معیارهای آماری را از روی آنها محاسبه کرد. داده های کمی را با توجه به نوع خصوصیات و مقدار به دو گروه مقیاس فاصله ای^۱ و مقیاس نسبی^۲ تقسیم می کنند.

^۱ Interval scale

^۲ Ratio scale

اگر مقدار متغییر اندازه گیری شده به شکلی باشد که صفر در آن مقداری قراردادی باشد. آن نوع داده را با مقیاس فاصله‌ای می‌شناسند. نسبت تفاضل بین دو مقدار با واحدهای مختلف در این مقیاس حفظ می‌شود. مانند دما، زمان و

اگر مقدار اندازه‌گیری به صورت عددی ولی صفر به معنی هیچ باشد مقیاس نسبی است. مانند طول، وزن و ...

مقدارهای کیفی اغلب با صفت یا ویژگی در جامعه آماری در رابطه هستند. از این مقدارها به منظور طبقه‌بندی یا دسته‌بندی جامعه آماری می‌توان استفاده کرد. ویژگی‌های کیفی معمولاً به صورت متنی ثبت می‌شوند. اغلب برای استفاده از داده‌های کیفی، باید آنها به صورت عدد نشان داده شوند. این کار به معنی انجام محاسبات بر روی آنها نیست بلکه اعداد فقط کدهایی برای نمایش مقدارهای کیفی هستند. این نوع داده‌ها برای دسته بندی به کار می‌روند. ولی با توجه به نوع کدگذاری آنها و تبدیل‌شان به اعداد دو مقیاس اسمی^۱ و مقیاس ترتیبی^۲ برای آنها می‌توان در نظر گرفت.

اگر از کد و اعداد فقط برای متمایز کردن داده‌های کیفی کمک گرفته شود از مقیاس اسمی استفاده شده است. مقدارهای عددی در این حالت قابلیت مرتب سازی اعضای جامعه آماری را نمی‌دهد.

زمانی که داده های کیفی را به وسیله اعداد کدگذاری کنیم که ترتیب داده ها حفظ شود از مقیاس ترتیبی استفاده شده است. مثلاً برای میزان مهارت که مقدارهای ضعیف، متوسط و زیاد را دارد از کدهای ۱، ۲ و ۳ استفاده کنیم، ترتیب داده‌های کیفی به وسیله کدگذاری حفظ می‌شود [۳۲].

در این مطالعه با بررسی کاراکترها مشخص می‌شود، کاراکترها هم به صورت کیفی و هم به صورت کمی هستند.

¹ Nominal

² Ordinal

۲-۵-۲ محاسبات آماری

مدل‌های احتمالات^۱، همچون مدل‌های معین سعی در پیش‌بینی و شبیه‌سازی یک پدیده را دارد اما برعکس مدل‌های معین که مقدار مشخصی دارند و عدم قطعیتی ندارند، مدل‌های احتمالاتی رفتار یک مدل را با مقادیر مختلفی شبیه‌سازی می‌کنند که متناظر با احتمال‌های مختلفی هستند. برای پردازش داده‌های یک پدیده یا همان محاسبات آماری دو نوع شاخص آماری تعریف می‌شود:

۱- شاخص‌های مرکزی: این شاخص‌ها شامل میانگین (مقدار مورد انتظار)، میانه و مد می‌باشد.

۲- شاخص‌های پراکندگی: این دسته از شاخص‌ها شامل واریانس و انحراف معیار و ... می‌باشد [۳۳].

۲-۵-۲-۱ میانگین

میانگین یا امید ریاضی^۲ از نخستین شاخص‌های است که برای متغیرهای تصادفی و مدل‌های آماری محاسبه می‌شود تا بتوان به کمک آن به طور کاملاً تقریبی یک مقدار مورد انتظار از متغیر تصادفی را در نظر گرفت. محاسبه میانگین برای تعداد N نمونه برای متغیر تصادفی X بصورت زیر تعریف می‌شود [۳۳]:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2-7)$$

۲-۵-۲-۲ واریانس

واریانس در لغت به معنی تفاوت و تغییر است که از مجذور انحراف از میانگین بدست می‌آید. برای تعداد N نمونه واریانس یک متغیر تصادفی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2-8)$$

¹ Probabilistic Models

² Expected value

اگر تمام داده‌ها به میانگین (\bar{X}) نزدیک باشند، v^2 کوچک می‌شود. به ویژه اگر تمام x ها با \bar{X} برابر باشند، v^2 صفر می‌شود. این حقایق نشان می‌دهند که v^2 معیار خوبی برای سنجش پراکندگی و فاصله داده‌ها نسبت به میانگین است [۳۳].

۲-۵-۲ انحراف استاندارد

اما شاخصی که اهمیت بیشتری نسبت به واریانس در محاسبات آماری در مدل‌های احتمالاتی دارد، انحراف معیار یا همان جذر واریانس است که پراکندگی داده‌ها نسبت به میانگین را نشان می‌دهد. انحراف معیار به دلیل اینکه هم بعد با متغیر تصادفی است می‌تواند در مقایسه چندین متغیر تصادفی که بعد یکسانی دارند مورد استفاده قرار گیرد. انحراف معیار به صورت زیر تعریف می‌شود [۳۳]:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-9)$$

در این تحقیق معیار آماری احتمال فراگذشت^۱ نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به همین منظور ابتدا تابع حالت حدی^۲ را تعریف کرده و سپس از تابع حالت حدی بدست آمده احتمال فراگذشت محاسبه می‌شود.

۲-۵-۴ تابع حالت حدی

به طور کلی تابع حالت حدی ($g(x)$)، مرز بین عملکرد مطلوب و عملکرد نامطلوب یک سیستم را نشان می‌دهد. اگر شاخص عملکرد مطلوب R_0 و شاخص عملکرد $R(x)$ در هر حالت شبیه سازی در نظر گرفته شود، که هر کدام تابعی از متغیرهای تصادفی باشند، آنگاه تابع حالت حدی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g(x) = R(x) - R_0 \quad (2-10)$$

¹ Exceedance probability

² Limit State Function

که در این معادله $g(x)$ تابع حالت حدی، $R(x)$ شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده، R_0 آستانه تعریف شده برای شاخص عملکرد و X بردار متغیرهای ورودی $X = \{X_1, X_2, \dots, X_8\}^T$ می‌باشد. در حالتی که $R(x)$ بزرگتر از R_0 شود، تابع حالت حدی مثبت خواهد شد که به معنی عملکرد مطلوب است و اگر $R(x)$ کوچکتر از R_0 شود، تابع حالت حدی منفی شده و به معنی عملکرد نامطلوب است [۳۴].

۲-۵-۲ احتمال فراگذشت

احتمال فراگذشت یک معیار آماری است که احتمال فراتر رفتن از یک مقدار خاص را توصیف می‌کند. این مقدار خاص توسط تابع حالت حدی بدست می‌آید که با محاسبه احتمال فراگذشت، می‌توان احتمال آن را بدست آورد. رخداد $g(x) \geq 0$ بیان می‌کند که مقدار برآورد شده $g(x)$ از مقدار آستانه تجاوز نموده است. بنابراین احتمال فراگذشت به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$P_f = P(g(x)) \geq 0 = P(R(x)) \geq R_0 \quad (2-11)$$

احتمال P_f با حل احتمال چندگانه زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) \cdot f(x) d(x) \quad (2-12)$$

که در این معادله $\psi(x)$ بیانگر تابع شمارشگر^۱ می‌باشد که برای $g(x) \geq 0$ برابر با واحد و برای بقیه حالات برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. در واقع می‌توان اظهار داشت که P_f مقدار میانگین $\psi(x)$ نسبت به تابع توزیع $f_x(x)$ می‌باشد. بنابراین p_f می‌تواند به شکل زیر بیان گردد:

$$P_f = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \psi(x_k) \quad (2-13)$$

که در این رابطه N بیانگر تعداد کل نمونه‌های تصادفی تولیدی و x نماینده بردار نمونه تصادفی تولیدی k ام می‌باشد [۳۴].

^۱ Step function

**فصل سوم: انتخاب مته با استفاده از داده‌های جدول طبقه‌بندی به
کمک روش مونت کارلو**

۱-۳ مقدمه

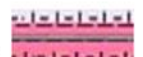











انتخاب مته مناسب برای حفاری، نیازمند ارزیابی عوامل موثر متعددی می‌باشد. البته اگر تمامی عوامل موثر را مورد بررسی قرار دهیم، انتخاب مته بسیار پیچیده خواهد شد. متأسفانه انتخاب مناسب‌ترین مته برای عملیات حفاری، همانند انتخاب سیال حفاری یا ترکیب سیمان مناسب، به صورت سعی و خطا انجام می‌پذیرد و از آنجایی که نمی‌توانیم بخش معینی از چاه را بیش از یکبار حفاری کنیم، مقایسه بین عملکرد مته را می‌توان با مقایسه عملکرد مته‌های متوالی در یک چاه عمیق یا با مقایسه عملکرد مته‌های مورد استفاده مشابه در چاه‌های همجوار به انجام رساند.

همانگونه که در فصل قبل، انواع روش‌های انتخاب مته و اهمیت روش طبقه‌بندی مته‌های کارکرده ذکر شد، در این پژوهش تلاش شده است، مته مناسب با استفاده از داده‌های روش طبقه‌بندی به کمک شبیه‌سازی مونت کارلو انتخاب شود.

نخست داده‌های جدول طبقه‌بندی مربوط به مته‌های حفره "12-1/4" یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران جمع‌آوری شدند. دلیل انتخاب این حفره، تعدد بالای مته برای حفاری و یکسان در نظر گرفتن شرایط حفاری بود. از طرف دیگر، به دلیل اینکه روش مونت کارلو رفتار یک پدیده فیزیکی را با توجه به داده‌های گذشته پیش‌بینی می‌کند، مته‌هایی که به طور متعدد در حفاری چاه‌های مختلف این میدان به کار رفته‌اند انتخاب شدند. با جمع‌آوری و مرتب‌سازی تمام داده‌ها، یک مته کاجی (517) و سه مته تیغه ثابت (M223، M1665 و M423) شرایط مدنظر را داشتند. سپس داده‌های جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده منتخب به داده‌های کمی تبدیل و نرمال‌سازی شدند. هدف پیش‌بینی وضعیت فرسودگی مته‌های مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین برای شبیه‌سازی وضعیت فرسودگی، ابتدا از روش مونت کارلو و برای بررسی دقیق‌تر از روش بوت‌استرپ مونت کارلو استفاده شده است.

۳-۲ موقعیت و مشخصات زمین شناسی میدان مورد مطالعه

میدان مورد مطالعه در جنوب غربی ایران بر پهنه زاگرس غربی واقع شده که ساختار تاقدیسی دارد. این ناحیه در حدود ۷۴۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. گرایش تاقدیس آن شمالی- جنوبی است. حفره مورد مطالعه (12-1/4")، معمولاً شامل سازندهای آسماری، پابده، گورپی، ایلام، لافان و سروک است و بازه عمق حفاری شده آن بین ۱۲۴۰ تا ۳۳۵۰ متر می‌باشد [۳۵]. سازندهای این میدان به همراه لیتولوژی هر سازند در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.

Formation	Column	Area I	Area II	Area III	Lithology Description
		Bottom Depth	Bottom Depth	Bottom Depth	
Aghajari		1293	1096	961	Marl , Sand-shale
Gachsaran		1756	1461	1267	Anhydrite, sandstone, Limestone, dolomite with high pressure salt aquifer. Salt bed, Salt water 1.15SG.
Asmari		2078	1771	1460	Sandstone, sandy limestone, limestone, dolomite and contains salt aquifer, H ₂ S. Salt water 1.15SG.
Pabdeh		2327	2175	1982	Limestone, shale and silt interbed, interbeded horizons glauconite, with salt aquifer, H ₂ S. Salt water 1.15SG.
Gurpi		2605	2515	2329	Argillaceous limestone and marl with scattered glauconite, asphalt, with salt aquifer. Salt water 1.15SG.
Ilam		2702	2616	2520	Limestone, argillaceous limestone, shale interbed. Salt water 1.15SG.
Lafan		2708	2622	2646	Shale and dolomite.
Sarvak		3350	3270	3279	Limestone to argillaceous limestone, in the lower part is shale and dolomite, with salt aquifer. Salt water 1.15SG.H ₂ S
Kazhdumi		3554	3474	3450	Argillaceous limestone and sand in lower part. Salt water 1.15SG.
Dariyan		3744	3734	3661	Limestone with salt aquifer.
Gadvan		4107	3947	3780	Limestone to sandstone, shale and silt shale ,with salt aquifer. H ₂ S. Salt water 1.15SG.
Fahliyan		4376	4271		Limestone to sandy limestone. Salt water 1.15SG.

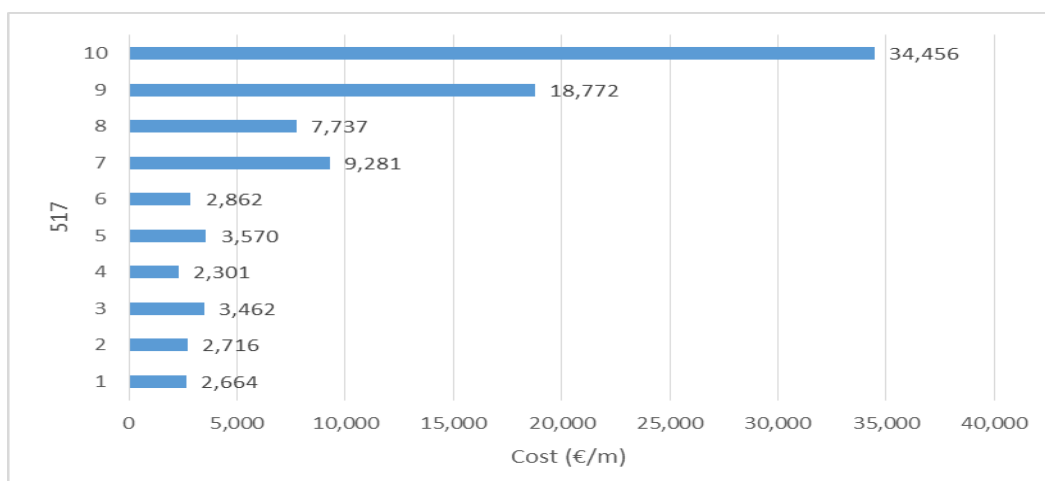
شکل (۱-۳) سازندهای میدان مورد مطالعه [۳۵]

۳-۳ روش هزینه حفاری در واحد عمق

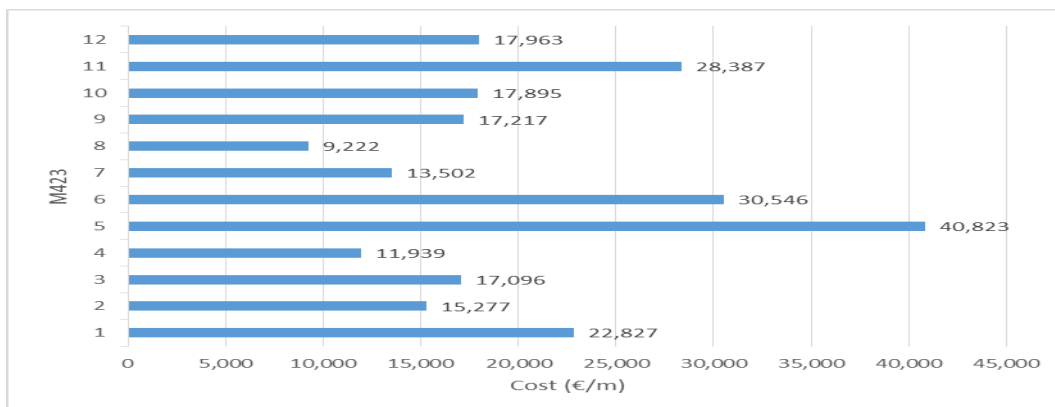
اولین مرحله در ارزیابی کارایی یک مته، ارزیابی کارکرد اقتصادی آن در حفاری می‌باشد. این ارزیابی توسط هزینه حفاری در واحد عمق، صورت می‌گیرد.

بخشی از این داده‌ها از جدول‌های Bit Record حفاری، استخراج و بخش دیگر که مربوط به هزینه‌های دکل و مته می‌باشد، از متخصصان حفاری گردآوری شده است. هزینه حفاری مرتبط با کارکرد مته، شامل قیمت مته، هزینه روزانه دکل حفاری، برای حفره "12-1/4" در چاه‌های مختلف محاسبه گردید. سپس زمان رفت و برگشت و تعویض مته به منظور حذف خطاهای اندازه‌گیری و همچنین جلوگیری از ورود پارامترهای غیر مرتبط با کارکرد مته، که در زمان ثبت شده در گزارش روزانه حفاری وجود دارد، به صورت تئوری و با در نظر گرفتن یک ساعت به ازای هر ۱۰۰۰ متر عمق، محاسبه شد. قیمت مته از جداول نرخ خرید مته استخراج و هزینه روزانه دکل ۱۵۴۰۰ یورو در روز بود، با توجه قرارداد در نظر گرفته شد (هزینه دکل در هر ساعت حدود ۶۴۲ یورو است).

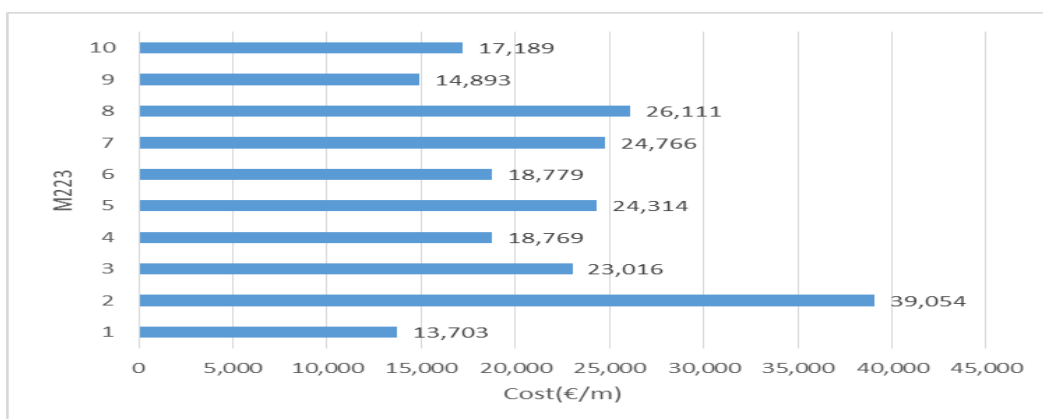
بر همین اساس، هزینه حفاری در واحد عمق برای چهار مته انتخابی به صورت نموداری در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.



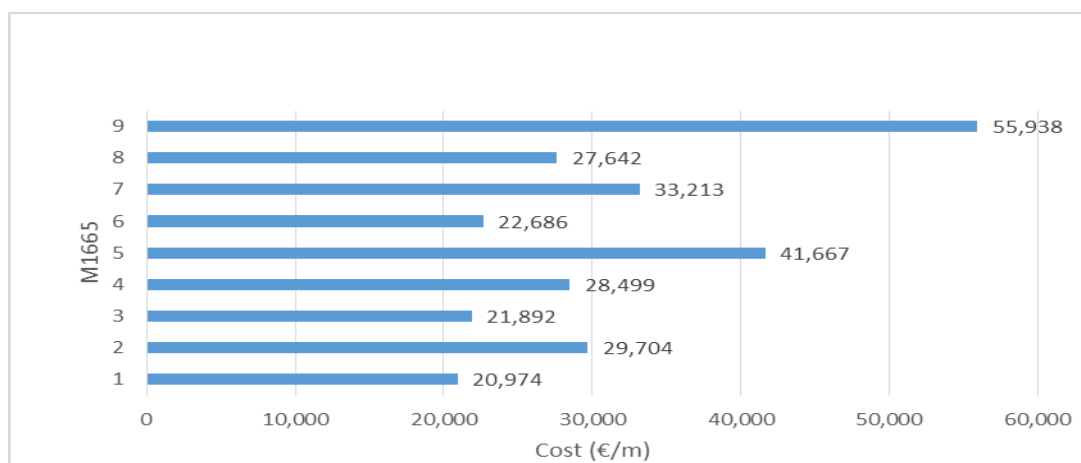
شکل (الف) هزینه حفاری در واحد عمق مته 517 در چاه‌های مختلف میدان مورد مطالعه، حفره "12-1/4"



شکل (ب) هزینه حفاری در واحد عمق مته M423 در چاه های مختلف میدان مورد مطالعه، حفره "12-1/4"



شکل (ج) هزینه حفاری در واحد عمق مته M223 در چاه های مختلف میدان مورد مطالعه، حفره "12-1/4"



شکل (د) هزینه حفاری در واحد عمق مته M1665 در چاه های مختلف میدان مورد مطالعه، حفره "12-1/4"

شکل (۲-۳) هزینه حفاری در واحد عمق برای مته های مورد مطالعه

(الف) مته 517، (ب) مته M423، (ج) مته M223 و (د) مته M1665

همانگونه که ملاحظه می‌شود، قیمت هزینه حفاری در واحد عمق هر متر در هر چاه بسیار متغیر است. که ممکن است به دلیل مشکلات مختلف از جمله گیر لوله، هرزروی، مشکلات درون چاهی و سایر موارد رخ داده و موجب افزایش هزینه در هر چاه شود. به همین منظور از میانگین هزینه حفاری در واحد عمق برای هر متر استفاده می‌شود تا بتوانیم مقایسه‌ای بین این روش و روش پیشنهادی انجام شود. میانگین نتایج روش هزینه حفاری در واحد عمق در جدول (۴-۱) قابل مشاهده است.

جدول (۳-۱) میانگین هزینه حفاری در واحد عمق چهار متر مورد مطالعه

ردیف	نوع متر	میانگین هزینه حفاری واحد طول (€/m)
۱	M423	20225
۲	517	8782
۳	M223	22059
۴	M1665	31357

با توجه به روش هزینه حفاری در واحد عمق، متر انتخابی برای حفره "12-1/4" به دلیل پایین بودن هزینه، متر 517 است. ولی همانگونه که در فصل دوم اشاره شد، این روش به تنهایی روش مناسبی برای انتخاب متر حفاری نیست. در این روش اگر ریسک برخورد با مشکلات چاه در نظر گرفته شود، هزینه حفاری در واحد عمق افزایش می‌یابد. زمان تعویض متر همیشه به سادگی تعیین نمی‌شود، که با تغییر زمان هزینه حفاری واحد طول تغییر می‌کند. همانگونه که در نتایج بدست آمده در شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود، هزینه حفاری در واحد عمق برای یک حفره در چاه‌های مختلف متغیر است و برای ساده کردن کار و مقایسه با روش پیشنهادی، میانگین هزینه حفاری در واحد عمق در نظر گرفته شد. بنابراین برای انتخاب متر، نمی‌توان به تنهایی از روش هزینه حفاری در واحد عمق استفاده کرد و نیاز به بررسی عوامل دیگر احساس می‌شود.

۳-۴ لیست و پیش پردازش داده‌ها

در روش مورد مطالعه، ابتدا داده‌های جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده‌ای که به طور متعدد در حفاری این میدان به کار رفته‌اند، جمع‌آوری شدند. داده‌های حفره "12-1/4" مربوط به ۱۲ چاه حفاری شده در میدان مورد مطالعه می‌باشد که شامل یک مته کاجی 517 و سه مته تیغه ثابت M223، M423 و M1665 است. لازم به ذکر است برخی از مته‌های مورد مطالعه در یک چاه دو تا سه بار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مته 517 اعماق ۱۲۶۵ تا ۳۳۳۸ متری، مته M423 اعماق ۱۲۱۱ تا ۳۹۲۰ متری، مته M223 اعماق ۱۴۵۳ تا ۳۵۷۸ متری و مته M1665 اعماق ۱۵۰۱ تا ۲۷۴۸ متری به طور متوسط حفاری کرده‌اند. در جدول (۲-۳) جدول طبقه بندی مته‌های کارکرده مورد مطالعه آمده است.

جدول (۲-۳) جدول طبقه بندی مته‌های مورد مطالعه [۳۵]

ردیف	کد مته	دندانه داخلی	دندانه خارجی	خصوصیات فرسودگی	محل فرسودگی	بیرینگ و نشت‌بندی	گیج مته	دیگر خصوصیات فرسودگی	دلیل بیرون کشیدن مته
1	517	2	2	CT	A	E	I	WT	PR
2	517	*	*	*	*	*	*	*	*
3	517	*	*	*	*	*	*	*	*
4	517	*	*	*	*	*	*	*	*
5	517	*	*	*	*	*	*	*	*
6	517	*	*	*	*	*	*	*	*
7	517	*	*	*	*	*	*	*	*
8	517	*	*	*	*	*	*	*	*
9	517	*	*	*	*	*	*	*	*
10	517	*	*	*	*	*	*	*	*
11	517	*	*	*	*	*	*	*	*
12	M423	1	1	WT	A	X	I	NO	TD
13	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
14	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
15	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
16	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
17	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
18	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
19	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
20	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
21	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
22	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
23	M423	*	*	*	*	*	*	*	*
24	M223	0	0	NO	A	X	I	NO	BHA
25	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
26	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
27	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
28	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
29	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
30	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
31	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
32	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
33	M223	*	*	*	*	*	*	*	*
34	M1665	4	6	LT	A	X	I	BT	BHA
35	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*
36	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*
37	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*
38	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*
39	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*
40	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*
41	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*
42	M1665	*	*	*	*	*	*	*	*

برای اینکه بتوان از این داده‌ها در شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده کرد، ابتدا باید همه آنها را به داده‌های کمی تبدیل و آنها را نرمال کرد. بنابراین در مرحله اول مشخصه‌های اول و دوم، بین بازه صفر تا هشت (صفر دندانه نو و هشت دندانه کاملاً فرسوده) که به صورت کمی می‌باشند، از ابتدا رتبه‌بندی می‌شوند. بنابراین برعکس رتبه‌بندی صنعتی که ۸ بیانگر فرسودگی کامل دندانه است، در رتبه‌بندی جدید صفر بیانگر فرسودگی دندانه می‌باشد. به همین منظور تمام اعداد را از عدد ۸ کسر می‌کنیم تا عدد ۸ نمایانگر دندانه نو و عدد صفر نمایانگر دندانه کاملاً فرسوده باشد. دلیل این کار، رتبه‌بندی یکسان کاهش‌ی برای تمام مشخصه‌ها می‌باشد.

مشخصه‌های سوم تا هشتم به صورت کیفی، وضعیت فرسودگی را توصیف می‌کنند. مشخصه‌های کیفی با روش ترتیبی به سه دسته خوب، متوسط و بد دسته بندی شده و به ترتیب برای مشخصه‌هایی که وضعیت آنها خوب کد ۲، متوسط کد ۱ و بد کد صفر در نظر گرفته شد. دلیل این دسته‌بندی، درجه اهمیت این کدها برای توصیف فرسودگی دندانه‌ها می‌باشد. در جدول (۳-۳) می‌توان این دسته‌بندی را ملاحظه کرد.

بعد از این مرحله نوبت به نرمال کردن داده‌ها می‌رسد. هدف از نرمال کردن داده‌ها هم وزن کردن آنها می‌باشد تا تاثیر یکی بیشتر از دیگری نباشد و به اصطلاح منصف باشند. بنابراین داده‌ها باید در یک بازه مساوی نسبت به یکدیگر قرار بگیرند، مثلاً همه در یک بازه بین صفر و یک قرار داشته باشند که به این کار نرمال‌سازی داده^۱ گفته می‌شود. یکی از معروف‌ترین این روش‌ها، نرمال‌سازی حداقل-حداکثر^۲ است [۳۶]. فرمول کلی آن برای تبدیل داده‌ها به بازه‌ی بین ۰ تا ۱ به صورت زیر است:

$$Z = \frac{[X - \text{Min}(X)]}{[\text{Max}(X) - \text{Min}(X)]} \quad (3-1)$$

Z: عدد نرمال شده بین صفر و یک، Min (X): حداقل عدد در آن مجموعه

¹ . Data Normalization

² . MinMaxNormalization

X: عددی که می‌خواهیم نرمال شود Max (X): حداکثر عدد در آن مجموعه

برای مشخصه اول و دوم حداقل عدد صفر و حداکثر عدد هشت در نظر گرفته و برای کاراکترهای سوم تا هشتم نیز با توجه به دسته‌بندی، حداقل عدد صفر و حداکثر عدد دو انتخاب شد. به دین ترتیب داده‌ها نرمال شده و آماده برای استفاده در شبیه‌سازی می‌شوند. در جدول (۳-۴) داده‌های پردازش شده مت‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول (۳-۳) نحوه تبدیل داده‌ها

مشخصه‌های اول و دوم			
مقایس خطی ۰ تا ۸ که صفر دندانه کاملاً فرسوده و هشت دندانه کاملاً سالم (رتبه‌بندی جدید)			
بد (۰)		متوسط (۱)	خوب (۲)
مشخصه سوم - خصوصیات فرسودگی			
BC: Broken cone BF: Bond Failure CC: Cracked Cone CI: Cone Interference CT: Chipped Teet FC: Flat Crested JD: Junk Damage LT: Lost Teeth PB: Pinched Bit RO: Ring Out SS: Shelf Sharpening	WO: Wash Out BT: Broken Teeth & Cutter CD: Cone Dragged CR: Cored ER: Erosion HC: Heat Checked LC: Lost Cone OC: Off center Wear RG: Rounded Gauge SD: Shirrtail Damage TR: Cone Tracking	BU: Balled Up Bit LN: Lost Nozzle PN: Plugged Nozzle WT: Worn Teeth	NO: No Dull Grading
مشخصه چهارم - محل فرسودگی			
Fix Cutter		Roller Cone	
C-Cone N- Nose T-Taper	S-Shoulder G-Guage A-All areas	G-Gauge Row A-All Row	N-Nose Row M- Middle Row
همه محل های فرسودگی را صفر در نظر می گیریم.			
مشخصه پنجم - بیرینگ و نشت بندی			
بیرینگ بدون نشت بندی			
مقایس خطی ۰ تا ۸ که صفر بیرینگ کاملاً فرسوده و هشت بیرینگ کاملاً سالم (رتبه‌بندی جدید)			
بیرینگ نشت بندی شده			
F- Seals failed & N- Not able to Grade		E- Seal effective & X- Fixed Cutter	
مشخصه ششم - قطر مته			
1/16" to 5/8" out of gauge		X- in gauge	
مشخصه هفتم - ادامه خصوصیات فرسودگی بخش سوم			
مشخصه هشتم - دلیل بیرون کشیدن			
PR- penetration rate	FM-Formation change	BHA- Chang Bottom hole	
TQ-torque	TW-Twist off	DMF-Downhole motor failure	
		HP-Hole problems	
		LIH-Lift in hole	
		HR-Hours on bit	
		DTF-Downhole tool failure	
		LOG-Run log	
		DSF-Drill string failure	
		DST-Drill stem test	
		PP-Pump pressure	
		Rig- Rig repair	
		DP-Drill plug	
		TD- Total depth	
		CM-Condition mud	
		WC-Weather condition	
		CP-Core point	

جدول (۳-۴) داده‌های پردازش شده جدول طبقه بندی مت‌های مورد مطالعه

X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1	متغیر	ردیف
دلیل بیرون کشیدن مت	دیگر خصوصیات فرسودگی	گیج مت	یرینگ و نشت‌بندی	محل فرسودگی	خصوصیات فرسودگی	دندان خارجی	دندان داخلی	کد مت	
0	0.5	1	1	0	0	0.75	0.75	517	1
*	*	*	*	*	*	*	*	517	2
*	*	*	*	*	*	*	*	517	3
*	*	*	*	*	*	*	*	517	4
*	*	*	*	*	*	*	*	517	5
*	*	*	*	*	*	*	*	517	6
*	*	*	*	*	*	*	*	517	7
*	*	*	*	*	*	*	*	517	8
*	*	*	*	*	*	*	*	517	9
*	*	*	*	*	*	*	*	517	10
*	*	*	*	*	*	*	*	517	11
1	1	1	1	0	0.5	0.875	0.875	M423	12
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	13
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	14
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	15
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	16
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	17
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	18
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	19
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	20
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	21
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	22
*	*	*	*	*	*	*	*	M423	23
1	1	1	1	0	1	1	1	M223	24
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	25
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	26
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	27
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	28
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	29
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	30
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	31
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	32
*	*	*	*	*	*	*	*	M223	33
1	0	1	1	0	0	0.25	0.5	M1665	34
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	35
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	36
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	37
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	38
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	39
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	40
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	41
*	*	*	*	*	*	*	*	M1665	42

۵-۳ تعریف شاخص عملکرد مته

شاخص عملکرد مته در واقع بیانگر وضعیت فرسودگی هر مته می‌باشد که از میانگین وضعیت ۸ مشخصه اصلی موجود در جدول طبقه‌بندی مته‌های کارکرده به دست می‌آید. در واقع، رابطه شاخص عملکرد به عنوان مدل استاتیک برای شبیه‌سازی وضعیت فرسودگی مته تعریف شده است. این ۸ مشخصه به طور مستقل از یکدیگر در نظر گرفته شده‌اند. رابطه شاخص عملکرد در ادامه آمده است:

$$R = \frac{X1+X2+X3+X4+X5+X6+X7+X8}{8} \quad (۳-۲)$$

R: شاخص عملکرد مته

X1: مشخصه اول (دندان‌های داخلی)

X2: مشخصه دوم (دندان‌های خارجی)

X3: مشخصه سوم (خصوصیات فرسودگی)

X4: مشخصه چهارم (محل فرسودگی)

X5: مشخصه پنجم (بیرنگ و نشت‌بندی)

X6: مشخصه ششم (اندازه قطر مته)

X7: مشخصه هفتم (دیگر خصوصیات فرسودگی)

X8: مشخصه هشتم (دلیل بیرون کشیدن مته)

۳-۶ انتخاب مته با استفاده از جدول طبقه‌بندی مته‌های کار کرده به کمک

روش مونت کارلو

در فرآیند شبیه‌سازی به روش مونت کارلو، هر مشخصه نرمال شده جدول طبقه‌بندی مته‌های مورد مطالعه به عنوان متغیر در نظر گرفته می‌شوند. مراحل فرآیند شبیه‌سازی به ترتیب زیر است:

الف) مشخص کردن تابع توزیع احتمال هر هشت مشخصه مربوط به مته‌های مورد مطالعه

ب) تولید ۱۰۰۰۰ نمونه تصادفی بر اساس تابع توزیع احتمال مربوطه برای هر مشخصه با نرم‌افزار

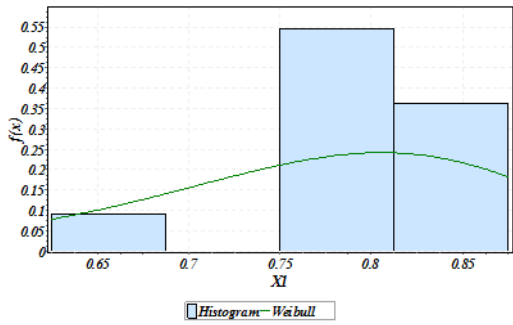
پ) بدست آوردن شاخص عملکرد با جایگذاری نمونه‌های تولید شده

ت) رسم هیستوگرام شاخص عملکردهای محاسبه شده

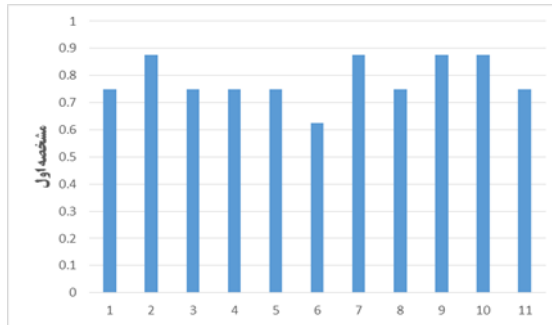
ث) بررسی نتایج با استفاده از معیارهای آماری میانگین و انحراف استاندارد برای انتخاب مته مناسب

۳-۶-۱ مشخص کردن تابع توزیع احتمال مشخصه‌ها

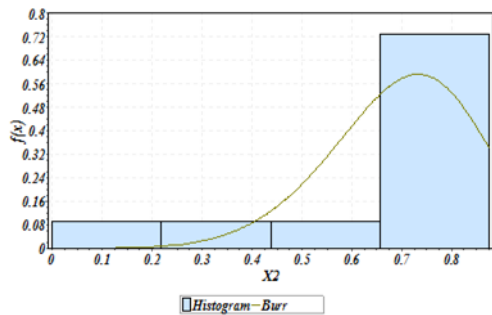
نخست تابع توزیع احتمال مشخصه‌های اول تا هشتم مربوط به مته مورد مطالعه با نرم‌افزار Easyfit مشخص می‌شوند. لازم به ذکر است مشخصه‌هایی که مقدار آنها ثابت باشد، نرم افزار Easyfit قادر به رسم نمودار تابع توزیع احتمال نمی‌باشد. به همین دلیل نمودار تابع توزیع احتمال مشخصه‌های چهارم و پنجم رسم نشده است. نمودار میله‌ای و نمودار تابع توزیع احتمال مشخصه‌های جدول طبقه‌بندی مته 517، M423، M223 و M1665 به ترتیب در شکل‌های (۳-۳) تا (۳-۶) نشان داده شده است.



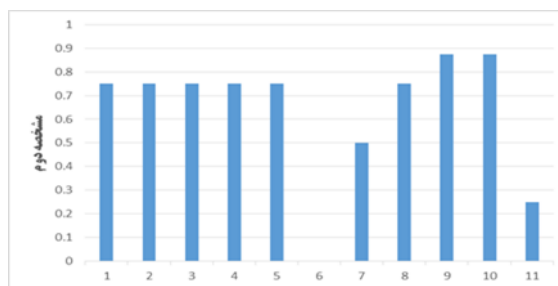
(ب) تابع توزیع احتمال مشخصه اول مته 517



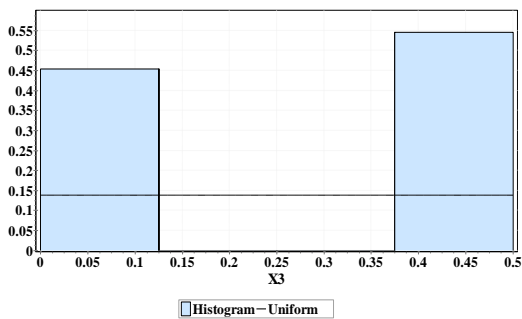
(الف) نمودار میله‌ای مشخصه اول مته 517



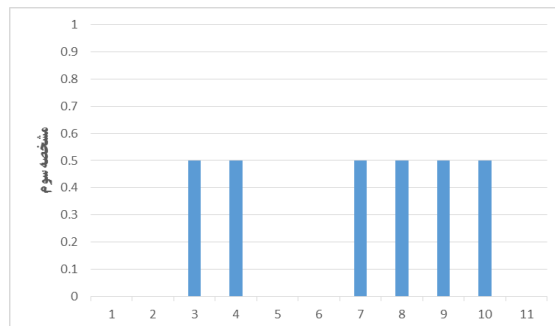
(ت) توزیع تابع احتمال مشخصه دوم مته 517



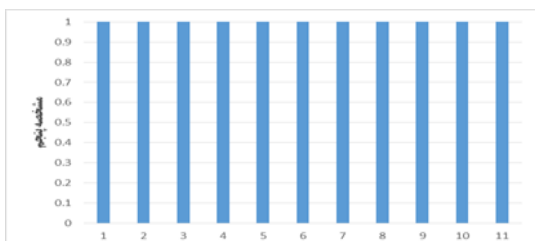
(پ) نمودار میله‌ای مشخصه دوم مته 517



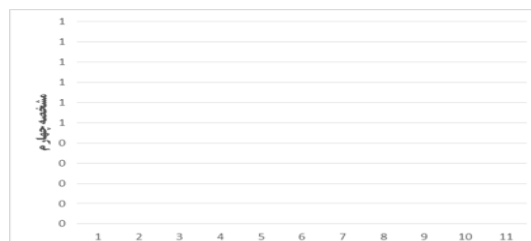
(ج) تابع توزیع احتمال مشخصه سوم مته 517



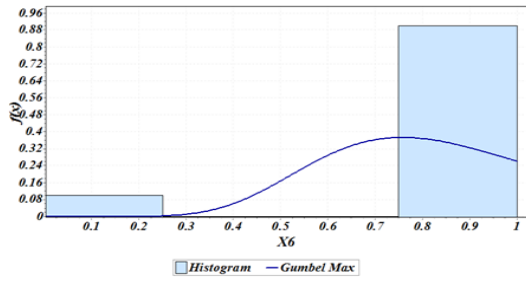
(ث) نمودار میله‌ای مشخصه سوم مته 517



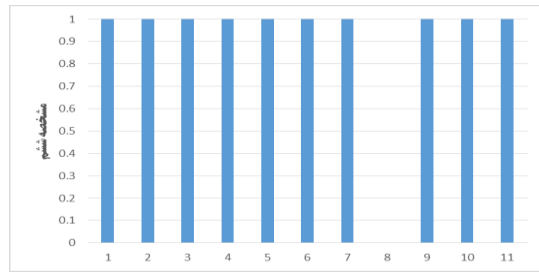
(خ) نمودار میله‌ای مشخصه پنجم مته 517



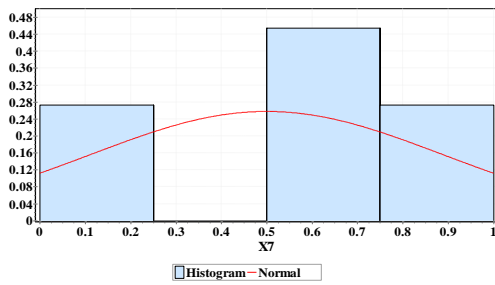
(چ) نمودار میله‌ای مشخصه چهارم مته 517



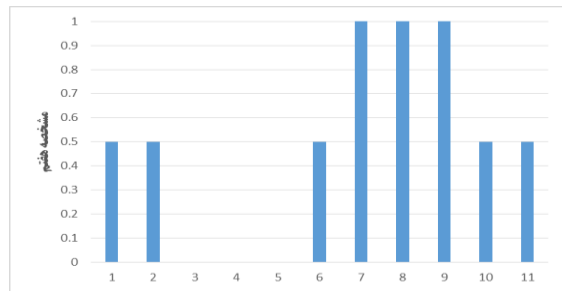
(ذ) تابع توزیع احتمال مشخصه ششم مته 517



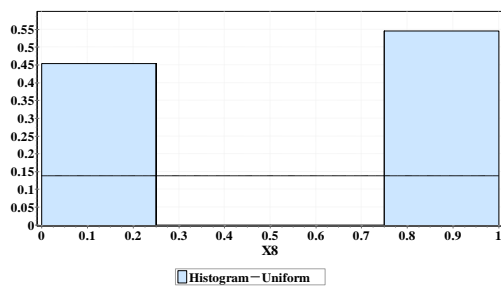
(د) نمودار میله‌ای مشخصه ششم مته 517



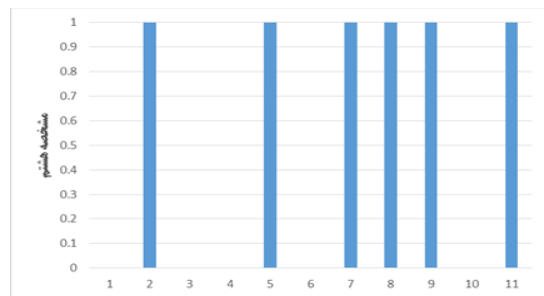
(ز) تابع توزیع احتمال مشخصه هفتم مته 517



(ر) نمودار میله‌ای مشخصه هفتم مته 517

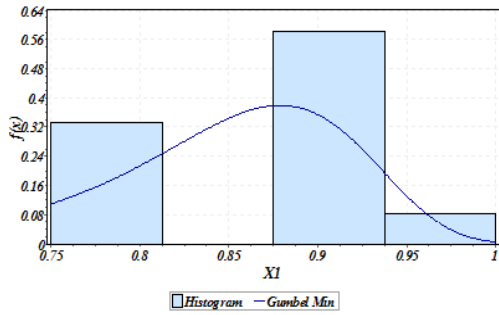


(ط) تابع توزیع احتمال مشخصه هشتم مته 517

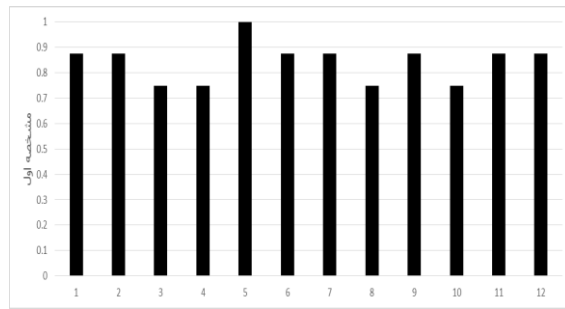


(ز) نمودار میله‌ای مشخصه هشتم مته 517

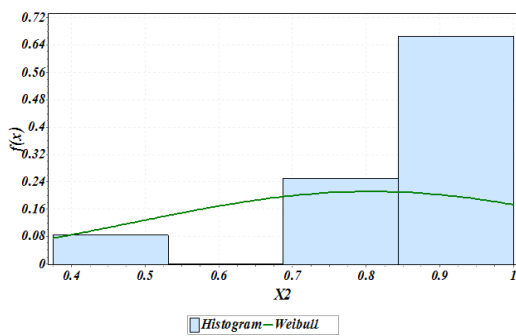
شکل (۳-۳) نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مربوط به مته 517



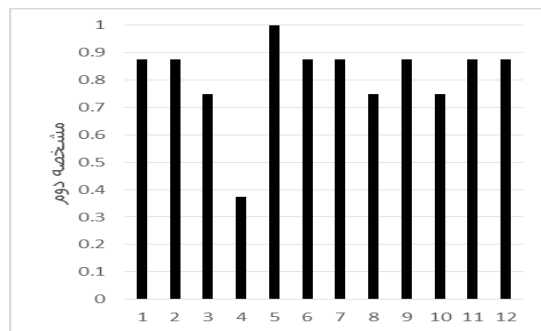
(ب) تابع توزیع احتمال مشخصه اول مته M423



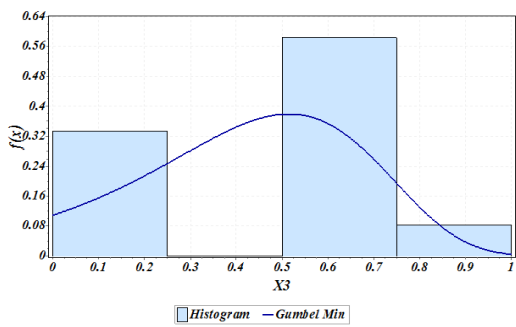
(الف) نمودار میله‌ای مشخصه اول مته M423



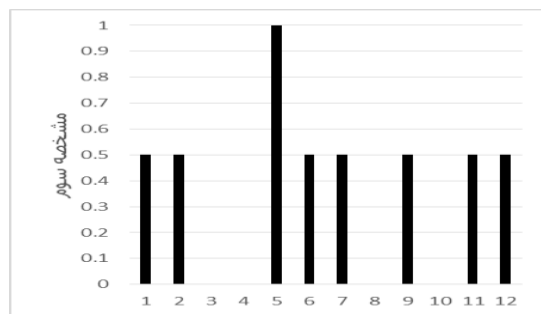
(ت) توزیع تابع احتمال مشخصه دوم مته M423



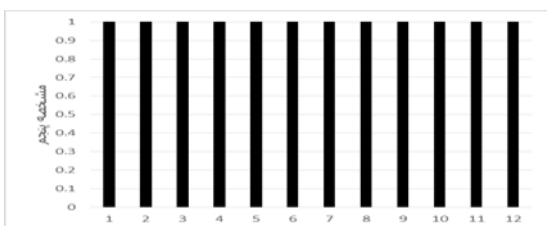
(پ) نمودار میله‌ای مشخصه دوم مته M423



(ج) تابع توزیع احتمال مشخصه سوم مته M423



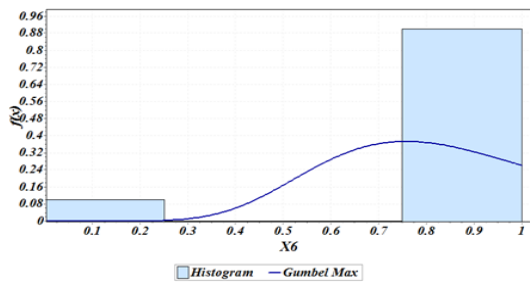
(ث) نمودار میله‌ای مشخصه سوم مته M423



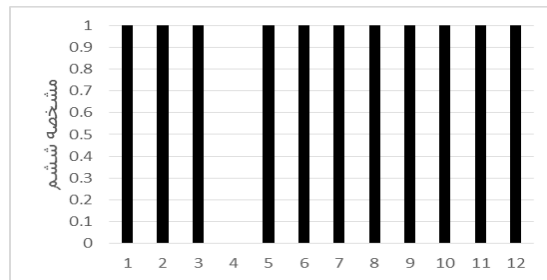
(خ) نمودار میله‌ای مشخصه پنجم مته M423



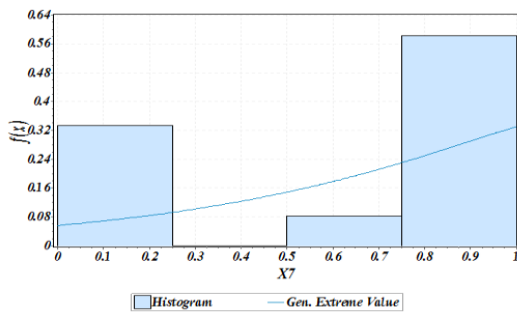
(چ) نمودار میله‌ای مشخصه چهارم مته M423



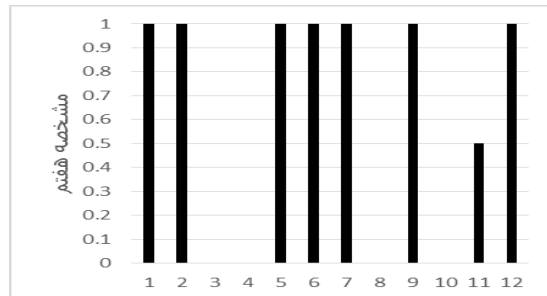
(ذ) تابع توزیع احتمال مشخصه ششم مته M423



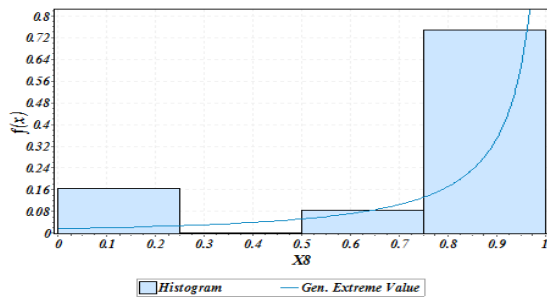
(د) نمودار میله‌ای مشخصه ششم مته M423



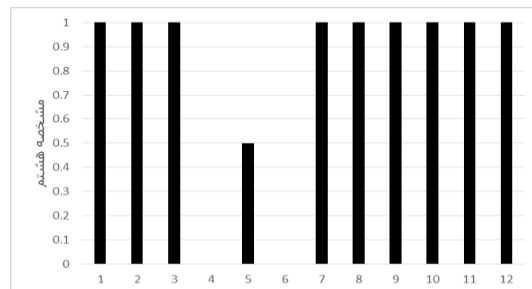
(ز) تابع توزیع احتمال مشخصه هفتم M423



(ر) نمودار میله‌ای مشخصه هفتم M423

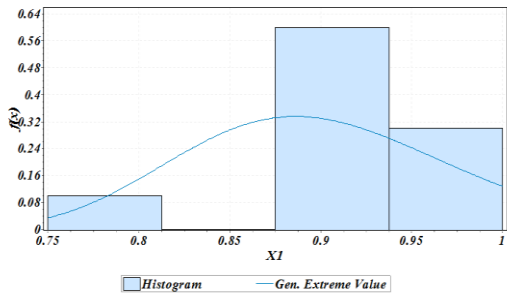


(ط) تابع توزیع احتمال مشخصه هشتم M423

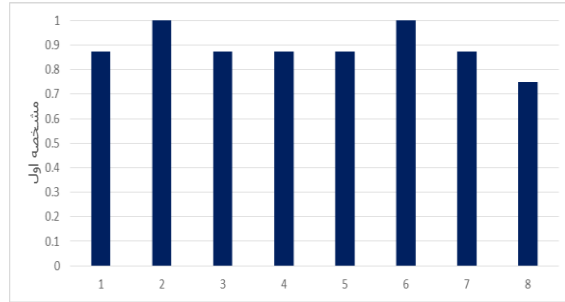


(ژ) نمودار میله‌ای مشخصه هشتم M423

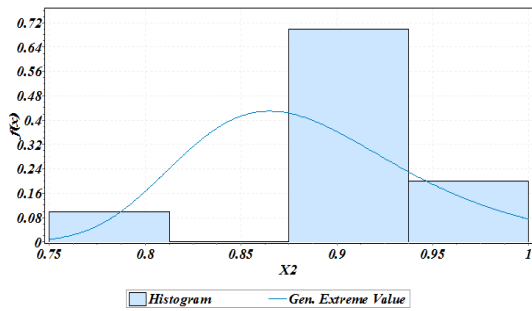
شکل (۳-۴) نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مربوط به مته M423



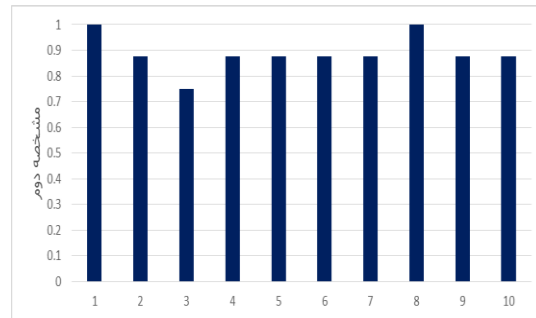
(ب) تابع توزیع احتمال مشخصه اول مته M223



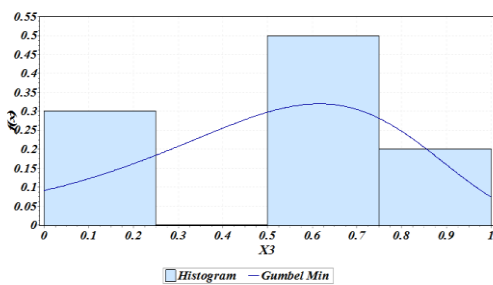
(الف) نمودار میله‌ای مشخصه اول مته M223



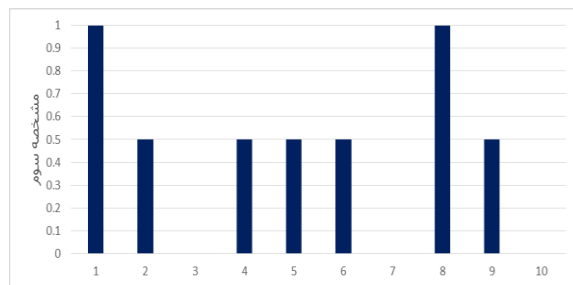
(ت) توزیع تابع احتمال مشخصه دوم مته M223



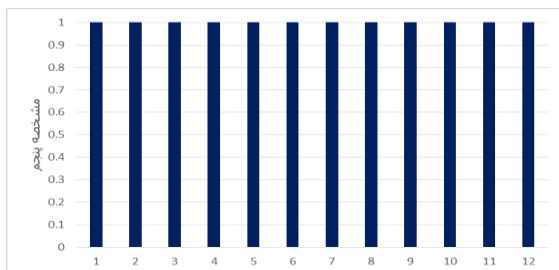
(پ) نمودار میله‌ای مشخصه دوم مته M223



(ج) تابع توزیع احتمال مشخصه سوم مته M223



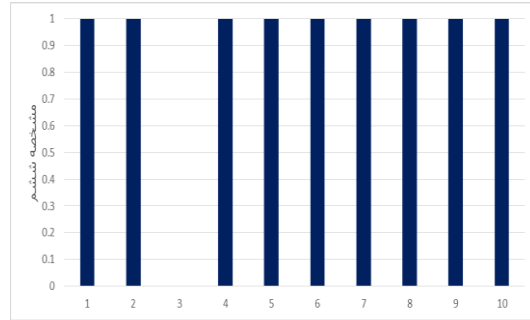
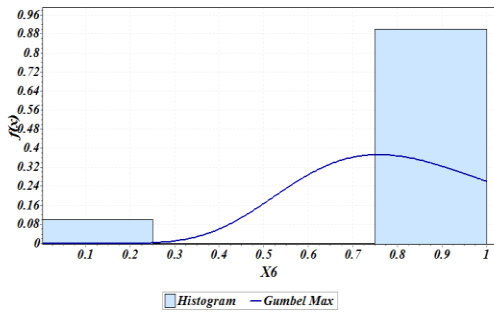
(ث) نمودار میله‌ای مشخصه سوم مته M223



(خ) نمودار میله‌ای مشخصه پنجم مته M223

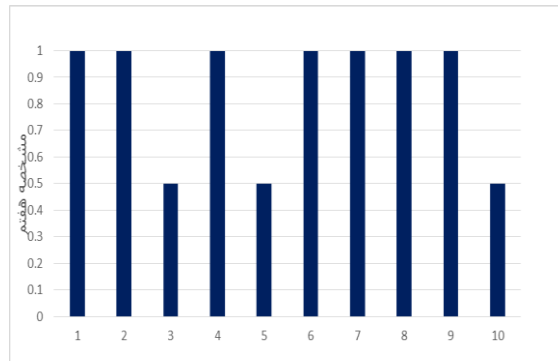
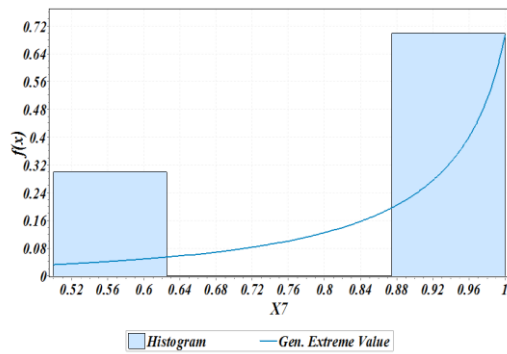


(چ) نمودار میله‌ای مشخصه چهارم مته M223



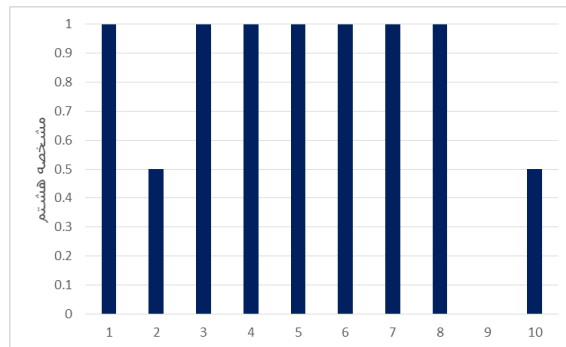
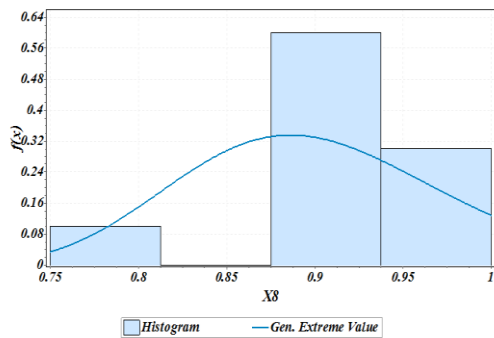
م223 (ذ) تابع توزیع احتمال مشخصه ششم مته

م223 (د) نمودار میله‌ای مشخصه ششم مته



م223 (ز) تابع توزیع احتمال مشخصه هفتم

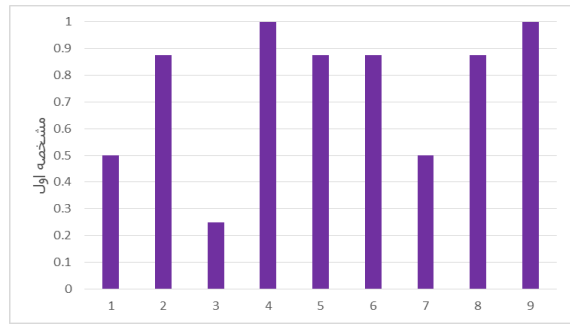
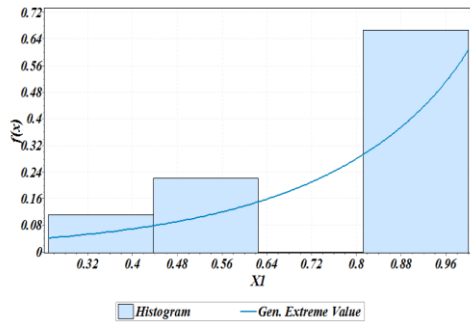
م223 (ر) نمودار میله‌ای مشخصه هفتم



م223 (ط) تابع توزیع احتمال مشخصه هشتم

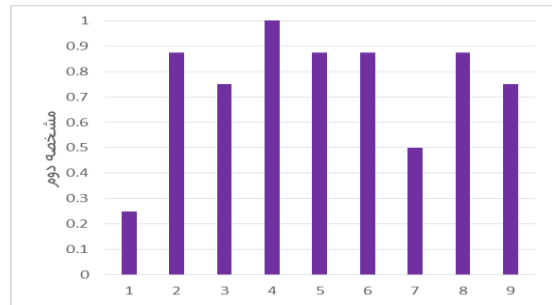
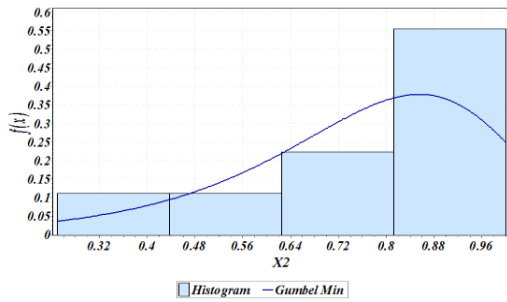
م223 (ز) نمودار میله‌ای مشخصه هشتم

شکل (۳-۵) نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مربوط به مته M223



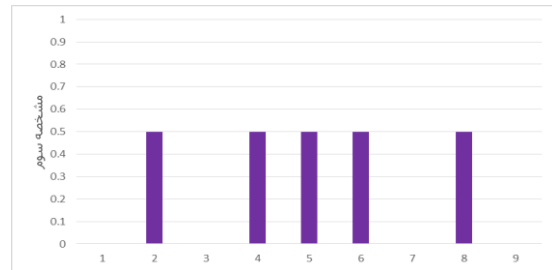
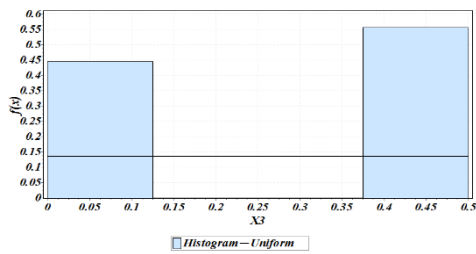
(ب) تابع توزیع احتمال مشخصه اول مته M1665

(الف) نمودار میله‌ای مشخصه اول مته M1665



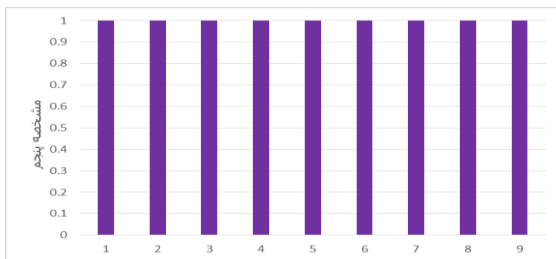
(ت) توزیع تابع احتمال مشخصه دوم مته M1665

(پ) نمودار میله‌ای مشخصه دوم مته M1665



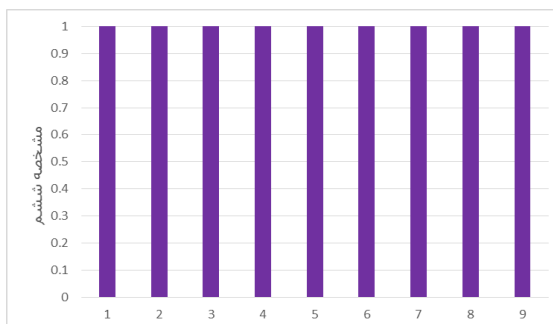
(ج) تابع توزیع احتمال مشخصه سوم مته M1665

(ث) نمودار میله‌ای مشخصه سوم مته M1665

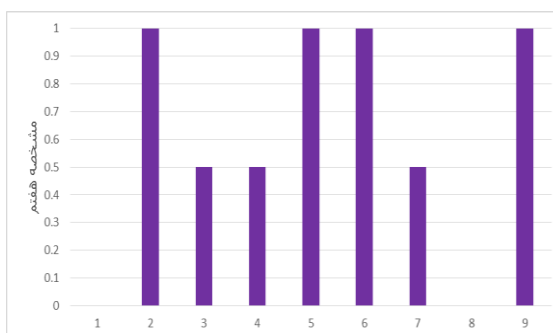
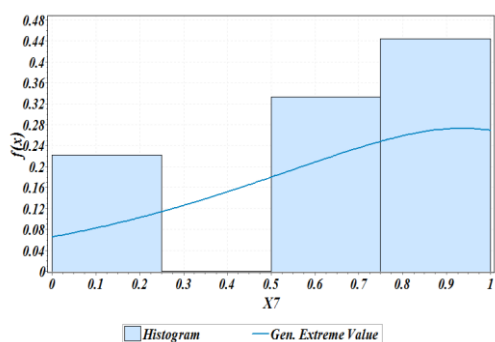


(خ) نمودار میله‌ای مشخصه پنجم مته M1665

(چ) نمودار میله‌ای مشخصه چهارم مته M1665

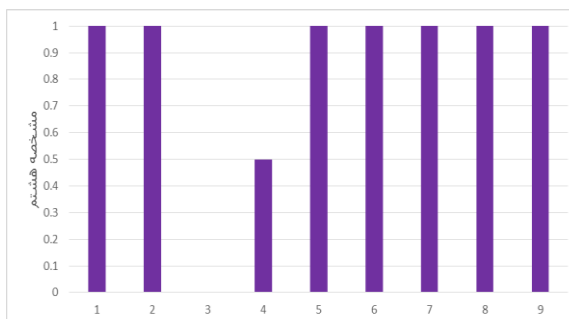
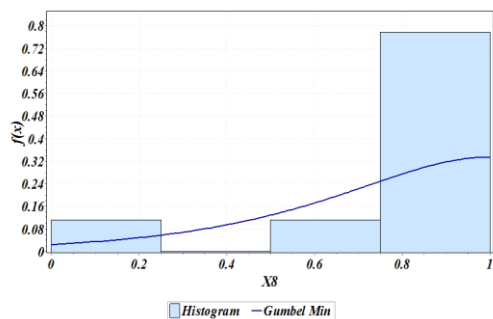


(د) نمودار میله‌ای مشخصه ششم مته M1665



(ز) تابع توزیع احتمال مشخصه هفتم M1665

(ر) نمودار میله‌ای مشخصه هفتم M1665



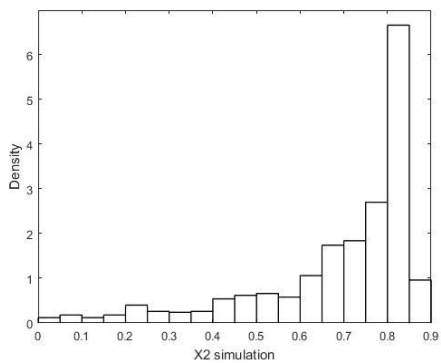
(ط) تابع توزیع احتمال مشخصه هشتم M1665

(ز) نمودار میله‌ای مشخصه هشتم M1665

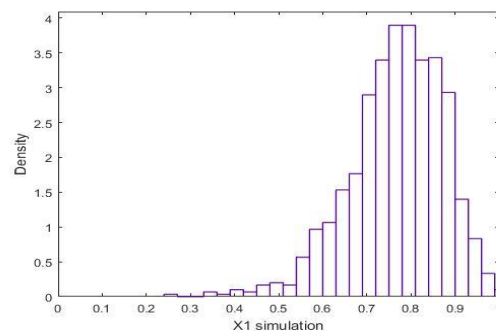
شکل (۳-۶) نمودار میله‌ای و تابع توزیع احتمال هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مربوط به مته M1665

۲-۶-۳ تولید نمونه تصادفی

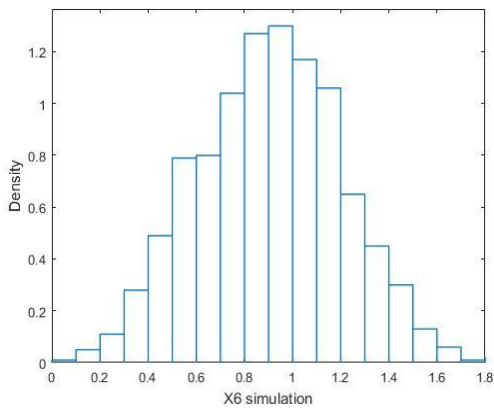
در این مرحله ۱۰۰۰۰ نمونه تصادفی برای هر مشخصه بر اساس پارامترهای تابع توزیع احتمال انتخاب شده، بوسیله نرم افزار Matlab تولید می شود. هیستوگرام نمونه های تصادفی تولید شده برای مت 517، M423، M223 و M1665 به ترتیب در شکل های (۳-۷) و (۳-۱۰) نشان داده شده است.



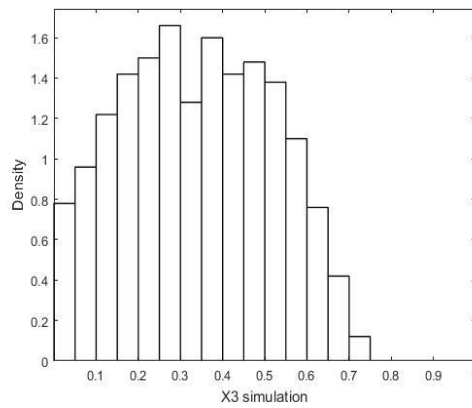
(ب) مشخصه دوم شبیه سازی شده مت 517



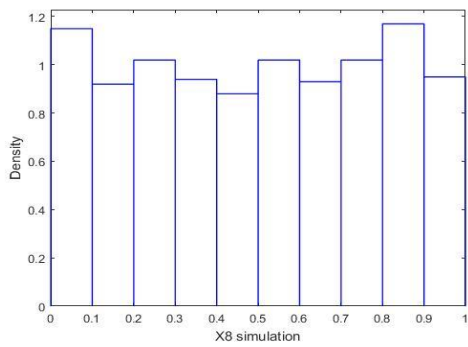
(الف) مشخصه اول شبیه سازی شده مت 517



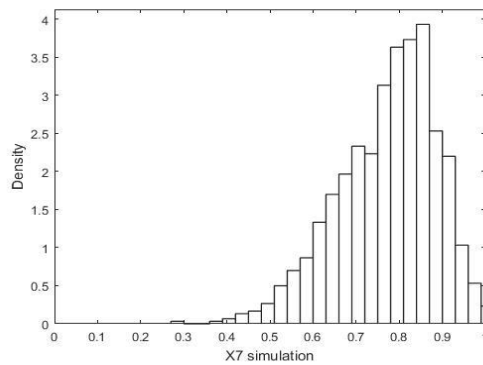
(ت) مشخصه ششم شبیه سازی شده مت 517



(پ) مشخصه سوم شبیه سازی شده مت 517

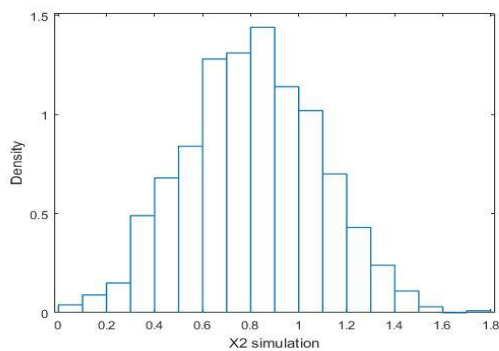


(ج) مشخصه هشتم شبیه سازی شده مته 517

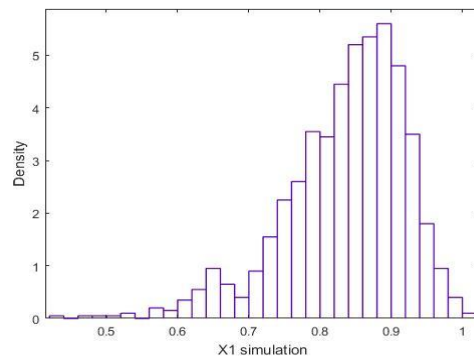


(ث) مشخصه هفتم شبیه سازی شده مته 517

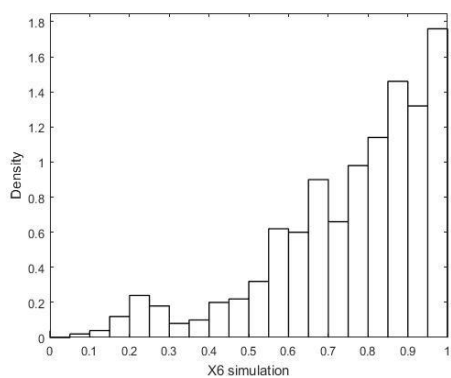
شکل (۷-۳) مشخصه های شبیه سازی شده جدول طبقه بندی مته 517



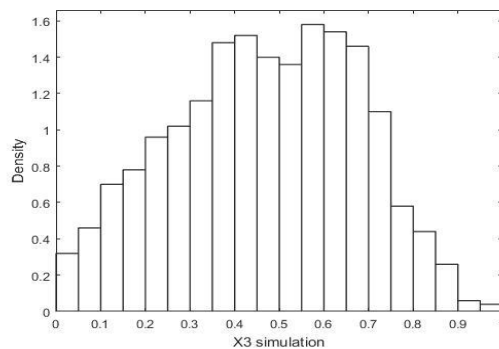
(ب) مشخصه دوم شبیه سازی شده مته M423



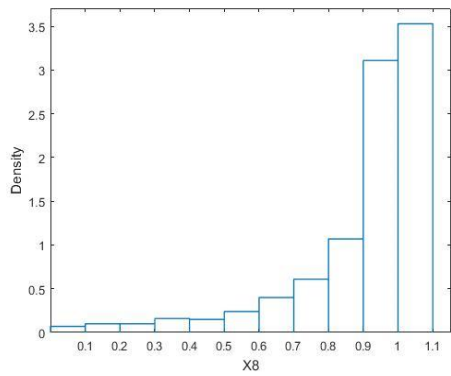
(الف) مشخصه اول شبیه سازی شده مته M423



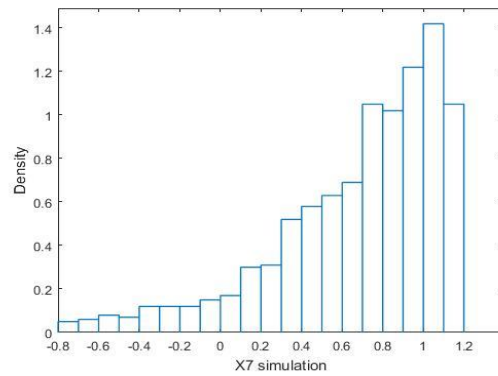
(ت) مشخصه ششم شبیه سازی شده مته M423



(پ) مشخصه سوم شبیه سازی شده مته M423

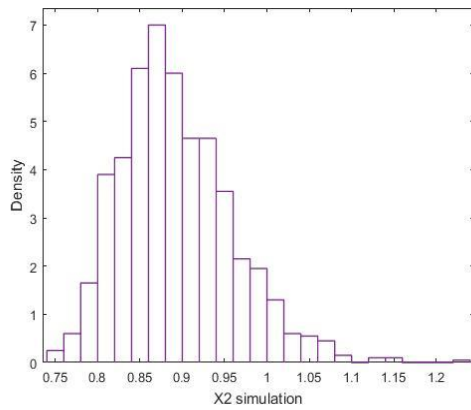


(ج) مشخصه هشتم شبیه سازی شده مته M423

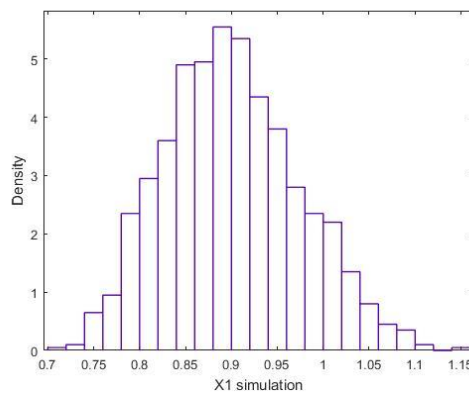


(ث) مشخصه هفتم شبیه سازی شده مته M423

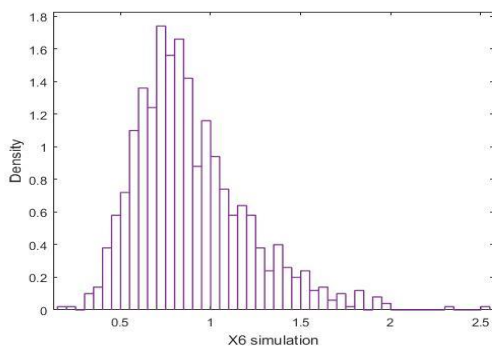
شکل (۳-۸) مشخصه های شبیه سازی شده جدول طبقه بندی مته M423



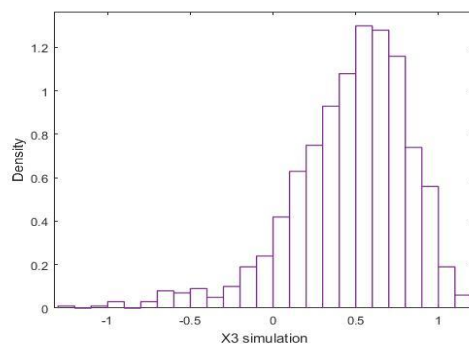
(ب) مشخصه دوم شبیه سازی شده مته M223



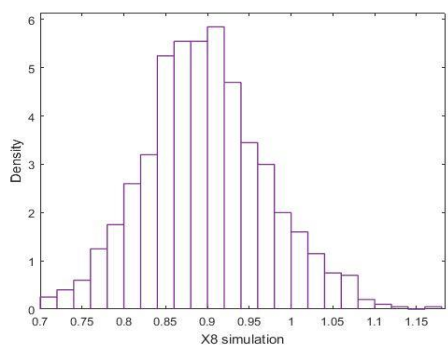
(الف) مشخصه اول شبیه سازی شده مته M223



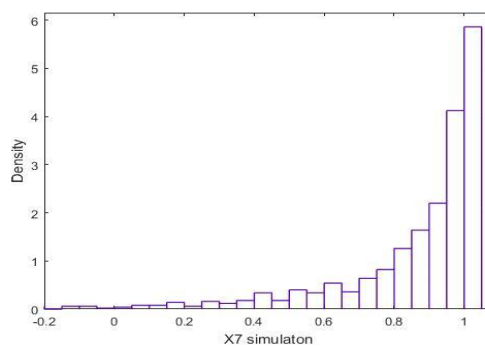
(ت) مشخصه ششم شبیه سازی شده مته M223



(پ) مشخصه سوم شبیه سازی شده مته M223

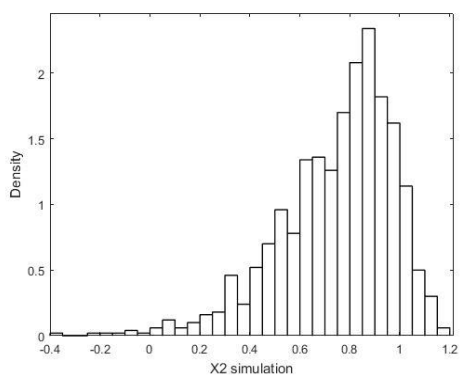


(ج) مشخصه هشتم شبیه سازی شده مته M223

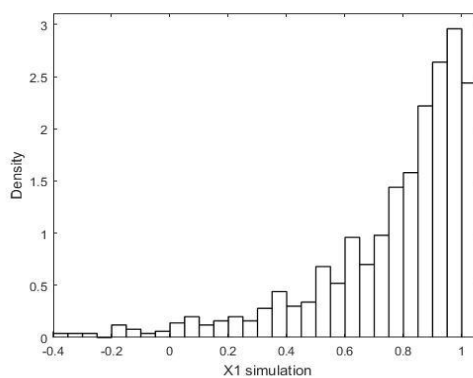


(ث) مشخصه هفتم شبیه سازی شده مته M223

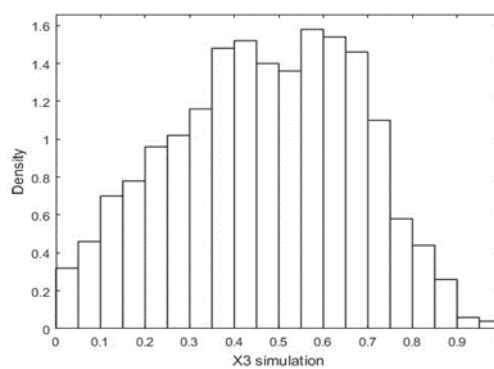
شکل (۳-۹) مشخصه های شبیه سازی شده جدول طبقه بندی مته M223



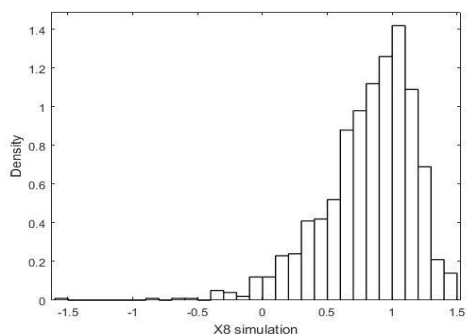
(ب) مشخصه دوم شبیه سازی شده مته M1665



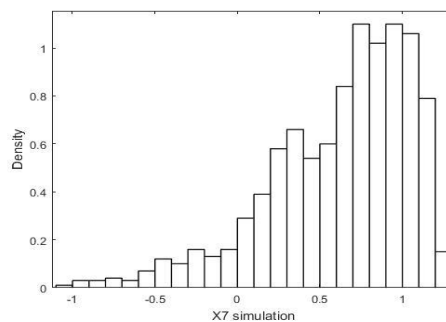
(الف) مشخصه اول شبیه سازی شده مته M1665



(پ) مشخصه سوم شبیه سازی شده مته M1665



(ث) مشخصه هشتم شبیه سازی شده مته M1665

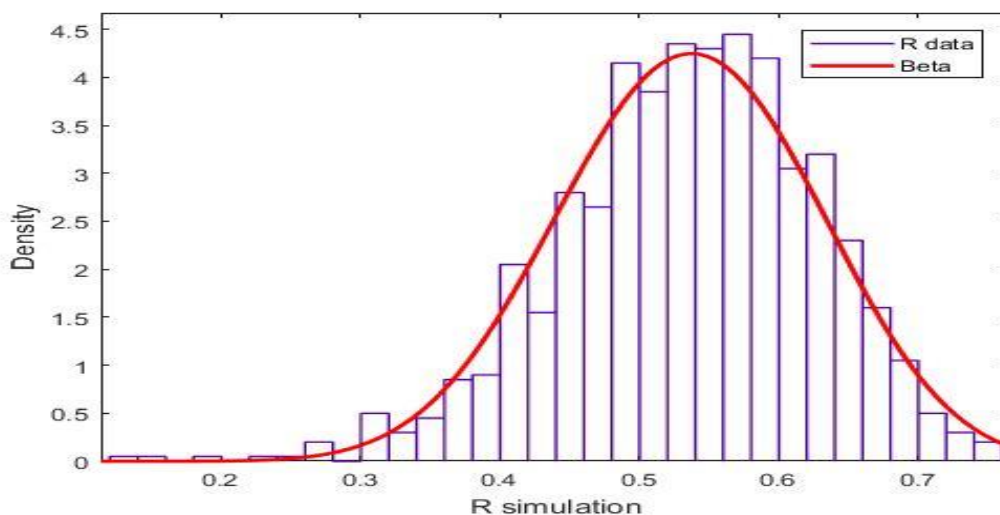


(ت) مشخصه هفتم شبیه سازی شده مته M1665

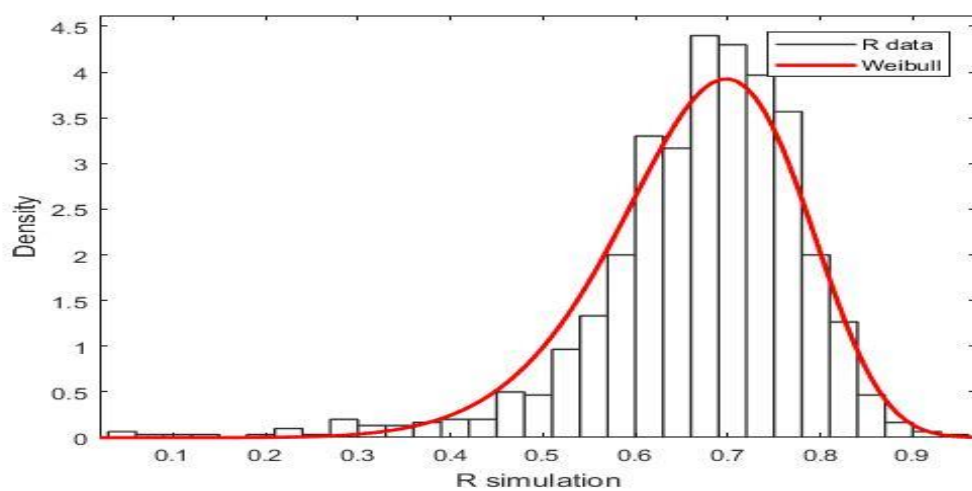
شکل (۳-۱۰) مشخصه های شبیه سازی شده جدول طبقه بندی مته M1665

۳-۶-۳ محاسبه شاخص عملکرد

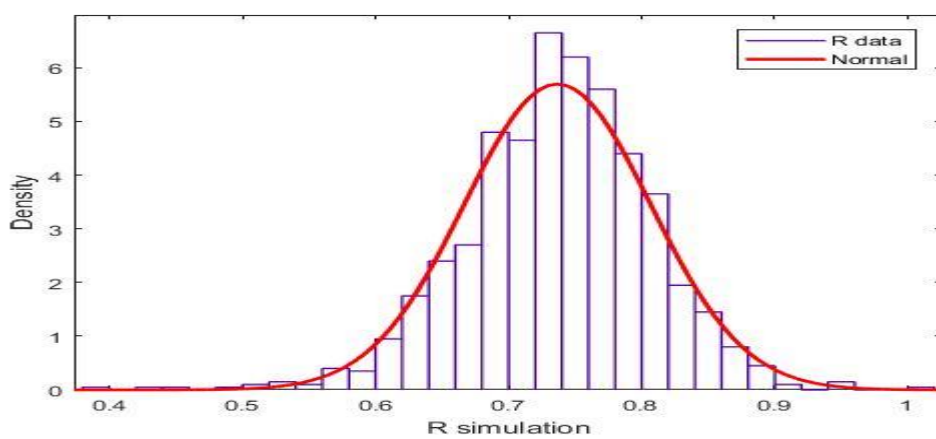
در این مرحله ۱۰۰۰۰ متغیر تولید شده هر مشخصه در رابطه شاخص عملکرد جایگزین می شوند. بدین ترتیب ۱۰۰۰۰ شاخص عملکرد برای مته های مورد مطالعه بدست خواهد آمد. نتیجه شبیه سازی ۱۰۰۰۰ شاخص عملکرد برای مته 517، M423، M223 و M1665 به ترتیب در شکل های (۳-۱۱) تا (۳-۱۴) نشان داده شده است.



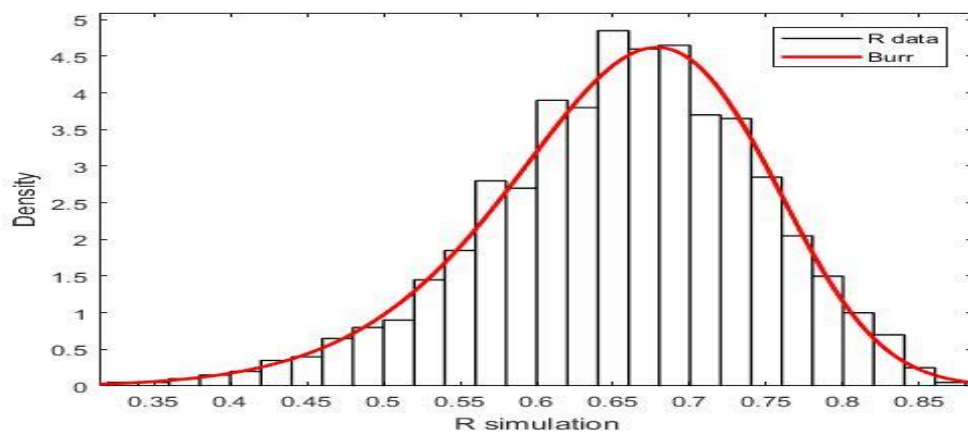
شکل (۳-۱۱) شاخص عملکرد شبیه سازی شده مته 517



شکل (۳-۱۱) شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته M423



شکل (۳-۱۲) شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته M223



شکل (۳-۱۳) شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مته M1665

۴-۶-۳ آنالیز و نتیجه‌گیری

پس از شبیه‌سازی شاخص عملکرد مته‌های مورد مطالعه، نوبت به بررسی نتایج می‌شود. در این قسمت، میانگین و انحراف استاندارد شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. به میزانی که میانگین شاخص عملکرد به عدد یک نزدیک‌تر باشد، وضعیت فرسودگی مته کمتر خواهد بود و به عنوان مته مناسب برای حفاری انتخاب خواهد شد. مقایسه میانگین و انحراف استاندارد هر مشخصه جدول طبقه‌بندی مته 517، M423، M223 و M1665 در حالت واقعی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در جدول (۳-۵) تا (۳-۸) نشان داده شده است. در جدول (۳-۹) مقایسه میانگین و انحراف استاندارد شاخص عملکرد محاسبه شده مته‌های مورد مطالعه در حالت واقعی و شبیه‌سازی شده نشان داده شده است.

جدول (۳-۵) مقایسه میانگین و انحراف استاندارد مشخصه‌های جدول طبقه‌بندی مته 517

مته شماره ۱: 517		
مشخصه اول	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۷۸۴۱	۰/۷۷۵۷
انحراف استاندارد	۰/۱۰۷۸	۰/۱۰۵۳
مشخصه دوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۶۳۹۴	۰/۶۲۸۸
انحراف استاندارد	۰/۲۷۶۴	۰/۳۲۷۴
مشخصه سوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۲۷۸۷	۰/۲۷۸۳
انحراف استاندارد	۰/۲۶۱۱	۰/۲۳۸۲
مشخصه ششم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۹۰۹۱	۰/۸۸۷۶
انحراف استاندارد	۰/۳۰۱۵	۰/۳۰۲۲
مشخصه هفتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۷۷۲۷	۰/۷۶۷۴
انحراف استاندارد	۰/۱۱۲۷	۰/۱۱۴۸
مشخصه هشتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۵۴۵۵	۰/۴۹۵۱
انحراف استاندارد	۰/۲۸۱۱	۰/۲۹۴۰

جدول (۳-۶) مقایسه میانگین و انحراف استاندارد هر مشخصه جدول طبقه‌بندی مته M423

مته شماره ۲: M423		
مشخصه اول	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۸۴۳۷	۰/۸۳۶۲
انحراف استاندارد	۰/۰۷۷۶	۰/۰۸۵
مشخصه دوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۸۱۴	۰/۸۰۵۵
انحراف استاندارد	۰/۲۸۱۵	۰/۲۷۸۴
مشخصه سوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۳۷۵	۰/۴۰۲
انحراف استاندارد	۰/۳۱۰۷	۰/۳۰۱
مشخصه ششم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۹۱۶۶	۰/۹۲۰۴
انحراف استاندارد	۰/۲۸۸۶	۰/۲۸۷۳
مشخصه هفتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۶۲۵	۰/۶۲۷۷
انحراف استاندارد	۰/۴۹۳۴	۰/۵۲۸۱
مشخصه هشتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۷۹۱۶	۰/۷۹۳۹
انحراف استاندارد	۰/۶۰۴۴	۰/۵۵۲۲

جدول (۷-۳) مقایسه میانگین و انحراف استاندارد هر مشخصه جدول طبقه‌بندی مته M223

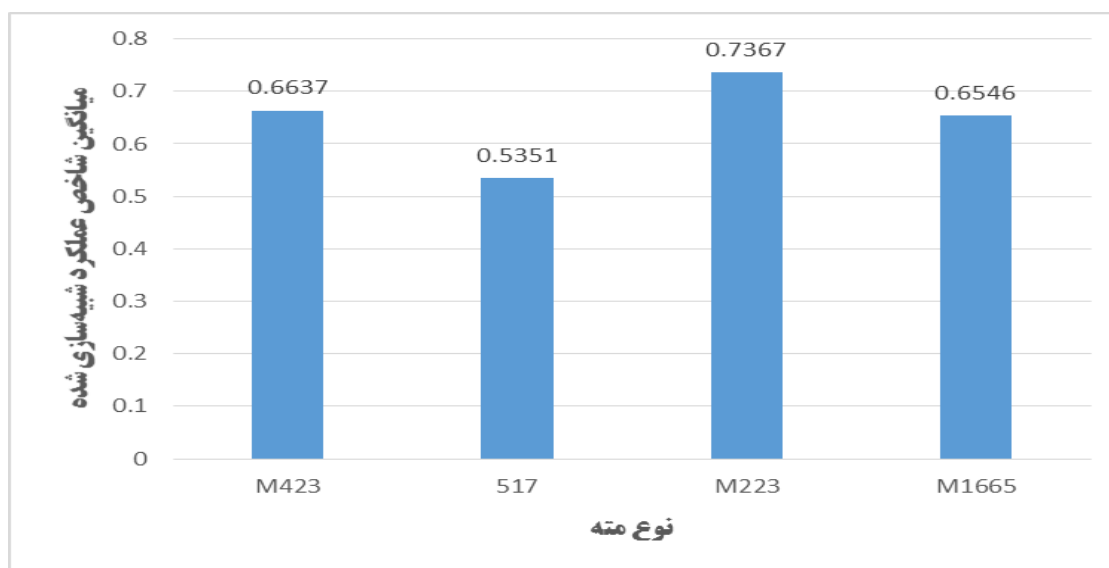
مته شماره ۳: M223		
مشخصه اول	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۹	۰/۹۰۰۵
انحراف استاندارد	۰/۰۷۳۷	۰/۰۷۳۱
مشخصه دوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۸۸۷۵	۰/۸۹۲۷
انحراف استاندارد	۰/۰۶۲۶	۰/۰۶۶۳
مشخصه سوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۴۵	۰/۴۶۷۵
انحراف استاندارد	۰/۳۶۸۹	۰/۳۵۷۸
مشخصه ششم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۹۹۷	۰/۸۸۸۸
انحراف استاندارد	۰/۰۲۶۴	۰/۰۲۵۶
مشخصه هفتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۸۵	۰/۸۴۵۷
انحراف استاندارد	۰/۲۷۸۷	۰/۲۷۰۲
مشخصه هشتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۹	۰/۸۹۸۷
انحراف استاندارد	۰/۰۷۳۷	۰/۰۷۳

جدول (۳-۸) مقایسه میانگین و انحراف استاندارد هر مشخصه جدول طبقه‌بندی مته M1665

مته شماره ۴: M1665		
مشخصه اول	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۷۵	۰/۷۵۸۴
انحراف استاندارد	۰/۲۹۴۹	۰/۲۸۹۸
مشخصه دوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۷۵	۰/۷۴۸۳
انحراف استاندارد	۰/۲۳۳۸	۰/۲۲۸۴
مشخصه سوم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۲۷۷۷	۰/۲۸۸۵
انحراف استاندارد	۰/۲۶۳۵	۰/۲۶۲۹
مشخصه ششم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۱	۱
انحراف استاندارد	۰	۰
مشخصه هفتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۶۱۱۱	۰/۶۲۰۷
انحراف استاندارد	۰/۴۳۶۵	۰/۴۳۴۸
مشخصه هشتم	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۸۳۳۳	۰/۸۲۱۲
انحراف استاندارد	۰/۳۵۳۵	۰/۳۵۶۹

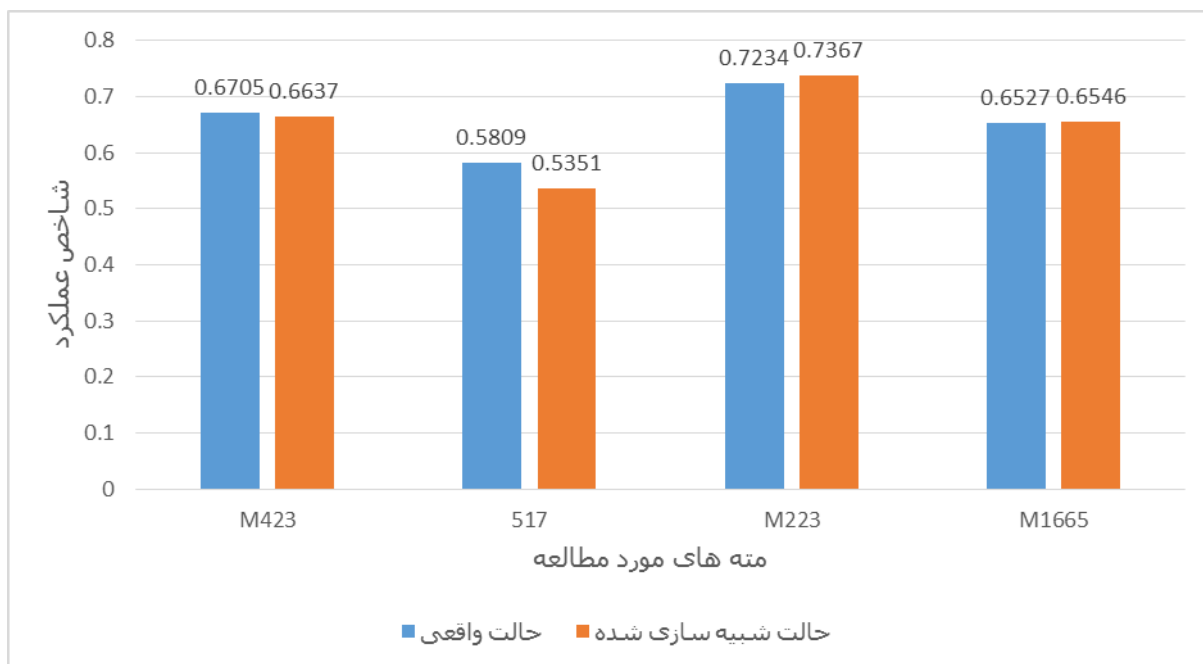
جدول (۳-۹) مقایسه میانگین و انحراف استاندارد شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده چهار مته مورد مطالعه

مته شماره ۱: 517		
شاخص عملکرد	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۵۸۰۹	۰/۵۳۵۱
انحراف استاندارد	۰/۱۱۲۱	۰/۰۹۰۸
مته شماره ۲: M423		
شاخص عملکرد	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۶۷۰۵	۰/۶۶۳۷
انحراف استاندارد	۰/۱۶۰۳	۰/۱۲۷۶
مته شماره ۳: M223		
شاخص عملکرد	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۷۲۳۴	۰/۷۳۶۷
انحراف استاندارد	۰/۱۱۷۱	۰/۰۷
مته شماره ۴: M1665		
شاخص عملکرد	حالت واقعی	داده‌های شبیه‌سازی شده
میانگین	۰/۶۵۲۵	۰/۶۵۴۶
انحراف استاندارد	۰/۱۳۳۹	۰/۰۸۹۶



شکل (۳-۱۵) مقایسه میانگین شاخص‌های عملکرد شبیه‌سازی شده مته‌های مورد مطالعه

با مقایسه میانگین شاخص عملکرد در حالت واقعی و شبیه‌سازی شده یک مته می‌توان به دقت و صحت شبیه‌سازی پی‌برد. میانگین شاخص عملکرد در حالت واقعی برای مته M423 برابر ۰/۶۷ و میانگین شاخص عملکرد شبیه‌سازی شده نیز ۰/۶۶ می‌باشد. برای مته 517 در حالت واقعی برابر ۰/۵۸ و در حالت شبیه‌سازی ۰/۵۳ حاصل شده است. برای مته M223 در حالت واقعی برابر ۰/۷۲ و در حالت شبیه‌سازی ۰/۷۳ بدست آمده است. برای مته M1665 در حالت واقعی میانگین شاخص عملکرد برابر ۰/۶۵ و در حالت شبیه‌سازی ۰/۶۵ نتیجه شد. که مقایسه حالت واقعی و شبیه‌سازی در شکل (۳-۱۶) قابل مشاهده است.



شکل (۳-۱۶) مقایسه میانگین شاخص عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده مته‌های مورد مطالعه

۷-۳ انتخاب مته با استفاده از جدول طبقه‌بندی مته‌های کار کرده به کمک

روش بوت استرپ مونت کارلو

برای نمونه‌گیری از متغیرهای فرض شده در مسئله یک مشکل اساسی این است که تعداد داده‌های در دسترس برای تصمیم‌گیری در رابطه با میانگین، انحراف معیار و تابع توزیع حاکم بر مسئله کم می‌باشد. به عبارتی با تکیه بر حجم موجود از داده‌ها، نمی‌توان با اطمینان خصوصیات احتمالاتی متغیرهای تصادفی را استخراج کرد تا نمونه‌های تصادفی تولید نمود.

نمونه‌گیری بوت‌استرپ به عنوان جایگزینی برای محاسبات مبتنی بر فرض‌های پارامتری توسعه داده شده است چرا که در عموم مسائل مهندسی تعداد داده‌های در دسترس محدود بوده و برآورد پارامترها و خصوصیات احتمالاتی حاکم بر متغیرها مشکل می‌باشد. از این رو روش نمونه‌گیری بوت‌استرپ به عنوان یک تخمین از توزیع آماری می‌تواند جایگزین مناسبی باشد [۳۱].

در روش بوت‌استرپ مونت کارلو با جایگذاری از داده‌های موجود به شکل تصادفی، تعدادی از داده‌ها انتخاب و به عنوان مؤلفه‌های دسته داده تصادفی ذخیره می‌شوند. سپس میانگین هر کدام از دسته‌های تشکیل شده در یک بردار ذخیره شده تا به عنوان داده‌های تصادفی تولیدی از متغیر مد نظر در فرآیند تحلیل مونت کارلو مورد استفاده قرار گیرند.

برای پیاده‌سازی این فرآیند در این تحقیق، ابتدا با استفاده از یک جایگشت تصادفی با تکرار، برای هر متغیر تصادفی ۱۰۰۰۰ دسته داده تصادفی تشکیل شد. یعنی از میان داده‌های موجود به شکل تصادفی، تعدادی از داده‌ها انتخاب و به عنوان مؤلفه‌های دسته داده تصادفی ذخیره شدند. سپس میانگین هر کدام از دسته‌های تشکیل شده در یک بردار ذخیره شده تا به عنوان داده‌های تصادفی تولیدی از متغیر مدنظر در فرآیند تحلیل مونت کارلو مورد استفاده قرار گیرند.

در این تحقیق، برای هر مته، کاراکترهای نرمال شده از داده‌های چاه‌های گذشته در برنامه Matlab به عنوان ورودی وارد می‌شود، سپس به کمک این نرم افزار برای هر کاراکتر ۱۰۰۰۰ عدد تصادفی با دستور بوت‌استرپ تولید و برای هر کاراکتر ۱۰۰۰۰ عدد تصادفی حاصل می‌شود که در فرمول شاخص عملکرد وارد می‌گردد. بدین ترتیب ۱۰۰۰۰ شاخص عملکرد مته جدید بدست آمد. حال برای ارزیابی نتایج بدست آمده از تابع حدی و احتمال فراگذشت استفاده می‌گردد.

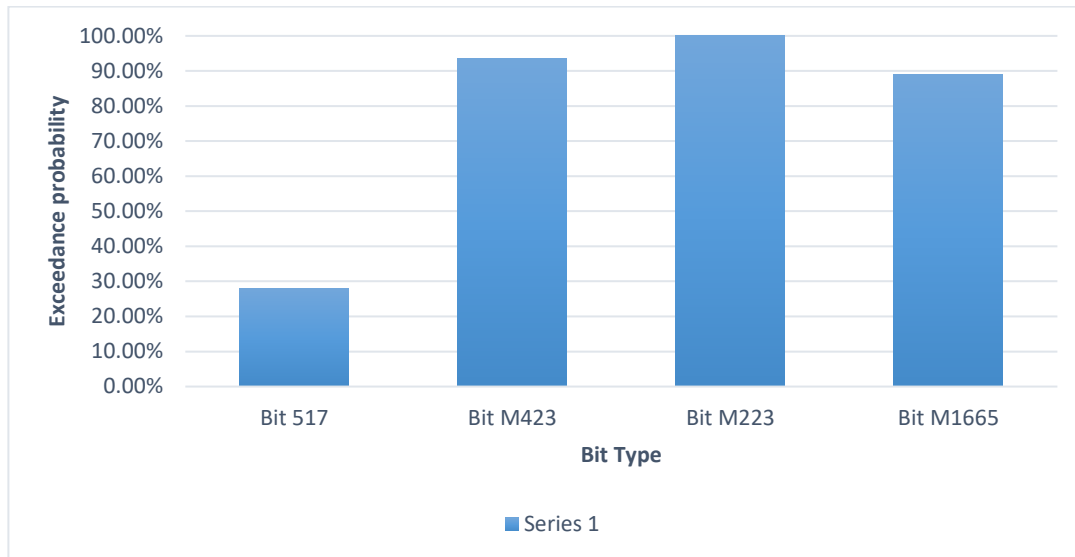
۱-۷-۳ آنالیز و تصمیم‌گیری

در این قسمت برای بررسی نتایج شبیه‌سازی به روش بوت‌استرپ مونت کارلو، از تابع حالت حدی و احتمال فراگذشت استفاده می‌شود. با تابع حالت حدی، عملکرد مطلوب را مشخص و با احتمال فراگذشت، احتمال عملکرد مطلوب را محاسبه می‌گردد.

با توجه به رابطه تابع حالت حدی، مقدار آستانه (R_0) را مقدار $0/6$ در نظر گرفته و مقادیر شاخص‌های عملکرد شبیه‌سازی شده ($R(x)$) به کمک نرم‌افزار را در رابطه (۲-۱۰) قرار می‌دهیم. در حالتی که $R(x)$ بزرگتر از R_0 باشد، تابع حالت حدی $g(x)$ مثبت خواهد شد که به معنی وضعیت مطلوب مته است و اگر $R(x)$ کوچکتر از R_0 باشد، تابع حالت حدی منفی شده و به معنی وضعیت نامطلوب مته است. بنابراین تعداد حالت‌های تابع حالت حدی مثبت را مشخص و به کمک احتمال فراگذشت، احتمال وضعیت مطلوب محاسبه می‌شود. احتمال فراگذشت حاصل از شبیه‌سازی مته‌های مورد مطالعه در جدول (۳-۱۰) آمده است. همچنین مقایسه احتمال فراگذشت مته‌های مورد مطالعه با فرض $R_0=0.6$ در شکل (۳-۱۷) نشان داده شده است.

جدول (۳-۱۰) احتمال فراگذشت حاصل از شبیه‌سازی مته‌های مورد مطالعه

نام مته	تعداد نمونه تصادفی تولید شده	تعداد $g(x) > 0$	احتمال فراگذشت
517	10000	2810	28%
M423	10000	9365	93.65%
M223	10000	9999	99.99%
M1665	10000	8946	89%



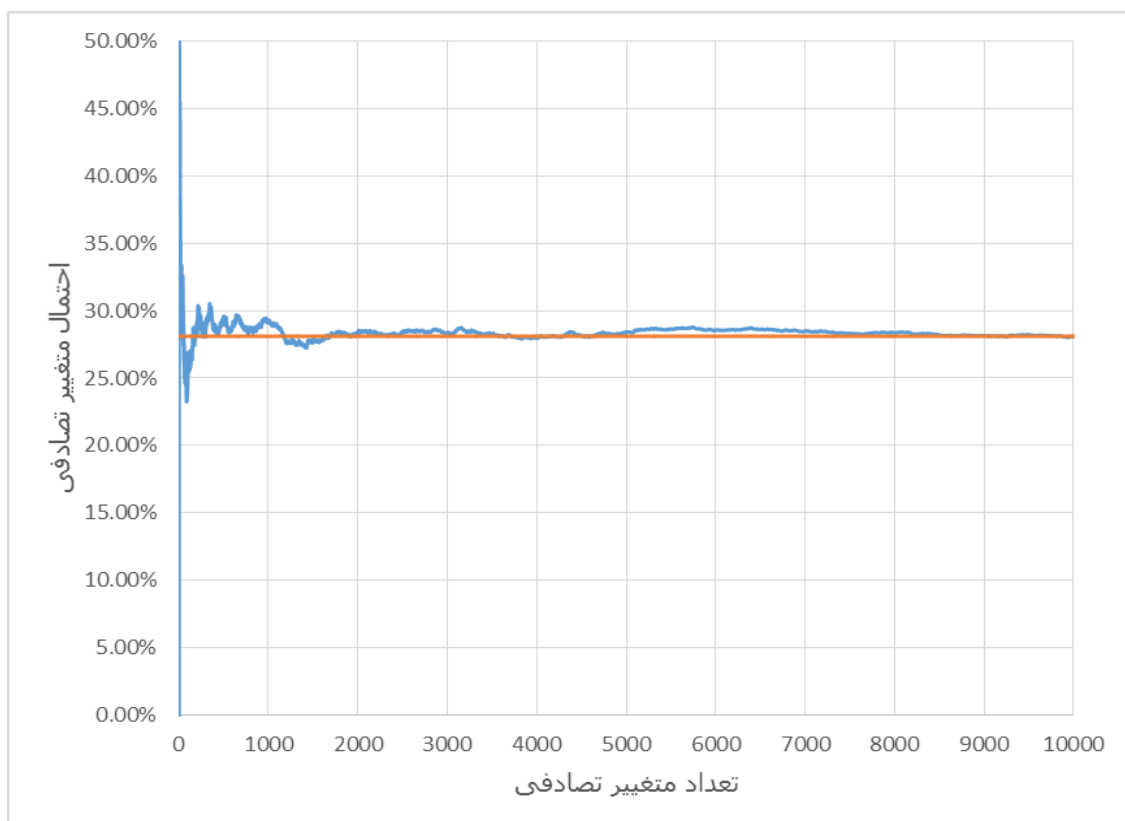
شکل (۳-۱۷) مقایسه احتمال فراگذشت مته‌های مورد مطالعه با فرض $R_0=0.6$

۳-۸ همگرایی روش مونت کارلو

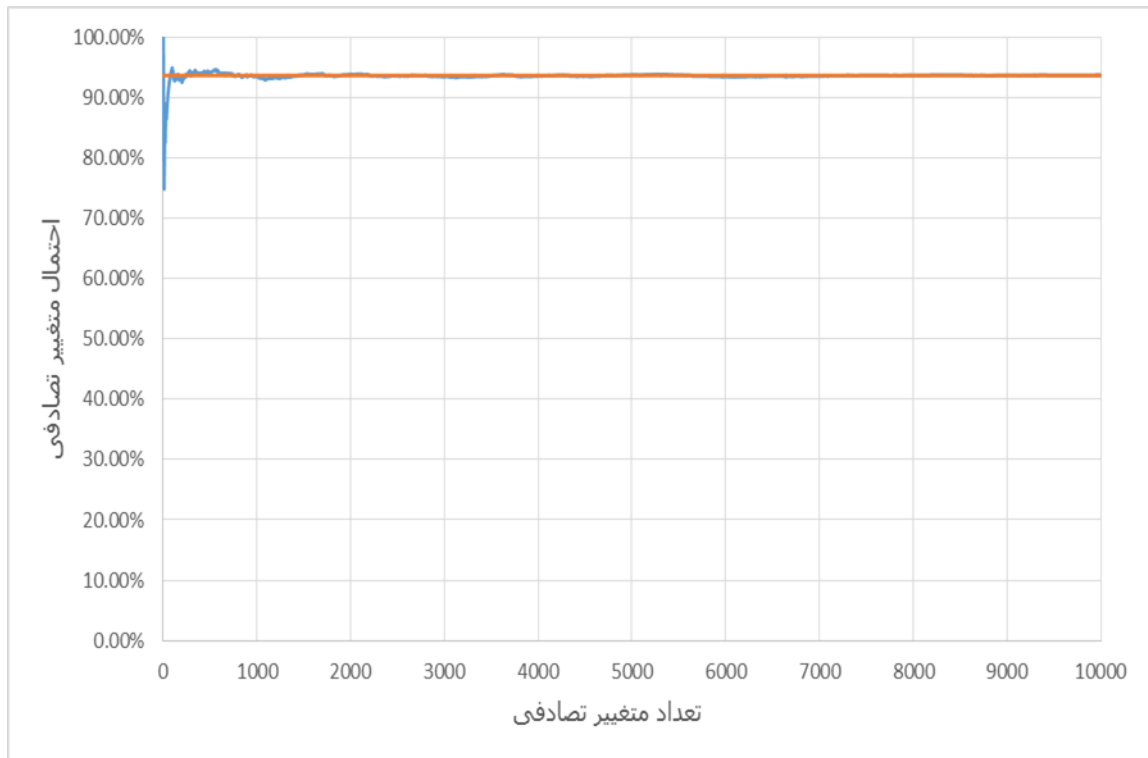
هنگامی که روش مونت کارلو برای محاسبه یک پارامتر (مثل احتمال فراگذشت در این تحقیق) به کار می‌رود، به جای حل صریح مسئله از یک ابزار محاسباتی نمونه محور استفاده می‌شود. با توجه به وابستگی الگوریتم به تعداد نمونه‌های تصادفی مورد استفاده، می‌توان بیان داشت که روش مونت کارلو هنگامی که تعداد نمونه‌ها زیاد باشد نسبتاً دقیق بوده و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید. اما هنگامی که تعداد نمونه‌های تولیدی کافی نباشد، نتایج آن با سطحی از خطا همراه خواهد بود.

بنابراین این موضوع می‌بایست بررسی گردد که تعداد نمونه‌های تولیدی برای استفاده در الگوریتم مونت کارلو کافی بوده یا خیر. در حقیقت باید اطمینان حاصل نمود که پس از تولید n نمونه تصادفی، احتمال فراگذشت حاصله که به خوبی همگرا شده و در صورت اضافه شدن نمونه‌های بیشتر تغییری در آن حاصل نگردد.

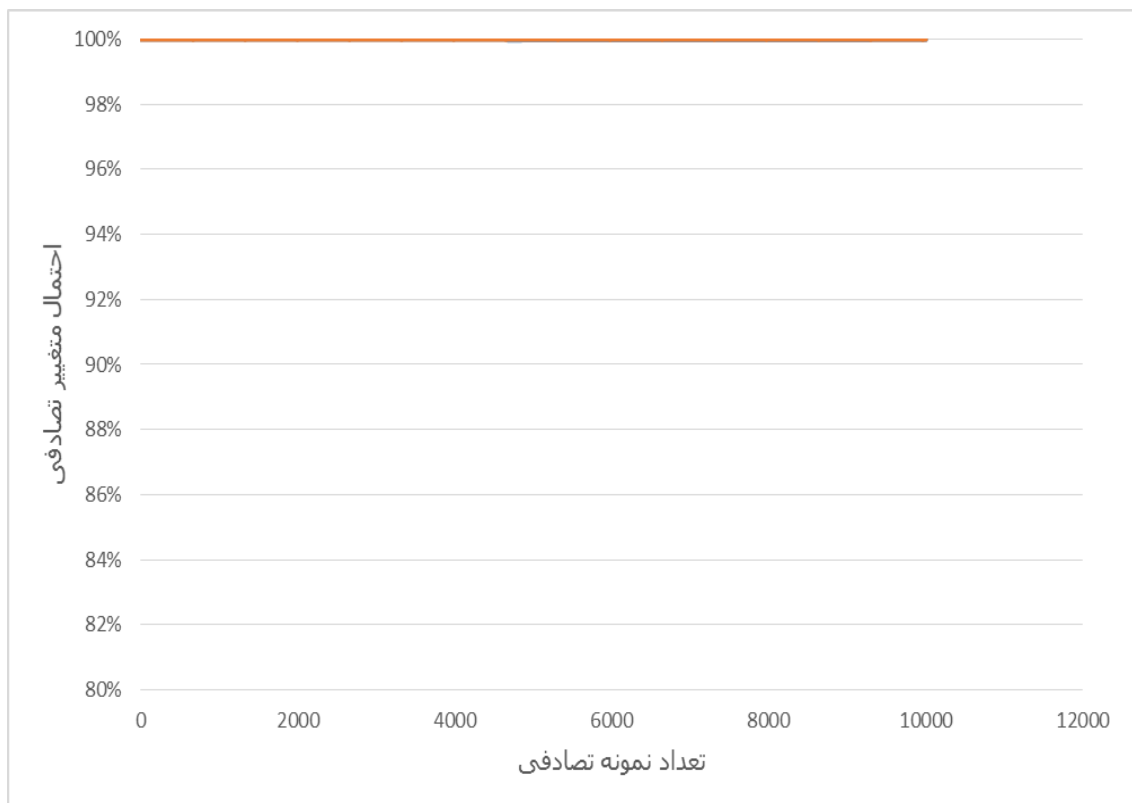
برای بررسی این همگرایی، الگوریتم مونت کارلو تشریح شده در بخش قبل، برای تعداد مختلفی از نمونه‌های تصادفی تکرار گردید و احتمال حاصل از آن برای ابعاد نمونه مختلف محاسبه شد. نتایج حاصل برای هر چهار مته مورد بررسی در این مطالعه در شکل (۳-۱۸) نمایش داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، تقریباً در همه موارد، پس از استفاده از حدود ۲۰۰۰ نمونه تصادفی، احتمال حاصله به خوبی به مقادیر گزارش شده در جدول (۳-۱۰) همگرا شده به طوری که نواسانات باقیمانده پس از آن کوچک بوده و قابل صرف نظر کردن می‌باشند.



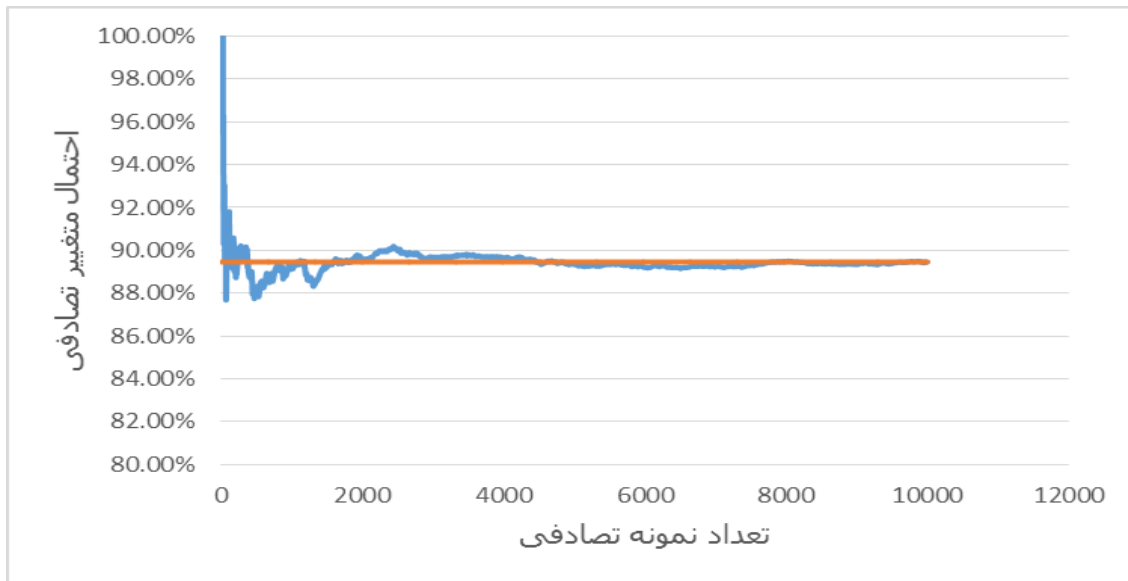
(الف) همگرایی نمونه تصادفی برای مته 517



(ب) همگرایی نمونه تصادفی برای مته M423



(ج) همگرایی نمونه تصادفی برای مته M223



(د) همگرایی نمونه تصادفی برای مته M1665

شکل (۳-۱۸): نمودار همگرایی روش مونت کارلو برای (الف) مته 517، (ب) مته M423، (ج) مته M223 و (د) مته

M1665

۳-۹ نمودار احتمال فراگذشت^۱

در بخش قبل احتمال فراگذشت، متناظر با یک آستانه مشخص (یعنی $R_0=0.6$) محاسبه و ارائه شد. با این حال، نیاز است که احتمال فراگذشت را به ازای هر مقدار ممکن از R_0 بدست آورد. این نتیجه به ما اجازه می‌دهد که بتوانیم مقایسه جامع‌تری از عملکرد مته‌ها داشته باشیم و در بازه وسیعی از R_0 ، عملکرد آنها را بسنجیم.

بدین منظور، به جای قراردادن R_0 به شکل یک مقدار مشخص از آستانه در معادله (۲-۱۰)، این پارامتر به شکل یک متغیر تصمیم مدلسازی گردید به گونه‌ای که بتواند مقادیر مختلفی را اختیار نماید. بدین ترتیب با هر مقدار جدید از متغیر تصمیم R_0 یک مسئله قابلیت اعتماد جدید تشکیل می‌گردد که

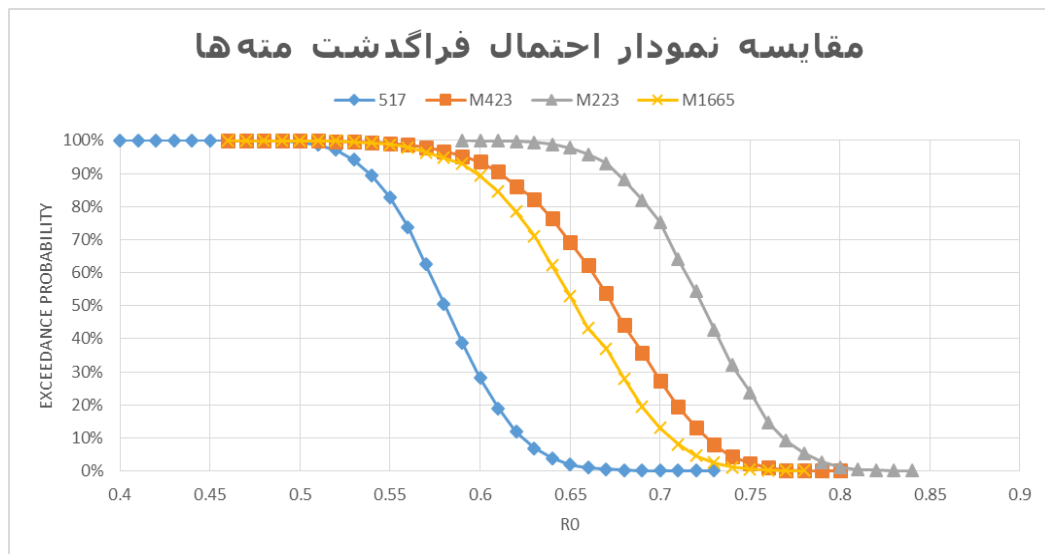
^۱. Exceedance probability Curve

می‌بایست تحلیل گردد. برای پیاده‌سازی این مدل، یک حلقه بیرونی به الگوریتم مونت کارلو اضافه گردید که وظیفه آن تغییر مقدار متغیر تصمیم (یعنی R_0) و وارد کردن آن به تابع حالت حدی برای تشکیل مسئله قابلیت اعتماد جدید می‌باشد [۳۴]. در هر اجرا از این حلقه، یک مقدار برای R_0 تعیین شده و در حلقه داخلی وارد گردید. سپس الگوریتم مونت کارلو اجرا شده و احتمال فراگذشت بدست آمده در یک بردار ذخیره گردید. این فرآیند تا جایی که احتمال فراگذشت برای بازه مناسبی از R_0 حاصل شد ادامه پیدا نمود. نتایج حاصل برای مقادیر مختلف R_0 برای هر چهار مته در جدول (۳-۱۱) نمایش داده شده است.

جدول (۳-۱۱) احتمال فراگذشت برای مقادیر مختلف R_0

R_0	Exceedance probability (%)			
	مته 517	مته M423	مته M223	مته M1665
0.4	1	1	1	1
0.42	1	1	1	1
0.44	1	1	1	1
0.46	0.9999	1	1	1
0.48	0.9995	0.9997	1	0.9997
0.5	0.9959	0.9993	1	0.9992
0.52	0.9725	0.9974	1	0.9984
0.54	0.8936	0.995	1	0.9934
0.56	0.7375	0.9872	1	0.9787
0.58	0.5056	0.9676	1	0.9472
0.6	0.2807	0.9354	0.9998	0.8932
0.62	0.118	0.8614	0.9976	0.7846
0.64	0.0386	0.7637	0.9884	0.6221
0.66	0.0099	0.622	0.9579	0.4321
0.68	0.0021	0.4403	0.8809	0.2762
0.7	0.0003	0.2734	0.753	0.1311
0.72	0.0001	0.1319	0.5443	0.0459
0.74	0	0.0428	0.3208	0.0109
0.76	0	0.009	0.1469	0.0018
0.78	0	0.0004	0.053	0
0.8	0	0	0.0111	0

در ادامه، احتمال فراگذشت در برابر R_0 ترسیم گردید. نتایج در شکل (۳-۱۹) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، با افزایش R_0 احتمال فراگذشت بشدت کاهش می یابد بطوریکه مثلا برای مته 517 با فراتر رفتن R_0 از ۰/۶۸، مقدار احتمال به کمتر از ۱۰ درصد می رسد که بیانگر غیرمحمتمل بودن رخداد این پیامد است.



شکل (۳-۱۹) نمودار احتمال فراگذشت برای هر چهار مته

نمودار احتمال فراگذشت ارائه شده کاربرد عملی در ارزیابی بر اساس قابلیت اعتماد مته‌های به کار برده شده در حفاری دارد. اولاً اینکه با یک نگاه ساده به راحتی می توان متوجه شد که کدام مته احتمال عملکرد بهتری دارد. در واقع هر چه نمودار در سطح بالاتری قرار گیرد بیانگر احتمال عملکرد مناسب‌تر آن خواهد بود. ثانياً مشخص می گردد که هر مته برای چه عملکردی مناسب است. مثلاً در مطالعه موردی مطرح شده در این مطالعه، اگر عملکرد بالایی برای مته مد نظر باشد، بهتر است که از مته M223 استفاده شود. اما اگر وضعیت ژئوتکنیکی منطقه به گونه ایست که عملکرد متوسط و یا کم نیز قابل قبول باشد، مته های M423 و M223 هر دو می توانند گزینه‌های مناسبی باشند.

وقتی که از یک تحلیل مبتنی بر نمونه‌گیری استفاده می‌شود، یک ضریب تغییرات^۱ مشخص (عموماً $Cov \leq 2\%$) تعیین می‌گردد و از آن به عنوان معیاری برای سنجش دقت احتمال در محدوده مدنظر استفاده می‌شود. مطابق معادله (۲-۱۲)، p نمایانگر میانگین تحقق‌های $\psi(\mathbf{x})$ می‌باشد و واریانس متناظر با این میانگین به شکل زیر می‌باشد [۲۹]:

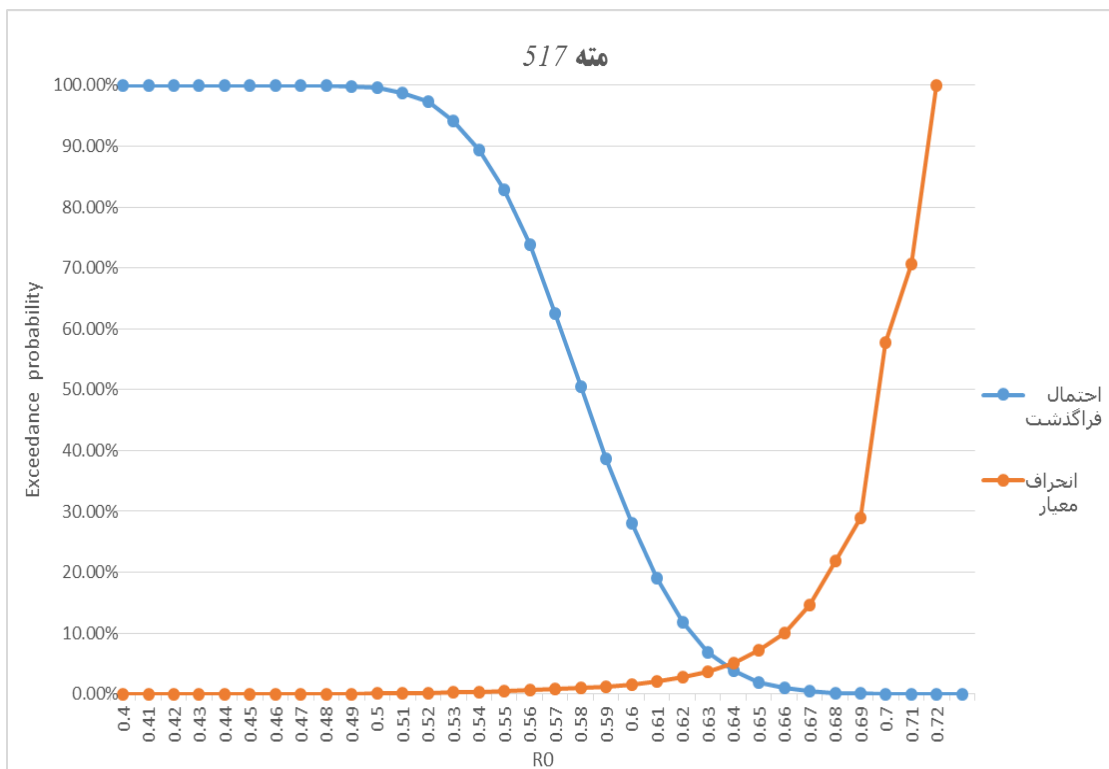
$$\text{Var}[p] = \frac{1}{N} \text{Var}[\psi(\mathbf{x})] = \frac{1}{N} p(1-p) \quad (۳-۳)$$

که در این رابطه، p احتمال فراگذشت محاسبه شده و N تعداد نمونه‌های استفاده شده در محاسبه p می‌باشد. به جای واریانس، می‌توان مقدار ضریب تغییرات را برای p به شکل زیر بیان نمود [۲۹]:

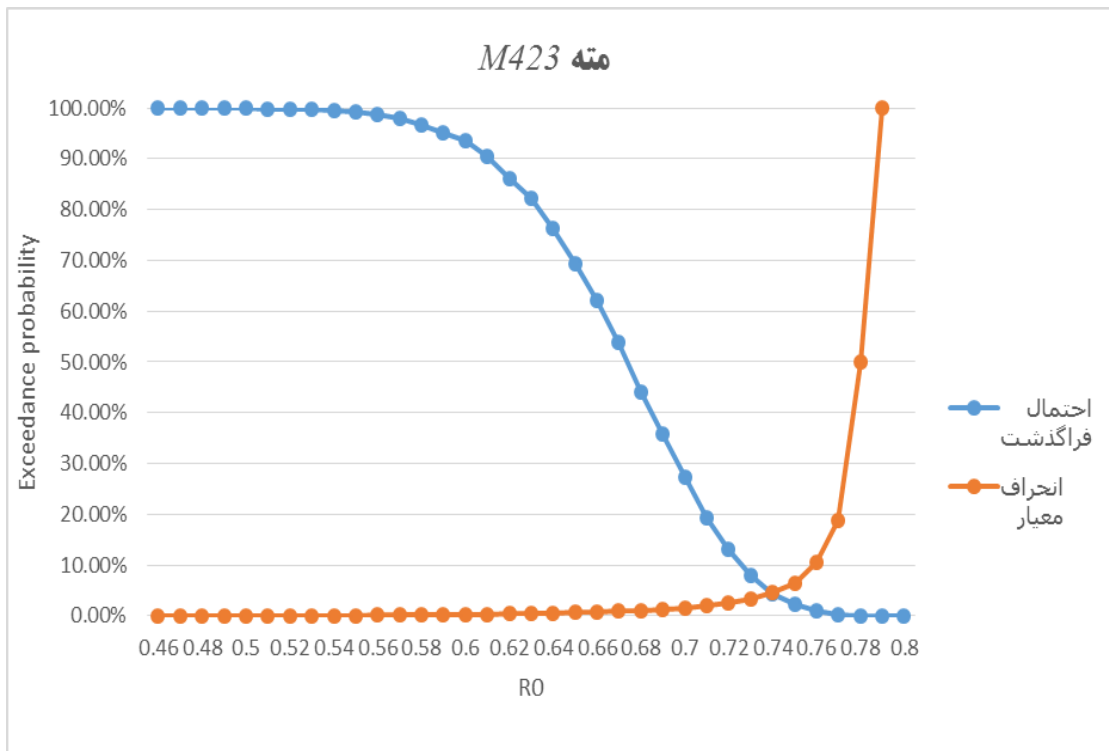
$$\text{CoV}[p] = \frac{\sqrt{\text{Var}[p]}}{p} = \sqrt{\frac{1-p}{Np}} \quad (۳-۴)$$

با استناد به معادله (۳-۴)، مقدار ضریب تغییرات برای مقادیر مختلف p بدست آمده در بخش قبل محاسبه گردید و نتایج حاصل در کنار نمودار احتمال فراگذشت ترسیم گردید [۲۹]. نتایج حاصل در شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است.

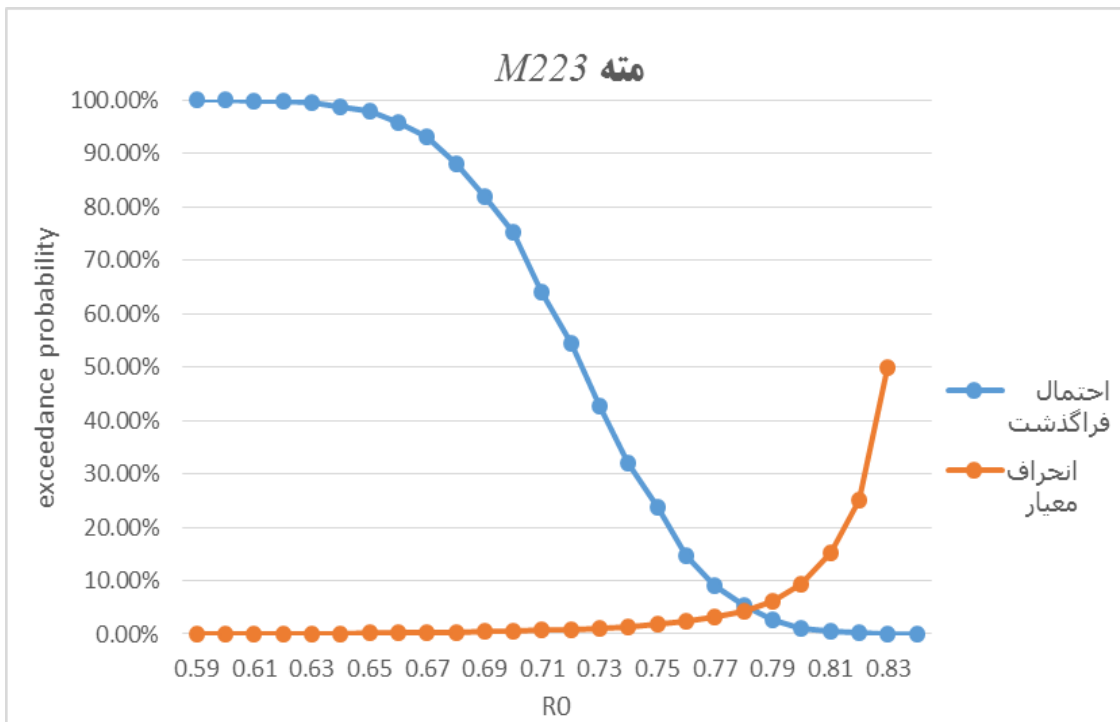
^۱. Coefficient of variation



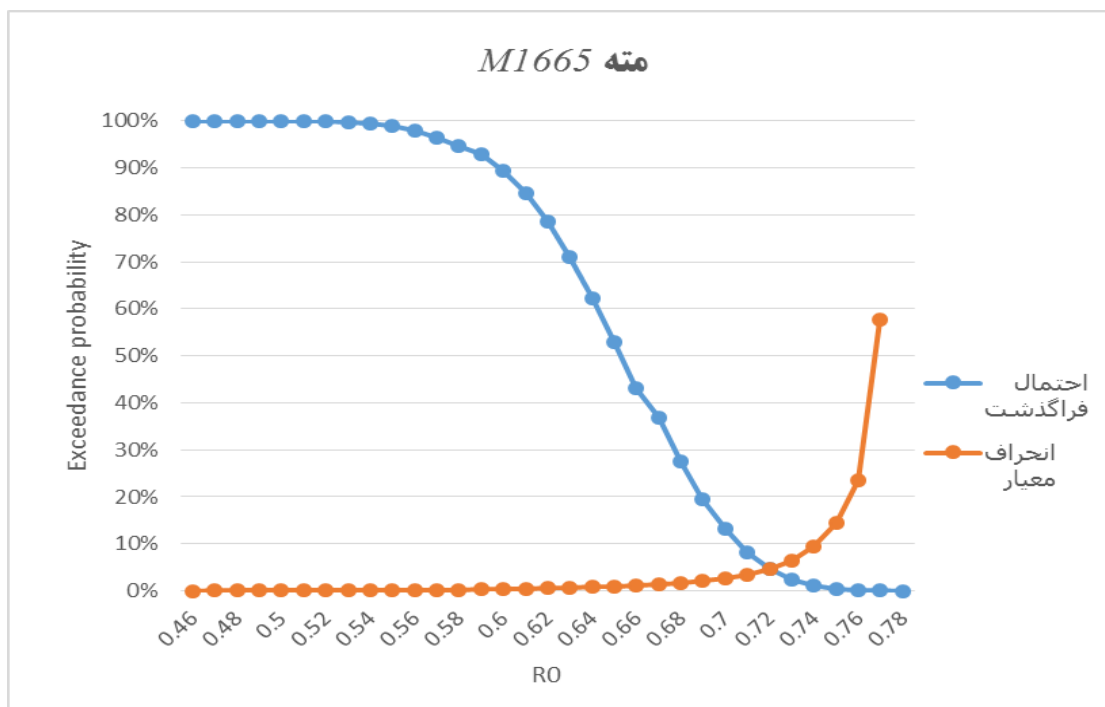
(الف) مته 517



(ب) مته M423



(ج) مته M223



(د) مته M1665

شکل (۳-۲۰): نمودار انحراف معیار در برابر احتمال‌های فراگذشت محاسبه شده برای (الف) مته 517، (ب) مته

M423، (ج) مته M223 و (د) مته M1665

همانطور که ملاحظه می شود، نمودارهای احتمال فراگذشت محاسبه شده عموماً ضریب تغییرات کمتر از ۲٪ داشت، مگر برای مقادیر موجود در انتهای نمودار که احتمال فراگذشت کوچکی را ارائه می کنند. به بیان دقیق تر، برای مته های 517، M423، M223 و M1665، احتمال های فراگذشت محاسبه شده به ترتیب تا قبل از رسیدن به عملکرد ۰/۶۸، ۰/۷۷، ۰/۸۱ و ۰/۷۵ متناظر با $Cov < 2\%$ بوده اند که بیانگر دقت مناسب نتایج در این بازه ها می باشد. از آنجای که احتمال های محاسبه شده پس از این آستانه ها بسیار کوچک و نزدیک به صفر می باشند و معیار مقایسه بصری در این مقاله نبوده اند، همراه بودن آنها با سطحی از خطا قابل قبول بوده و دغدغه محاسباتی برای مطالعه حاضر محسوب نشده است. البته این موضوع از لحاظ منطقی قابل توجیه است که کاهش سطح احتمال باعث افزایش پراکندگی و واریانس نتایج می گردد. با افزایش تعداد نمونه های تصادفی در این بازه، می توان دقت محاسبات را افزایش داده و متعاقباً سطح پراکندگی را پائین آورد. با این حال، از آنجایی که مقدار احتمال در ناحیه مذکور برای مطالعه حاضر ضروری نبوده است، از این کار صرف نظر شده است.

فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه گیری

در این مطالعه، روش آماری مونت کارلو جهت انتخاب مته حفاری استفاده شد. بدین منظور ابتدا به دسته‌بندی و معرفی پرکاربردترین مته‌ها در حفاری‌های میدان مورد مطالعه پرداخته شد و خصوصیات رفتاری هر یک به اختصار ارائه گردید. سپس به تشریح پارامترهای مؤثر بر رفتار این مته‌ها پرداخته شد. در ادامه با استفاده از داده‌های مته‌های مورد استفاده در پروژه‌های حفاری پیشین، مجموعه داده پارامترهای درگیر در مسئله ارائه گردید و نحوه محاسبه شاخص عملکرد مته‌ها تشریح شد. سپس به دو روش شبیه‌سازی عملکرد مته‌های مورد مطالعه را بررسی کردیم. در روش اول، هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی مته‌های مورد مطالعه به عنوان متغیر مسئله در نظر گرفته شد که به کمک روش مونت کارلو شبیه‌سازی انجام گرفت. سپس با مقایسه میانگین شاخص‌های عملکرد شبیه‌سازی شده مته‌های مورد مطالعه، مته مناسب برای حفاری چاه جدید در این میدان انتخاب شد. در روش دوم، هشت مشخصه جدول طبقه‌بندی به عنوان متغیر مسئله و همچنین با تعریف تابع حالت حدی، شکل آماری از مسئله بنا شد و با استفاده از روش بوت‌استرپ مونت کارلو تحلیل گردید. سپس نتایج حاصل به شکل احتمال فراگذشت عملکرد برای هر یک از مته‌های مورد مطالعه ارائه گردید و از آن به عنوان معیاری برای انتخاب مته مناسب حفاری استفاده شد.

مهمترین نتایج حاصل از این مطالعه از قرار زیر است:

- ۱- رابطه‌ای جدیدی جهت مدلسازی به عنوان شاخص عملکرد مته معرفی شد که به عنوان مدل در شبیه‌سازی مونت کارلو به کار گرفته شد تا وضعیت فرسودگی مته‌ها پیش‌بینی شود.
- ۲- در روش انتخاب مته با استفاده از روش مونت کارلو، مته M223 با شاخص عملکرد ۰/۷۳، فرسودگی کمتری داشته و می‌تواند به عنوان مته مناسب انتخاب شود.

۵- در روش انتخاب مته با استفاده از روش بوتاسترپ مونت کارلو، با بررسی احتمال فراگذشت وضعیت فرسودگی چهار مته مورد نظر، مته M223 با احتمال ۹۹٪، می تواند به عنوان مته مناسب انتخاب شود.

۶- جهت بررسی صحت نتیجه بدست آمده، نمودار احتمال فراگذشت مته ها نیز رسم شد. بر اساس نمودار آنها، مته M223 احتمال عملکرد بهتری داشت و می تواند به عنوان مته مناسب انتخاب شود.

۷- برای بررسی دقت نتایج بدست آمده ضریب انحراف احتمال فراگذشت بررسی شد که مقایسه نمودارهای مربوطه نشان داد، در ضریب انحراف های کمتر از ۲۰٪، شاخص عملکرد مته های 517، M423، M223 و M1665 به ترتیب با شاخص های عملکردی کمتر از اعداد ۰/۶۸، ۰/۷۷، ۰/۸۱ و ۰/۷۵ دقت بیشتری حاصل می شود.

از مزیت های این روش، بررسی احتمالاتی جدول ارزیابی مته های کارکرده بود که می تواند کمک قابل توجهی به مهندسان حفاری در زمینه بررسی وضعیت مته ها برای انتخاب مته های حفاری انجام دهد. لازم به ذکر است این روش تنها وضعیت مته را در آینده با توجه به رفتار گذشته پیش بینی می کند و نمی توان به صرف این پیش بینی، مته مناسب را انتخاب نمود. ولی این روش می تواند به مهندسان حفاری برای در نظر گرفتن وضعیت مته برای انتخاب مته مناسب کمک شایانی کند.

۲-۴ پیشنهادات

۱- تابع حالت حدی معرفی شده در این مطالعه بر پایه جدول ارزیابی مته‌های کارکرده بنا شده است. با این حال الگوریتم احتمالاتی توسعه داده شده در این مطالعه، حالت جامعی دارد و بر روی هر روش معین دیگری قابل پیاده‌سازی است. به عبارتی اگر روش و یا استاندارد خاص دیگری برای ارزیابی مته‌ها، مد نظر باشد به راحتی می‌توان تابع حالت حدی را بر اساس آن به‌روز نمود و مجدداً از روش ارائه شده در این تحقیق برای برآورد احتمالاتی آن استفاده کرد.

۲- با بررسی‌های بیشتری که بر روی پارامترهای چون متراژ حفاری، نرخ نفوذ و ساعت کارکرد برای هر مته صورت گرفت، می‌توان این داده‌ها را نیز به روش مونت کارلو شبیه‌سازی کرده و این سه پارامتر را پیش‌بینی کرد. بنابراین می‌توان با استفاده از نتایج شبیه‌سازی ارزیابی مته‌های کارکرده، متراژ حفاری و نرخ نفوذ، مته مناسب را انتخاب نمود. بنابراین همانگونه که در قسمت‌های قبلی اشاره شد، هر کدام از روش‌های انتخاب مته، تنها بخشی از پارامترها را در نظر می‌گیرند. به همین جهت استفاده از چندین روش برای انتخاب مته مناسب است، تا همه عوامل را بتوان در نظر گرفت و بهترین مته برای عملیات حفاری چاه جدید را انتخاب نمود.

منابع و مراجع

[1] Bilgesu, H.I., Al-Rashidi, A.F., Aminian, K. and Ameri, S. (2000, January). "A new approach for drill bit selection" In SPE Eastern Regional Meeting. **Society of Petroleum Engineers**

[2] مودنی، ع، نبئی، م، (۱۳۹۳)، "مهندسی حفاری"، ویرایش سوم، بامداد امید، اصفهان؛ ص.ص ۲۳۴ تا ۲۶۹

[3] بنکس و کارسون، (۱۳۸۴). "شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد". ترجمه دکتر محلوجی، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ص.ص ۴ تا ۲۴

[4] عزیزی و، (۱۳۸۵)، پایان نامه ارشد "ارزیابی روش‌های طراحی حفاری (انتخاب نوع و تعداد مته) در حفاری های نفت و گاز ایران و ارائه روش بهینه"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران،

[5] Boryczko, P., (2012). Master's thesis, "Drill bit selection and optimization in exploration well 6507/6-4A in the Nordland Ridge Area", University of Stavanger, Norway.

[6] E Lima, M.D.C., Nassar, S.M. and de Freitas Filho, P.J., (2015, December). "Simulation of oil drilling time series using Monte Carlo and Bayesian Networks". In *2015 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1195-1205). IEEE.

[7] Reitz, R.W. and de Freitas Filho, P.J., (2018). "Real-Time Simulation Method Using Monte Carlo and Clustering Algorithms: A Case Study Covering Drill Bit Wear". **JCS**, 14(2), pp.273-285.

[8] Momeni, M.S., Ridha, S., Hosseini, S.J., Meyghani, B. and Emamian, S.S., (2018, March). "Bit selection using field drilling data and mathematical investigation". In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 328, No. 1). Institute of Physics Publishing.

[9] Reed, R.L., (1972). "A Monte Carlo approach to optimal drilling". **Society of Petroleum Engineers Journal**, 12(05), pp.423-438.

[10] Kok, M.V., Kaya, E. and Akin, S., (2006). "Monte Carlo simulation of oil fields". **Energy Sources, Part B**, 1(2), pp.207-211.

[11] Komlosi, Z. P., and J. Komlosi. (2009). "Application of the Monte Carlo Simulation in Calculating HC Reserves". In EUROPECIEAGE Conference and Exhibition. **Society of Petroleum Engineers**.

[12] کرامتی م، (۲۰۱۵). "تعیین تعداد بهینه چاه‌ها در یکی از میادین نفتی ایران با استفاده از مدل‌های مونت کارلو و الگوریتم ژنتیک". **مجله پژوهش نفت**، شماره ۸۲، ص. ۸۲ تا ۹۴

[13] ربیعی، کریمی نسب و محمدی، (۲۰۱۶). "بررسی تأثیر نوع تابع توزیع آماری شاخص مقاومت زمین‌شناسی در تحلیل احتمالاتی پارامترهای ژئومکانیکی توده‌سنگ". **نشریه زمین‌شناسی مهندسی - دانشگاه خوارزمی - جلد دهم، شماره ۱، ص. ۳۳۲۵ تا ۳۳۵۰**

[14] ورمزیاری ز، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد: "تخمین اشباع آب سازندی با استفاده از رگرسیون قطعه ای غیر خطی، آنالیز خوشه ای و روش شبیه سازی مونت کارلو در یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب غربی ایران"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اراک.

[15] Bourgoyne Jr, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E. and Young Jr, F.S., (1991). "Applied drilling engineering". pp.39-44

[16] Teals R (1965). "The concept of specific Energy in Drilling, Int.j. Rock Mech". **Min. sci**, Vol.2, pp-55-73

[17] Mitchell, R. and Miska, S., (2011). "Fundamentals of drilling engineering". **Society of Petroleum Engineers**. pp352-364

[18] McGehee, D.Y., Dahlem, J.S., Gieck, J.C. et al. (1992). "The IADC Roller Bit Dull Grading System". Presented at the SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, and 18-21 February. **SPE-23938-MS**. <http://dx.doi.org/10.2118/23938-MS>

[19] Brandon, B.D., Cerkovnik, J., Koskie, E. et al. (1992). "First Revision to the IADC Fixed Cutter Dull Grading System". Presented at the SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, and 18-21 February. **SPE-23939-MS**. <http://dx.doi.org/10.2118/23939-MS>

[20] Thomas, J.M., (1989, January). "Case history: PC analysis of bit records enhances drilling operations in southern Alabama". In SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers.

[21] Rabia, H., Farrelly, M. and Barr, M.V., (1986, January). "A new approach to drill bit selection". In European Petroleum Conference. Society of Petroleum Engineers.

[22] Farrelly, M. and Rabia, H., (1987, January). "Bit performance and selection: a novel approach". In SPE/IADC drilling conference. Society of Petroleum Engineers.

[23] حسینی م، (چاپ اول ۱۳۹۳)، "کتاب مهندسی مته های حفاری"، انتشارات ستایش. ص.ص

۷۷ تا ۱۱۸

[24] R. E. Caflisch, (۱۹۹۸), "Monte Carlo and quasi-Monte Carlo methods", Acta Numerica vol21. Cambridge University Press, pp. 1-49

[25] Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H. and Teller, E., (1953). "Equation of state calculations by fast computing machines". **The journal of chemical physics**, 21(6), pp.1087-1092.

[26] Raychaudhuri, S., (2008, December). "Introduction to Monte Carlo simulation". In 2008 winter simulation conference (pp. 91-100). IEEE.

[27] Robert, C.P., Casella, G. and Casella, G., (2010). "Introducing Monte Carlo methods with r" (Vol. 18). New York: **Springer**.

[28] Mehrannia, H. and Pakgozar, A., 2014. "Using easy fit software for goodness-of-fit test and data generation". **Intl J Math Arch**, 5(1), pp.2229-5046.

[29] Shadab Far, M. and Wang, Y., (2016). "Approximation of the Monte Carlo sampling method for reliability analysis of structures". **Mathematical Problems in Engineering**, DOI: 10.1155/2016/5726565

[30] Efron, B., and R. J. Tibshirani. (1993). "An introduction to the bootstrap". N.Y., USA: Chapman and Hall.

[31] Berrar D., Dubitzky W. Wolkenhauer O., Cho KH., Yokota H. (2013) "Bootstrapping", (eds) Encyclopedia of Systems Biology. **Springer**, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_644

[32] ساروخانی ب، (چاپ هفتم، ۱۳۸۱). "روش های تحقیق در علوم اجتماعی". تهران: پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی. ص.ص ۳۳۹ تا ۳۴۴.

[33] بهبودیان ج، (پاییز ۸۴)، "آمار و احتمالات مقدماتی"، ویرایش سوم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ص.ص ۴۹ تا ۵۴

[34] Far, Mahdi Shadab, and Yuan Wang. (2016) "Probabilistic analysis of crushed zone for rock blasting". **Computers and Geotechnics** no, 80.pp 290-300.

[35] گزارشات تکمیلی چاه‌های حفاری شده، شرکت مهندسی و توسعه نفت (متن)

[36] *Patro, S. and Sahu, K.K.*, 2015. Normalization: A preprocessing stage. **ArXiv preprint** arXiv: 1503.06462.

Abstract:

One way to select a drill bit is to use a dull bit grading table. This dull bit grading table is a routine method for noting and recording failures and effects of controllable and uncontrollable drilling parameters on the drill bit. The drill bit coming out of the well contains very significant information about the drilling conditions in which we can extract maximum information from it.

Due to the practical drilling conditions and the uncertainty in the bit selection, in this research for the first time, we attempted to assess the data of the used drill bit by the Monte Carlo simulation method. For this purpose, first, the data were preprocessed and prepared for using in the Monte Carlo simulation. Then the performance index relationship was defined as a new model for determining the degree of dull. Then, according to the previous data, an algorithm was used to generate artificial data using Monte Carlo and Monte Carlo bootstrap methods. In the Monte Carlo method, among the four drills studied (517, M423, M223 and M1665), the M223 drill with a performance index of 0.73 was selected for a 12-1/4" hole size with 99% accuracy. In the Monte Carlo bootstrap method, the probability of passing the performance index was used to select the drill. The results showed that with increasing the performance index, the exceedance probability has decreased sharply so that for the performance index greater than 0.65, the Exceedance probability falls below 5%, which indicates the impossibility of drills achieving this level of performance. However, among the four drills studied, the M223 drill showed a higher probability of drilling and is therefore a more suitable drill for drilling.

Keyword: Drill bit selection, dull bit grading table, Data preprocessing and preparation, Monte Carlo simulation method



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.sc Thesis in Petroleum Engineering- Drilling

Applying dull bit data for bit selection by using Monte Carlo Simulation

Author:

Behnam Kanani

Supervisors:

Dr. Sajjad Negahban

Dr. Abolghasem Kamkar-Rouhani

Advisers:

Dr. Mahdi Shadabfar

Mr. Reza Jahanmahin

JANURY 2021