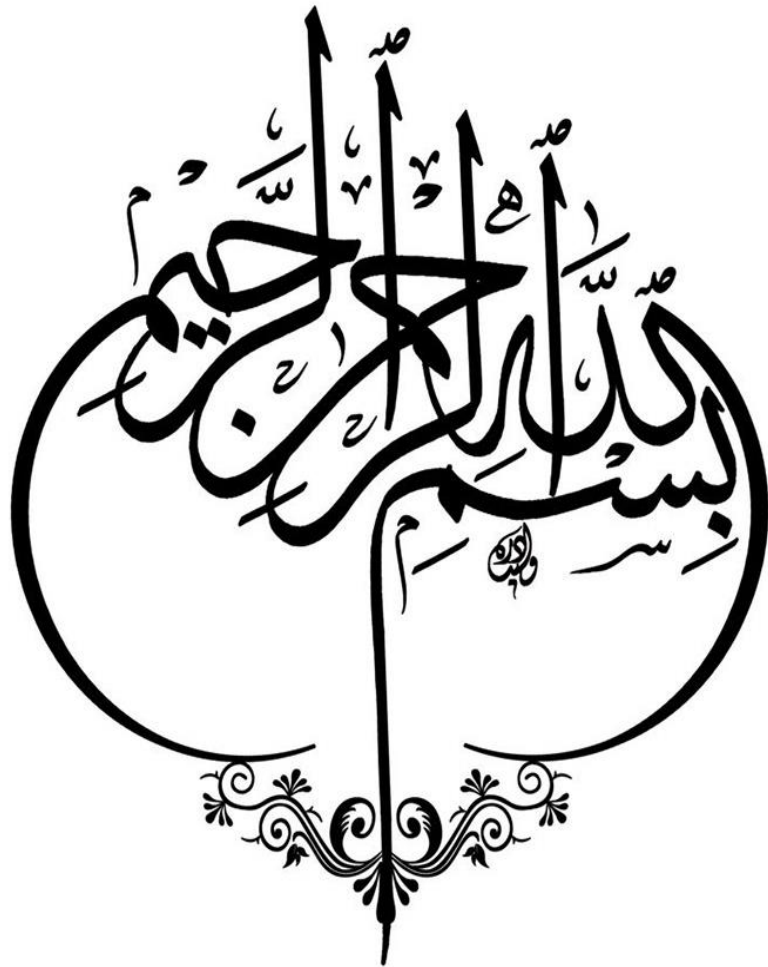






دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نفت

طراحی مدلی مبتنی بر روش های هوشمند - زنجیره‌ی مارکوف برای انتخاب مته‌ی مطلوب جهت حفاری در سازند دشتک

نگارنده: افسانه غفاری راد

اساتید راهنما

دکتر سجاد نگهبان

دکتر بهزاد تخم‌چی

استاد مشاور

مهندس حسین مصطفوی

مهر ۱۳۹۹

صورت جلسه دفاع

تقدیم اثر

کر این مختصر را ارزشی است؛

آن ارزش تقدیم به:

قطب عالم امکان، حضرت امام زمان (عج)، آیت رب و دود و ناجی ملک وجود؛ انکه جهانی در انتظار عدالت و لطف اوست.

پدر، مادر و همسر عزیزم

و به تمام آزاد مردانی که نیک می اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نموده و جز رضای الهی و پیشرفت و سعادت جامعه، هدفی ندارند.

شکر و قدردانی

سپاس ایند منان که به من این فرصت را داد تا به این مرحله از علم رسیده و از هیچ محبتی دریغ نکرد و در تمام مراحل زندگیم مراقبت قلب

بود. به مصداق «من لم یَشکُرِ المخلوق لم یَشکُرِ الخالق» بسی شایسته است از استید فرهیخته آقایان دکتر سجاد نکمبانی و دکتر بهزاد تنخه‌چی به

عنوان استید را هم‌اکنون همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال شکر را داشته باشم.

این پایان نامه به پیشنهاد مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران (واحد پژوهش و فناوری) انجام شده و جادارد از تمام مسئولین این

شرکت و جناب آقا مهندس حسین مصطفوی که باینده همکاری داشته‌اند، شکر نمایم.

تعمدنامه

اینجانب افسانه غفاری راد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی مدلی مبتنی بر روش های هوشمند- زنجیره‌ی مارکوف برای انتخاب مته‌ی مطلوب جهت حفاری در سازند دشتک تحت راهنمایی دکتر سجاد نگهبان و دکتر بهزاد تخم‌چی متعهد می‌شوم.

- 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 می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۹/۷/۳۰

امضا دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. 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 نمی‌باشد.

چکیده

انتخاب مته‌ی حفاری مناسب به عنوان یک مسئله مهم در طراحی و برنامه ریزی چاه در نظر گرفته می‌شود. شناسایی و شناخت رخساره‌های رسوبی قبل از حفاری چاه، نقش بسزایی در انتخاب صحیح مته‌ی حفاری دارد. امروزه روش احتمالاتی زنجیره‌ی مارکوف به عنوان یکی از روش‌های قدرتمند جهت شناسایی واحدهای لیتولوژی ارائه می‌شود که بر مبنای محاسبه‌ی ماتریس احتمال انتقال یا ماتریس گذار است. زنجیره مارکوف یک الگوی احتمالی است که نوع خاصی از وابستگی را معرفی می‌کند و به عنوان مدلی برای پیش‌بینی احتمالی به کار برده می‌شود. در مطالعه حاضر، مدل‌سازی توسط زنجیره‌ی مارکوف در نرم‌افزار MATLAB، بر روی سازند دشتک که دارای توالی از رخساره‌های سنگی است و به عنوان یکی از مهم‌ترین پوش سنگ‌های جنوب ایران به شمار می‌رود، صورت می‌پذیرد. سپس با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته در زمینه‌ی نوع لیتولوژی در لایه‌های بعدی توسط زنجیره‌ی مارکوف و داده‌های ورودی، مته‌ی مناسب پیشنهاد می‌شود. این فرآیند بر روی دو مقطع قائم در دو چاه که ضخامت سازند دشتک در آن، ۹۶۳ متر و ۱۴۱۰ متری است، صورت می‌پذیرد. نتایج نشان می‌دهند، مدل زنجیره‌ی مارکوف در چاه شماره ۱ و چاه شماره ۲ به ترتیب، ۸۸/۵۴٪ و ۷۵/۴۶٪ با حالت خروجی داده‌ها در واقعیت تطابق داشته‌اند.

کلمات کلیدی: سازند دشتک، بهینه سازی مته‌ی حفاری، لیتولوژی، ماتریس گذار

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- 1- Ghaffarirad. A., Negahban. S., Tokhmechi. B. and Mostafavi, H., (2021): "Drill bit selection in a formation with different sedimentary facies using the Markov chain: A case study at one of the oil fields in the south of Iran", Rudarsko-geološko-naftni zbornik (The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin), pp: 83-92, DOI: 10.17794/rgn. 2021.2.8.

۲- غفاری راد الف، نگهبان س، تخمچی ب و مصطفوی ح. (۱۴۰۰)، "روشی نوین جهت انتخاب متهی حفاری در سازند دشتک"، ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۹۱، ص ۲۵-۱۶.

فهرست مطالب

فهرست جداول.....	س
فهرست اشکال.....	ش
فهرست علائم.....	ط
فصل ۱: کلیات.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ سابقه پژوهش.....	۳
۳-۱ ضرورت و اهداف پژوهش.....	۷
۴-۱ روش انجام کار.....	۷
۵-۱ ساختار پایان نامه.....	۸
فصل ۲: مبانی تئوری تحقیق.....	۹
۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۲ انواع مته‌های حفاری.....	۱۰
۱-۲-۲ مته‌های تیغه ثابت.....	۱۱
۲-۲-۱ مته‌های تیغه‌ای.....	۱۱
۲-۲-۲ مته‌های الماسه طبیعی.....	۱۲
۳-۲-۱ مته‌های الماسه مصنوعی.....	۱۳
۴-۲-۱ مته‌های الماسه مصنوعی با پایداری حرارتی.....	۱۴
۵-۲-۱ مته‌های تقویت شده.....	۱۵

۱۶.....	۲-۱-۶ مته‌های هیبریدی یا مرکب.....
۱۸.....	۲-۲-۲ مته‌های تیغه متحرک.....
۱۹.....	۲-۲-۱ مته‌های مخروطی تیغه ثابت.....
۲۰.....	۲-۲-۲ مته‌های دکمه‌ای.....
۲۱.....	۲-۳ طبقه‌بندی بین‌المللی پیمانکاران حفاری برای مته‌ی تیغه ثابت.....
۲۲.....	۲-۴ طبقه‌بندی IADC برای مته‌های مخروطی.....
۲۲.....	۲-۵ روش‌های انتخاب مته‌ی حفاری.....
۲۳.....	۲-۵-۱ بررسی آسیب‌دیدگی مته.....
۲۴.....	۲-۵-۲ روش هزینه به ازای متر از حفاری.....
۲۵.....	۲-۵-۳ روش انرژی ویژه.....
۲۵.....	۲-۵-۴ مدل ROP.....
۲۶.....	۲-۴-۵-۱ مدل ROP، بورگوین و یانگ.....
۲۷.....	۲-۵-۵ روش‌های هوشمند.....
۲۸.....	۲-۵-۶ فرآیند مارکوف.....
۳۰.....	۲-۵-۶-۱ زنجیره‌ی مارکوف.....
۳۵.....	فصل ۳: زمین‌شناسی منطقه و بررسی داده‌ها.....
۳۶.....	۳-۱ مقدمه.....
۳۶.....	۳-۲ لیتولوژی سازند دشتک.....
۴۳.....	۳-۳ چاه‌های مورد مطالعه.....
۴۴.....	۳-۳-۱ چاه شماره ۱.....
۴۷.....	۳-۳-۲ چاه شماره ۲.....
۵۳.....	فصل ۴: روش انجام کار.....

۴-۱	مقدمه.....	۵۴
۴-۲	الگوریتم مدلسازی زنجیره‌ی مارکوف.....	۵۴
۴-۳	تحلیل نمودارهای پیش‌بینی توسط زنجیره‌ی مارکوف.....	۶۱
۴-۴	جمع بندی.....	۶۸
فصل ۵:	نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۷۱
۵-۱	نتیجه‌گیری.....	۷۲
۵-۲	پیشنهادهات.....	۷۴
منابع.....		۷۶

فهرست جداول

جدول ۱-۲ طبقه بندی فرسودگی مته‌های حفاری	۲۳
جدول ۱-۳ اطلاعات برخی از مته‌های استفاده شده در چاه شماره ۲	۴۳
جدول ۲-۳ درصد لیتولوژی‌های حفاری شده توسط کد مته‌ها در چاه شماره ۱	۴۶
جدول ۳-۳ درصد لیتولوژی‌های حفاری شده توسط مته‌ها در چاه شماره ۲	۵۰
جدول ۴-۳ درصد لیتولوژی حفاری شده در چاه‌ها	۵۱
جدول ۱-۴ تعداد حالت‌ها و رخساره‌های سنگی در چاه شماره ۱ (راست) و چاه شماره ۲ (چپ)	۵۵
جدول ۲-۴ ماتریس تعداد انتقال در چاه شماره ۱	۵۷
جدول ۳-۴ ماتریس احتمال انتقال چاه شماره ۱	۵۷
جدول ۴-۴ ماتریس تعداد انتقال در چاه شماره ۲	۵۸
جدول ۵-۴ ماتریس احتمال انتقال چاه شماره ۲	۵۹
جدول ۱-۵ اعماق دارای لایه‌ی چرتی در چاه شماره ۱ و ۲	۷۳

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ مته‌های تیغه‌ای ۱۲
- شکل ۲-۲ مته‌های الماس طبیعی ۱۳
- شکل ۳-۲ مکانیسم بریدن مته الماسه مصنوعی (راست) و اجزای متهی الماسه مصنوعی (چپ) ۱۴
- شکل ۴-۲ مته‌های الماسه مصنوعی با پایداری حرارتی ۱۵
- شکل ۵-۲ مدل‌های مختلف مته‌های تقویت شده ۱۵
- شکل ۶-۲ مکانیسم حفاری مته‌های هیبریدی در سازند نرم در ابتدا استفاده از مته ۱۶
- شکل ۷-۲ مکانیسم حفاری مته‌های هیبریدی در سازند سخت در زمان فرسودگی مته الماسه مصنوعی .. ۱۷
- شکل ۸-۲ نحوه حفاری مته‌های کیمرای هیبرید ۱۸
- شکل ۹-۲ انواع مته‌های دورانی تک، دو و چهار مخروط ۱۹
- شکل ۱۰-۲ انواع دندانه‌ی مته‌ی مخروطی دندانه ثابت، برای سازند نرم و متوسط ۲۰
- شکل ۱۱-۲ نمای دندانه مته‌ی دکم‌های از راست برای سازندهای سخت، نیمه‌سخت و نرم ۲۱
- شکل ۱۲-۲ دندانه مته‌ی دکم‌های از سمت راست برای سازند سخت، نیمه‌سخت و نرم ۲۱
- شکل ۱۳-۲ طرح شماتیکی از ویژگی زنجیره مارکوف ۲۹
- شکل ۱۴-۲ پیشامدهای متوالی برای زنجیره مارکوف تک بعدی ۳۲
- شکل ۱۵-۲ شماتیکی از سیستم یکپارچه یک زنجیره مارکوف ۳۳
- شکل ۱-۳ لیتولوژی و نوع مته استفاده شده در چاه شماره ۱ (راست) و در چاه شماره ۲ (چپ) ۴۲
- شکل ۲-۳ سرعت حفاری مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره ۱ ۴۴
- شکل ۳-۳ سرعت حفاری مته با کد ۵۲۷ در چاه شماره ۱ ۴۴
- شکل ۴-۳ سرعت حفاری مته با کد ۲۱۵ در چاه شماره ۱ ۴۵
- شکل ۵-۳ سرعت حفاری مته با کد ۲۱۴ در چاه شماره ۱ ۴۵
- شکل ۶-۳ سرعت حفاری مته با کد 517X در چاه شماره ۱ ۴۵
- شکل ۷-۳ سرعت حفاری مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۱ ۴۶
- شکل ۸-۳ سرعت حفاری مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره ۲ ۴۷

- شکل ۳-۹ سرعت حفاری مته با کد ۵۲۷ در چاه شماره ۲ ۴۷
- شکل ۳-۱۰ سرعت حفاری مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۲ ۴۸
- شکل ۳-۱۱ سرعت حفاری مته با کد ۲۱۵ در چاه شماره ۲ ۴۸
- شکل ۳-۱۲ سرعت حفاری مته با کد ۲۱۴ در چاه شماره ۲ ۴۸
- شکل ۳-۱۳ سرعت حفاری مته با کد 517X در چاه شماره ۲ ۴۹
- شکل ۳-۱۴ سرعت حفاری مته با کد M223 در چاه شماره ۲ ۴۹
- شکل ۴-۱ شماتیکی از مراحل مدل زنجیره‌ی مارکوف ۵۵
- شکل ۴-۲ توالی از رخدادها برای یک چاه. سلول‌های خاکستری دارای مقدار و سلول‌های سفید مورد تخمین با روش زنجیره‌ی مارکوف هستند. ۵۶
- شکل ۴-۳ پیش‌بینی انتخاب مته توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۱ ۶۱
- شکل ۴-۴ پیش‌بینی انتخاب مته توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۲ ۶۱
- شکل ۴-۵ عدم تطبیق مته‌ی PDC در واقعیت با مدل مارکوف در چاه شماره ۲ ۶۳
- شکل ۴-۶ مته‌ی پیشنهادی زنجیره‌ی مارکوف برای اعماقی که مته‌ی ۵۲۷ (در چاه شماره ۱) ناکارآمد بوده است. ۶۴
- شکل ۴-۷ مته‌ی پیشنهادی زنجیره‌ی مارکوف برای اعماقی که مته‌ی ۵۲۷ (در چاه شماره ۲) ناکارآمد بوده است. ۶۴
- شکل ۴-۸ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کدهای ۲۱۵ و ۲۱۴ در چاه شماره ۱ ۶۵
- شکل ۴-۹ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کدهای ۲۱۴ و ۲۱۵ در چاه شماره ۱ ۶۵
- شکل ۴-۱۰ پیشنهاد مدل زنجیره مارکوف برای استفاده از کد ۵۳۷ به جای مته با کد 517X در چاه شماره ۲ ۶۶
- شکل ۴-۱۱ پیش‌بینی زنجیره‌ی مارکوف جهت انتخاب مته؛ عمق استفاده شده از مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۱ ۶۷
- شکل ۴-۱۲ پیش‌بینی زنجیره‌ی مارکوف جهت انتخاب مته؛ عمق استفاده شده از مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۲ ۶۷
- شکل ۴-۱۳ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره ۱ ۶۸
- شکل ۴-۱۴ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره ۲ ۶۸
- شکل ۴-۱۵ اعماق درست پیش‌بینی شده‌ی مته‌ی حفاری توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۱ ۶۹
- شکل ۴-۱۶ خطای مدل زنجیره مارکوف با واقعیت در چاه شماره ۱ ۶۹

شکل ۴-۱۷ اعماق درست پیش‌بینی شده‌ی مت‌هی حفاری توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۲ ۷۰

شکل ۴-۱۸ خطای مدل زنجیره مارکوف با واقعیت در چاه شماره ۲ ۷۰

فهرست علائم

واحد	نماد	توضیح	واحد	نماد	توضیح
$\frac{\text{lb}}{\text{in}} \text{h}$	$\frac{\text{WOB}}{d} t$	آستانه وزن روی مته در هر قطر مته	-	GD	درجه سایش مته در IADC از ۰ تا ۸
rpm	RPM, N	سرعت دوران	lb/gal	g_p	گرادیان فشار منفذی
	h	مقدار سایش مته	lb/gal	P_c	وزن گل
ft	D	عمق	lbs	WOB	وزن روی مته
lb_f	F_j	نیروی ضربه‌ای هیدرولیکی پایین مته	in	d	قطر مته
gal/min	q	نرخ جریان	lb/gal	ρ	چگالی گل
cp	μ	گرانروی ظاهری	in	d_n	قطر نازل مته
ft/\$	C	هزینه به ازای هر فوت	\$	B	قیمت مته
h	T	زمان حفاری	ft	F	متراف حفاری شده
h	t	زمان چرخش	\$/h	R	هزینه دکل بر ساعت
-	E_m	راندمان مکانیکی	kpsi	MSE	انرژی ویژه مکانیکی
ft/hr	ROP	سرعت حفاری	ft/lb	T	گشتاور

فصل ۱: کلیات

۱-۱ مقدمه

حفاری برای چاه‌های نفت و گاز از گذشته تا به حال با چالش‌هایی رو به رو بوده است. در فن‌آوری‌های جدید، درصدد هستند بتوانند مهم‌ترین مشکلات فنی را به روش‌های هوشمندانه و با هزینه مناسب حل کنند. پارامترهای زیادی در عملیات حفاری وجود دارند که برای بهبود روند حفاری باید ارزیابی و طراحی شوند سپس مورد اصلاح قرار گیرند. مته ابزار اصلی فرآیند حفاری است و در انتهای رشته حفاری قرار دارد. وجود چرخش و وزن روی مته^۱ سبب نفوذ مته در سنگ می‌شود. سیال حفاری از طریق مته به گردش در می‌آید تا با خنک شدن باعث کاهش فرسودگی مته و تمیز شدن چاه شود (Baniya, 2018). این ابزار از موادی با مقاومت بالا مانند تنگستن کاربید، الماس و الماس مصنوعی ساخته می‌شوند. تقریباً تمام تجهیزات موجود در دکل و رشته‌ی حفاری برای بدست آوردن نرخ نفوذ یا سرعت حفاری^۲ مناسب، به مته کمک می‌کنند. مته‌های موجود در صنعت نفت، شامل مته‌های کاجی^۳، مته‌های الماسه مصنوعی^۴، مته‌های هیبرید و غیره می‌باشند (Erland, 2014). مهندسان حفاری قبل از شروع یا حین حفاری با توجه به سازندها و محدودیت‌هایی که در استفاده از بعضی از مته‌های حفاری دارند، با چالش‌هایی مواجه هستند. از جمله این مشکلات می‌توان به وجود تنوع بسیاری از لایه‌ها با جنس‌های متفاوت در یک سازند، اشاره کرد. سازند دشتک، از جمله سازندهایی است که توالی لایه‌های مختلف در آن به چشم می‌خورد. این سازند یکی از واحدهای گروه کازرون، با لیتولوژی دولومیت، شیل، انیدریت و دولومیت رسی می‌باشد. سازند دشتک به دلیل وجود طبقات ضخیم انیدریتی به عنوان بهترین و مهم‌ترین پوش سنگ در حوضه زاگرس برای مخازن گازی گروه دهرم (دالان و کنگان) در جنوب ایران به شمار می‌رود (صفاری، ۱۳۸۷).

1 Weight On Bit (WOB)

2 Rate Of Penetration (ROP)

3Cone Bits

4 Polycrystalline Diamond Compact (PDC) Bits

انتخاب مته در طول اجرای عملیات حفاری تحت فشار تعادلی مخزن (PMCD)^۱، نیز بسیار مهم است. هر چند که عملیات PMCD یک اتفاق ناخواسته است، اما مته باید پایدار باشد تا بخش کربناته سازند که دچار شکستگی است، در یک بار راندن مته، حفر شود (Potokin, 2015).

تاکنون روش‌های گوناگونی برای انتخاب بهینه‌ی مته‌ی حفاری ارائه شده است. از جمله روش‌های انتخاب مته‌ی حفاری می‌توان به روش حفاری بر حسب واحد متر از، روش انرژی ویژه، روش ROP، روش‌های هوشمند و غیره اشاره کرد (عزیزی، ۱۳۸۵). در مطالعه حاضر، استفاده از روش احتمالاتی زنجیره‌ی مارکوف در سازند دشتک پیشنهاد شده است. فرآیند مارکوف براساس قوانین احتمالات، از یک حالت به حالت دیگر انتقال پیدا می‌کند و احتمال انتقال به هر حالت خاص صرفاً به وضعیت فعلی و زمان سپری شده بستگی دارد و به تغییراتی که پیش از آن اتفاق افتاده است، وابسته نیست (امیری و بیگلری کامی، ۱۳۹۲).

۱-۲ سابقه پژوهش

تاکنون روش‌های گوناگونی برای انتخاب بهینه‌ی مته‌ی حفاری ارائه شده است اما در زمینه انتخاب مناسب مته‌ی حفاری در صنعت نفت با استفاده از روش احتمالاتی زنجیره مارکوف تا به امروز گزارشی ارائه نشده است. به همین دلیل در ادامه مطالعات انجام شده توسط محققان در زمینه استفاده از هوش مصنوعی در انتخاب مته حفاری به عنوان روش نوین و کاربرد زنجیره مارکوف در صنعت نفت آورده شده است.

ژو و همکاران^۲ (۱۹۹۷) یک شبکه عصبی مصنوعی ساده و اصلاح شده پیشنهاد دادند که براساس چگالی گلی که از طریق نگار^۳ گل بدست می‌آید، حاصل می‌شود. آن‌ها نشان دادند که این معادلات نتیجه‌ی مطلوبی برای انتخاب صحیح مته داشته است. به دنبال آن در سال ۲۰۰۲ ییلماز و همکاران به منظور حل مشکل انتخاب بهینه‌ی مته، از قدرت شبکه عصبی مصنوعی و مدل پس‌انتشار در یک میدان کربناته، استفاده کرده‌اند. داده‌های

1 Pressurized Mud Cap Drilling Technique

2 Xu et al.

3 Log

مورد بررسی در این مطالعه، نگارهای نوترون و صوتی می‌باشد. نتایج بدست‌آمده در این مدل برای چاه‌های حفاری شده، برنامه‌ی مناسبی برای انتخاب مته ایجاد می‌کند (Yilmaz et al., 2002).

جهت تخمین پارامترهای اصلی حفاری (وزن روی مته، سرعت چرخش و نوع مته) برای مته‌های الماسه، آکین و کارپاز (۲۰۰۸) با استفاده از تحلیل شبکه‌عصبی مصنوعی توانسته‌اند نتایج مطلوبی را ارائه دهند. این روش در سازندهای ترکیه با ساختار کربناته و ماسه‌سنگ انجام شده است. نتایج شبکه عصبی با نتایج به‌دست آمده از روش‌های متداول مانند تجزیه و تحلیل انرژی ویژه، مقایسه شده و نشان می‌دهند که روش پیشنهادی در سازندهای شناخته شده نتایج رضایت بخشی را ارائه داده است (Akin and Karpuz, 2008).

جهت شناسایی آنلاین فرسودگی ابزار حفاری براساس اندازه‌گیری نیروی برشی و سیگنال‌های قدرت، ارتانک و همکارانش در سال ۲۰۰۱، از تکنیک‌های موجود در مدل پنهان زنجیره مارکوف بهره گرفته‌اند. در این روش، از پایش نمودار احتمالات مدل پنهان زنجیره مارکوف برای ردیابی روند پیشرفت سایش ابزار در حین عملیات حفاری استفاده شده است. پیشرفت سایش ابزار با استفاده از این روش برای سیگنال‌های قدرت گشتاور، رانش و اسپیندل کنترل شد (Ertunc et al., 2001). پس از آن در سال ۲۰۰۲ چومان از مدل پنهان زنجیره مارکوف برای بررسی سودمند طبقه‌بندی چاه‌پیمایی لیتولوژی^۱ در ۸ چاه نزدیک برلین با عمق بین ۶۰ تا ۱۴۰ متر، بهره گرفت. توالی طبقات لیتولوژی به عنوان یک زنجیره مارکوف از مرتبه اول و گسسته، محدود و همگن مدل شده است. مدل پنهان مارکوف در مقایسه با تکنیک‌های آماری استاندارد که وابستگی آماری بین نقاط داده‌های پی‌درپی را در نظر نمی‌گیرد، دارای اطمینان بیشتر بود و به نظر می‌رسد پتانسیل یک مدل آماری واقع بینانه‌تری را برای طبقه‌بندی چاه‌پیمایی لیتولوژی می‌تواند ارائه دهد (Schumann, 2002). در زمینه‌ی مدل سازی مخازن نفت با استفاده از زنجیره مارکوف، جان و همکارانش در سال ۲۰۱۲ مسئله شبیه

¹ Lithology Well Log Classification

سازی سه بعدی مخازن نفت و گاز را با استفاده از زنجیره مارکوف حل کردند. نتایج نشان می دهد این رویکرد جدید می تواند ویژگی های توزیع فضایی سازند ماسه سنگ را به صورت واضح تصویر کند (Jun et al., 2012). در زمینه مهندسی حفاری، اوه استرنند در سال ۲۰۱۷ جهت مدل سازی دقیق سیستم فوران گیر از مدل مارکوف استفاده کرد. این پژوهش روال عددی نسبتا ساده ای را برای حل بسیاری از آزمایش ها در کل دوره نصب فوران گیر را گزارش کرد (Ove Strand, 2017).

جهت انتخاب متهی بهینه در سازند دشتک، عزیزی در سال ۱۳۸۵، از روش هزینه حفاری واحد طول استفاده کرد. نتایج حاکی از آن است که به دلیل تغییرات وسیع زمین شناسی و ژئومکانیکی در سازندی واحد امکان مقایسه مته با روش هزینه حفاری برحسب متر از وجود ندارد. چون قیمت یک مته در این سازند در دوچاه متفاوت، ۸۳ و ۶۱۵ دلار برآورد شد (عزیزی، ۱۳۸۵).

مهرکی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از نرم افزار MATLAB، مدلی که قادر باشد نوع متهی حفاری را مشخص کند، ساخته اند. سپس این مدل با استفاده از الگوریتم پس انتشار و شبکه پیش خور توسعه یافت. ضریب همبستگی شبکه ی عصبی هوشمند برای طرح کلی آموزش و خروجی پیش بینی شده ۰/۹ گزارش شد (مهرکی و همکاران، ۱۳۹۰). جهت تعیین نوع مته و نرخ نفوذ، طریفی و همکارانش در سال ۱۳۹۱ دو مدل به کمک شبکه ی عصبی، ارائه دادند. ضریب همبستگی برای پیش بینی نوع مته و نرخ نفوذ در مرحله ی تست به ترتیب ۰/۹۸۴ و ۰/۹۶۲ بدست آمد (طریفی و همکاران، ۱۳۹۱).

دو مدل مناسب با استفاده از شبکه ی عصبی مصنوعی توسط جمشیدی و مصطفوی (۱۳۹۵) ارائه شد. مدل اول انتخاب متهی مناسب براساس نرخ نفوذ متهی مطلوب، مشخص شد. در مدل دوم از متغیرهای حفاری، که خود از طریق روند بهینه سازی بدست آمده اند، استفاده شد تا مته ای که حداکثر نرخ نفوذ ممکن را داراست، بیابند. رابطه ی بین توابع مورد استفاده برای پیش بینی انواع مته و متغیرهای حفاری بهینه در شبکه های آزمایشی، به ترتیب برابر با ۰/۹۵ و ۰/۹ شد (Jamshidi and Mostafavi, 2013). به دنبال آن در سال ۱۳۹۶

در زمینه پیش‌بینی انتخاب صحیح مته و نرخ نفوذ مطلوب، مومنی و همکارانش با استفاده از داده‌های میدانی ابتدا این دو پارامتر را تخمین زده سپس با استفاده از شبکه‌ی هوشمند، داده‌های مجهول را یافتند. حداقل میانگین مربعات خطا $3/7$ و $3/36$ می‌باشد و ضریب تعیین برای نوع مته و نرخ نفوذ به ترتیب $0/94$ و $0/95$ گزارش شد (Momenia et al., 2018).

در رابطه با مطالعات صورت گرفته در زمینه مهندسی نفت و زنجیره مارکوف، نیکوگفتار و همکارانش (۱۳۹۲) جهت مدل‌سازی رخساره‌های سنگی در راستای مدیریت مخزن، مدل‌سازی دوبعدی ناهمگنی‌های زیر سطحی توسط زنجیره‌ی مارکوف را پیشنهاد کردند. اعتبار سنجی نتایج نشان داده است که رخساره‌های زمین با دقت قابل قبولی مدل شده و امکان پیاده‌سازی مدل با استفاده از داده‌های محدود نیز امکان پذیر است (نیکوگفتار و همکاران، ۱۳۹۲). در همین زمینه، در سال ۱۳۹۶ انصاری، با هدف بهبود شبیه‌سازی رخساره‌های سنگی مخازن نفت و گاز، با در نظر گرفتن اثر پارامترهای دارای عدم قطعیت (نسبت‌ها، طول میانگین ساختارها و غیره)، از زنجیره‌ی مارکوف استفاده کرده است. پردازش و شبیه‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهایی نظیر MATLAB، t-progs و Wingslib صورت گرفته است. دقت خروجی حاصل از نرم‌افزار به صورت وضعیت رخساره‌های رسوبی در یک مقطع قائم مورد بررسی قرار گرفت و با مقاطع واقعی مقایسه و نتایج قابل قبولی مطرح شد (انصاری، ۱۳۹۶).

الهویرن زاده (۱۳۹۶) جهت برآورد دقیق حجم هیدروکربن در یکی از میادین دریایی کشور، مدل زنجیره‌ی مارکوف را به کار گرفت. مقایسه نتایج نشان دادند مقادیر بدست آمده از طرح شبیه‌سازی با زنجیره‌ی مارکوف برای میدان مورد مطالعه نسبت به روش‌های دیگر منطقی‌تر و دقیق‌تر می‌باشد (الهویرن‌زاده، ۱۳۹۶).

۳-۱ ضرورت و اهداف پژوهش

بهینه سازی مته‌ی حفاری موضوع مهمی در صنعت حفاری است. به همین دلیل نیاز به طراحی جدید مته و انتخاب آن بسیار احساس می‌شود. صرفه‌جویی اقتصادی یکی از اصلی‌ترین دلایل برای جستجو راه‌حل‌های جدید و بهتر در این زمینه است. ارزیابی عملکرد مته‌های استفاده شده در چاه‌های نفت و گاز و همچنین انتخاب مته‌ی مطلوب یکی از وظایف مهندسان حفاری است (جوانی، ۱۳۸۹). از آن جایی که سازند دشتک متشکل از لیتولوژی با درجه سختی متفاوت است و از طرفی لایه‌هایی از آهک چرتی در آن دیده می‌شود، سبب شده است تا انتخاب مته توسط واحد پیمانکاران حفاری با مشکل رو به رو شود و موجب از دست دادن هزینه و زمان شود (عزیزی، ۱۳۸۵). به همین دلیل این پژوهش به دنبال استفاده از روشی احتمالاتی جهت انتخاب مته درست در سازند دشتک می‌باشد. با توجه به اینکه زنجیره‌ی مارکوف به عنوان روشی قدرتمند برای مدل‌سازی رخساره‌های سنگی معرفی شده است، این روش پیشنهاد شد. زنجیره مارکوف اخیراً در زمینه‌های بسیاری مورد توجه قرار گرفته است اما در زمینه انتخاب بهینه مته در فرآیند حفاری تا به امروز گزارشی ارائه نشده است.

۴-۱ روش انجام کار

در برنامه‌ای که در این پژوهش طراحی شده است، داده‌های منطقه مورد بررسی به عنوان ورودی دریافت می‌شوند و پس از پردازش داده و برقراری ارتباطی قابل تعمیم بین ورودی‌ها و خروجی‌ها، نتایج مطلوب حاصل می‌شود. در این تحقیق از نرم‌افزار MATLAB جهت پیش‌بینی مته‌ی مطلوب در سازند دشتک استفاده شده است. در ابتدا کد مته‌ی استفاده شده و لیتولوژی این سازند در دو چاه، با دقت یک متر در نرم‌افزار اکسل وارد

می‌شود. سپس نرم افزار با پردازش داده‌ها و بدست آوردن ماتریس احتمالات و پیش‌بینی حالت بعدی رخساره-
های زمین، زمینه را برای انتخاب مته‌ی بهینه در سازند دشتک هموار می‌کند و از بین مته‌های موجود و
مطلوب، مناسب‌ترین آن را گزارش می‌دهد.

۱-۵ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل پنج فصل می‌باشد.

در **فصل اول** کلیات موضوع، ضرورت و اهداف تحقیق، سابقه موضوع و روش کار به صورت مختصر مورد
بررسی قرار گرفته است.

فصل دوم به ارائه‌ی انواع مته‌ی حفاری، طبقه‌بندی آن و روش‌های انتخاب مته به خصوص مدل زنجیره‌ی
مارکوف پرداخته می‌شود.

شناخت سازند دشتک و انواع لیتولوژی آن و تحلیل و استخراج داده‌ها در **فصل سوم** مطرح شده است.
در **فصل چهارم**، الگوریتم انجام کار توسط نرم افزار MATLAB و ارائه‌ی مته‌ی مناسب در هر عمق گزارش
می‌شود.

نهایتاً در **فصل پنجم**، نتایج حاصل از مدل سازی زنجیره‌ی مارکوف در سازند دشتک و پیشنهاداتی در
رابطه با تکمیل این مدل سازی، آورده می‌شود.

فصل ۲: مبانی تئوری تحقیق

۱-۲ مقدمه

فرآیند حفاری چاه بر روی زمین نیازمند مته‌ی حفاری است. عملکرد مته و عمر آن عامل تعیین‌کننده‌ی هزینه‌ی حفاری و اطمینان از عملکرد درست آن است. (Boryczko, 2012). در مطالعات اولیه انجام شده برای بهینه‌سازی نرخ حفاری جهت افزایش هیدرولیک مته، نشان می‌دهد که بیشترین عامل تاثیر گذار در سرعت حفاری، انتخاب مته می‌باشد (Larsen, 2014).

برای وضعیت زمین شناسی خاص با انواع لیتولوژی، یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که می‌تواند سبب افزایش راندمان فنی و تکنیکی شود، انتخاب مته است (Sherbeny *et al.*, 2016). انتخاب مناسب مته وابسته به پارامترهایی هم‌چون: سختی سازند، نوع گل حفاری، سایز مته، نرخ نفوذ، زمان حفاری، پایداری و غیره، است (Egeland *et al.*, 2017). در این فصل به بررسی مباحثی هم‌چون انواع مته‌ی حفاری قابل دسترس، طبقه‌بندی آن و روش‌های انتخاب مته پرداخته می‌شود.

۲-۲ انواع مته‌های حفاری

مته‌ها به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند و به صورت زیر ارائه می‌گردند (Fasheloum, 1997).

الف) مته‌های تیغه ثابت که عبارت اند از:

- مته‌های تیغه‌ای
- مته‌های الماسه طبیعی¹
- مته‌های الماسه مصنوعی یا پلی کریستالین
- مته‌های الماسه مصنوعی با پایداری حرارتی^۲

1 Natural Diamond Bits

2 Thermally Stable PDC (TSP) Bits

- مته‌های تقویت شده¹

- مته‌های هیبریدی²

ب) مته‌های تیغه متحرک یا غلتان شامل موارد زیر می‌باشند:

- مته‌های مخروطی دندانه ثابت³

- مته‌های مخروطی با دندانه‌های کار گذاشته از جنس تنگستن کاربید (مته‌های دکمه‌ای)⁴

۲-۲-۱ مته‌های تیغه ثابت

یکی از مزیت‌های مته‌های تیغه ثابت نسبت به مته‌های مخروطی و دورانی این است که قسمت متحرکی ندارند که نیاز به تمیز سازی سطوح متحرک داشته باشند. این خصوصیت به ویژه در چاه‌هایی با قطر کم که در آن فضای کافی در دسترس نیست، اهمیت دارد. همچنین از آن جایی که این مته‌ها از تیغه‌های جامد فولادی ساخته شده‌اند، شکستگی کمتری در ته چاه دارند و عملیات مانده‌یابی کمتری برای آن‌ها رخ خواهد داد. این درحالی است که برداشتن قطعات اضافی و شکسته شده‌ی مته در چاه، زمان و تعداد دفعات بالا و پایین بردن مته^۵ را افزایش می‌دهد و زمان قابل توجه‌ای از بین می‌رود (Fasheloum, 1997).

۲-۲-۱-۱ مته‌های تیغه‌ای

این نوع مته دارای تیغه‌های فولادی محکمی به شکل دم‌ماهی است، به همین دلیل به آن‌ها مته‌های دم‌ماهی^۶ گفته می‌شود (شکل (۲-۱)). این نوع مته سازند را به صورت ورقه‌ای حفاری می‌کند به همین دلیل نیاز به چرخش بالادر دقیقه^۷ و وزن روی مته‌ی کم برای بالا بردن راندمان حفاری است (عزیزی، ۱۳۸۵). عمر مته‌های

1 Impregnated Bits

2 Hybrid Bits

3 Milled Tooth Bits

4 Insert Tooth Bits or Tungstan Carbids Insert (TCI) Bits

5 Tripping

6 Fish Tail Bits

7 Revolutions Per Minute (RPM)

تیغه‌ای معمولاً بیش از ۱۰۰۰ فوت است و مقدار بار روی مته برای این سازندها بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ پوند به ازای هر اینچ مته می‌باشد. امروزه استفاده از مته‌های تیغه‌ای به دلایل ذیل منسوخ شده و عملاً این نوع مته‌ها جای خود را به مته‌های مخروطی داده‌اند (Bourgoyne et al., 1991):

۱. حفاری سازندهای نرم با مته‌های مخروطی با راندمان بالاتری همراه است.
۲. اعمال وزن زیاد روی مته باعث فرورفتن تیغه‌ها درون سازند می‌شود و بالا رفتن گشتاور مته احتمال بریدن لوله‌های حفاری را به همراه دارد.



شکل ۱-۲ مته‌های تیغه‌ای (Yibudongha and Izuwa, 2017)

۲-۱-۲-۲ مته‌های الماسه طبیعی

مته‌های الماسه از نیمه اول قرن بیستم در صنعت نفت استفاده شده‌است (شکل (۲-۲)). این مته از سه بخش اصلی که عبارت‌اند از: الماس، ماتریس و پایه تشکیل شده‌است. از مته‌های الماسه طبیعی برای حفاری و مغزه‌گیری استفاده می‌شود. مکانیسم حفاری با مته‌های الماسه طبیعی به صورت آسیاب کردن^۱ یا خراشیدن سازند توسط کاترهای الماسه می‌باشد (Fasheloum, 1997). انتخاب مته‌های الماسه باید با استفاده از جزئیات دقیق و تجزیه و تحلیل اقتصادی انتخاب شوند. تجربه‌های میدانی نشان داده‌است که شرایط ذکر شده بدین شرح است (Boryczko, 2012):

1 Grinding

- در حفاری‌های انحرافی، مته‌های الماسه انحراف چاه را بهتر پشتیبانی می‌کنند.
- عملیات مغزه‌گیری موثر و با کیفیت بالای مغزه، توسط مته‌های الماسه مغزه‌گیر، میسر است.



شکل ۲-۲ مته‌های الماس طبیعی (Omdal, 2015)

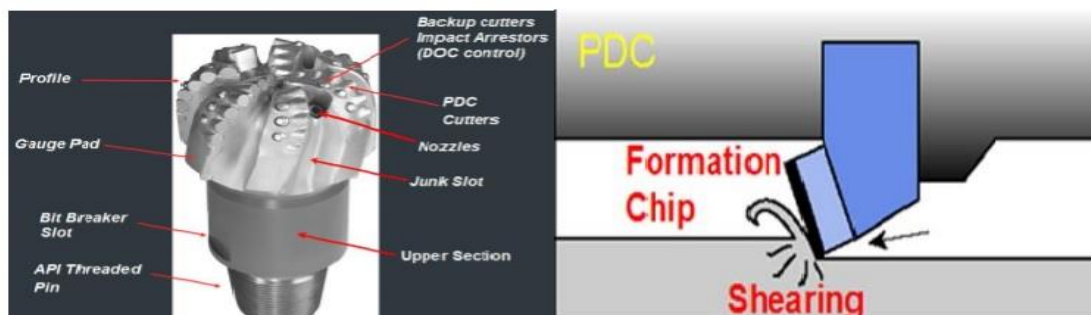
۲-۲-۱-۳ مته‌های الماسه مصنوعی یا پلی کریستالین

مته از سه قسمت اصلی تشکیل شده است که شامل: ساختمان برنده، بدنه و پایه است (Fasheloum, 1997). الماس مته‌های پلی کریستالین بر روی یک پایه از جنس تنگستن کاربید که بر روی بدنه مونتاژ شده است، قرار دارد. تنگستن کاربید در برابر فرسایش بسیار مقاوم می‌باشد به طوری که سیال با سرعت بالا در آن جریان می‌یابد (Vikra, 2008). متهی الماسه مصنوعی سازند را با مکانسیم بریدن^۱ حفاری می‌کند. از آن جایی که استحکام کششی سنگ‌ها از مقاومت فشاری آن‌ها کمتر است، این مکانسیم از موثرترین مکانسیم‌های حفاری است. نحوه‌ی عملکرد متهی الماسه مصنوعی در شکل (۲-۳) نشان داده شده است (Oteri, 2010).

مته‌های پلی کریستالین به دو نوع بدنه از جنس استیل و ماتریس تقسیم می‌شوند (Erland, 2014). صفحات پلی کریستالین به شوک مکانیکی حساس‌اند و باعث می‌شود لایه الماس پلی کریستالین از زیر ساختار تنگستن کاربید جدا شود. در یکی از تکنولوژی‌های جدید، یک لایه‌ی اضافی در ساختار این مته معرفی شده‌است که وظیفه‌ی آن جذب شوک‌های مکانیکی است (Boryczko, 2012). این نوع مته‌ها دارای عملکرد خوبی در

1 shearing

حفاری سازندهای مختلف از جمله حفاری با سرعت بالا به خصوص زمانی که با موتورهای درون چاهی و گل‌های پایه روغنی رانده شوند، هستند (Alsenwar, 2017).

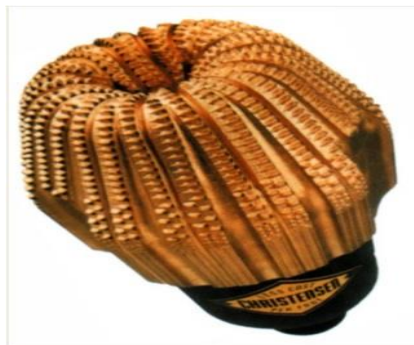


شکل ۲-۳ مکانیسم بریدن مته الماسه مصنوعی (راست) و اجزای متهی الماسه مصنوعی (چپ) (Trauner, 2011)

۲-۱-۲-۲ مته‌های الماسه مصنوعی با پایداری حرارتی

این نوع مته، جدیدترین الماسه مصنوعی ساخته شده برای مته‌های الماسه است که پایداری حرارتی بیشتری دارد (شکل ۲-۴). عملکرد هیدرولیک، مکانیسم حفاری و اندازه‌ی مته‌های الماسه مصنوعی با پایداری حرارتی بیشتر شبیه مته‌های الماسه طبیعی هستند. به دلیل کوچکتر بودن ذرات این مته نسبت به مته‌های الماسه مصنوعی نرخ نفوذ آن کمتر است (Husvag, 2015).

مقاومت حرارتی این نوع مته‌ها تا دمای ۱۴۸ کلوین تعریف شده است. با توجه به افزایش مقاومت حرارتی تیغه‌های این مته، در سازندهای سخت که در آن استفاده از مته‌های الماسه مصنوعی عملاً بی‌فایده است، کاربرد دارند. این مته اغلب به صورت ترکیبی با توربین با توجه به افزایش مقاومت حرارتی، استفاده می‌شود و باید با شرایط سرعت چرخشی ۱۶۰-۱۲۰ rpm برای سازندهای سخت و نیمه سخت و برای سازندهای نرم با چرخش ۲۰۰-۱۵۰ rpm استفاده شوند (Boryczko, 2012).



شکل ۲-۴ مته‌های الماسه مصنوعی با پایداری حرارتی (Boryczko, 2012)

۲-۱-۲-۵ مته‌های تقویت شده

به مته‌هایی که ذرات الماس باعث تقویت ساختارهای برنده آن می‌شود، مته‌های تقویت شده گویند. باتوجه به سایز کوچک الماسه مصنوعی این نوع مته‌ها، نرخ نفوذ استفاده شده پایین است. در سال‌های اخیر، تکنولوژی ساخت این مته‌ها رو به پیشرفت بوده است و مقاومت آن‌ها در برابر ساییدگی افزایش یافته است. جهت حفاری سازندهای نرم تا سخت، این نوع مته به کار برده می‌شود. نوع الماس استفاده شده می‌تواند از انواع الماس ذکرشده (طبیعی، مصنوعی و مقاوم در برابر دما) باشد. در شکل (۲-۵) این ساختار نشان داده شده است (Boryczko, 2012).

مته‌های تقویت شده، سازند را با مکانیسم آسیاب کردن حفاری می‌کنند و همچنین از لرزش‌های رشته‌ی حفاری تا حدود زیادی جلوگیری می‌کنند (Husvag, 2015).



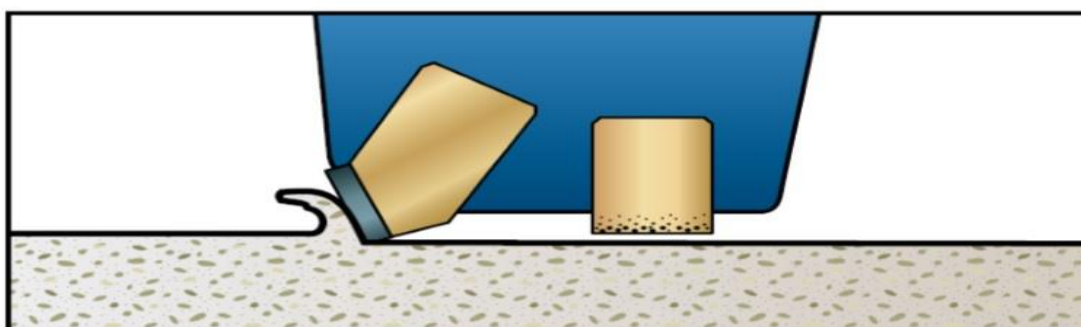
شکل ۲-۵ مدل‌های مختلف مته‌های تقویت شده (احمدی، ۱۳۹۵)

۲-۱-۶ مته‌های هیبریدی یا مرکب

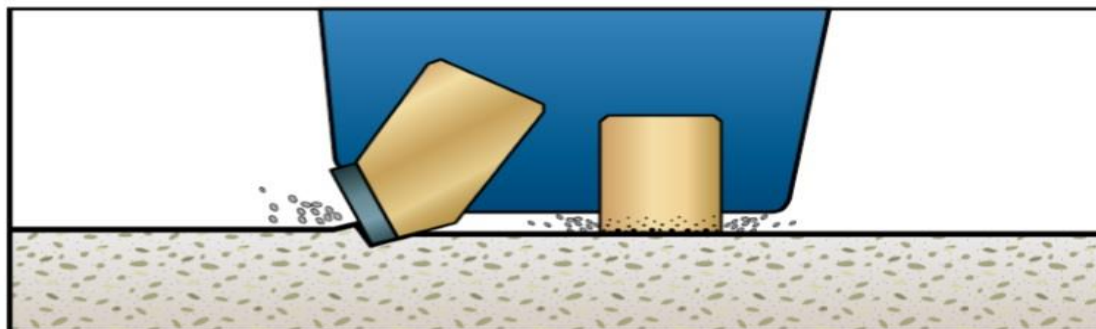
این نوع از مته‌ها شامل دو نوع مختلف می‌باشند: الف) مته‌های هیبریدی با تیغه‌های مرکب ب) مته‌های هیبریدی با ساختار مرکب

الف) مته‌های هیبریدی با تیغه‌های مرکب

این نوع مته‌ها نسبت به مته‌های مخروطی نرخ نفوذ کمتری دارند (کیانی و همکاران، ۱۳۹۵). ساختار برشی این مته‌ها شامل اجزای برشی مته‌های الماسه مصنوعی و اجزای برنده‌ی مته‌های تقویت شده، است. این مته‌ها زمانی که در ابتدا استفاده می‌شوند، اجزای مته‌های تقویت شده با سازند تماس برقرار نمی‌کنند و مته همانند یک مته‌ی الماسه مصنوعی عمل می‌کند (شکل (۲-۶)). زمانی که مدت حفاری افزایش می‌یابد اجزای برنده‌ی مته‌ی الماسه مصنوعی ساییده می‌شود و اجزای مته‌ی تقویت شده ادامه حفاری را انجام می‌دهند. وجود این ویژگی در این نوع از مته‌ها، باعث کاهش ایجاد لرزش در رشته‌ی حفاری در زمان حفاری سازندهای مختلف خواهد شد در نتیجه طول عمر مته را افزایش می‌دهد. این دسته از مته‌ها سازندهای نرم را با مکانیسم بریدن و سازندهای سخت را با مکانیسم آسیاب کردن، حفاری می‌کنند. مکانیسم در سازند سخت در شکل (۲-۷) نشان داده شده است (احمدی، ۱۳۹۵).



شکل ۲-۶ مکانیسم حفاری مته‌های هیبریدی در سازند نرم در ابتدا استفاده از مته (احمدی، ۱۳۹۵)

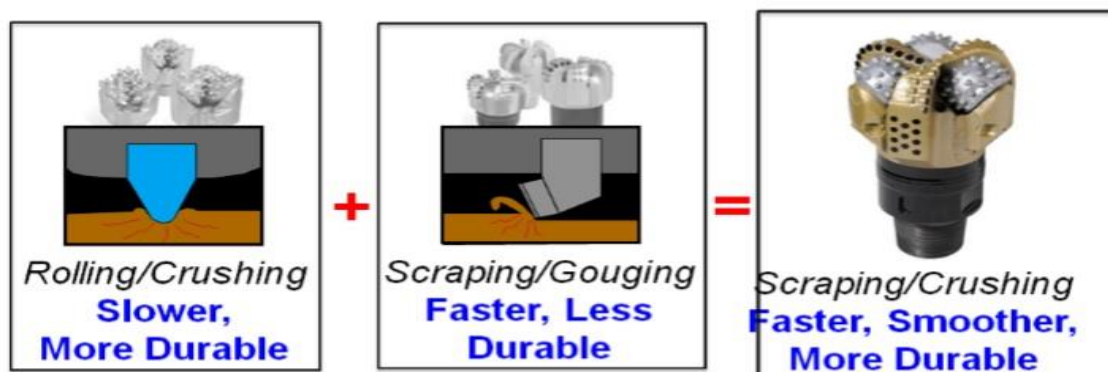


شکل ۲-۷ مکانیسم حفاری مته‌های هیبریدی در سازند سخت در زمان فرسودگی مته الماسه مصنوعی (احمدی،

(۱۳۹۵)

(ب) مته‌های هیبریدی با ساختار مرکب یا ترکیبی

این مته ترکیبی از مته‌ی سه مخروطی و تیغه ثابت، است و با نام مته‌های کیمرای هیبرید شناخته شد. بدنه‌ی این مته از استیل و فولاد است (Nguyen, 2012). مته‌های کیمرای سازندهای نرم و سخت را به ترتیب از مته‌های مخروطی و مته‌های الماسه مصنوعی بهتر و سریع‌تر حفر می‌کنند. مکانیسم حفاری سازند با این مته‌ها، ترکیبی از مکانیسم حفاری توسط هر دو نوع مته می‌باشد (Erland, 2014). این مته راه‌حلی برای حل چالش‌های سازندهایی هم‌چون سازندهای بین لایه‌ای سخت، سازندهای کنگلومرا^۱ و غیره است (Fasheloum, 1997). مزایای استفاده از مته‌های هیبرید به طور کلی عبارت‌اند از: لرزش کمتر، بالارفتن میانگین نرخ نفوذ، بهبود کنترل گشتاور و غیره (Omdal, 2015). نحوه‌ی حفاری این مته در شکل (۲-۸) نشان داده شده است.



شکل ۲-۸ نحوه حفاری مته‌های کیمرا هیبرید (Fasheloum, 1997)

۲-۲-۲ مته‌های تیغه متحرک

مته با مخروط‌های دورانی می‌تواند دارای یک، دو، سه یا حتی چهار مخروط باشد (شکل ۲-۹). مته‌های یک و دو مخروطی برای چاه‌های انحرافی مناسب هستند و مته‌های چهارمخروطه نیز بیشتر برای نمونه‌برداری و مغزه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهترین نوع مته‌ی مخروطی برای حفاری سازند، مته‌های سه مخروط می‌باشند (Karadzhova, 2014).

مزایای استفاده از این مته نسبت به مته‌های الماسه مصنوعی، قیمت ارزان، گشتاور کمتر و استحکام خوب در سازندهای نرم و سخت با نرخ نفوذ بالا است (Omdal, 2015). این مته سازندهای نرم را به روش خراشیدن^۱ و سازندهای سخت را به روش خرد کردن^۲ حفر می‌کنند (Akisanmi, 2016). دندانه‌های این نوع مته یا از جنس خود مخروط می‌باشند که توسط تراشکاری شکل می‌گیرند یا دندانه‌های دکمه‌ای از جنس تنگستن کاربید هستند که روی مخروط‌های مته کاشته می‌شوند (Endres, 2007).

1 scraping
2 crushing



شکل ۲-۹ انواع مته‌های دورانی تک، دو و چهار مخروط (احمدی، ۱۳۹۵)

۲-۲-۲-۱ مته‌های مخروطی دندانه ثابت

جنس دندانه‌ها در این مته از جنس مخروط می‌باشد و در صنعت به آن مته سنگی^۱ نیز می‌گویند و برای حفاری در سازندهای نرم تا متوسط از آن‌ها استفاده می‌شود. این نوع مته‌ها مقاوم و محکم هستند و در شرایط ناملایم چاه می‌توانند استفاده شوند اما به دلیل سایش نسبتاً سریع در بعضی از موارد (سازندهای سخت) در چاه‌های عمیق که زمان بالا و پایین راندن رشته حفاری فاکتور اصلی است، به کاربرده نمی‌شود.

مته‌های دندانه‌ای مخصوص سازندهای نرم دارای مشخصات زیر هستند (Bourgoyne *et al.*, 1991):

- دندانه‌ها بلند و فاصله‌ی زیادی از یکدیگر دارند و تعداد آن‌ها کم است.
- زاویه ژورنال کوچکتري دارند (39° – 49°).
- اما مته‌های دندانه‌ای مخصوص سازندهای متوسط و سخت دارای ویژگی‌های زیر هستند:
- دندانه‌ها کوتاه، نزدیک به هم و ردیف‌های زیادی دارند.
- زاویه ژورنال بزرگ‌تر است (برای سازند متوسط 46° – 43° و برای سازند سخت 50° – 46°).
- شماتیکی از انواع دندانه‌های این نوع مته‌ی مخروطی در شکل (۲-۱۰) آورده شده است.



شکل ۲-۱۰ انواع دندانه‌ی مته‌ی مخروطی دندانه ثابت، برای سازند نرم و متوسط (Lyons *et al.*, 2016)

۲-۲-۲-۲ مته‌های دکمه‌ای

این نوع از مته توانایی حفاری در اعماق طولانی، تا زمانی که فرسوده شوند، را دارند با این حال به لرزش‌های ایجاد شده ناشی از شوک حساس‌اند. اگر پوسته‌ی آن‌ها از جنس الماس باشد، امکان مقاومت بیشتر این مته‌ها جهت حفاظت از گیج^۱ در سازندهای ساینده را می‌دهد. هدف اصلی از ساخت این نوع مته‌ها، استفاده در سازندهای متوسط و خیلی سخت می‌باشد (Husvag, 2015).

مته‌های دکمه‌ای دارای دندانه‌های تنگستن کاربیدی است که در حرارت زیاد، بر روی حفارتی که بر روی بدنه است، تعبیه می‌شود (Endres, 2007). این مته‌ها برخلاف مته‌های دندانه‌ای در اعماق زیاد در حرارت و فشار بالا در مقابل سازندهای چرت و سنگ کوارتز مقاومت خوبی دارند. مکانیسم حفاری با این مته‌ها ضربه زدن و خراشیدن است (Momeni *et al.*, 2018). هرچه که عمق بیشتر می‌شود برخورد با سازندهای سخت نیز افزایش می‌یابد، در این مواقع از مته‌های دکمه‌ای استفاده می‌شود به همین دلیل به این نوع مته، مته‌ی پایینی^۲ نیز می‌گویند. نمای اجزای برنده و انواع دندانه این مته در سازندهای سخت، نیمه‌سخت و نرم در شکل‌های (۲-۱۱) و (۲-۱۲) نشان داده شده است (Yibudongha and Izuwa, 2017).

1 Gauge
2 Bottom Bit



شکل ۲-۱۱ نمای دندانه مته‌ای دکمه‌ای از راست برای سازندهای سخت، نیمه‌سخت و نرم (احمدی، ۱۳۹۵)



شکل ۲-۱۲ دندانه مته‌ای دکمه‌ای از سمت راست برای سازندهای سخت، نیمه‌سخت و نرم (Fasheloum, 1997)

۲-۳ طبقه‌بندی بین‌المللی پیمانکاران حفاری^۱ برای مته‌ی تیغه ثابت

طبقه‌بندی IADC در سال ۱۹۸۱ برای این نوع مته‌ها ارائه شد. این تقسیم‌بندی شامل هر دو حالت خواص سنگ و تنوع ساختاری است. همچنین برخی از موارد ویژه استفاده از ابزار حفاری را در نظر می‌گیرد. تعیین هر مته شامل ۴ بخش است که عبارت است از (Husvag, 2015):

نشانه اول، مشخصه مواد به کار برده شده در بدنه مته را معرفی می‌کند به عنوان مثال حرف M برای مته‌ی الماسه مصنوعی استفاده می‌شود. مشخصه دوم شامل اعداد ۱ تا ۹ است که پروفایل مته را نشان می‌دهد. نشانه‌ی سوم هیدرولیک مته را با اعداد ۹-۱ تعریف می‌کند. معرف چهارمین عدد، نشان دهنده‌ی اندازه و چگالی اجزای برنده‌ی مته است..

1 International Association of Drilling Contractors (IADC)

۲-۴ طبقه‌بندی IADC برای مته‌های مخروطی

این طبقه‌بندی برای مته‌های مخروطی با یک کد چهار گزاره‌ای صورت می‌گیرد که اولین گزاره در کد طبقه‌بندی نشانگر سری مته یا ساختار مته است که نوع دندان را مشخص می‌کند و می‌تواند شامل اعداد ۱ تا ۸ باشد. اعداد ۱ تا ۳ برای مته‌های دندان فولادی به ترتیب برای سازندهای نرم، متوسط و سخت هستند درحالی که اعداد ۴ تا ۸ برای مته‌های دکمه‌ای به ترتیب برای سازندهای نرم، متوسط، نیمه سخت، سخت و بسیار سخت می‌باشد.

گزاره‌ی دوم نوع ساختار برنده یا میزان سختی مته را درون طبقه‌بندی هر سری مشخص می‌کند. عدد ۱ ضعیف‌ترین و عدد ۴ سخت‌ترین نوع مته را بیان می‌کند. نوع بلبرینگ با گزاره سوم مشخص می‌شود و شامل اعداد ۱ تا ۹ می‌باشد (Kuznetcov, 2016).

گزاره‌ی چهارم هم نشانگر دیگر خصوصیات یا کاربردهای ویژه‌ی مته است که با ۱۶ حرف مشخص می‌شود به عنوان مثال حرف D در کنترل زاویه چاه استفاده می‌شود (Boryczko, 2012).

۲-۵ روش‌های انتخاب مته‌ی حفاری

در انتخاب مته پارامترهایی هم‌چون خصوصیات سازند (سختی و قابلیت حفر شدن آن) طی مدت حفاری مشخص می‌شوند و قابل تغییر نیست. هرچند که با استفاده از برداشت‌های ژئوفیزیکی و سوابق ثبت شده چاه‌های از پیش حفاری شده^۱ به تعدادی از این خصوصیات می‌توان پی برد اما هم‌چنان انتخاب مته به عنوان یک چالش وجود دارد (Busengdal, 2017).

مهندس حفار جهت انتخاب مته موارد زیر را در نظر می‌گیرد (Bourgoyne et al., 1991):

- جهت حفاری در عمق‌های سطحی، مته‌های مخروطی به عنوان انتخاب اولیه پیشنهاد می‌شود.

- همانطور که پیش‌تر بیان شد، مته‌های الماسه جهت حفاری برای سازندهای غیر شکننده، چاه‌هایی با قطر کم و بخش‌های انتهایی چاه‌های عمیق، مناسب است.
 - مته‌های الماسه مصنوعی در سازندهایی که به طور پیوسته لیتولوژی آن‌ها قابل تغییر است و دارای میان لایه‌های شیل است، کمتر استفاده می‌شود.
 - انتخاب مته با توجه به ویژگی‌های سازند، شیوه‌ای مناسب است مثلاً در حفاری انحرافی با لایه‌ی چرت^۱، به کار بردن مته‌های مخروطی منطقی‌تر است (Sherbeny et al., 2016).
- در گذشته، انتخاب مته با استفاده از آزمون و خطا و بررسی موارد آسیب دیده‌ی مته مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. اما در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی و برنامه‌های هوشمند رایانه‌ای و روش‌هایی کاربردی هم‌چون انرژی ویژه، مدل ROP و غیره، انتخاب صحیح مته صورت می‌پذیرد (Momeni et al., 2015)

۲-۵-۱ بررسی آسیب‌دیدگی مته^۲

از طریق بررسی میزان فرسودگی و یا افتادن دندان‌های مته می‌توان به این پی برد که کارایی این مته در سازند مورد بررسی به چه صورت است. رایج‌ترین طبقه‌بندی برای مته‌های آسیب دیده توسط IADC تهیه شده است (Fasheloum, 1997). این سیستم طبقه‌بندی قابل استفاده برای تمامی مته‌های کاتر ثابت و مته-های مخروطی است (Boryczko, 2012). طبقه‌بندی فرسودگی مته‌های حفاری در جدول (۱-۲) آمده است.

جدول ۱-۲ طبقه‌بندی فرسودگی مته‌های حفاری (Nguyen, 2012)

ساختار کاتر							
ردیف داخلی	ردیف بیرونی	علت آسیب	موقعیت	بلبرینگ	گیج	دیگر موارد آسیب	علت بیرون کشیده شدن
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸

1 Chert

2 Bit Dullness

ستون‌های فوق به صورت‌های زیر تعریف می‌شوند (Oteri, 2010) :

ستون اول و دوم درجه‌بندی آسیب دندان‌های داخلی و خارجی مته است و از ۸-۰ طبقه‌بندی می‌شوند. عدد صفر برای مته‌ی نو و عدد ۸ برای مته‌ی کاملاً فرسوده استفاده می‌شود. ستون سوم، از دو کد حرف تشکیل می‌شود و چگونگی آسیب ساختار برنده یا دندان‌ها را نشان می‌دهد. محل آسیب دیدگی در ستون چهارم مشخص می‌شود. شرایط بلبرینگ مته در ستون پنجم گزارش می‌شود. برای بلبرینگ‌های آب بندی نشده، از یک مقیاس خطی از ۸-۰ استفاده می‌شود تا عمر مفید بلبرینگ را تعیین کنند (صفر برای بلبرینگ فرسوده و ۸ برای بلبرینگ نو). در ستون ششم شرایط پیرامون مته ثبت می‌شود که در صورت سالم بودن با حرف I، در غیر این صورت میزان سایش بدنه‌ی مته به نزدیک ترین ضریب "۱/۱۶" گرد شده و در جدول ثبت می‌شود. توضیح بیشتر در رابطه با آسیب‌های قسمت برنده مته در ستون هفتم آورده می‌شود. ستون هشتم، دلایل بیرون کشیدن مته از چاه را بیان می‌کند.

۲-۵-۲ روش هزینه به ازای مترآژ حفاری

پایه اصلی انتخاب مته معمولاً براساس هزینه به ازای هر فوت انجام می‌شود. این روش به سادگی مته‌ای که کمترین هزینه را در مترآژ مدنظر داشته باشد را معرفی می‌کند (Gjeraldstveit, 2017). معمولاً انتخاب بهینه مته از این روش شروع می‌شود و تابعی از هزینه و کارایی مته است (Yilmaz et al., 2002). بهترین مته زمانی انتخاب می‌شود که نرخ نفوذ آن بالا و هزینه و فرسایش آن به ازای هر فوت در کمترین حالت باشد (Yibudongha and Izuwa, 2017).

معادله‌ی (۱-۲) جهت مقایسه‌ی هزینه به ازای هر فوت ارائه شده است (Fasheloum, 1997):

$$C = \frac{B + (T + t) R}{F} \quad (1-2)$$

۲-۵-۳ روش انرژی ویژه

این روش مبتنی بر به حداقل رساندن مقدار انرژی مورد نیاز برای از بین بردن حجم مشخصی از سنگ است که توسط عملکرد انرژی ویژه مکانیکی ارائه می‌شود (Momeni et al., 2015). این رابطه به صورت عملیاتی برای تنظیم پارامترهای حفاری مانند وزن روی مته و سرعت چرخش مته جهت مدیریت حفاری استفاده می‌شود (Boryczko, 2012). همانطور که از معادله (۲-۲) برداشت می‌شود، هر چه مقدار MSE پایین باشد، انرژی کمتری جهت حفر سنگ لازم است و راندمان حفاری افزایش می‌یابد (Adams, 1985). این مدل، به عنوان یک روش مکمل جهت انتخاب مته، با استفاده از دو روش قبل، به کار برده می‌شود و با توسعه این مدل، مقدار نرخ نفوذ همانطور که در معادله (۳-۲) نشان داده شده است قابل محاسبه می‌باشد (Husvag, 2015).

$$MSE = E_m * \left(\frac{4 * WOB}{\pi * D^2 * 1000} + \frac{480 * RPM * T}{D^2 * ROP * 1000} \right) \quad (2-2)$$

$$ROP = \frac{MSE * 1000 * D^2 - \left(\frac{4 * WOB}{\pi} \right)^{-1}}{480 * RPM * T} \quad (3-2)$$

۲-۵-۴ مدل ROP

مدل‌های ROP با در نظر گرفتن عواملی چون پارامترهای حفاری، طراحی و سایش مته قادر به محاسبه توانایی حفر سازند توسط مته هستند. ترکیبی از روش انرژی مکانیکی ویژه بهبود یافته (شامل تاثیر اثرات حفاری) با مدل ROP، ابزار مفیدی برای ارزشیابی دائمی سایش یک مته و عملیات حفاری است (Boryczko, 2012). مطالعات نشان می‌دهد اگر نرخ نفوذ در هر مرحله‌ی حفاری ۱ m/h افزایش داشته باشد، در حدود ۱۰٪ هزینه‌ی چاه در نهایت کاهش می‌یابد و ۱۷٪ زمان کمتر جهت تکمیل چاه نیاز است (Gyllenhammr, 2003).

۲-۵-۴-۱ مدل ROP، بورگوین و یانگ^۱

بورگوین و یانگ در سال ۱۹۷۴، یک مدل پیچیده برای محاسبه‌ی ROP ارائه دادند (معادله‌ی (۲-۴)). در این مدل میزان نفوذ به چندین فاکتور هم‌چون: وزن روی مته، سرعت چرخش، هیدرولیک مته، میزان سایش برنده‌ها، فشار منفذی، تراکم و خصوصیات سازند بستگی دارد (Maita Pozo, 2013).

$$ROP = f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5 * f_6 * f_7 * f_8 \quad (۴-۲)$$

این ۸ پارامتر به صورت معادلات زیر تعریف می‌شوند (Boryczko, 2012).

$$f_1 = e^{2.303 a_1} \quad (۵-۲)$$

f_1 استحکام سازند را نشان می‌دهد.

$$f_2 = e^{2.303 * a_2 * (10000 - D)} \quad (۶-۲)$$

اثر عمق و تراکم با f_2 معرفی می‌شود.

$$f_3 = e^{2.303 * a_3 * D^{0.69} (gp - 9)} \quad (۷-۲)$$

f_3 اثر فشار منفذی را محاسبه می‌کند.

$$f_4 = e^{2.303 * a_4 * D (gp - pc)} \quad (۸-۲)$$

در رابطه‌ی (۸-۲) اثر اختلاف فشار توسط f_4 بدست می‌آید.

$$f_5 = \left(\frac{\frac{WOB}{d} + \frac{WOB_t}{d}}{4 - \frac{WOB_t}{d}} \right)^{a_5} \quad (۹-۲)$$

در رابطه‌ی فوق اثر قطر و وزن روی مته در f_5 اعمال شده است.

$$f_6 = \left(\frac{N}{60} \right)^{a_6} \quad (۱۰-۲)$$

سرعت چرخش مته با استفاده از رابطه‌ی (۱۰-۲) محاسبه می‌شود.

$$f_7 = e^{-a_7 * h} \quad (11-2)$$

اثر سایش مته با استفاده از رابطه‌ی فوق بدست می‌آید در این رابطه، h به صورت معادله‌ی (۱۲-۲) است.

$$h = \left(\frac{\text{Depth,Curent}-\text{Depth,in}}{\text{Depth,out}-\text{Depth,in}} \right) * \frac{DG}{8} \quad (12-2)$$

$$f_8 = \frac{F_j}{1000} * a_8 \quad (13-2)$$

در رابطه‌ی (۱۳-۲)، اثر فشار و نیروی ضربه‌ای جت مته با تعریف f_8 بدست آمده است. F_j به صورت معادله‌ی (۱۴-۲) می‌باشد.

$$F_j = \frac{pq}{0.35 \mu dn} \quad (14-2)$$

ضرایب a_1 تا a_8 ضرایب حفاری می‌باشند (Kutas et al., 2015).

۵-۵-۲ روش‌های هوشمند

یکی از روش‌های هوش مصنوعی که الهام گرفته از سیستم عصبی انسان است، شبکه‌های عصبی است. این شبکه ابتدا داده‌ها را به صورت آموزش دریافت می‌کند سپس به کمک داده‌های تست مورد سنجش قرار می‌دهد. (میرزایی پیامن، ۱۳۹۱). سیستم‌های هوشمند به دلیل توانایی در حل مسائل مختلف، به صورت وسیعی در صنعت نفت مورد استقبال قرار گرفت. برای نخستین بار کاربرد شبکه عصبی در مهندسی نفت توسط جونیاردی و ارشاقی^۱ در سال ۱۹۹۳، مطرح شد (Liang et al., 2010). در دو دهه گذشته این شبکه‌ها به صورت وسیعی در گرایش‌های مختلف مهندسی نفت مانند توسعه میدان، بررسی تکمیل چاه، توصیف مخزن، پیش‌بینی آسیب سازند، بهینه‌سازی واحدهای تولیدی پالایشگاهی، پیش‌بینی و بهینه‌سازی عملیات حفاری و غیره استفاده شده است (ربیعی و صیاد، ۱۳۹۲). این شبکه قادر به یادگیری جهت تشخیص داده‌ها است و دارای سه لایه نرونی (ورودی، میانه، خروجی) در حالت ساده است. مقادیر ورودی ضرب شده در وزن مربوط

1 Juniardi & Ershaghy

به اتصالات به عنوان تابع ابتدایی وارد نرون‌ها می‌شوند و آن‌ها را با مقدار مشخصی از بایس جمع می‌کنند و به عنوان یک تابع انتقال که گویای نتایج است، گزارش می‌دهند. در کل خروجی نرون z در لایه k را می‌توان از رابطه‌ی (۱۵-۲) محاسبه کرد:

$$X_{jk} = F_K \left(\sum_{i=1}^{N_k-1} W_{ijk} X_{i(k-1)} + b_{jk} \right) \quad (15-2)$$

در این رابطه، ماتریس وزن (W_{ijk}) ، ماتریس ورودی $(X_{i(k-1)})$ ، بایس (b_{jk}) ، و تابع انتقال (F_K) می‌باشند. در نهایت خروجی شبکه با خروجی واقعی مقایسه می‌شود و نتیجه مطلوب ارائه می‌شود. معمولاً وزن‌ها و بایس‌ها در شروع فرآیند به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند به همین دلیل به وسیله‌ی تابع یادگیری طوری تنظیم می‌شوند که در برگشت بعدی تطابقی بهتر بین خروجی مطلوب و واقعی ایجاد شود (تیموری و مالکی، ۱۳۹۶).

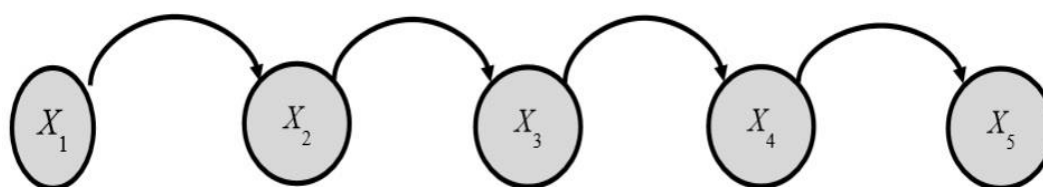
۲-۵-۶ فرآیند مارکوف

زنجیره مارکوف مونت کارلو^۱ در دوره فیزیکدانانی چون متروپولیس و فون نویمان^۲ در دوره زمانی ۱۹۴۵-۱۹۵۵ هنگامی که آنها از کامپیوترهای الکترونیکی مدرن برای شبیه سازی برخی از مشکلات احتمالی در طراحی بمب اتمی استفاده می‌کردند، مطرح شد. زنجیره مارکوف نوع خاصی از فرآیند مارکوف است که حالت سیستم فقط مقادیر گسسته را انتخاب می‌کند. این زنجیره به افتخار «آندری مارکوف» ریاضی دان اهل روسیه نام گذاری شده است. اخیراً با توسعه مداوم این روش، حل بسیاری از مسائل محاسباتی در علوم و مهندسی حاصل شده است (Sahina and Senb, 2001). از این مدل در پیش‌بینی‌های هوا، سیل، احتمال وقوع باران، تعیین رخساره‌های زمین، مدل سازی وزش باد، خصوصیات زیر سطحی و غیره بسیار استفاده شده است (Awiszus and Rosenhahn, 2018).

1 Markov Chain Monte Carlo (MCMC)

2 Metropolis and von Neuman

فرآیند مارکوف یک مدل ریاضی است و نوع خاصی از فرآیندهای تصادفی می‌باشد. یک فرآیند تصادفی مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است و با $\{X(t), t \in T\}$ نشان داده می‌شود که برای هر t ، $X(t)$ یک متغیر تصادفی است. در واقع $X(t)$ وضعیت فرآیند تصادفی را در زمان T نشان می‌دهد (نیکوگفتار و همکاران، ۱۳۹۲). فرآیند مارکوف احتمال تغییر وضعیت از زمان t_1 به حالت دیگر در زمان t_2 را با استفاده از ماتریس انتقال ارائه می‌دهد. پیش‌بینی براساس ماتریس انتقال صورت می‌گیرد. عناصر به کار برده شده در این ماتریس، احتمال تغییر وضعیت از یک حالت به حالت دیگر را بیان می‌کنند. به طور مثال فرآیند پواسون نوعی فرآیند مارکوف است زیرا در آن تعداد پیشامدهایی که از یک لحظه معین به بعد اتفاق می‌افتد، مستقل از پیشامدهایی است که قبل از آن اتفاق افتاده است. شکل (۲-۱۳) شماتیکی از ویژگی زنجیره مارکوف را که فقط وابسته به سلول قبل خود هست را نشان می‌دهد (Browning and Kumin, 2016).



شکل ۲-۱۳ طرح شماتیکی از ویژگی زنجیره مارکوف (Ching and Michael, 2006)

فرآیند مارکوف برحسب دو عامل زیر تقسیم‌بندی می‌شود (Elfeki and Dekking, 2001).

الف) پارامتر زمان (t) که می‌تواند پیوسته یا گسسته باشد. T زمانی گسسته است که رفتار سیستم تنها در مقاطع مشخصی از زمان مطالعه می‌شود. در صورتی که t گسسته باشد $X(t)$ با متغیرهای تصادفی به شکل $X_1, X_2, \dots, X_n$ جایگزین می‌شود.

ب) مجموعه مقادیری را که $X(t)$ می‌تواند انتخاب کند، حالت سیستم گویند. حالت سیستم نیز به صورت گسسته یا پیوسته می‌تواند باشد.

۲-۵-۶-۱ زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف یک الگوی احتمالی است که نوع خاصی از وابستگی را معرفی می‌کند و به عنوان مدلی جهت پیش‌بینی احتمالی به کار برده می‌شود. آینده‌ی این فرآیند بستگی به مسیری که در گذشته طی کرده است، ندارد و تنها به موقعیت آن در زمان حال وابسته است. بر این اساس یک رشته‌ی متغیرهای تصادفی $X_1, X_2, \dots, X_n$ را زنجیره مارکوف می‌نامند اگر به ازای تمام مقادیر N و تمام حالت‌های i و j رابطه‌ی (۲-۱۶) برقرار باشد (الهی‌پورن‌زاده، ۱۳۹۶):

$$P[X_n = j | X_1 = i_1, X_2 = i_2, \dots, X_n = i] = P[X_{n+1} = j | X_n = i] \quad (۲-۱۶)$$

در رابطه به n ، مرحله نیز گفته می‌شود. از این مدل در زمین شناسی برای مدل‌سازی متغیرهای گسسته مانند سنگ‌شناسی یا رخساره‌های سنگی استفاده می‌شود (Brooks et al., 2011).

اگر احتمال تغییر وضعیت نسبت به زمان وابسته نباشد، فرآیند مارکوف دارای احتمال وضعیت مانا است. به عبارتی دیگر احتمال اینکه زنجیره از حالت i به حالت j در هر زمانی برود یکسان است (الهی‌پورن‌زاده، ۱۳۹۶). زنجیره‌ی مارکوف همگن حالت خاصی از زنجیره‌ی مارکوف است که در آن احتمال گذار از یک حالت به حالت دیگر وابسته به مرحله‌ی آن نباشد. به عبارتی دیگر به بیان ریاضی، زنجیره‌ی مارکوفی که به ازای تمام مقادیر i و j و n رابطه‌ی (۲-۱۷) برقرار باشد، زنجیره‌ی مارکوف همگن گویند در غیر این صورت زنجیره‌ی مارکوف ناهمگن است (امیری و بیگلری کامی، ۱۳۹۲).

$$P[X_{n+1} = j | X_n = i] = P[X_1 = j | X_0 = i] = P_{ij} \quad (۲-۱۷)$$

P_{ij} معرف احتمال تغییر حالت سیستم از i به j است.

در زنجیره‌ی مارکوف حالات مختلفی وجود دارد که به اختصار در ادامه آمده است.

الف) ماتریس گذار^۱ یا ماتریس احتمال انتقال

ماتریس گذار ماتریسی است که عناصر تشکیل دهنده آن در سطر i و ستون j مقدار P_{ij} یا همان احتمال تغییر حالت سیستم از i به j است. اگر تعداد حالت‌های سیستم M باشد، ماتریس گذار به صورت ماتریس در رابطه‌ی (۱۸-۲) معرفی می‌شود (خشنودکیا و همکاران، ۱۳۸۹).

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & \dots & P_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{M0} & \dots & P_{MM} \end{bmatrix}; P_{ij} \geq 0, i, j \geq 0, \sum_{j=0}^{\infty} P_{ij} = 1 \quad (18-2)$$

به هر سطر این ماتریس بردار احتمال گویند. این بردار دارای اعداد غیر منفی است و مجموع عناصر این بردار برابر یک است. با توجه به نامتناهی بودن تعداد حالت‌های سیستم، ابعاد ماتریس نیز می‌تواند نامتناهی باشد. به طور کلی، هر ماتریس مربعی که مجموع عناصر هر سطر آن برابر یک و دارای اعداد نامنفی باشد، ماتریس زنجیره مارکوف یا ماتریس انتقال وضعیت یک مرحله‌ای نیز گویند (توان‌پور و همکاران، ۱۳۹۷).

ب) زنجیره‌ی مارکوف با زمان پیوسته

حالت خاصی از فرآیند مارکوف است که در آن پارامتر زمان پیوسته است اما حالت سیستم هم‌چنان گسسته است؛ به عبارت دیگر فرآیند مارکوفی که در آن عبارت $\{X(t), t \geq 0\}$ برقرار باشد، زنجیره‌ی مارکوف پیوسته گویند اگر به ازای تمام مقادیر S و t رابطه‌ی (۱۹-۲) ثابت شود (تاتاری، ۱۳۹۵).

$$P[X(t+s) = j | X(s) = i, X(u) = u \leq s] = P[X(t+s) = j | X(s) = i] \quad (19-2)$$

پ) احتمالات گذار وضعیت بعد از m مرحله

احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای براساس احتمالات شرطی به صورت رابطه‌ی (۲۰-۲) بیان می‌شود (نیکوگفتار و همکاران، ۱۳۹۲).

$$P(i \rightarrow j) = P[X_2 = j | X_1 = i] \quad (20-2)$$

یک سری از رخدادها به صورت متوالی که دارای ویژگی زنجیره مارکوف است، در شکل (۲-۱۴) نشان داده شده است. سلول i در حالت S_K ، سلول $i-1$ در حالت S_l و سلول N در حالت S_q هستند و پیشامد S_K زمانی رخ می‌دهد که S_l و S_q اتفاق بیفتند. احتمال انتقال از حالت i به j به صورت رابطه‌ی (۲-۲۱) بیان می‌شود (در این رابطه Z نشان‌دهنده‌ی حالت سلول است).

$$P(Z_i = S_K | Z_{i-1} = S_l, Z_N = S_q) \quad (2-21)$$

				S_l	S_K				S_q
0	1	2		$i-1$	i	$i+1$			N

شکل ۲-۱۴ پیشامدهای متوالی برای زنجیره مارکوف تک بعدی (Brooks et al., 2011)

این احتمال را با استفاده از محاسباتی که عمرو الفکی^۱ انجام داده است، به صورت رابطه‌ی (۲-۲۲) می‌توان نوشت:

$$P(Z_i = S_K | Z_{i-1} = S_l, Z_N = S_q) = \frac{P_{kq}^{(N-i)} P_{lk}}{P_{lq}^{(N-i+1)}} \quad (2-22)$$

در این رابطه $P_{kq}^{(N-i)}$ احتمال انتقال از وضعیت k به q به فاصله‌ی $N-i$ سلول و هم چنین $P_{lq}^{(N-i+1)}$ احتمال انتقال از حالت l به حالت q به فاصله‌ی $N-i+1$ سلول است (Brooks et al., 2011).

احتمال رفتن از وضعیت i به وضعیت j بعد از m مرحله (m بار تغییر وضعیت) به صورت رابطه‌ی (۲-۲۳) تعریف می‌شود (Awiszus and Rosenhahn, 2018):

$$P_{ij}^{(m)} = P[X_{n+m} = j | X_n = i]; m \geq 0, ij \geq 0 \quad (2-23)$$

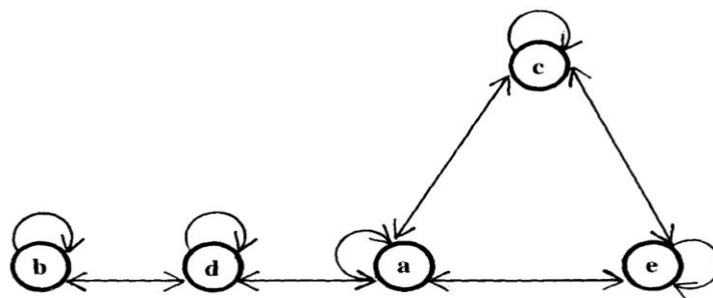
این رابطه نشان گر این است که ماتریس گذار، بعد از m بار تغییر وضعیت اتفاق افتاده است. با استفاده از معادلات چاپمن - کولموگروف^۱ (رابطه‌ی (۲-۲۴)) می‌توان نتیجه گرفت که P^m توان m ام ماتریس p است. به عبارت دیگر با داشتن ماتریس گذار تک مرحله‌ای، می‌توان ماتریس گذار بعد چند مرحله آینده را نیز بررسی کرد (حسینی، ۱۳۹۴).

$$P_{ij}^{(m+n)} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik}^{(n)} P_{kj}^{(m)} ; n, m \geq 0, i, j \quad (2-24)$$

ت) طبقه بندی حالت‌های سیستم در یک زنجیره مارکوف

حالت‌های مختلف سیستم در یک زنجیره مارکوف به صورت زیر شرح داده می‌شود: $P_{ij}^n > 0$

- حالت i به حالت j دسترس پذیر است اگر یک m نامنفی موجود باشد.
 - دو حالت i و j اگر دسترس پذیر باشند پس باهم در ارتباط هستند.
 - مجموعه تمام حالت‌هایی که با هم در ارتباط باشند در یک کلاس قرار می‌گیرند.
 - سیستمی که تمام حالت‌های آن باهم در ارتباط باشند، سیستم یکپارچه گویند.
- اگر امکان دسترسی از هیچ کدام از حالت‌های یک مجموعه به هیچ کدام از حالت‌های خارج از آن وجود نداشته باشد، به آن مجموعه‌ی بسته گویند (Sahina and Senb, 2001).



شکل ۲-۱۵ شماتیکی از سیستم یکپارچه یک زنجیره مارکوف (Sahina and Senb, 2001)

همانطور که در شکل (۲-۱۵) نشان داده شده است، همه اجزا با هم در ارتباطند پس یک سیستم یکپارچه را معرفی می کند.

زنجیره‌ی مارکوف به عنوان یک روش احتمالاتی، یک نوع وابستگی بین رخساره‌های زیرسطحی ایجاد می کند و مدلی را جهت پیش‌بینی حالت بعدی رخساره‌های زمین، ارائه می دهد. در این مطالعه با استفاده از این ویژگی مدل زنجیره مارکوف، واحدهای لیتولوژی سازند دشتک با توجه به داده‌های ورودی مدل می شوند که در فصول سوم و چهارم در رابطه با داده‌های ورودی و الگوریتم زنجیره مارکوف، بحث خواهد شد.

فصل 3: زمین‌شناسی منطقه و بررسی داده‌ها

۳-۱ مقدمه

جهت مدل سازی رخساره‌های سنگی توسط زنجیره‌ی مارکوف بر روی یکی از سازندهای ایران، سازند دشتک به دلیل وجود طبقات گسترده و به عنوان مهم‌ترین پوش سنگ در مناطق پیرامون خلیج فارس و حوضه زاگرس برای مخازن گازی گروه دهرم (با ذخایر گازی بیش از 600 scf^1)، انتخاب گردید و مورد بررسی قرار گرفت (آرین و جعفری، ۱۳۸۹). مرز بالا و پایین این سازند از گسل تشکیل شده و دارای ناهمگنی در مرزهای خود است به همین دلیلی در حین حفاری مشکلاتی همچون نوسانات شدید رشته‌ی حفاری را به همراه داشته است (شیرازی و همکاران، ۱۳۹۳). سازند دشتک در حد بالایی خود با سازند نیریز و در حد پایینی با ناپیوستگی‌هایی از طریق شیل، با سازند کنگان هم مرز است. این مرز به صورت دگرشیب است به طوری که لایه‌های بالایی این سازند دچار فرسودگی شده‌اند. (Habibnia, 2016).

در این فصل با مطالعه‌ی لیتولوژی سازند دشتک و بررسی اطلاعات دو چاه در این سازند، داده‌های ورودی را برای اعمال در مدل سازی زنجیره‌ی مارکوف آماده می‌شوند.

۳-۲ لیتولوژی سازند دشتک

سازند دشتک به سن تریاس پایینی تا میانی، واقع در کوه سورمه در ۱۲۰ کیلومتری جنوب و جنوب غرب استان شیراز قرار دارد. نام سازند دشتک از چاه دشتک ۱- واقع در ۷۵ کیلومتری غرب شیراز اتخاذ شده است که در گذشته با نام شیل سودیر^۲ شناخته می‌شد. این سازند به عنوان اولین سازند گروه کازرون معرفی شده است (ابراهیمی، ۱۳۸۸). گروه کازرون شامل رسوبات تبخیری تریاسیک و بخش تحتانی ژوراسیک است و شامل سازندهای دشتک و نیریز است (درخشانی، ۱۳۸۹).

1 Standard Cubic Foot
2 Sudair Shale

لیتولوژی سازند دشتک شامل دولومیت، شیل، انیدریت، آهک چرتی، آهک رسی، دولومیت رسی و غیره می‌باشد که در ۶ بخش به صورت متناوب قرار گرفته‌اند. در شکل (۳-۱) لیتولوژی دو چاه مورد مطالعه براساس عمق، آمده است. این سازند به دو بخش رسمی و غیررسمی طبقه‌بندی شده است که بخش‌های رسمی شامل شیل آغار و دولومیت سفیدار است و مابقی، بخش‌های غیر رسمی را تشکیل می‌دهند. سازند دشتک از پایین به بالا شامل بخش‌های زیر هستند (صفاری، ۱۳۸۷):

- بخش شیلی آغار: این بخش پایین‌ترین قسمت سازند دشتک و بر روی سازند کنگان در سراسر حوضه‌ی خلیج فارس و زاگرس قرار دارد. نام این بخش از تاق‌دیس آغار در اطراف فیروزآباد فارس گرفته شده است که از مخازن بزرگ گازی کشور بشمار می‌آید. این قسمت شامل توالی از شیل‌های خاکستری متمایل به روشن، قهوه‌ای متمایل به قرمز و سبز به طول ۱۰ تا ۴۰ متر می‌باشد و دارای لایه‌های کوچکی از انیدریت و دولومیت‌های قهوه‌ای تا خاکستری به صورت متناوب است. این لایه در بعضی از منابع جز بخش تبخیری A قرار گرفته است.

- بخش تبخیری A: شامل سه ردیف از انواع سنگ‌ها به ضخامت ۲۲۰ متر می‌باشد. جنس ردیف‌ها از بالا به پایین به ترتیب شامل شیل، انیدریت با ضخامت بالا، سنگ آهک و دولومیت رسی می‌باشد. این بخش شامل واحدهای انیدریت توده‌ای و شیل آغار است. واحد انیدریت توده‌ای شامل ۸ لایه راهنما از S₁ تا S₈ است که هر کدام دارای لیتولوژی‌های مختلف با رنگ‌های متفاوت هستند که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

S₈: شیل سبز و خاکستری تیره و انیدریت خاکستری (ضخامت ۱۵ متر)

S₇: لایه نازکی از رس‌های خاکستری و انیدریت و دولومیت قهوه‌ای (ضخامت ۳/۵ متر)

S₆: لایه با شیل‌های خاکستری روشن، دولومیت قهوه‌ای تا قهوه‌ای روشن و آهک (ضخامت ۵ متر)

S₅: دولومیت سخت و متبلور به رنگ قهوه‌ای، انیدریت و مارن (ضخامت ۸/۵ متر)

S₄: دولومیت سخت و متراکم به رنگ قهوه‌ای، خاکستری، انیدریت و مارن (ضخامت ۱۳/۵ متر)

S₃: دولومیت رسی، آهک و دولومیت

S₂: دولومیت خاکستری، انیدریت سفید با لایه‌هایی از مارن خاکستری (ضخامت ۵ متر)

S₁: (شیل آغار) شیل خاکستری تیره تا سبز و لایه‌های رسی از پیریت^۱

- بخش تبخیری B: دارای لایه‌هایی از جنس انیدریت سفید، قهوه‌ای روشن و دولومیت قهوه‌ای متبلور به ضخامت ۴۰ متر، است.
- بخش تبخیری C: ضخامت آن بین صفر تا ۲۵۰ متر متغیر است زیرا قسمت‌هایی از آن بعد از تریاس بر اثر فرسایش از بین رفته است. در بخش فوقانی دارای دولومیت‌های زرد رنگ و انیدریت سفید است.
- بخش دولومیت سفیدار: نام این بخش از چاه شماره (۱) سفیدار، واقع در جنوب شیراز اقتباس شده است. این عضو شامل یک لایه راهنما از دولومیت سخت به رنگ قهوه‌ای با دانه‌های درشت تا متوسط است. در قاعده‌ی این بخش در کوه سورمه، یک لایه کنگلومرای آهکی است که نشان از وجود یک فاز فرسایشی پیش از رسوب‌گذاری کربناته دارد.
- بخش تبخیری D: فوقانی‌ترین لایه در سازند دشتک است و دارای لایه‌های متناوبی از شیل، دولومیت، انیدریت با محدوده‌ی جغرافیایی کمی می‌باشد و در بسیاری از قسمت‌های این بخش در سطح دچار سایش شده است.

¹ pyrite

عمق (متر)	لیتولوژی	کد مته	دلایل بیرون کشیدن مته
-	آهک رسی	۵۳۷	نرخ نفوذ پایین و
-	آهک دولومیتی		گشتاور
-۳۷۵۰	آهک رسی	M223	در چاه به عنوان مانده، باقی گذاشته شد.
-	انیدریت		
-	دولومیت		
-۳۸۰۰	انیدریت		
-	دولومیت		
-۳۸۵۰	دولومیت رسی		
-	دولومیت		
-	آهک چرتی		
-	دولومیت	۵۲۷	شکستن دندانها
-	انیدریت	۲۱۵	نرخ نفوذ پایین
-۳۹۰۰	دولومیت		
-	آهک رسی		
-	دولومیت		
-	آهک دولومیتی		
-	انیدریت	۵۲۷	تغییر در تجهیزات ته چاهی
-۳۹۵۰	دولومیت		
-	شیل		
-	آهک چرتی		
-	دولومیت		
-	دولومیت رسی	517X	تغییر در تجهیزات ته چاهی و شکستگی دندانها
-۴۰۰۰	دولومیت		
-	دولومیت رسی		
-	انیدریت		
-۴۰۵۰	دولومیت		
-	انیدریت		

عمق (متر)	لینولوژی	کد مته	دلایل بیرون کشیدن مته
-	دولومیت رسی	۱۳۵	تمیزسازی چاه
-	دولومیت	۵۲۷	آسیب دندانها
-۲۸۵۰	دولومیت		
-	دولومیت		
-	انیدریتی	۵۳۷	نرخ نفوذ پایین
-	انیدریت		
-۲۹۰۰	دولومیت رسی		
-	آهک رسی		
-			
-			
-			
-			
-۲۹۵۰			
-			
-			
-			
-			
-۳۰۰۰			
-			
-			
-۳۰۳۰			

عمق (متر)	لیتولوژی	کد مته	دلایل بیرون کشیدن مته
-	آهک چرتی	۵۲۷	آسیب دندانها
-۴۱۵۰	دولومیت	517X	آسیب دندانها
-	دولومیت انیدریتی		
-	انیدریت	۲۱۵	حفاری پلاگ سیمانی
-		۵۲۷	آسیب دندانها
-۴۲۰۰		۲۱۵	شستشو چاه
-	مارن	517X	فشار پمپ و آسیب دندانها
-	دولومیت		
-	آهک چرتی		
-۴۲۵۰	مارن	۵۲۷	مشکلات چاه و شکستگی دندانها
-	دولومیت آلئیتی		
-	دولومیت		
-۴۳۰۰	آهک رسی	۵۳۷	گذاشتن لوله جداری
-	دولومیت		
-۴۳۵۰	انیدریت		
-	دولومیت		
-	آهک انیدریتی		
-	انیدریت		
-۴۴۰۰	آهک انیدریتی		

شکل ۳-۱ لیتولوژی و نوع مته استفاده شده در چاه شماره ۱ (سمت راست) و در چاه شماره ۲ (سمت چپ)

۳-۳ چاه‌های مورد مطالعه

چاه‌های حفاری شده در سازند دشتک که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است، شامل موارد زیر است. مت‌های مورد استفاده در دو چاه براساس نمودارهای لیتولوژی و داده‌های حفاری (مشابه جدول (۳-۱)) مورد بررسی قرار می‌گیرد سپس با مدل زنجیره مارکوف مقایسه می‌شود که در فصل چهارم بحث خواهد شد.

جدول ۳-۱ اطلاعات برخی از مته‌های استفاده شده در چاه شماره ۲

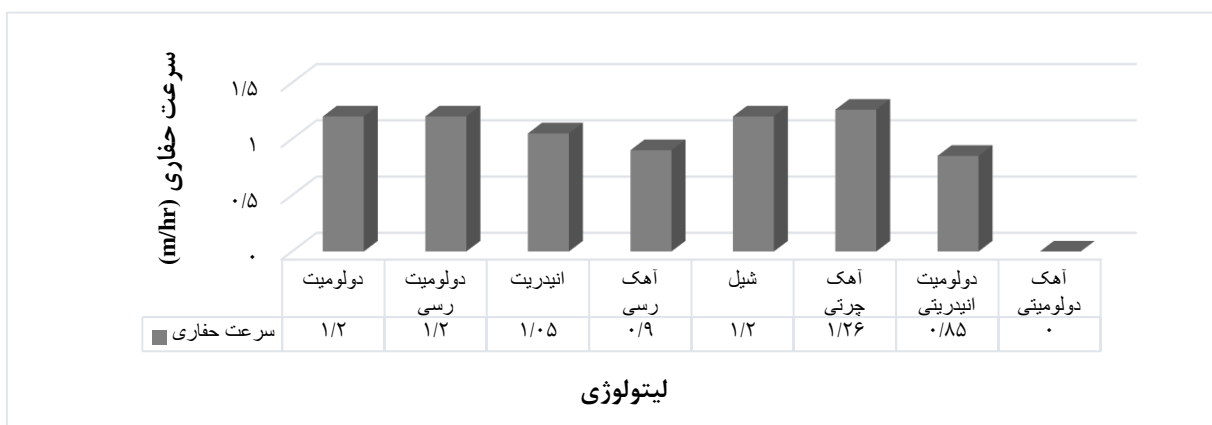
درجه‌بندی آسیب مته									
دلیل خارج شدن		BHA	Left in Hole (fish)						
دیگر موارد		NO							
گیج		I							
بلبرینگ		E							
مکان		A							
نوع آسیب		WT							
ردیف خارجی		۱							
ردیف داخلی		۱							
کلاس مته		out							
پارامتر حفاری	سرعت دوران	۲۵	۱۲۵	۵۰	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۰	۱۱۰	۲۰-۹۰
	وزن روی مته (kBr)	۰	۱۵-۲۵	۵-۱۷	۱۵-۲۵	۲۵	۲۰-۲۵	۲۵	۵-۱۵
عملکرد مته	سرعت حفاری	-	۱/۳۹	-	۱/۲۲	۰/۳۲	۰/۵۱	۱/۳۳	۰/۸۸
	متر از حفاری (m)	۴	۱۰۴	۲۲/۵	۸۷	۱۵	۲۷	۱۳۱	۲۲
اطلاعات مته	کد مته	۱۳۵	M 223	۲۱۴	۵۲۷	۲۱۵	517X	۵۳۷	۲۱۶
	سایز مته (in)	۱۲	۸ ۱/۲	۸ ۱/۲	۸ ۱/۲	۸ ۱/۲	۸ ۱/۲	۸ ۱/۲	۵ ۸/۷

۳-۳-۱ چاه شماره ۱

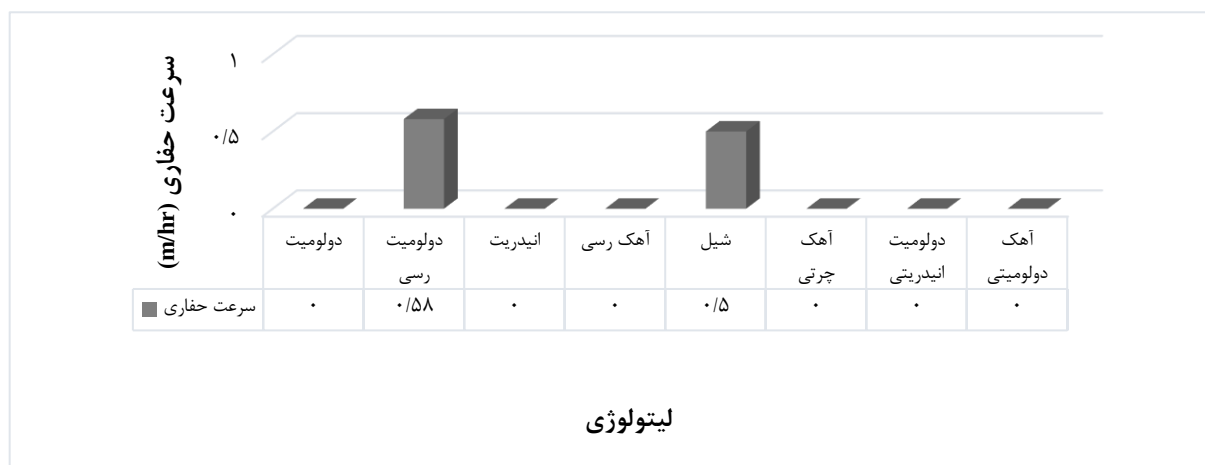
در چاه شماره ۱ ضخامت سازند، ۹۶۳ متر می‌باشد. همانطور که در جدول (۲-۳) آمده است، در این چاه از ۶ نوع مته استفاده شده است که سهم حفر هر لیتولوژی با این مته‌ها در این جدول مشاهده می‌شود. سرعت حفاری مته‌ها به تفکیک نوع مته و لیتولوژی حفر شده در شکل‌های (۲-۳) تا (۷-۳) محاسبه شده است.



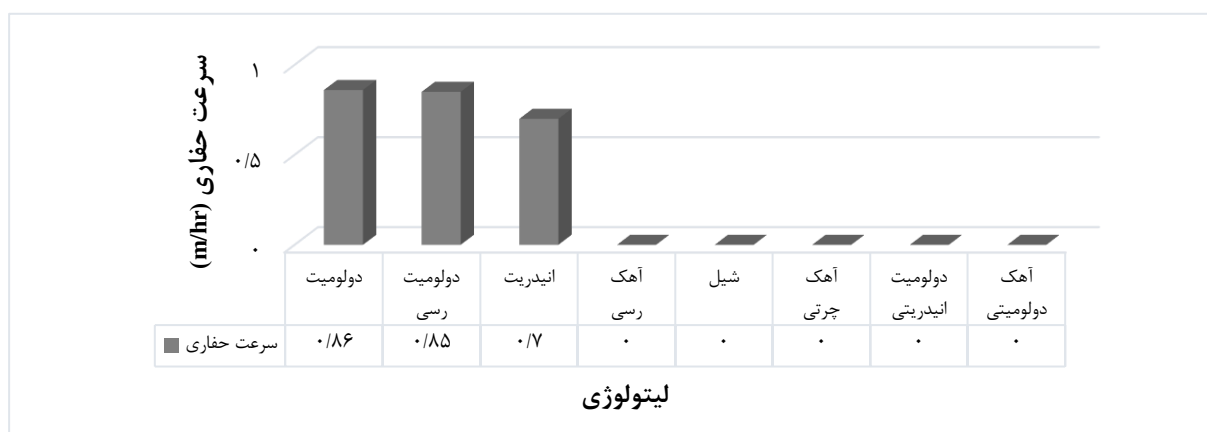
شکل ۲-۳ سرعت حفاری مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره ۱



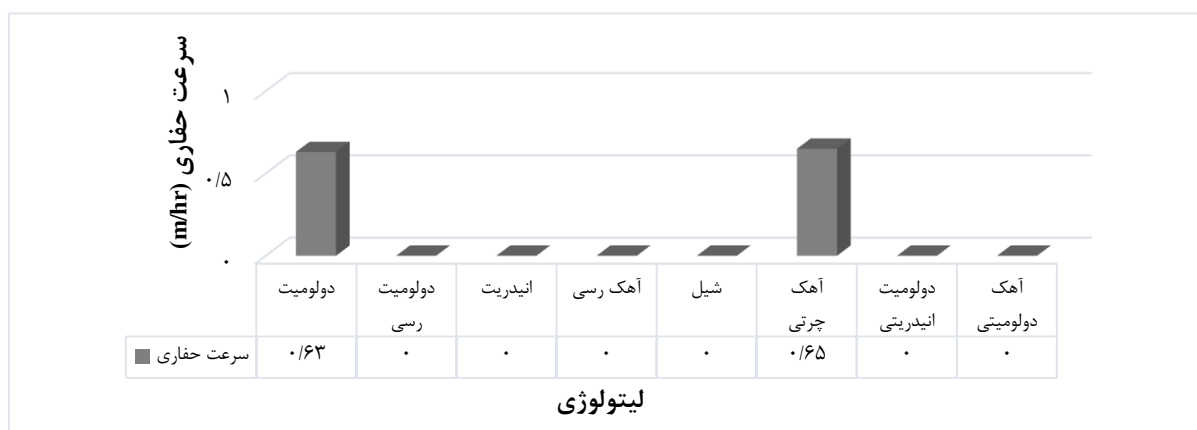
شکل ۳-۳ سرعت حفاری مته با کد ۵۲۷ در چاه شماره ۱



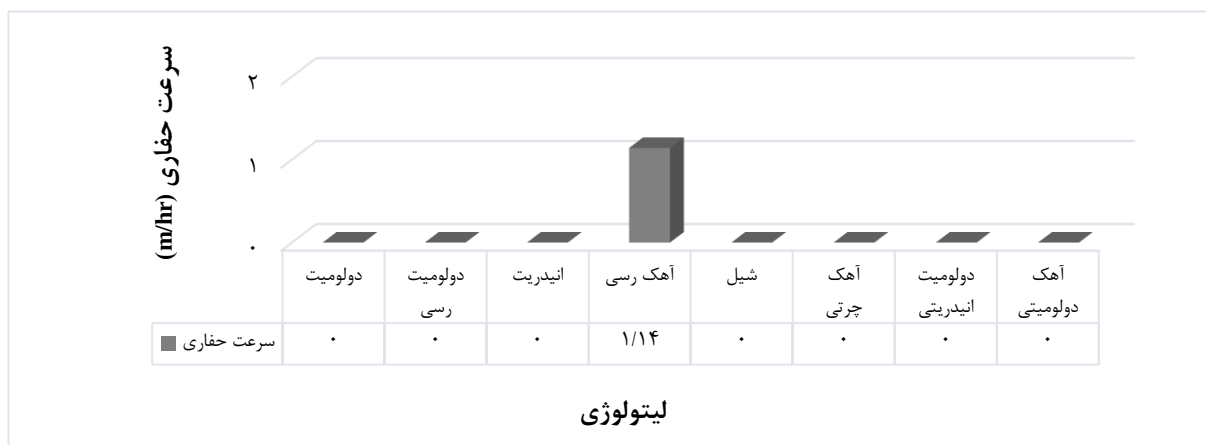
شکل ۳-۴ سرعت حفاری مته با کد ۲۱۵ در چاه شماره ۱



شکل ۳-۵ سرعت حفاری مته با کد ۲۱۴ در چاه شماره ۱



شکل ۳-۶ سرعت حفاری مته با کد 517X در چاه شماره ۱



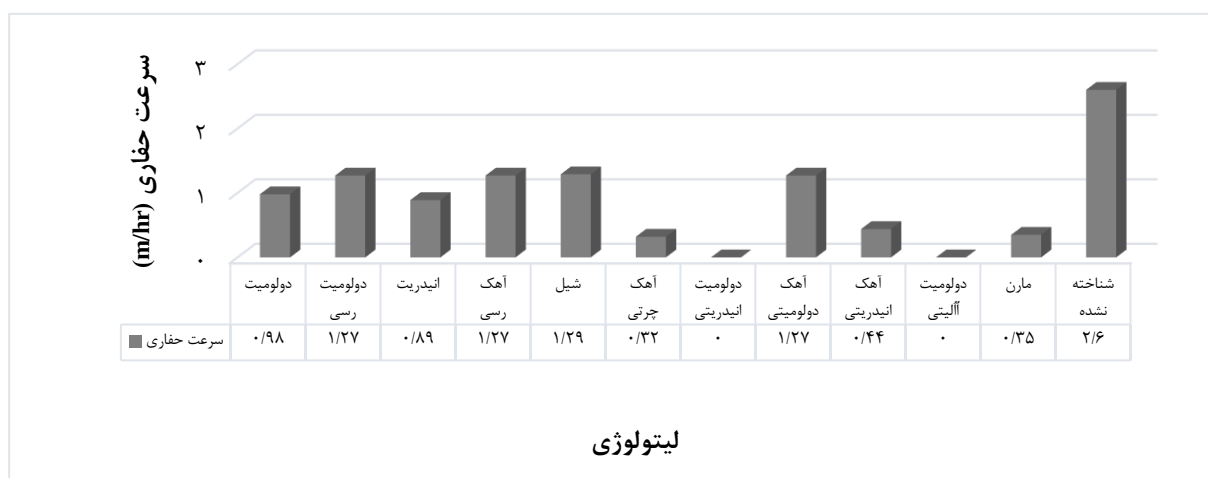
شکل ۳-۷ سرعت حفاری مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۱

جدول ۳-۲ درصد لیتولوژی‌های حفاری شده توسط کد مته‌ها در چاه شماره ۱

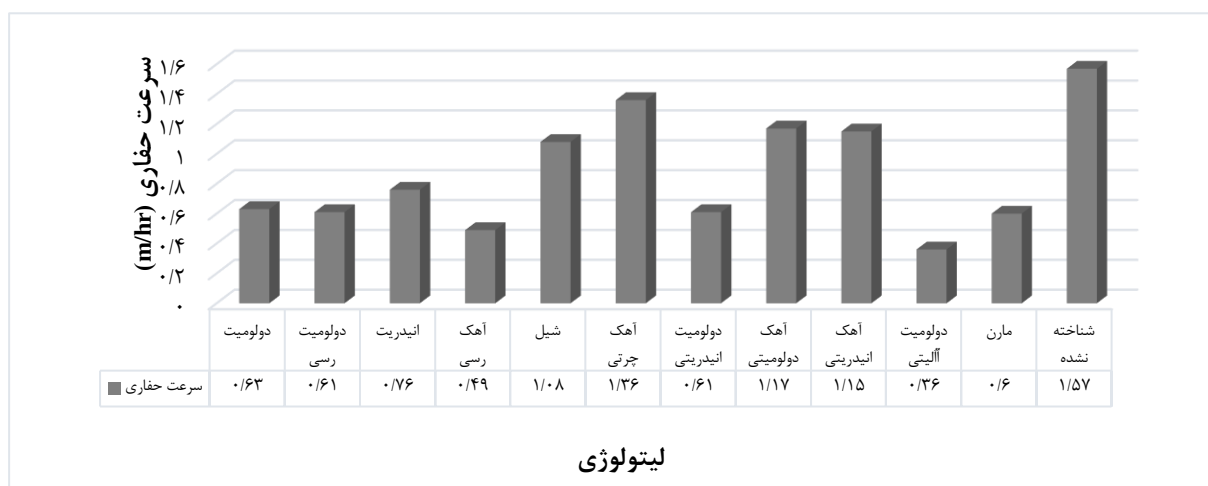
لیتولوژی	نوع مته	دولومیت	دولومیت رسی	انیدریت	آهک رسی	شیل	آهک چرتی	دولومیت انیدریتی	آهک دولومیتی	آهک انیدریتی	دولومیت آلیتی	مارن	ناشناخته
۵۳۷	۴۵/۷۱	۱۹/۴۲	۲۳/۱۴	۲/۶۰	۱/۱۴	۲/۵۷	۰	۵/۴۲	۰	۰	۰	۰	۰
۵۲۷	۲۰/۰۸	۲۰/۰۸	۲۰/۱۰	۱۰/۰۴	۲۰/۰۸	۱/۶۵	۰	۷/۹۷	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱۴	۲۵/۸۶	۲۸/۰۶	۴۶/۰۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱۵	۰	۶۲/۸۲	۰	۰	۳۷/۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۵	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
517X	۴۸/۹۳	۰	۰	۰	۰	۵۱/۰۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

۲-۳-۲ چاه شماره ۲

ضخامت سازند دشتک در این چاه ۱۴۱۰ متر است. در چاه شماره ۲، براساس آنچه در جدول (۳-۳) آمده، از ۷ نوع مته استفاده شده است که مشابه چاه شماره ۱، سرعت حفاری آن‌ها در هر لیتولوژی محاسبه گردید و در شکل‌های (۳-۸) تا (۳-۱۴) نشان داده شده است.



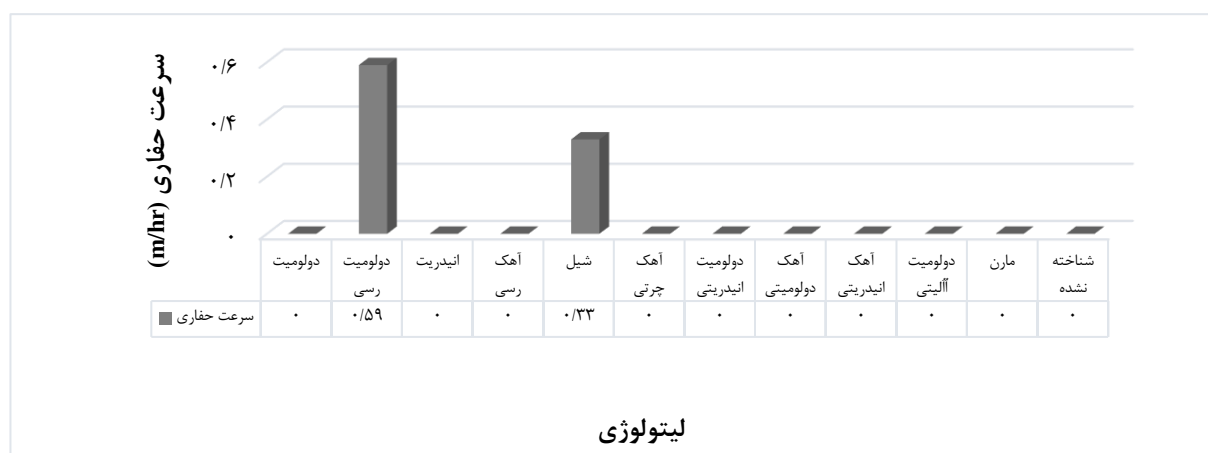
شکل ۳-۸ سرعت حفاری مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره ۲



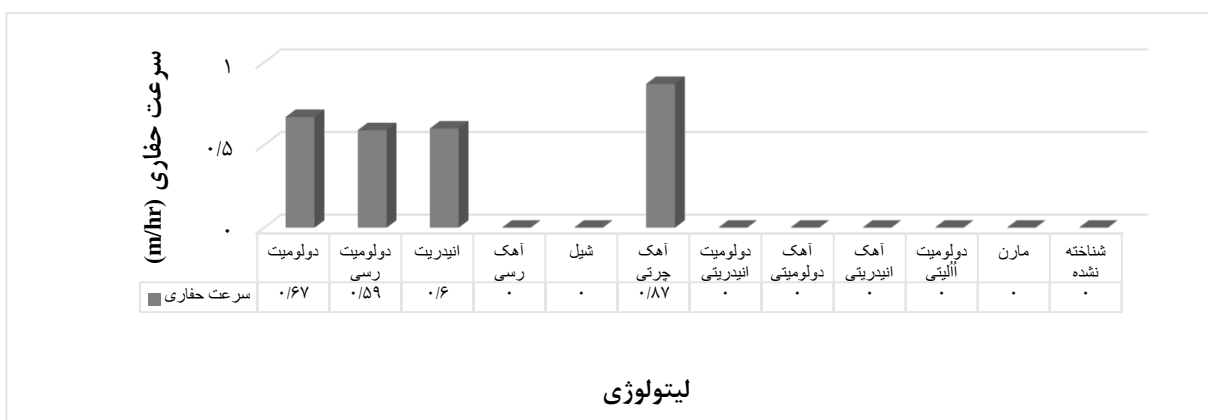
شکل ۳-۹ سرعت حفاری مته با کد ۵۲۷ در چاه شماره ۲



شکل ۳-۱۰ سرعت حفاری متنه با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۲



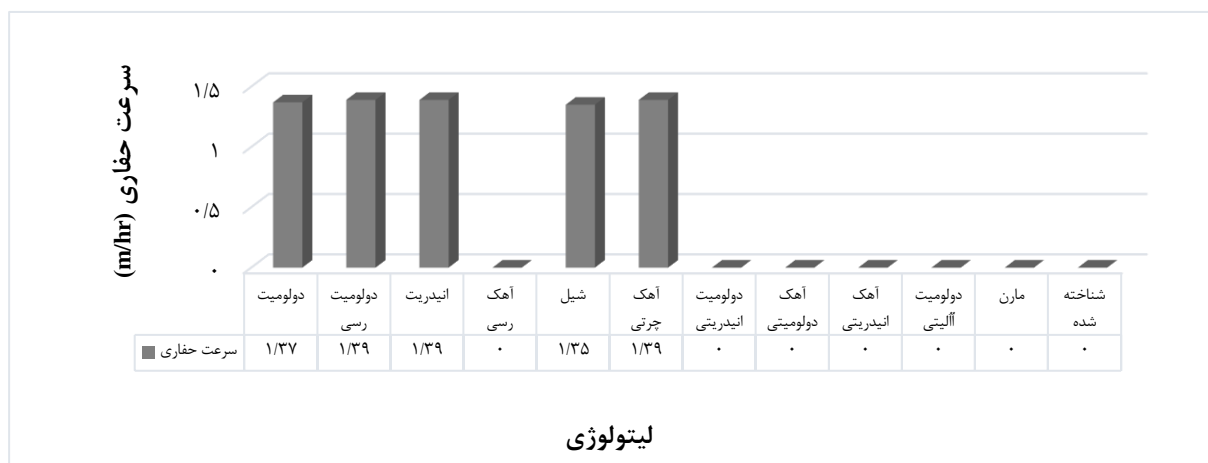
شکل ۳-۱۱ سرعت حفاری متنه با کد ۲۱۵ در چاه شماره ۲



شکل ۳-۱۲ سرعت حفاری متنه با کد ۲۱۴ در چاه شماره ۲



شکل ۳-۱۳ سرعت حفاری مته با کد 517X در چاه شماره ۲



شکل ۳-۱۴ سرعت حفاری مته با کد M223 در چاه شماره ۲

جدول ۳-۳ درصد لیتولوژی های حفاری شده توسط مته ها در چاه شماره ۲

لیتولوژی نوع مته	دولومیت	دولومیت رسی	انیدریت	آهک رسی	شیل	آهک چرنی	دولومیت انیدریتی	آهک دولومیتی	آهک انیدریتی	دولومیت آلتی	مارن	ناشناخته
۵۳۷	۲۲/۶۵	۸/۷	۱۱/۶۳	۸/۲۵	۲/۹	۰/۸۹	۰	۶/۹۱	۶/۲۵	۰	۲/۴۵	۲۹/۴۶
۵۲۷	۱۶/۱۳	۱۹/۳	۸/۱۴	۰/۶	۰/۶	۱/۲۶	۰/۶	۴/۳۷	۲/۱۱	۰/۶	۲/۷۱	۴۳/۵۸
۲۱۴	۱۱/۸۶	۱۵/۲۵	۴۴/۰۸	۰	۰	۲۸/۸۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱۵	۰	۶۰/۲۵	۰	۰	۳۹/۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
517X	۵۱/۴۲	۰	۰	۰	۰	۴۸/۵۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
M223	۳۳	۱۶	۱۶	۰	۲۹	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰

با توجه به جداول و شکل های فوق نتایج زیر حاصل می شود که عبارت اند از:

- اکثر مته های استفاده شده از نوع مخروطی می باشند و برای سازندهای نرم تا متوسط قابل استفاده هستند. تنها یک نوع متهی PDC به جهت تنگی چاه مورد استفاده قرار گرفته است که در نهایت به عنوان مانده، در چاه باقی گذاشته شد.
- همانطور که در جدول (۳-۴) آمده است، لیتولوژی غالب (دولومیت، دولومیت رسی، انیدریت و آهک رسی) در چاه شماره ۲ و چاه شماره ۱ به ترتیب $۸۲/۷۴\%$ و $۷۸/۶۰\%$ از سازند دشتک را در بردارند (لیتولوژی های ناشناخته با توجه به جداول داده های دریافتی، تقریباً مشابه با لیتولوژی های ذکر شده می باشند). برخی از مته های استفاده شده در چاه شماره ۲ جهت رفع مشکلات حفاری استفاده شده است که به برخی از آنها اشاره می شود.

- مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۲، جهت تمیزسازی حفره چاه با سایز ۱۲ اینچ رانده شد. لیتولوژی حفاری شده در این عمق آهک رسی می باشد که با مترآژ ۴ متر توسط این مته به مدت ۹۰ دقیقه، حفر شده است.
- مته با کد ۲۱۴ جهت حفاری پلاگ سیمانی بالای مانده (۲۲/۵ متر در ۲۶ ساعت) رانده شد. پس از آن با استفاده از مته‌ی جدید (مته با کد ۵۲۷) و موتور درون چاهی (۶ ۳/۴ اینچ) با زاویه ۲/۴۲ درجه^۱، حفاری حفره کنارگذر صورت پذیرفت (انحراف چاه از حالت عمودی به مدت ۱۱ ساعت صورت گرفت و عمق شروع انحراف از حالت عمودی^۲، در ۳۵۱۹ متری می باشد). ضمناً در برخی فواصل از این مته جهت حفاری کور^۳ با استفاده از گل پایه آبی برای عملیات مانده‌یابی و نمودارگیری نیز به کار برده شده است. لیتولوژی نواحی حفر شده شامل دولومیت، دولومیت رسی، انیدریت، آهک رسی، انیدریت دولومیتی، آهک دولومیتی و غیره است.

جدول ۳-۴ درصد لیتولوژی حفاری شده در چاه‌ها

نوع لیتولوژی	درصد لیتولوژی حفاری شده در چاه شماره ۱	درصد لیتولوژی حفاری شده در چاه شماره ۲
دولومیت	۲۷	۲۳/۹۶
دولومیت رسی	۲۵	۱۳
انیدریت	۱۸	۱۱/۲۹
آهک رسی	۸/۶	۳/۷۶
شیل	۱/۲	۳/۳۵
آهک چرتی	۱/۹	۲/۸۷
دولومیت انیدریتی	۲/۱۷	۰/۲۷
آهک دولومیتی	۲/۱۷	۱/۱۶
آهک انیدریتی	۰	۴/۱
دولومیت آلئیتی	۰	۲/۸۷
مارن	۰	۲/۳۲
ناشناخته	۰	۳۰/۷۳

^۱ Adjuc Table Kick Off (AKO)

^۲ Kick Off Point (KOP)

^۳ Blind Drilling

با استفاده از اطلاعات چاه ذکر شده در این فصل، الگوریتم زنجیره مارکوف توسط نرم‌افزار اجرا می‌شود و نتایج آن به عنوان فصل چهارم ارائه می‌گردد. در این پژوهش در چاه شماره ۲ مشکل انتخاب مته‌ی حفاری وجود دارد. به همین دلیل با استفاده از داده‌های چاه شماره ۱ و گزارشات شرکت، لیتولوژی در این سازند توسط زنجیره‌ی مارکوف مدل می‌شود سپس انتخاب مته در دو چاه جهت مقایسه گزارش می‌شود.

فصل ۴: روش انجام کار

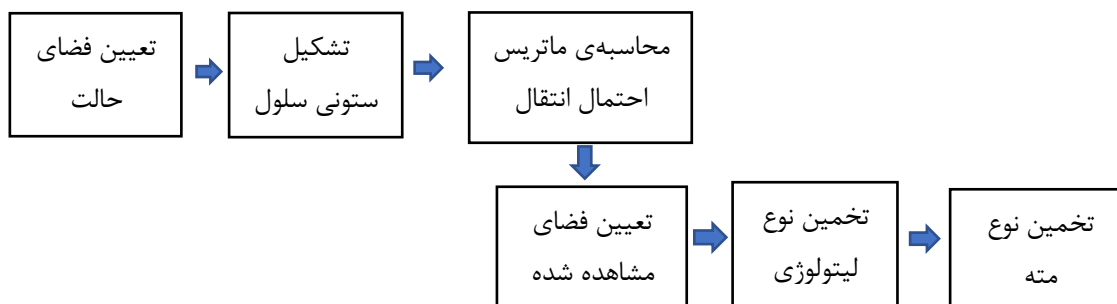
۴-۱ مقدمه

با استفاده از داده‌ها در فصل سوم، لیتولوژی سازند دشتک در دو چاه، در غالب اکسل وارد نرم‌افزار MATLAB شد. جهت لحاظ کردن نوع لیتولوژی در محاسبات به هر کدام از آن‌ها یک عدد نسبت داده شده است. نوع مته‌ی استفاده شده در دو چاه هم با استفاده از جدول (۳-۱) و اطلاعات داده شده از شرکت‌های تابعه وزارت نفت جمع‌آوری و ثبت شده است. الگوریتم مدل‌سازی زنجیره‌ی مارکوف و محاسبات ذکر شده در فصل دوم توسط نرم‌افزار انجام شده و نتایج به صورت آنچه آورده می‌شود، حاصل گردید.

۴-۲ الگوریتم مدل‌سازی زنجیره‌ی مارکوف

وجود ویژگی زنجیره مارکوف در یک سری توالی رخساره‌های زمین‌شناسی وابستگی میان واحدهای لیتولوژی می‌باشد. قانون والتز^۱ بیان می‌کند بین واحدهای سنگ‌شناسی که در آن‌ها رخساره‌های سنگی گوناگونی گسترش یافته‌اند، یک همبستگی طبیعی وجود دارد این بدین معناست که تشکیل این واحدها به صورت تصادفی نبوده‌اند و بین آن‌ها وابستگی معناداری وجود دارد (Elfeki and Dekking, 2001). هم‌چنین در زمینه ارتباط مدل‌های احتمالاتی با ناهمگنی‌های زیرسطحی مطالعاتی انجام شده است که نشان می‌دهد زنجیره‌ی مارکوف نقش بسزایی در مدل‌سازی توالی رخساره‌ی رسوبی ایفا می‌کند (Krumbein and Dasey, 1969). از آن جایی که سازند دشتک دارای توالی بسیاری از انواع سنگ‌ها می‌باشد وجود این زنجیره در آن جهت پیش‌بینی صحیح مته با توجه به این ارتباط، دیده می‌شود. الگوریتم مدل‌سازی رخساره‌های سازند دشتک با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف در شکل (۴-۱) آمده است. با توجه به این شکل شش گام جهت طی کردن این الگوریتم تعریف می‌شود که به شرح زیر می‌باشد:

¹ Walther's law



شکل ۴-۱ شماتیکی از مراحل مدل زنجیره‌ی مارکوف

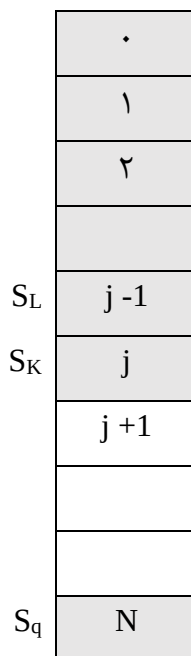
قدم اول: در این گام فضای حالت براساس متغیر مورد بررسی تعیین می‌شود. در این پژوهش متغیر مورد مطالعه، رخساره‌های سنگی سازند دشتک می‌باشد. بنابراین فضای حالت با توجه به جدول (۴-۱)، برابر با تعداد واحدهای لیتولوژی در این سازند است.

جدول ۴-۱ تعداد حالت‌ها و رخساره‌های سنگی در چاه شماره ۱ (راست) و چاه شماره ۲ (چپ)

حالت	رخساره‌های سنگی
حالت اول	دولومیت
حالت دوم	دولومیت رسی
حالت سوم	انیدریت
حالت چهارم	آهک رسی
حالت پنجم	شیل
حالت ششم	آهک چرتی
حالت هفتم	دولومیت انیدریتی
حالت هشتم	آهک انیدریتی
حالت نهم	آهک دولومیتی
حالت دهم	دولومیت آلیتی
حالت یازدهم	مارن
حالت دوازدهم	ناشناخته

حالت	رخساره‌های سنگی
حالت اول	دولومیت
حالت دوم	دولومیت رسی
حالت سوم	انیدریت
حالت چهارم	آهک رسی
حالت پنجم	شیل
حالت ششم	آهک چرتی
حالت هفتم	دولومیت انیدریتی
حالت هشتم	آهک دولومیتی

قدم دوم: هدف از این مرحله تشکیل سلول‌های قائم برای دو چاه است. داده‌های مورد بررسی در این پژوهش داده‌های چاه نگاری می‌باشند. همانطور که اشاره شد، در مقطع قائم دو چاه با ضخامت متفاوت وجود دارد. با توجه به قدرت تفکیک داده‌ی چاه‌ها (به ازای هر یک متر، نوع لیتولوژی مشخص شده است)، به ترتیب در راستای قائم در چاه شماره ۱، به ۹۶۳ و در چاه شماره ۲، به ۱۴۱۰ سلول یک متری تقسیم می‌شوند (سلول‌ها با توجه به ضخامت دو چاه تقسیم‌بندی شده‌اند). در شکل (۴-۲) یک نمونه از این سلول‌ها در راستای قائم نشان داده شده است. که در آن S_L ، S_K و S_q حالت‌های سیستم هستند.



شکل ۴-۲ توالی از رخدادهای برای یک چاه. سلول‌های خاکستری دارای مقدار و سلول‌های سفید مورد تخمین با روش زنجیره‌ی مارکوف هستند.

قدم سوم: در این گام هدف بدست آوردن ماتریس احتمال انتقال می‌باشد. در این مرحله انتقال حالت‌ها از i به j شمارش می‌شود (i و j در اینجا نوع رخساره‌های زمین‌اند و امکان دارد i با j برابر باشد) سپس بر کل شمارش‌های هر سطر تقسیم می‌شود. ماتریس احتمال انتقال (P_{ij}) که نشانگر احتمال گذر از حالت i به حالت j است توسط رابطه‌ی (۴-۱) نشان داده شده است (نیکوگفتار و همکاران، ۱۳۹۱).

$$P_{ij} = E_{ij} / T_i \quad (1-4)$$

که در رابطه‌ی فوق E_{ij} انتقال‌های صورت گرفته از حالت i به حالت j ، T_i مجموع سطر i ام و P_{ij} احتمال انتقال از رخساره‌ی سنگی i به رخساره‌ی سنگی j است. در جدول‌های (۲-۴) و (۴-۴) ماتریس تعداد انتقال و در جدول‌های (۳-۴) و (۵-۴) ماتریس احتمال انتقال برای دو چاه آمده است.

جدول ۲-۴ ماتریس تعداد انتقال در چاه شماره ۱

حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	۲۳۰	۲	۳	۰	۱	۴	۱	۰
۲	۱	۲۰۵	۱	۰	۳	۰	۰	۰
۳	۶	۲	۱۵۹	۱	۰	۲	۰	۱
۴	۰	۱	۱	۱۰۵	۰	۱	۰	۰
۵	۱	۲	۱	۰	۱۱۹	۰	۰	۰
۶	۲	۰	۲	۲	۰	۵۳	۰	۰
۷	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱۴	۰
۸	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱۹

جدول ۳-۴ ماتریس احتمال انتقال چاه شماره ۱

حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	۰/۹۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰
۲	۰/۰۰۵	۰/۹۸	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۱۰	۰	۰	۰
۳	۰/۰۳۵	۰/۰۱۱۵	۰/۹۳	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۱۱۵	۰	۰/۰۰۶
۴	۰	۰/۰۰۹۲۶	۰/۰۰۹۲۶	۰/۹۷۲۲۲	۰	۰/۰۰۹۲۶	۰	۰
۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۹۶	۰	۰	۰
۶	۰/۰۳۸	۰	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰	۰/۸۸۶	۰	۰
۷	۰	۰	۰/۰۷	۰	۰	۰	۰/۹۳	۰
۸	۰	۰	۰/۰۵	۰	۰	۰	۰	۰/۹۵

جدول ۴-۴ ماتریس تعداد انتقال در چاه شماره ۲

حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	۳۴۰	۷	۱۴	۲	۱	۳	۱	۲	۱	۰	۲	۱
۲	۵	۱۱۴	۱	۲	۲	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۱۷	۱	۱۳۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۳	۱	۰	۶۳	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰
۵	۲	۱	۰	۰	۳۹	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲
۶	۳	۰	۳	۰	۰	۴۶	۱	۱	۰	۰	۱	۰
۷	۰	۰	۲	۰	۰	۱	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۳۲	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۱	۰	۲	۱	۱	۰	۰	۵۹	۰	۰	۲
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۴	۰	۰
۱۱	۲	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۳۵	۰
۱۲	۲	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۲	۰	۰	۴۳۲

جدول ۴-۵ ماتریس احتمال انتقال چاه شماره ۲

حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	۰/۹	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
۲	۰/۰۴	۰/۹۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰/۱۱۳۶	۰/۰۰۶۷	۰/۸۷۳	۰	۰/۰۰۰۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰/۰۴۴	۰/۰۱۴	۰	۰/۹۰	۰	۰/۰۱۴	۰	۰	۰/۰۱۴	۰	۰/۰۱۴	۰
۵	۰/۰۴۵	۰/۰۲۲	۰	۰	۰/۸۶۶	۰/۰۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴۵
۶	۰/۰۵۴۵	۰	۰/۰۵۴۵	۰	۰	۰/۸۳۶۴	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۸۲	۰	۰	۰/۰۱۸۲	۰
۷	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۰۵	۰/۸۵	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰/۰۲۸۶	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲۸۶	۰/۰۲۸۶	۰/۹۱۴۲	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۰/۰۱۵	۰	۰/۳۰	۰/۰۱۵	۰	۰	۰	۰/۹۱	۰	۰	۰/۰۳۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰/۸	۰	۰
۱۱	۰/۰۵	۰	۰	۰/۰۲۵	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۸۷۵	۰
۱۲	۰/۰۰۴۵	۰	۰	۰	۰/۰۰۲	۰	۰	۰	۰/۰۰۴۵	۰	۰	۰/۹۸۹

قدم چهارم: فضای داده‌های مشاهده شده در این مرحله مشخص می‌شود. فضای مورد مطالعه دو چاه با ضخامت ۹۶۳ متر (۹۶۳ متر به طول یک متر) و ۱۴۱۰ متر (۱۴۱۰ متر به طول یک متر) می‌باشد. به منظور تخمین حالت هر سلول، از ماتریس احتمال انتقال دو چاه به صورت عمودی استفاده می‌شود.

قدم پنجم: در این گام با استفاده از ماتریس احتمال انتقال و فضای مشاهده شده، حالت هر یک از سلول‌ها تخمین زده می‌شود. همانطور که در رابطه‌ی (۲-۲) آورده شد، احتمال انتقال در یک بعد در راستای قائم به صورت زیر بدست می‌آید:

$$P(Z_j = S_K | Z_{j-1} = S_l, Z_N = S_q) = \frac{P_{lk}^{(N-j)} P_{lq}}{P_{lq}^{(N-j+1)}} \quad (2-4)$$

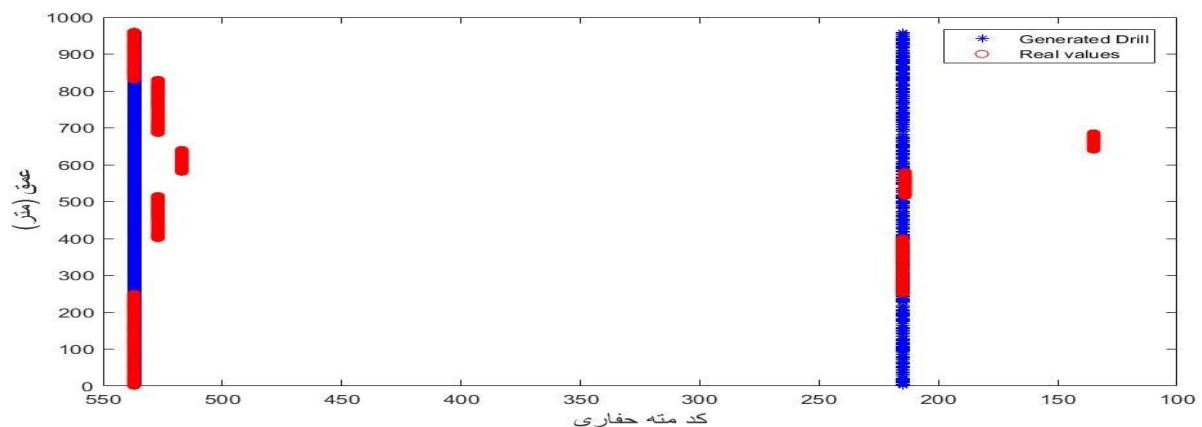
با توجه به آنچه که در شکل (۲-۴) آمد و رابطه‌ی فوق هر سلول ناشناخته‌ی Z_j ، با استفاده از حالت‌های معلوم سلول‌های $(j-1)$ ، (N) و اعمال توزیع شرطی $P(Z_j = S_K | Z_{j-1} = S_l, Z_N = S_q)$ می‌تواند مورد تخمین قرار گیرد. سلول $(j-1)$ در همسایگی قبلی Z_j ، دارای حالت S_l و سلول (N) در مرز سازند با سازند بعدی با حالت S_q می‌باشد. با داشتن این دو پارامتر حالت S_K در سلول (j) تخمین زده می‌شود؛ که در رابطه‌ی (۲-۴) عبارت $P_{lk}^{(N-j)} P_{lq}$ احتمال انتقال از حالت k به حالت q است که به توان اختلاف فاصله سلول مورد تخمین با مرز سازند بعدی $(N-j)$ رسیده است.

قدم ششم: در مرحله آخر با استفاده از رخساره‌های سنگی پیش‌بینی شده توسط زنجیره‌ی مارکوف، برنامه با پایشی که انجام می‌دهد، بررسی می‌کند که حالتی که در آینده رخ می‌دهد با کدام مته‌ی موجود مناسب است که حفاری شود. این مسیر بدین صورت است که زنجیره‌ی مارکوف، لیتولوژی یک قدم آینده را با توجه به ماتریس احتمالات که در گام سوم آمد، پیش‌بینی می‌کند. سپس با استفاده از داده‌های ورودی دیگر (کد مته‌های استفاده شده در هر چاه)، نوع مته مناسب را پیشنهاد می‌کند.

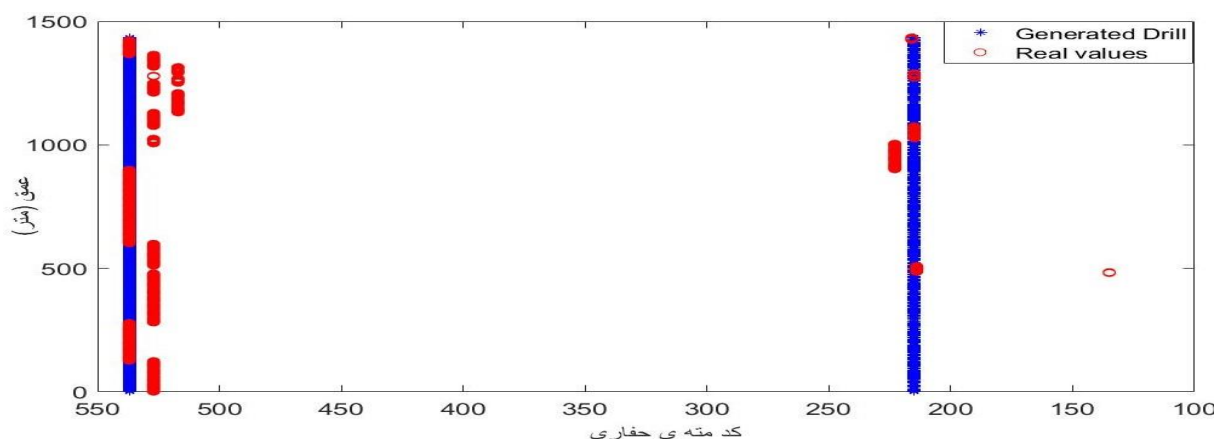
رخساره‌های سنگی سازند دشتک با استفاده از این شش گام ، توسط نرم‌افزار MATLAB مدل سازی می‌شوند. با توجه به ماتریس احتمال انتقال هر چاه، احتمال انتقال هر رخساره سنگی به خودش (قطر اصلی) نسبت به دیگر انتقالات بالاتر است. این بدان معناست که به ازای هر یک متر، نوع لیتولوژی کمتر تغییر کرده است. پس به نظر می‌رسد تغییر در استفاده از نوع مته کمتر صورت پذیرفته است.

۳-۴ تحلیل نمودارهای پیش‌بینی توسط زنجیره مارکوف

نتایج حاصل از خروجی نرم‌افزار MATLAB به صورت شکل‌های (۳-۴) و (۴-۴) برای دو چاه آمده است.



شکل ۳-۴ پیش‌بینی انتخاب مته توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۱



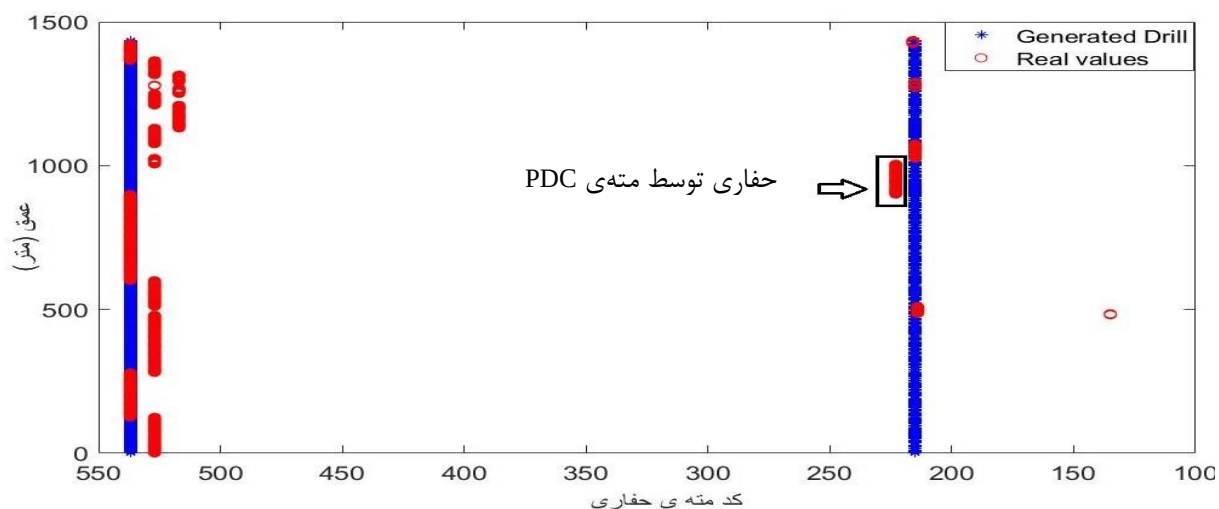
شکل ۴-۴ پیش‌بینی انتخاب مته توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۲

تفسیر شکل‌های فوق، با استفاده از آنچه که در این فصل به آن اشاره شد، جداول داده‌ها (همانند آنچه که در جدول (۳-۱) آمد) و گزارشات شرکت تابعه‌ی وزارت نفت به شرح زیر است:

در فواصلی از چاه، لیتولوژی سازند سخت، کم تخلخل و چرتی می‌باشد که می‌بایست جهت حفاری در این نوع ساختار از دوران مته‌ی کمتر و وزن روی مته‌ی بیشتر استفاده کرد تا فرسایش مته کمتر و سرعت آن بیشتر شود. در این موارد باید از مته‌هایی استفاده شود که سازند را به روش خرد کردن و آسیاب کردن حفاری می‌کنند. در نتیجه استفاده از مته‌های PDC در این موارد باعث فرسایش شدید مته و سرعت حفاری بالا می‌شود که این خود باعث می‌شود مته درجا بزند و از دست برود. مته‌هایی که در این گونه لیتولوژی‌ها می‌توان استفاده کرد شامل: مته‌های مخروطی، مته‌های الماس طبیعی، هیبریدی و تقویت شده می‌باشد.

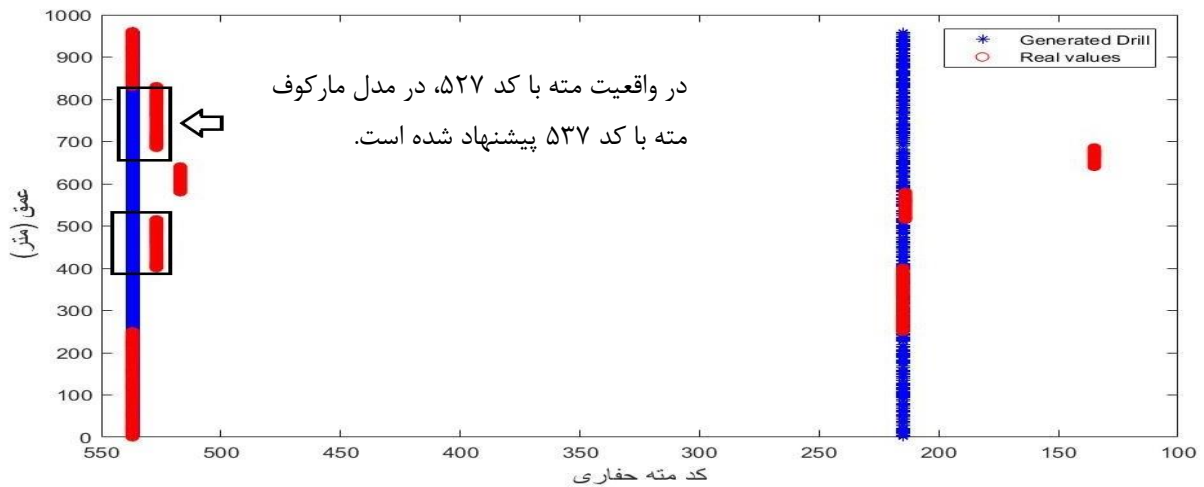
- در چاه شماره ۲ مته‌ی PDC، ۱۰۴ متر از سازند را به مدت ۷۵ ساعت حفاری کرده است. به دلیل استفاده از مته PDC بعد از مته مخروطی سه کاجی و عدم دقت به تغییرات قطر مته با کد ۵۳۷ قبل از راندن مته‌ی PDC و افزایش نوسانات پیچشی و هرزروی گل در حین حفاری توسط مته‌ی PDC، سائز حفره چاه کاهش یافته و رشته حفاری گیر کرده است. در این مواقع از ضربه به جار به سمت بالا و گشتاور نباید استفاده شود چرا که باعث گیر بیشتر لوله‌ها می‌شود. بعد از عملیات غیر موفق آزاد سازی لوله‌ها، از یک شاخه بالاتر از پایدارکننده‌ها، لوله باز شده و مانده‌ای به طول ۳۰/۶۲ متر در چاه باقی گذاشته می‌شود. از آن جایی که عملیات مانده‌یابی موفقیت آمیز نبود، در نهایت مته‌ی PDC در چاه ماند. با توجه به موارد گفته شده این مته جهت حفاری در این عمق از این چاه مناسب نبوده است. همانطور که در شکل (۴-۵) آمده است، عدم تطبیق حالت واقعی با مدل زنجیره‌ی مارکوف به درستی مشخص شده است و این بدین معناست که استفاده از این مته در این عمق از چاه توسط زنجیره مارکوف پیشنهاد نمی‌شود این در حالی است که مته با کد ۵۳۷، در این اعماق با استفاده از زنجیره مارکوف توصیه می‌شود. ضمناً در صورت وجود

مته‌های دیگر، مته‌ی کیمرا هیبرید و مته‌ی تقویت شده به دلیل استفاده در چاه‌های کم قطر و مزایایی که در فصل دوم به آن اشاره شد مفید واقع می‌شوند.

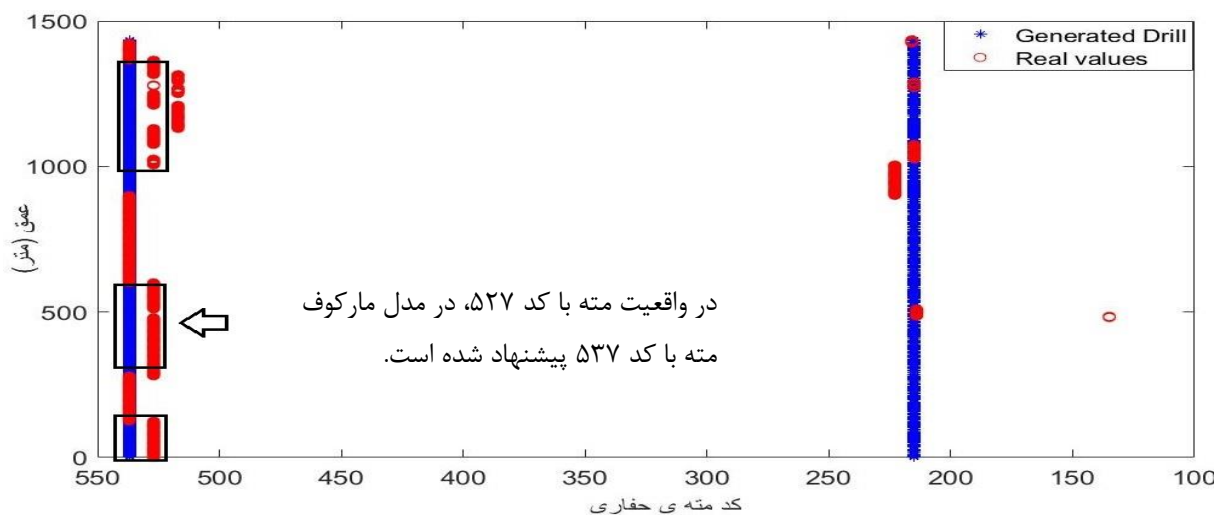


شکل ۴-۵ عدم تطبیق مته‌ی PDC در واقعیت با مدل مارکوف در چاه شماره ۲

- مته با کد ۵۲۷ در اکثر مواقع به دلیل گشتاور زیاد، تغییرات در تجهیزات ته چاهی و شکستن و آسیب دیدگی دندانها از چاه خارج شده است. بعد آن از مته با کد ۵۳۷ به دلیل سختی بیشتر کاترها جهت حفاری سازند رانده شده است. در عمق ۳۵۲۷ متری بعد از راندن مته PDC و ماندن آن در چاه عملیات سیمن کاری در چاه صورت می‌گیرد که با استفاده از مته با کد ۵۲۷ انحراف از حالت عمودی و برگشت آن با موفقیت صورت می‌پذیرد. لیتولوژی‌های حفاری شده غالباً دولومیت، انیدریت و سنگ آهک است که از سختی متوسط و تقریباً مشابه‌ای برخوردار هستند. با توجه به شکل‌های (۴-۶) و (۴-۷) زنجیره مارکوف با توجه به شرایط و مته‌های موجود مته با کد ۵۳۷ را پیشنهاد می‌کند چون نسبت به مته با کد ۵۲۷ کاترهای سخت‌تری دارد و امکان آسیب دیدن دندانهای آن کمتر است. از طرفی به دلیل نوسانات و گشتاور در این نواحی استفاده از مته‌های هیبریدی با تیغه مرکب نیز در صورت وجود توصیه می‌شوند.



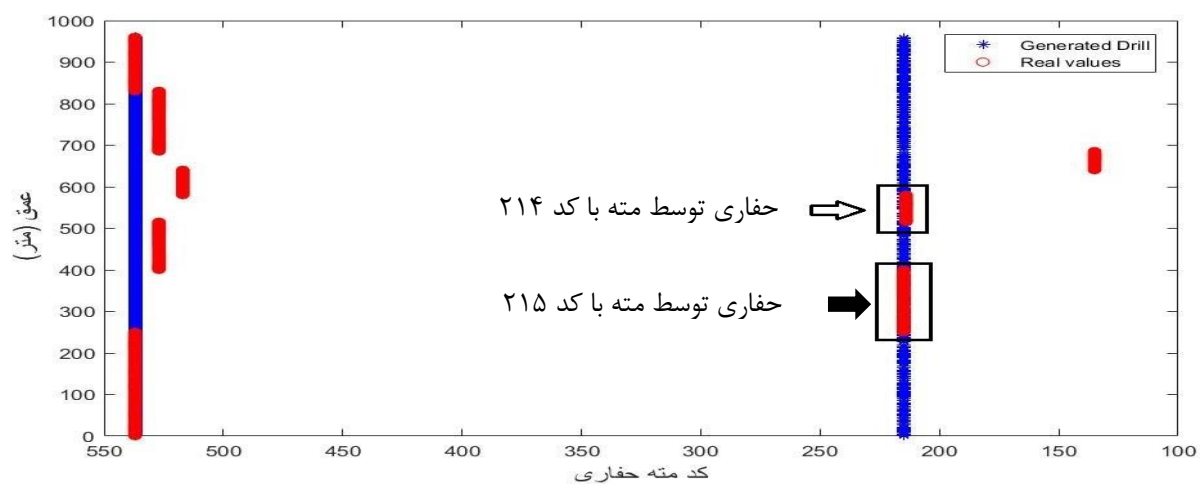
شکل ۴-۶ مته‌ی پیشنهادی زنجیره‌ی مارکوف برای اعماقی که مته‌ی ۵۲۷ (در چاه شماره ۱) ناکارآمد بوده است.



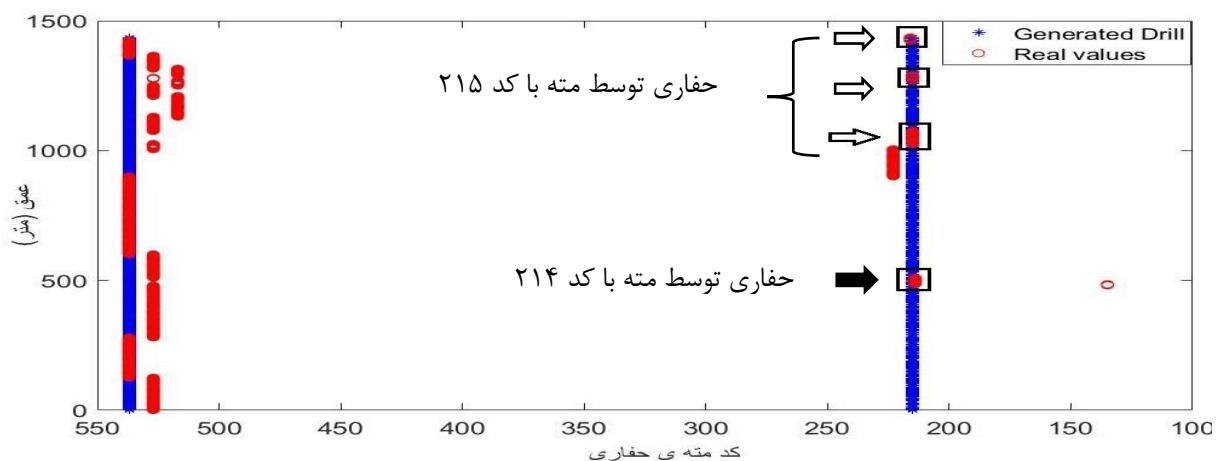
شکل ۴-۷ مته‌ی پیشنهادی زنجیره‌ی مارکوف برای اعماقی که مته‌ی ۵۲۷ (در چاه شماره ۲) ناکارآمد بوده است.

- از مته با کد ۲۱۵ جهت تمیز سازی چاه بعد از عملیات مانده‌یابی (به خاطر استفاده نادرست از کد مته‌ی 517X و ماندن کاج‌های آن در چاه و وجود لوله‌های حفاری تکه شده) در برخی فواصل به کار برده شده است. با توجه به مدل سازی انجام شده توسط زنجیره مارکوف استفاده از این مته با توجه به لیتولوژی و شرایط چاه مناسب به نظر می‌رسد (شکل‌های (۴-۸) و (۴-۹)).

- حفاری پلاگ سیمانی پایینی و بالایی در عملیات راندن لوله جداری، توسط مته با کد ۲۱۴ انجام شده است و دیگر موارد که در فصل سوم به آن اشاره شد. باتوجه به شرایط چاه و پیش‌بینی زنجیره مارکوف، استفاده از این مته در این اعماق مناسب بوده است (شکل‌های (۸-۴) و (۹-۴)). البته با توجه به مترآز کمی که توسط این مته حفاری شده، لیتولوژی‌های این ناحیه و ضعیف بودن این مته، استفاده از کد ۲۱۵ و ۲۱۴ در غیر از این مواقع و در جهت حفاری سازند در مترآز بالا توصیه نمی‌شود.

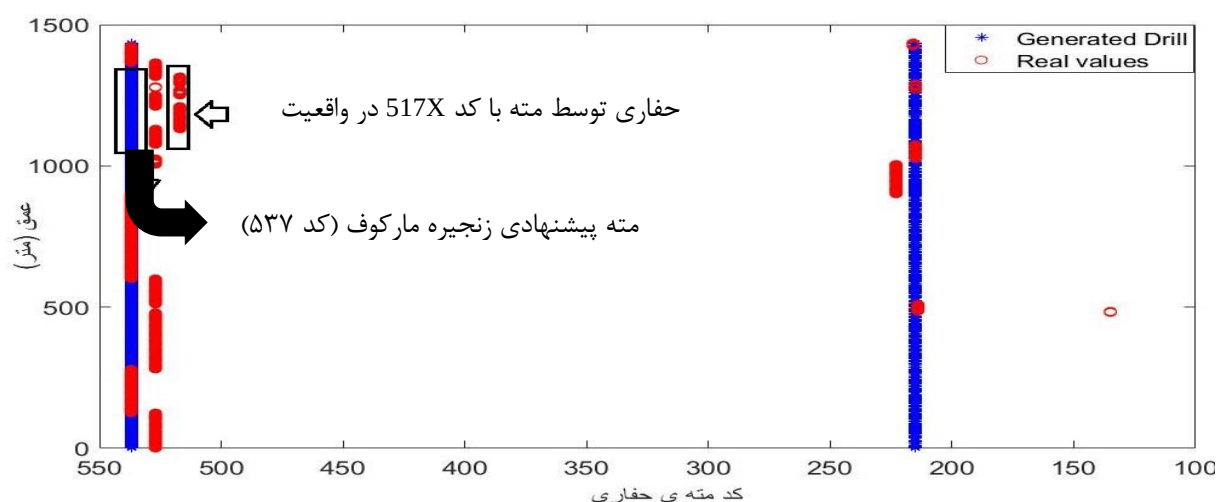


شکل ۸-۴ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کدهای ۲۱۵ و ۲۱۴ در چاه شماره ۱



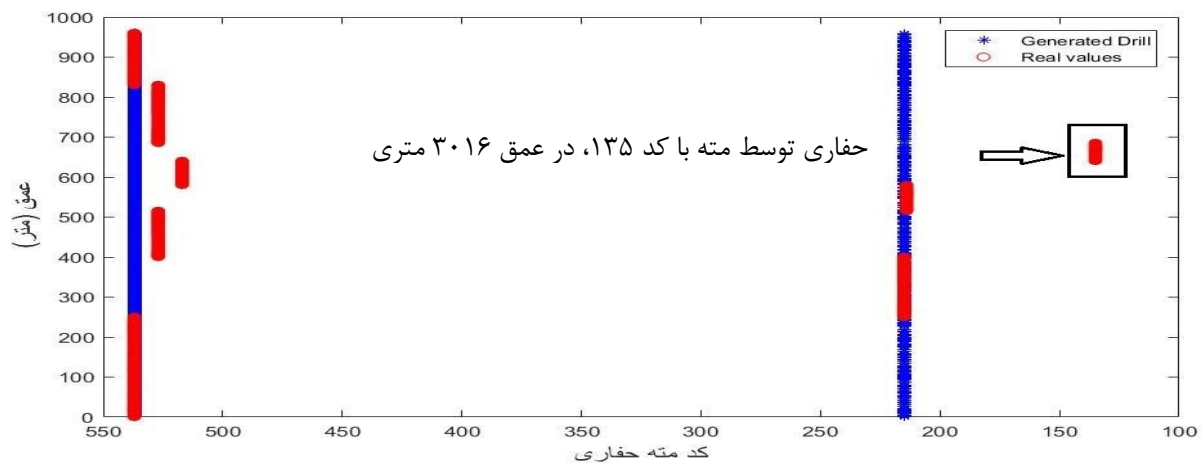
شکل ۹-۴ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کدهای ۲۱۴ و ۲۱۵ در چاه شماره ۱

- مته با کد 517X در عمق ۴۲۲۲ متری به علت ماندن کاج‌ها در چاه قابل استفاده نبوده است. لیتولوژی حفاری شده دولومیت، انیدریت و سنگ‌آهک است که به علت سختی متوسط سازند در این ناحیه، مته دچار فرسودگی شده و کاج خود را از دست داده است و در دوجای دیگر چاه به دلیل عملیات مغزه‌گیری و مشکلات ناشی از پمپ از چاه بیرون کشیده شده است. با توجه به لیتولوژی حفاری شده، مته با کد ۵۳۷ سالم توسط زنجیره مارکوف توصیه می‌شود (شکل (۴-۱۰)). استفاده از مته PDC با توجه به مواردی که پیش‌تر گفته شد در این اعماق مناسب است.

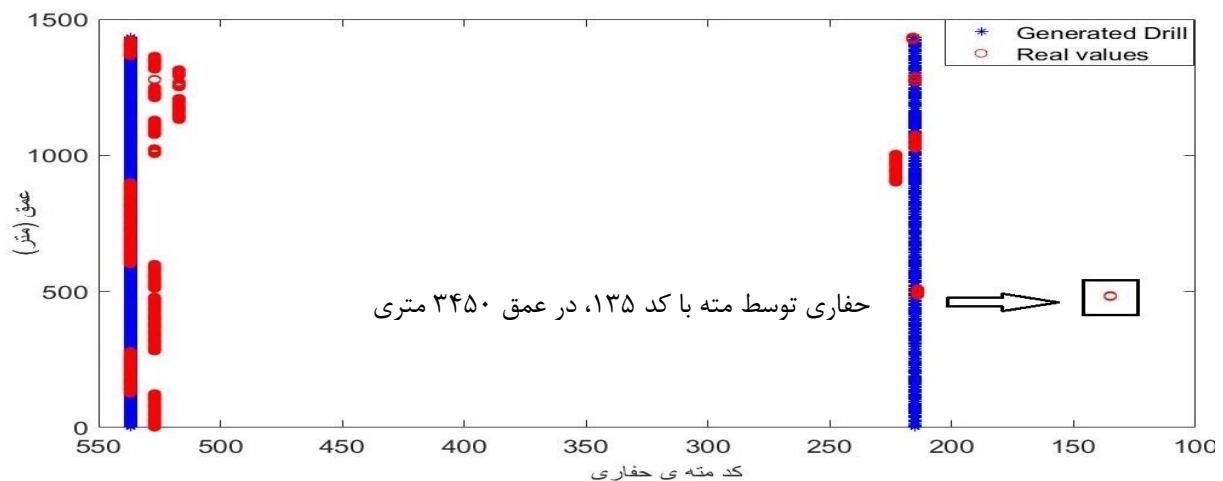


شکل ۴-۱۰ پیشنهاد مدل زنجیره مارکوف برای استفاده از کد ۵۳۷ به جای مته با کد 517X در چاه شماره ۲

- جهت پاک‌سازی چاه برای عملیات لوله‌گذاری از مته با کد ۱۳۵ استفاده شده است. چون در این عمق حفاری صورت نگرفته است و تنها از این مته جهت شستشو چاه استفاده شده است در اطلاعاتی که به برنامه داده شده همانطور که در شکل‌های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) دیده می‌شود، دارای خطا بوده و درست پیش‌بینی نشده است.

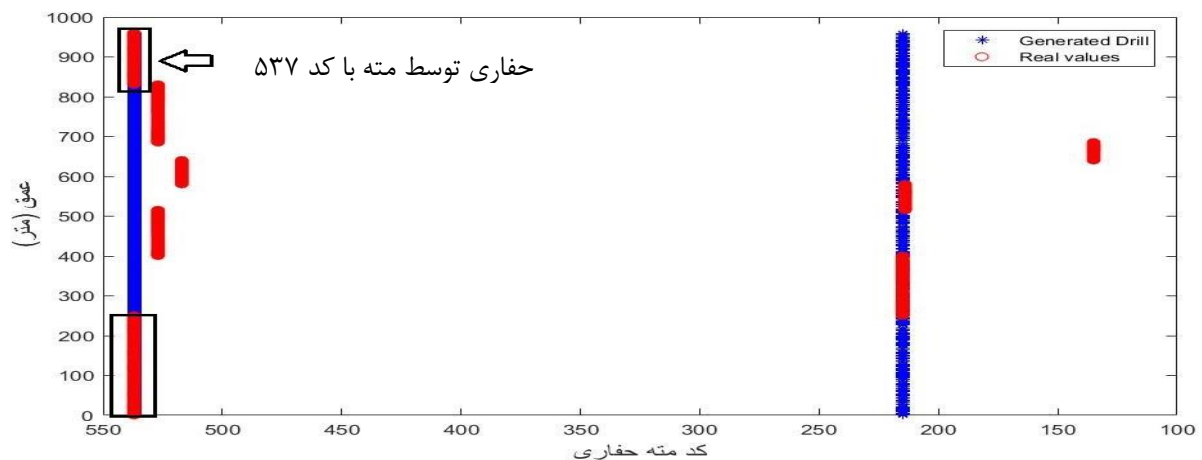


شکل ۴-۱۱ پیش‌بینی زنجیره‌ی مارکوف جهت انتخاب مته؛ عمق استفاده شده از مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۱

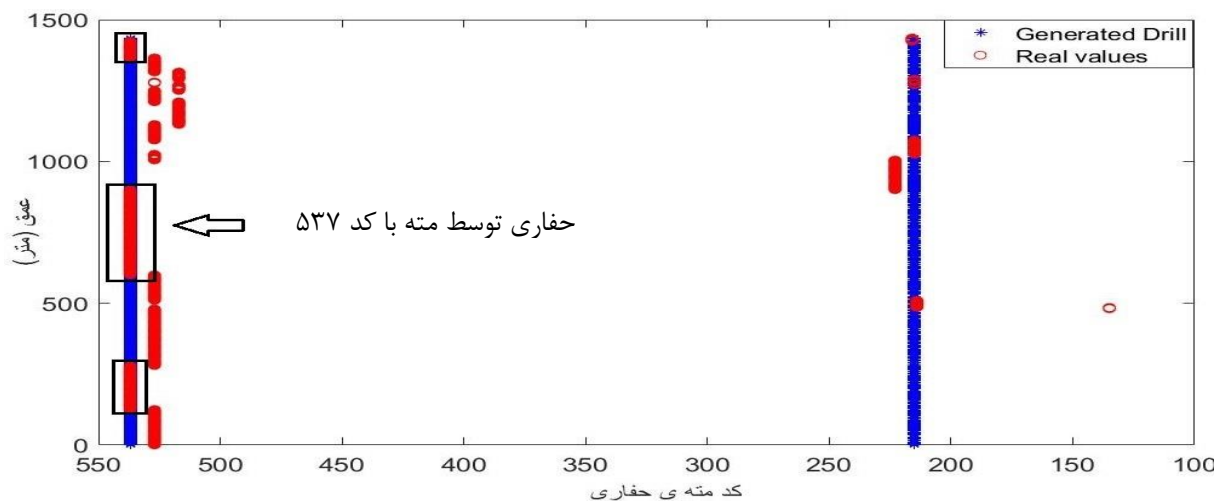


شکل ۴-۱۲ پیش‌بینی زنجیره‌ی مارکوف جهت انتخاب مته؛ عمق استفاده شده از مته با کد ۱۳۵ در چاه شماره ۲

- اکثر مناطقی که توسط مته با کد ۵۳۷ حفاری شده است بدون مشکل است و راندن مته تنها به دلیل حفاری سازند و نه رفع مشکلات چاه، اتفاق افتاده است. همانطور که گفته شد اکثر لیتولوژی‌های این دو چاه با این مته حفاری شده‌اند. با توجه به شکل‌های (۴-۱۳) و (۴-۱۴)، زنجیره‌ی مارکوف در اکثر اعماق این نوع مته را پیشنهاد می‌کند. تنها تفاوتی که این نوع مته با دو نوع مته‌ی ۵۲۷ و 517X دارد، سختی کاتر آن است که نشان دهنده‌ی کیفیت خوب آن جهت حفاری سازندهای سخت تا متوسط هم‌چون سازند دشتک است.



شکل ۴-۱۳ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره ۱

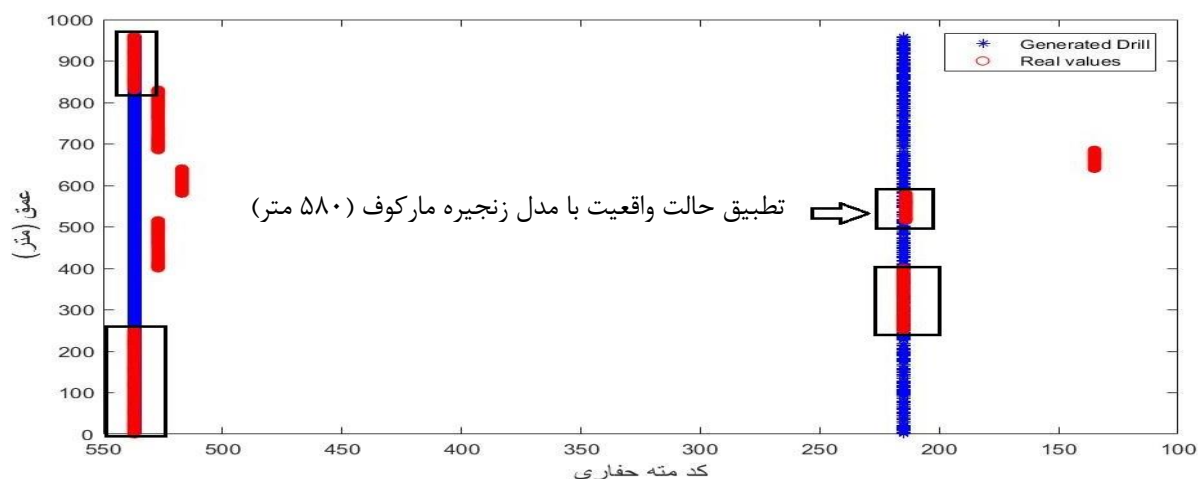


شکل ۴-۱۴ تطبیق مدل زنجیره مارکوف با حالت واقعیت؛ مته با کد ۵۳۷ در چاه شماره

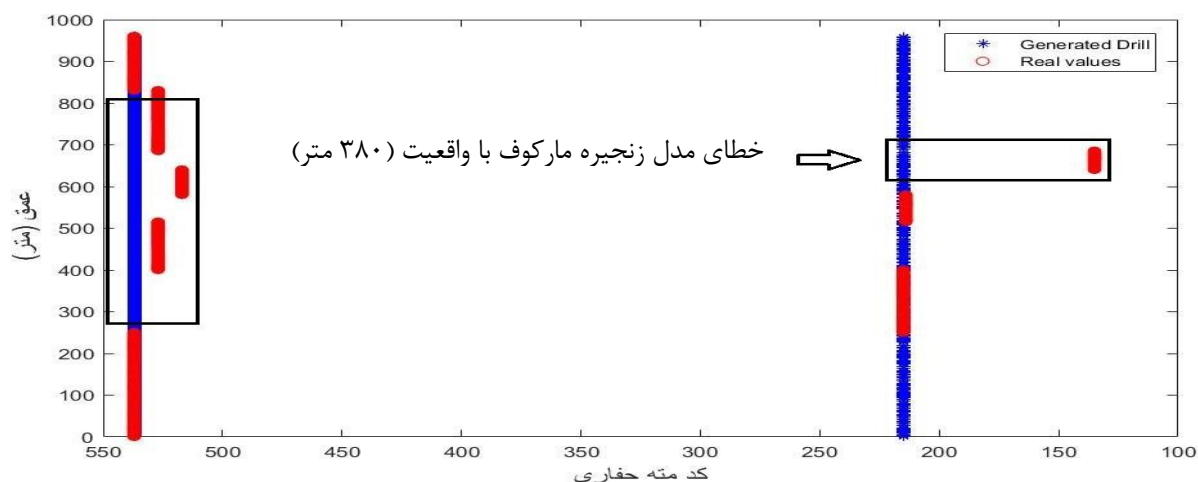
۴-۴ جمع بندی

در چاه شماره ۱، همانطور که در شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) آمده است، ۵۸۰ متر از این چاه دارای پیش‌بینی درست مته است، و ۳۸۰ متر آن دقیق پیش‌بینی نشده است. به عبارتی ۶۰/۴۱ درصد سازند، با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف به درستی مدل شده است. با توجه به توضیحاتی که در موارد فوق داده شد ۱۱۰ متر از سازند توسط مته با کد ۵۲۷ حفاری شده است و ۱۶۰ متر آن از مته با کد 517X استفاده شده است که با توجه به مته‌های موجود و قابل استفاده در این چاه‌ها و توضیحات داده شده می‌توان مته با کد ۵۳۷ را جایگزین

آن کرد. بنابراین می‌توان گفت ۸۸/۵۴ درصد سازند با استفاده از زنجیره مارکوف به درستی مدل سازی شده است.



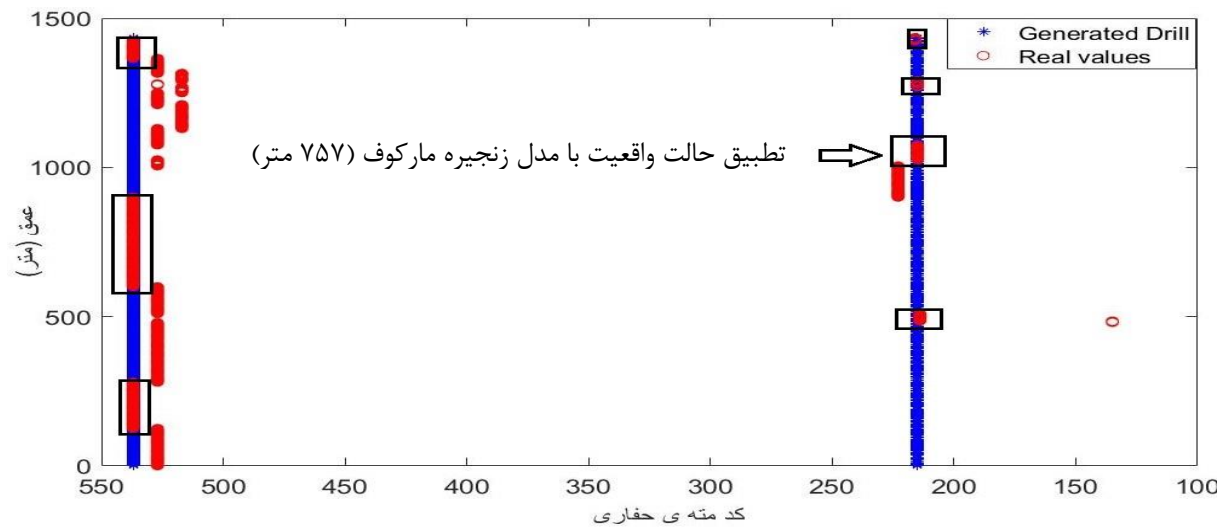
شکل ۴-۱۵ اعماق درست پیش‌بینی شده‌ی مته‌ی حفاری توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۱



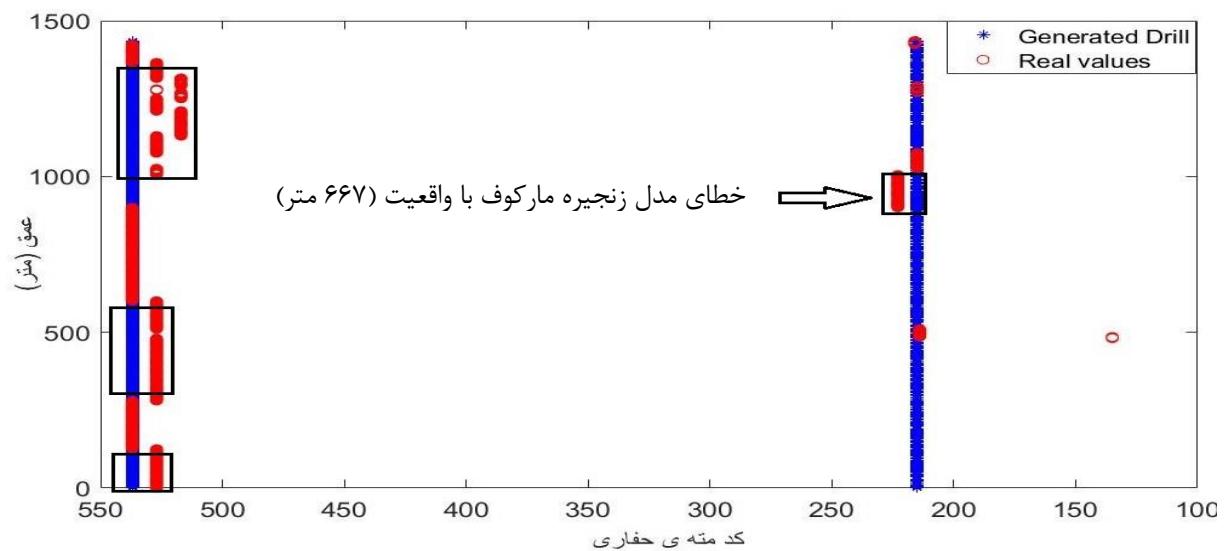
شکل ۴-۱۶ خطای مدل زنجیره مارکوف با واقعیت در چاه شماره ۱

در چاه شماره ۲، همانطور که در شکل‌های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) مشاهده می‌شود، ۵۸/۶۸ درصد سازند (۷۵۷ متر) با مته‌ی مناسب، درست پیش‌بینی شده است و ۴۶/۳۱ درصد (۶۶۷ متر)، به صورت دقیق مدل‌سازی نشده‌است. همانطور که قبلاً اشاره شده است با جایگزین کردن مته مناسب به جای مته‌های نامناسب چاه

می‌توان مقدار خطا آن را کاهش داد. با احتساب مته‌های جایگزین شده ۷۵/۴۶ درصد مته‌ها با استفاده از این برنامه دارای اطمینان بوده و درست مدل شده‌اند.



شکل ۴-۱۷ اعماق درست پیش‌بینی شده‌ی مته‌ی حفاری توسط زنجیره مارکوف در چاه شماره ۲



شکل ۴-۱۸ خطای مدل زنجیره مارکوف با واقعیت در چاه شماره ۲

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

انتخاب صحیح مته‌ی حفاری مستلزم پارامترهای مختلفی است. در این پژوهش از زنجیره‌ی مارکوف به عنوان یکی از ابزارهای توانمند در زمینه‌ی مدل‌سازی رخساره‌های سنگی، استفاده شد. سپس با توجه به نوع لیتولوژی در واحدهای بعدی زمین‌شناسی، انتخاب مته‌ی مناسب صورت پذیرفت. نتایج حاصله از این مطالعه به شرح زیر است:

- مدل زنجیره‌ی مارکوف با توجه به مباحث فصل چهارم، استفاده از ترکیب سه نوع مته‌ی مخروطی با کد ۲۱۴ و ۲۱۵ و ۵۷۳ در چاه شماره ۱ و ۲ در سازند دشتک را پیشنهاد می‌کند.
- استفاده از مته‌ی مخروطی دندان‌ه ثابت مانند مته با کد ۲۱۴، جهت تمیزسازی چاه بعد از عملیاتی هم‌چون مانده‌یابی و سیمان‌کاری، توسط مدل زنجیره‌ی مارکوف پیشنهاد شد.
- زنجیره‌ی مارکوف در اکثر اعماق که لیتولوژی سازند دارای سفتی متوسط تا سخت است، مته‌های دکمه‌ای با کاتر قوی‌تر (در این چاه‌ها؛ مته با کد ۵۳۷) را ارائه می‌دهد. به دلیل وجود توالی از این نوع جنس سنگ در سازند دشتک، مدل زنجیره مارکوف استفاده از این نوع مته‌ها را به جهت حفر بیشتر سنگ، کاهش هزینه‌های بالا و پایین راندن مته و آسیب کمتر مته‌های ضعیف‌تر در صورت استفاده، پیشنهاد می‌کند.
- همانطور که پیش‌تر گفته شد، وجود لایه‌هایی از سنگ‌های چرت در این سازند سبب می‌شود که از مته با برنده قوی‌تر استفاده شود. با توجه به جدول (۵-۱)، یکی از علت‌های عدم تطبیق حالت واقعیت با مدل زنجیره‌ی مارکوف جهت پیش‌بینی مته در اعماق خاص، وجود لایه‌های چرتی بوده است که توسط یک مته‌ی ضعیف حفاری شده است.

جدول ۵-۱ اعماق دارای لایه‌ی چرتی در چاه شماره ۱ و ۲

چاه شماره ۲							چاه شماره ۱						
اعماق (متر)	۳۹۸۵-۳۹۸۸	۴۱۱۳-۴۱۱۷	۴۱۲۳-۴۱۲۷	۴۱۸۹-۴۱۹۸	۴۲۹۲-۴۳۳۳	۴۳۷۹-۴۳۸۸	اعماق (متر)	۲۶۲۱-۲۶۲۵	۲۶۴۶-۲۶۵۰	۲۶۶۱-۲۶۷۵	۲۶۹۱-۲۷۰۰	۲۷۰۶-۲۷۱۵	
کد منته در واقعیت	M223	۲۱۴	۲۱۴	517X	۵۲۷	۵۳۷	کد منته در واقعیت	۵۲۷	۵۲۷	517X	517X	۵۳۷	
کد منته در مدل	۵۳۷	۲۱۴	۲۱۴	۵۳۷	۵۳۷	۵۳۷	کد منته در مدل	۵۳۷	۵۳۷	۵۳۷	۵۳۷	۵۳۷	
سرعت حفاری در واقعیت (m/hr)	۱/۳۹	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸	۱/۳۶	۰/۳۲	سرعت حفاری در واقعیت (m/hr)	۰/۳۳	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸	۱/۳۹	
سرعت حفاری پیشنهادی (m/hr)	۰/۳۳	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	سرعت حفاری پیشنهادی (m/hr)	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	

- در چاه شماره ۱ که مشکلات حفاری به مراتب کمتر از چاه شماره ۲ است، $88/54\%$ هماهنگی بین خروجی داده‌ها و مدل‌سازی زنجیره مارکوف وجود دارد. وجود $11/46\%$ خطا در پیش‌بینی نوع مته، به دلایل مختلف از جمله: عدم تشخیص مته‌ی مناسب در برخی از عمق‌ها در زمان به‌سازی چاه (مثلاً عمقی که توسط مته با کد ۱۳۵ تمیزسازی شد)، می‌تواند باشد.
- در چاه شماره ۲ به دلیل مشکلاتی هم‌چون: حفاری در ناحیه سخت توسط مته‌ی نامناسب، هرزروی شدید در بعضی مناطق، انجام عملیات مانده‌یابی و گیر رشته‌حفاری در اعماق مختلف، سبب شد گزینه‌ی انتخاب مته با توجه به نوع لیتولوژی سازند جزء گزینه‌های مطلوب این چاه جهت رفع برخی از این مشکلات باشد چرا که برخی از این مشکلات هم‌چون هرزروی گل، ارتباط مستقیم و بسزایی در نوع مته‌ی حفاری ندارد و ناشی از وجود شکستگی در سازند و خصوصیات گل حفاری می‌باشد. با توجه به مدل زنجیره‌ی مارکوف $75/46\%$ از عمق این چاه درست پیش‌بینی شده است. اضافه بر دلایلی که در عدم دقت مدل در چاه شماره ۱ بیان شد، وجود لیتولوژی‌های شناخته نشده در نگارها و باقی ماندن مته‌ی PDC در چاه، سبب شد این چاه با خطای $24/54\%$ در انتخاب مته‌ی مناسب، مواجه شود. با رفع مشکلات فوق می‌توان در بهینه کردن مدل کمک کرد.

۵-۲ پیشنهادات

- همانطور که اشاره شد، از آن جایی که مدل زنجیره‌ی مارکوف در زمینه‌ی انتخاب مته به عنوان اولین بار در این پژوهش مطرح شده است، بررسی و مطالعه در زمینه‌هایی که اشاره خواهد شد، می‌تواند مشکلات انتخاب مته در این چنین سازندهایی را کاهش دهد و این مدل را با روش‌های تکمیلی تقویت کند.
- در برخی از اعماق، مته‌هایی (در این سازند مثلاً مته با کد ۱۳۵) که جهت تمیزسازی چاه استفاده شده است، توسط روش احتمالاتی زنجیره‌ی مارکوف به درستی پیش‌بینی نشده است که به عنوان خطا در این

زنجیره به آن اشاره شد. البته از آن جایی که این مته متراژ کمی را در دو چاه طی کرده است (به طور میانگین حدود ۷ متر)، به نظر می‌رسد به همین دلیل دارای خطا است. استفاده از مدلی که بتواند این نوع از شرایط را در برنامه نویسی اعمال کند، مفید می‌تواند باشد.

- استفاده از این مدل صرفاً براساس نوع لیتولوژی و وجود توالی در رخساره‌های زمین می‌باشد و دیگر پارامترها در آن دخیل نیستند. پیدا کردن ارتباطی بین پارامترهای حفاری و نوع لیتولوژی که در این تحقیق بحث شد، راه‌حل مناسبی جهت انتخاب مته در چنین سازندهایی را به دنبال دارد.
- در این مدل‌سازی تنها از مته‌های موجود در این چاه استفاده شد و مته‌های دیگر با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی و گزارشات شرکت، جهت حفاری در برخی نواحی به صورت مکمل پیشنهاد شد. استفاده از روشی که بتواند اکثر مته‌های موجود در بازار را در برنامه اعمال کند و صحت موارد فوق را گزارش دهد، می‌تواند در جهت انتخاب مته‌ی قوی‌تر در سازندهای مشابه ظاهر شود.

منابع

منابع

آرین م و جعفری درگاهی ه. (۱۳۸۹)، "دیاچه‌ای بر زمین شناسی نفت ایران"، چاپ اول، انتشارات آثار نفیس، قم.

ابراهیمی د. (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی سنگ شناسی و محیط رسوبی نهشته‌های پاتریس (سازند دشتک و سازند خانه کت) در برش سطح/الارضی سیروان و برش تحت/الارضی چاه کبیر کوه- ۱ در شمال باختری لرستان"، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم.

احمدی م. (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه روش انتخاب بهینه مته و پارامترهای حفاری سازند پابده در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غرب ایران"، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

الهیون زاده ن. (۱۳۹۶)، پایان نامه ارشد: "برآورد حجم نفت درجای اولیه در یکی از میادین دریایی ایران با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو زنجیره‌ی مارکوف"، دانشکده علوم پایه و فن آوری های نوین زیستی، دانشگاه علم و فرهنگ.

امیری م و بیگلری کامی م. (۱۳۹۲)، "پیش‌بینی رفتار سهام با استفاده از مدل زنجیره مارکوف"، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادر، شماره ۲۰، ص. ۷۹-۹۴.

انصاری س. (۱۳۹۶)، رساله دکتری: "وارد کردن عدم قطعیت پارامترهای شبیه‌سازی، در مدل‌سازی زمین آماری رخساره‌های سنگی، به کمک زنجیره‌ی مارکوف"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سپهند.

پروانه نژاد شیرازی م. یزدان دوست ل و مرادی ز. (۱۳۹۳)، "ریز رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند (آسماری در تاق‌دیس دشتک) شمال غرب کازرون"، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۱۶، ص ۱۴-۱.

تاتاری ر. (۱۳۹۵)، پایان‌نامه ارشد: "تحلیل ریسک و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم حفاظت کاتدیک خطوط انتقال گاز با رویکرد ترکیبی زنجیره‌ی مارکوف تحلیل درخت خطا"، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

تیموری ح و مالکی ن. (۱۳۹۶)، "کاربرد شبکه‌های عصبی در صنعت نفت"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی نوآوری‌های اخیر در شیمی و مهندسی شیمی تهران، انجمن مهندسی گاز ایران، موسسه آموزش عالی نیکان.

جوانی د. (۱۳۸۹)، پایان‌نامه ارشد: "بررسی عملکرد مته‌های استفاده شده در میادین نفت فلات قاره و انتخاب مته‌ی بهینه در هر چاه از میادین مذکور"، دانشکده‌ی فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).

حسینی ا. (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کاربرد زنجیره‌ی مارکوف در برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی روزانه با تداوم و دوره‌های بازگشت مختلف"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

خشنودکیا م. محسنی ح. حاجیان م. (۱۳۸۹)، "چینه‌شناسی سکانسی توالی کربناتی-تبخیری سازند دشتک در چاه آغار #۱ و آغار باختری #۱ در میدان گازی آغار"، علوم زمین، سال بیستم، شماره ۷۹، ص ۱۷۱-۱۸۲.

درخشانی م. (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه‌ی هندسه چین خوردگی و نقش افق گسسته میانی دشتک بر ساختارهای فله‌یان و تول‌اسپید (ناحیه ایزه-زاگرس)"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود.

ربیعی آ و صیاد ح. (۱۳۹۲)، "به کارگیری شبکه عصبی هوشمند به عنوان روشی نوین جهت پیش‌بینی فشار نقطه شبنم مخازن گاز میعانی"، اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت، تهران.

صفاری ب. (۱۳۸۷)، "بررسی سازند دشتک در حوضه رسوبی زاگرس (کوه سورمه و دنا)"، نشریه فنی تخصصی

شرکت ملی نفت ایران (اکتشاف و تولید)، شماره ۵۰، ص ۵۴-۵۹.

طریفی ح. خاکسار منشاد ع و رستمی ح. (۱۳۹۱)، "بهبود نرخ نفوذ حفاری به کمک روش هوش مصنوعی"،

دومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی.

عزیزی و. (۱۳۸۵)، پایان نامه ارشد: "ارزیابی روش های طراحی حفاری (انتخاب نوع و تعداد مته) در حفاری های

نفت و گاز ایران و ارائه روش بهینه"، دانشکده ی مهندسی معدن، دانشگاه تهران.

کیانی ع. مومنی ع و عارف وند پ. (۱۳۹۵)، "بررسی مته های هیبریدی و عملکرد آنها در موارد استفاده

شده"، چهارمین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی با رویکرد توسعه ارتباط دولت، دانشگاه و صنعت.

مهرکی م. عاشوری ح. مرادی ب و هاشمی ع. (۱۳۹۰)، "بهینه سازی پارامترهای حفاری جهت انتخاب بهترین

مته با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی"، سومین کنگره ملی مهندسی نفت، انستیتو مهندسی صنعت

نفت، تهران.

میرزایی پیامن ا. (۱۳۹۱)، "کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی نرخ تولید چاه های نفتی"، ماهانه

اکتشاف و تولید، شماره ۹۸، ص ۹۴-۹۰.

نیکوگفتار ه. مهرگینی ب. بحرودی ع. تخمچی ب و نوروزی غ. (۱۳۹۲)، "ارائه راهکاری جدید در مدل سازی

رخساره های سنگی با استفاده از روش زنجیره مارکوف در یکی از میداين نفتی ایران"، مجله زمین شناسی

نفت ایران، سال سوم، شماره ۵، ص ۲۸-۱۴.

Adams N. J., (1985), "Drilling Engineering ,A Complete Well Planning Approach", PenWell Publishing Company 1421 South Sheridan Road/P. O. Box 1260 Thlsa, Oklahoma 7410, United States of America.

Akin S. and Karpuz C., (2008), “*Estimating Drilling Parameters for Diamond Bit Drilling Operations Using Artificial Neural Networks*”, International Journal of geomechanics.

Akisanmi O. A., (2016), Master.Thesis, “*Automatic Management of Rate of Penetration in Heterogeneous Formation Rocks*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Alsenwar M., (2017), Master. Thesis, “*NCS Drilling Data Based ROP Modelling and its Application*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Awiszus M. and Rosenhahn B., (2018), “*MarkovChainNeuralNetworks*”, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, PP. 2261-2268.

Baniya S., (2018), Master. Thesis, “*Modeling and Simulation of Oil Drilling Activities*” , Faculty of Science and Technology. Stavanger university.

Boryczko P., (2012), Master. Thesis, “*Drill bit selection and optimization in exploration well 6507/6-4A in the Nordland Ridge Area*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Bourgoyne J., Millheim K. K., Chenevert M. E. and Young F., (1991), “*Applied Drilling Engineering*”, SPE, United States of America.

Brooks S., Gelman A., Jones G. and Meng X., (2011), “*Handbook of Markov chain Monte Carlo*”, London New York.

Browning C. and Kumin H., (2016), “*Stochastic Reservoir Systems with Different Assumptions for Storage Losses*”, American Journal of Operations Research, 6,PP 414-423.

Busengdal H. G., (2017), Master.Thesis, “*Prediction of Dispersions and Emulsions by Using Ledaflow Q3D*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Ching W. and Michael K. N., (2006), “*Markov Chains: Models, Algorithms and Applications*”, Standford university.

Egeland R. L., Lescoeur A., Olsen M. A. and Vasantharajan M., (2017), “*Design and Construction of an Autonomous, Miniature Drilling Rig*”, Contribution to the DrillboticsTM Competition, Norwegian University of Science and Technology.

Elfeki A. and Dekking M., (2001), “*A Markov Chain Model for Subsurface Characterization: Theory and Applications*”, Mathematical Geology, Vol. 33, No. 5, PP. 569-589.

Endres L., (2007), PhD. Thesis, “*Computation modeling of drill bits: a new method for reproducing bottom hole geometry and a second-order explicit integrator via composition for coupled rotating rigid bodies*”, University of California, San Diego.

Eren T., (2010), PhD.Thesis, “*Real-Time-Optimization of drilling Parameters During Drilling Operations*”, The Graduate School of Natural and Applied, Sciences of Middle East Technical University.

Erland P., (2014), Master. Thesis, “*Centralization of Casings in Wells*”, Faculty of Science and Technology. Stavanger university.

Ertunc H. M., Loparo K. A. and Ocak H., (2001), “*Tool wear condition monitoring in drilling operations using hidden Markov models (HMMs)*”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 41, pp.1363–1384

Fasheloum M., (1997), PhD. Thesis, “*Investigation of drilling parameters indicators*”, Department of Mineral Resources Engineering , University of Nottingham.

Gyllenhammr C. F., (2003), PhD.Thesis, “*A critical review of currently available pore pressure methods and their input parameters: glaciations and compaction of north sea sediments*”, Durham university.

Habibnia B., Hosseini E., Miri R., Neshat J. and Amiri-Bakhtiar H., (2016), “*Study of Dashtak and Kangan Formations Boundary Using Geological and Well log Data in South Pars and Kish Gas Fields Located in the Persian Gulf* ”, Third International Conference on Research in Science and Technology, Berlin-Germany.

Husvag A. M., (2015), Master. Thesis, “*ROP Modelling and Analysis*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Jamshidi E. and Mostafavi H., (2013), "*Soft Computation Application to Optimize Drilling Bit Selection Utilizing Virtual Intelligence and Genetic Algorithms*", International Petroleum Technology Conference.

Jun L., Xiaojuan Y., Xiaolong Z. and Liping X., (2012), "*Lithology stochastic simulation based-dimensional Markov chain model*", China National Knowledge Infrastructure.

Karadzhova G., (2014), Master. Thesis, “*Drilling efficiency and Stability Comparison Between Tricone, PDC and Kymera Drill Bits*”, Faculty of Science and Technology. Stavanger university.

Krumbein W. C. and Dacey M. F., (1969), “*Markov Chains and Embedded Markov Chains in Geology*”, Mathematical Geology.

Kutas D. T., Nascimento A., Elmgerbi A. M., Roohi A., Prohaska M. and Thonhauser G., (2015), “*A Study of the Applicability of Bourgoyne & Young ROP model and Fitting Reliability through Regression*”, International Petroleum Technology Conference.

Kuznetcov A., (2016), Master. Thesis, “*ROP optimization and modelling in directional drilling process*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Larsen K. L., (2014), Master.Thesis, “*Tools and Techniques to Minimize Shock and Vibration to the Bottom Hole Assembl*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Liang F., Liu C. and Carroll R. J., (2010), “*Advanced Markov Chain Monte Carlo Methods*”, This edition first published 2010, United Kingdom.

Lyons W., Plisga G. and Lorenz M., (2016), “*Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering*”, Third Edition ,Amsterdam ,Boston.

Maita Pozo J. K., (2013), Master.Thesis, “*Cost and Duration Estimation for Deep Enhanced Geothermal System Wells*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

- Momeni M. S., Ridha S., Hosseini S. J., Meyghani B. and Emamian S. S., (2018), "*Bit selection using field drilling data and mathematical investigation*", Materials Science and Engineering.
- Momeni M., Rashidi M. and Watalingam P., (2015), "*Bit Selection using Drilling Data by Artificial Neural Networks*", Journal of Applied Science and Agriculture, 5, 10, PP 165-169.
- Nguyen D. T., (2012), Master. Thesis, "*Drill Bits Technology – Introduction of The New Kymera Hybrid Bit*", Faculty of Science and Technology, Stavanger university.
- Omdal K., (2015), "*Development of procedure and analysis of hard rock drilling*", Faculty of Science and Technology, Stavanger university.
- Oteri V. A., (2010), Master. Thesis, "*Drilling Optimization- Drill Bit Performance Optimization Using DROPS Simulator (Ekofisk/Eldfisk Field)*", Faculty of Science and Technology, Stavanger university.
- Ove Strand G., (2017), PhD. Thesis, "*Risk Control in the Drilling Phase of Offshore Wells*", Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering. Department of Mechanical and Industrial Engineering
- Potokin N., (2015), Master. Thesis, "*MPD operations – challenges and solutions*", Faculty of Science and Technology. Stavanger university.
- Sahina A. and Senb Z., (2001), "*First-order Markov chain approach to wind speed modelling*", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89, PP 263–269.
- Schumann A., (2002), "*Hidden Markov Models for Lithological Well Log Classification*", Freie University Berlin.
- Sherbeny W., Hasan G., Lindsay B., Madkour A., Nagy A. and Abulawi M., (2016), "*Role of Wellbore Imaging and Specific Mineralogy Inputs Data in Bit Selection and Design Softwares*", Society of Petroleum Engineers.

Trauner S., (2011), Master.Thesis,” *Optimization of Bit Selection and BHA Design for the Oberkling Gas Storage Drilling Campaign*”, Department Mineral Resources and Petroleum Engineering Chair of Drilling Engineering, Montanuniversität Leoben, Austria.

Vikra S.E., (2008), Master. Thesis, “*Utilizing down hole data, acquired by a multiple sensor down hole tool, to determine the PDC bit wear state*”, Faculty of Science and Technology, Stavanger university.

Yibudongha Y. and Izuwa N., (2017), “*Bit Performance Evaluation: A Case Study of Field A, Niger Delta, Nigeria*”, International Journal of Science Inventions Today, 6, 2, PP 101-115.

Yilmaz S., Demircioglu C. and Akin S., (2002), "*Application of Artificial Neural Networks to Optimum Bit Selection*", Computers & Geosciences, number28, pp 261-269.

Abstract

Proper selection of drill bits is considered as an important issue in well planning. Identification of sedimentary rocks before well drilling plays crucial role in choosing the drilling bit. Markov chain probability method is presented as one of the powerful methods for identifying lithological units, which is based on the calculation of the transition probability matrix or transition matrix. Markov chain is a probable pattern that introduces a specific type of dependency and is used as a model for probable prediction. In this paper, modeling by Markov chain in MATLAB software on Dashtak Formation, which has a sequence of rock faces and is considered as one of the most important formations in southern Iran, has done. Then, considering the prediction in the field of lithology type in the next layers by Markov chain and input data, a suitable bit is suggested. This process was carried out in two vertical sections in two well where the thicknesses of Dashtak Formation are 963 meters and 1410 meters. The results show that Markov chain model in well 1 and well 2, 88.54% and 75.46% were in accordance with the output state of the data in reality, respectively.

Keywords: Dashtak Formation, Drilling Bit Optimization, Lithology, Transition Matrix



Shahrood University Of Technology
MSt thesis in Petroleum Drilling Engineering
Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering

Designing intelligent methods – Markov chain for optimizing drill bit selection in Dashtak formation

Prepared By

Afsaneh Ghaffarirad

Supervisors

Dr. Sajjad Negahban

Dr. Behzad Tokhmechi

Advisor

Msc. Hossein Mostafavi

October 2020