

## پیش بینی زمان تعویض مته در حین حفاری به صورت بلادرنگ

مهدی نظیری

دانشگاه آزاد اسلامی امیدیه

mahdinaziri@gmail.com

**چکیده** تخمین بهترین زمان تعویض مته در حفاری، یکی از راه های بهینه سازی حفاری و کاهش زمان حفاری به وسیله کاهش دفعات تعویض مته و دفعات لوله بالا و لوله پایین است. برای این کار در ابتدا ما روش و فرمولی را برای انتخاب زمان تعویض مته به دست آوردیم و پس از آن جهت پیش بینی زمان تعویض مته با این معادله با استفاده از داده های که در پروپوزال یا داده های چاه های مشابه و یا برنامه حفاری، موجود است، باید به پیش بینی نرخ نفوذ پردازیم. از آنجا که توانایی شبکه عصبی هوشمند در ایجاد رابطه بین متغیر های زیاد اثبات شده است، لذا به نظر می رسد شبکه هوشمند نتیجه مفیدی را در پیش بینی نرخ نفوذ داشته باشد. در این پروژه با استفاده از نرم افزار Matlab و داده های گروه گل نگاری مستقر در محل حفاری که به صورت لحظه ای در دسترس است، مدلی ساخته می شود که بتواند نرخ نفوذ را پیش بینی بکند. در این مدل، با استفاده از پارامترهای حفاری از قبیل وزن روی مته، سرعت چرخش مته، مقدار پمپاژ سیال حفاری و فشار آن، وزن گل موجود و مدت زمان کارکرد مته و در اندازه ثابت حفره چاه، نرخ نفوذ را پیش بینی می کنیم. با استفاده از داده های موجود، ابتدا مدل ساخته و آموزش داده می شود و آنگاه با استفاده از پارامترهای پیش بینی شده در پروپوزال حفاری و داده های حین حفاری، اقدام به پیش بینی نرخ نفوذ چاه فعلی می کنیم. ضریب همبستگی ANN برای طرح کلی آموزش و خروجی پیش بینی شده ۰.۹۶ است. پس از پیش بینی نرخ نفوذ، با استفاده از آن و معادله مربوطه که جهت پیدا کردن زمان تعویض مته به دست آمده بود، بهترین زمان تعویض مته را پیش بینی می کنیم.

**واژه های کلیدی:** تخمین زمان تعویض مته، نرخ نفوذ پذیری، بهینه سازی حفاری، پیش بینی نرخ نفوذ پذیری، کاهش زمان حفاری، کاهش هزینه های حفاری

## ۱ - مقدمه

در طول تاریخ حفاری چاه های نفت، یکی از مهمترین مسائل و مشکلاتی که پیمانکاران حفاری با آن مواجه بوده اند، کمبود سرعت حفاری سنگ و مشکلات مربوط به آن بخصوص در اعماق پایین زمین بوده است، بطوریکه کمبود سرعت حفاری در اعماق پایین منجر به افزایش هزینه های حفاره چاه می شد و همین امر باعث آن گردید، که این پیمانکاران دائم در حال تحقیق، بررسی و تولید نسل های جدید و پیشرفته مته های حفاری گردند. مطالعات آماری در خصوص بررسی هزینه های حفاری یک چاه نشان می دهد که حدوداً ۷-۱۵٪ هزینه حفاره یک چاه نفت مربوط به مته های مورد استفاده در چاه دارد و در صورتی که مته های مورد استفاده بطور صحیح انتخاب و مورد استفاده قرار گیرند، می توان زمان حفاری چاه را به نصف زمان پیش بینی کاهش داده و یک چاه را از نظر هزینه ها بطور کاملاً بهینه حفار نمود.

هدف از تخمین زمان خروج مته از چاه، بهینه سازی حفاری کاهش زمان حفر و در نتیجه کاهش هزینه تمام شده هر چاه می باشد. یکی از مهمترین عوامل موثر در کاهش هزینه های حفاری، تعویض به موقع مته حفاری جهت افزایش نرخ نفوذ مته و کاهش تعداد دفعات تعویض مته است. زیرا با توجه به هزینه های بسیار زیاد حفاری که شدیداً وابسته به زمان می باشند، کاهش زمان حفاری نتیجه چشمگیری در کاهش هزینه های حفاری خواهد داشت. برای روشن تر شدن موضوع یادآور می شود که تنها کرایه دستگاه حفاری در ایران به ازای هر ساعت، ۱۰۰۰ دلار می باشد. کاهش تنها یک روز از عملیات حفاری علاوه بر جلوگیری از هدر رفتن ۲۴۰۰۰ دلار برای کرایه دستگاه حفاری، باعث کاهش بسیاری از هزینه های دیگر و نیز سبب بهره برداری زودتر از میدان می شود. لازم بذکر است که هزینه حفر هر چاه در میدان مورد بررسی بطور متوسط ۵۰۰۰۰۰۰ دلار می باشد. این هزینه برای برخی چاه های میدان گاه تا ۱۰۰۰۰۰۰۰ دلار نیز افزایش می یابد. ضمناً، در حال حاضر مدت زمان پیش بینی شده برای حفر هر چاه در این میدان، بطور متوسط ۹۰ روز می باشد. بهینه سازی حفاری برای اولین بار در سال ۱۹۶۷ بکار گرفته شد که کاهش قابل ملاحظه ای در هزینه های حفاری در پی داشت. روش بهینه سازی، اینگونه بود که داده های اولین چاه حفر شده به عنوان پایه و اساس در نظر گرفته شد و روش های بهینه سازی روی پارامترهای آن برای حفر چاه دوم اعمال شد و سپس این روش ها برای بهینه سازی چاه های سوم و چهارم و ... در هر مورد، داده های چاه قبلی نیز بکار گرفته می شد تا هزینه های حفاری را کاهش دهد. [1]، [2]، [3]، [4]

قبل از انجام این پروژه، در ایران پروژه هایی دیگر با عنوان بهینه سازی حفاری انجام پذیرفته که از آن جمله می توان به بهینه سازی میدان خانگیران و بهینه سازی یکی از میداین خلیج فارس اشاره کرد. [1] این بهینه سازی ها معمولاً با بهینه سازی پارامترهای حفاری و تا ابتدای مخزن انجام می شود زیرا در مخزن، مهم تر از کاهش هزینه ها، آسیب ندیدن مخزن است. بنابراین اولویت با آسیب نرسیدن به مخزن است. جهت بهینه سازی حفاری در مخزن و به خصوص در مخزنی که حفاری کج یا افقی با متراژ بالا در آن صورت می گیرد، انتخاب بهترین زمان تعویض مته با توجه به پارامترهای موجود و به حداقل رساندن دفعات تعویض مته است. به همین دلیل برای بهینه سازی عملیات برای انجام این پروژه، داده های گزارشات روزانه حفاری ۷ حلقه چاه حفر شده در حفاره ۶ اینچ میدان مورد نظر بررسی گردید که مشتمل بر ۱۰۰ روز حفاری در این میدان بوده و با احتساب حدود ۵۰۰۰ داده در هر گزارش، حدود ۵۰۰۰۰۰ داده استخراج و وارد برنامه گردید. سپس با بررسی آماری داده ها و بررسی صحت آنها و

جهت جلوگیری از همپوشانی داده ها، پس از بررسی ها و آزمایش های مکرر، ۷ دسته داده انتخاب شده و در مجموع ۵۰۰۰۰ داده جهت این پروژه انتخاب شد.

میدان مورد بررسی در جنوب غرب ایران واقع شده است و یکی از میدانهای عظیم و مشترک نفتی ایران می باشد که تا کنون ۵۲ حلقه چاه در آن حفاری شده است و عملیات توسعه این میدان، هم اکنون ادامه دارد. هدف از انجام این پروژه بدست آوردن روشی برای تخمین بلادرنگ زمان تعویض مته در حین حفاری است، به گونه ای که با افزایش نرخ نفوذ و کاهش دفعات تعویض مته، باعث افزایش بهره وری و کاهش هزینه ها باشد و به گونه ای باشد که بتوان از آن در حین عملیات حفاری استفاده نمود. در این تحقیق توانستیم با توجه به شرایط حفاری و هزینه های جاری، به طور هوشمند نقطه تعویض مته را تعیین و حداقل دفعات تعویض مته را داشته باشیم.

## ۱-۱ عوامل موثر بر نرخ نفوذ

نرخ نفوذ یا همان ROP،(Rate Of Penetration) سرعت حفاری را نشان می دهد و بهینه سازی حفاری برای افزایش نرخ نفوذ صورت می پذیرد. بطور کلی می توان عوامل زیر را در مقدار نرخ نفوذ موثر دانست [2],[3],[4]

۱- نوع سرمته

۲- خصوصیات سازند

۳- خواص سیال حفاری

۴- شرایط عملیاتی

۵- ساییدگی دندان سرمته

۶- هیدرولیک سرمته

نرخ نفوذ، رابطه مستقیم با هزینه هر متر حفاری دارد. تعداد زیادی آزمایش انجام شده تا رابطه ی هر یک از این عوامل با نرخ نفوذ مشخص شود.

## ۲-۱ شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی زیستی مجموعه ای بسیار عظیم از پردازشگرهای موازی به نام نرون اند که به صورت هماهنگ برای حل مسئله عمل می کنند و توسط سیناپس ها (ارتباط های الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می کنند. یک شبکه عصبی شامل اجزای سازنده لایه ها و وزن ها می باشد. رفتار شبکه نیز وابسته به ارتباط بین اعضا است. در حالت کلی در شبکه های عصبی سه نوع لایه نرونی وجود دارد:

۱- لایه ورودی: دریافت اطلاعات خامی که به شبکه تغذیه شده است.

۲- لایه های پنهان: عملکرد این لایه ها به وسیله ورودی ها و وزن ارتباط بین آنها و لایه های پنهان تعیین می شود. وزن های بین واحدهای ورودی و پنهان تعیین می کند که چه وقت یک واحد پنهان باید فعال شود.

۳- لایه خروجی: عملکرد واحد خروجی بسته به فعالیت واحد پنهان و وزن ارتباط بین واحد پنهان و خروجی می باشد.

شبکه های عصبی با توانایی قابل توجه خود در استنتاج نتایج از داده های پیچیده، می توانند در استخراج الگو ها و شناسایی گرایش های مختلفی که برای انسان ها و کامپیوتر شناسایی آنها بسیار دشوار است استفاده شوند. [5]

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱ محاسبه زمان تعویض مته

جهت انتخاب بهترین نقطه جهت تعویض مته، معمولا از فاکتور اقتصادی استفاده می شود. معادله شماره (۱) بیشترین کاربرد را در این زمینه دارا بوده و معمولا توسط مهندسين جهت بررسی زمان تعویض مته بر اساس فاکتور اقتصادی مورد استفاده قرار می گیرد. [2],[3],[4]

$$C = \frac{C_b + C_r * (t_b + t_c + t_r) + \sum Others}{\Delta D} \quad \text{معادله شماره (۱)}$$

C = cost \$/m

C<sub>b</sub> = bit cost

D= Depth

C<sub>r</sub>= Rig cost \$/hr

T<sub>r</sub>= trip time hr

T<sub>b</sub>= bit rotation time

T<sub>c</sub>= none bit rotation time

عدد حاصل از این معادله همواره باید روند کاهشی داشته باشد تا بتوان از به صرفه بودن عملیات حفاری اطمینان حاصل کرد، ولی درباره دفعات تعویض مته با توجه به نقطه هدف حفاری مانند نقطه جداره گذاری، نمی تواند به ما کمکی بکند، زیرا گاهی نقاطی برای تعویض مته انتخاب شده است که نرخ نفوذ پذیری پایین بوده، ولی تا پایان حفاری یا نقطه هدف، مترژ کمی باقی بوده است و با توجه به زمان بالای مورد نیاز جهت تعویض مته و هزینه ناشی از مته نو و ائتلاف زمان مربوط به آن، ادامه حفاری به صرفه تر بوده و برای تعویض مته باید زودتر اقدام می شد، هر چند که نرخ نفوذ بالاتر بوده است.

با توجه به این مشکلات، معادله (۱) به گونه ای اصلاح شد که بتواند شرایط حفاری و دفعات حفاری در آن دخیل باشد. بنا بر این معادله ۲ پیشنهاد می شود:

$$C_{cr} = \left\{ \left( \frac{C_b + C_r t_r}{D_i} - \frac{C_m(i)}{D_i} * t_r \right) * RD_i \right\} - \left\{ \left[ \left( \frac{C_b + C_r t_r}{D_{i-1}} - \frac{C_m(i-1)}{D_{i-1}} * t_r \right) * RD_{i-1} \right] * \frac{RD_i}{RD_{i-1}} \right\} = 0 \quad \text{معادله (۲)}$$

**C cr = Critical cost**

**Cb = bit cost \$**

**Di= Depth @ bit time i**

**Di-1 = Depth @ bit time i-1**

**Cr= Rig cost \$/hr**

**Tr= trip time hr**

**ROPi = ROP @ bit time i**

**ROPi-1 = ROP @ bit time i-1**

**RD= TD proposal- Depth @ bit time i**

جهت استفاده از معادله شماره (۲) باید توجه داشت که باید از نرخ نفوذ کلی (تجمیعی) به جای نرخ نفوذ لحظه ای

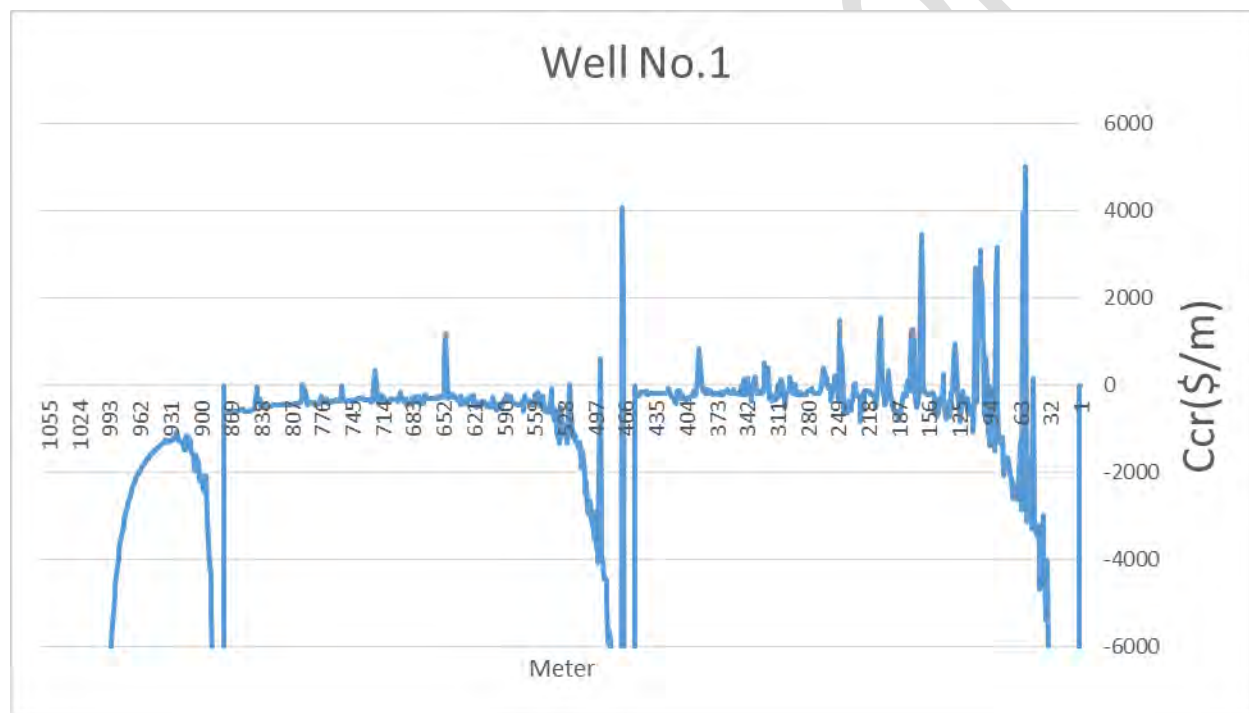
استفاده کرد که برابر است با میزان حفاری مته تا عمق i ام تقسیم بر مدت زمان کلی چرخش مته تا این عمق بر حسب ساعت. از مزایای معادله شماره (۲) این است که توانسته است هزینه های قبل از تعویض مته را با هزینه های بعد از تعویض مته را در یک معادله و در کنار یکدیگر بیاورد و با توجه به نتیجه این معادله به راحتی می توان آن را تفسیر کرد. با توجه به معادله (۲) سه حالت کلی ایجاد می شود: [1]

الف - چنانچه  $C_{cr} < 0$  باشد، مشخص کننده و بیانگر این است که هزینه ادامه حفاری با نرخ نفوذ فعلی و هزینه های فعلی روزانه دکل به صرفه تر و اقتصادی تر است نسبت به تعویض مته و ادامه حفاری با مته جدید. هر چه این میزان منفی تر باشد، ادامه حفاری به صرفه تر و اقتصادی تر است.

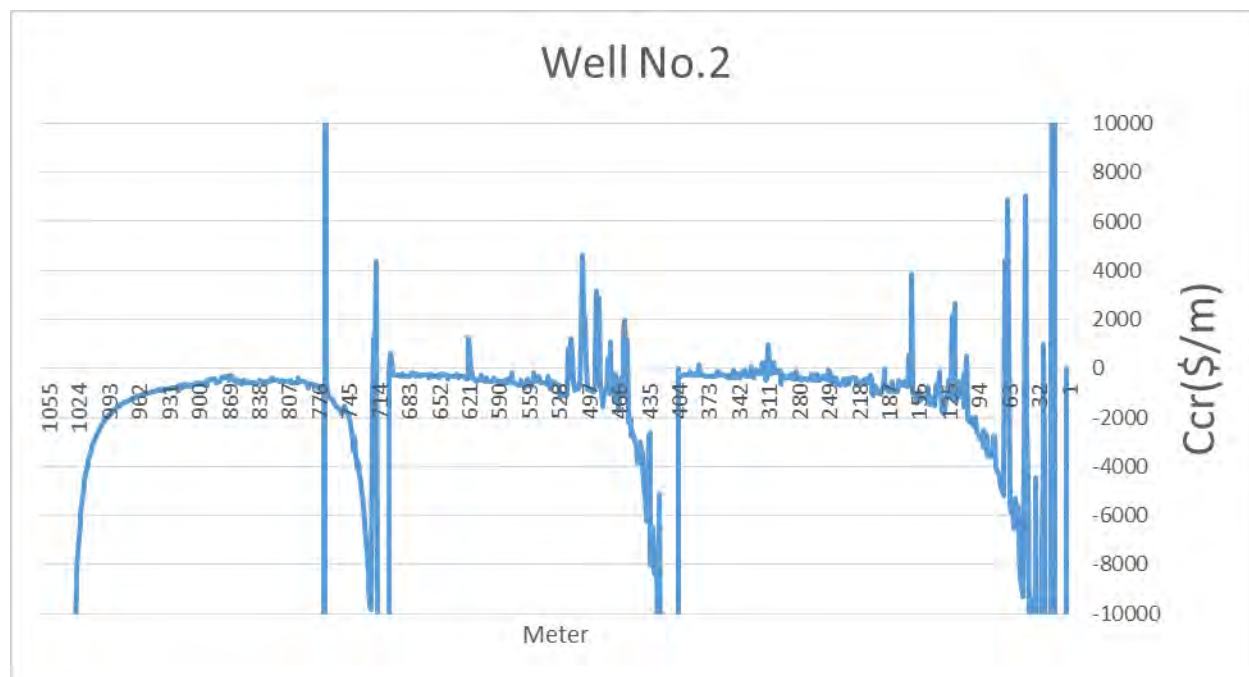
ب- چنانچه  $CCR = 0$  باشد، بیانگر این است که هزینه های ادامه حفاری با نرخ نفوذ و هزینه های فعلی، با هزینه تعویض مته و حفاری با مته جدید برابر است. بنابراین با توجه به اینکه مته جدید نرخ نفوذ بالاتری خواهد داشت، تعویض مته در این نقطه که نقطه بهینه برای تعویض مته است، باید صورت بگیرد.

ج- اگر  $CCR > 0$  باشد، بیانگر این است که هزینه های حفاری با نرخ نفوذ و هزینه های روزانه فعلی نسبت به هزینه تعویض مته و حفاری با مته جدید، بیشتر بوده و ادامه حفاری با مته فعلی به هزینه های دکل می افزاید.

در نمودار های ۱ و ۲، لایه مخزن ۲ چاه بررسی شده اند که دارای شرایط برابر بوده و در یک میدان مشترک و به صورت حفاری کج، حفاری شده اند. با توجه به اینکه حفره ۶ اینچ این چاه ها گاهی بیش از هزار متر طول دارد و در طول این هزار متر حداقل نیاز به یکبار تعویض مته دارند، با توجه به داده های نرخ نفوذ و عمق و هزینه مته جدید که برابر  $60000$  \$ از نوع PDC و به طور متوسط برای همه چاه ها که در یک سازند و در یک عمق مشخص هستند، حدود ۲۲ ساعت عملیات لوله بالا و پایین و تعویض مته زمان می برد و کرایه روزانه دکل برابر  $1000$  \$/hr بود، معادله شماره (۲)، نمودار Ccr برای همه آنها رسم گردید تا وضعیت تعویض مته در آن ها بررسی شود.



نمودار شماره ۱



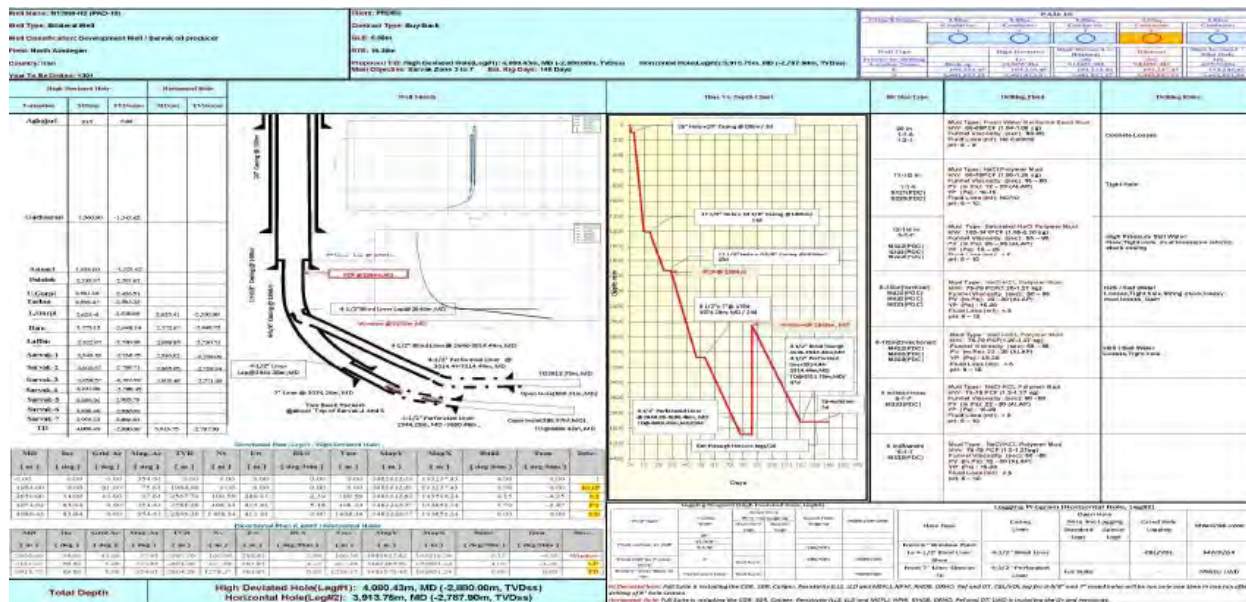
نمودار شماره ۲

با توجه به شکل ها و معادله شماره (۲) منفی ترین نقاط، مربوط به محل تعویض مته است و به راحتی می توان در این نمودارها محل تعویض مته را پیدا کرد و همانگونه که در نمودارهای ۱ و ۲ مشاهده می شود، در برخی از چاه ها از ۲ و برخی دیگر از سه مته استفاده شده است و غالب تعویض مته ها نیز به غیر از چند مورد در حدود مکانی  $Ccr=0$  انجام شده است که نظر ما را درباره نقطه بهینه تعویض تایید می کند.

## ۲-۲ پیش بینی نرخ نفوذ

با توجه به معادله شماره (۲)، جهت پیش بینی زمان تعویض مته، کلیه پارامترها به غیر از نرخ نفوذ و عمق حفاری شده قابل دسترسی است و اگر ما بتوانیم در زمان های مختلف کارکرد مته، نرخ نفوذ را پیش بینی کنیم، می توانیم عمق حفاری شده متناظر با آن را محاسبه و با توجه به آن و استفاده از معادله (۲) به پیش بینی زمان تعویض مته بپردازیم.

برای این تحقیق، ما از داده های جمع آوری شده توسط گروه گل نگاری مستقر در سرچاه استفاده شده است. این داده ها به صورت لحظه ای موجود می باشند و غالباً داده هایی هستند که برای هر متر حفاری موجود هستند. بنابراین با توجه به این داده ها، ابتدا آن ها را جهت استفاده در شبکه عصبی، بهینه سازی می کنیم. در اولین مرحله، داده های موجود در پروپوزال را جهت پیدا کردن نقاط پایان حفاری در نقاط جداره گذاری یا نقطه پایانی حفاری بررسی می کنیم و با توجه به حفره در حال حفاری فعلی، محدوده مجاز پارامترهای حفاری و همچنین مترهای انتهایی این بخش را استخراج می کنیم (شکل ۱-۲). [1]



شکل (۲-۱) پروپوزال حفاری

با توجه به اینکه هدف ما در این مقاله، پیش بینی نرخ نفوذ در حفاره ۶ اینچ بود، ما از داده های حفاره های ۶ اینچ ۶ چاه این میدان جهت تشکیل شبکه عصبی استفاده نمودیم. در کل این چاه ها از مته های ۶ اینچ از نوع PDC و با خروجی نازل OPEN استفاده شده بود و به دلیل حفاری کج، عملیات حفاری در این حفاره ها تا نقطه پایان حفاری، به طور متوسط ۱۰۰۰ متر بوده و حداقل در هر کدام از این حفاره ها از ۲ مته استفاده شده است. داده ها توسط سنسورهای گروه گل نگاری و بر پایه عمق حفاری شده جمع آوری شده اند. (جدول (۲-۱))

جدول (۲-۱) داده های حفاره ۶ اینچ جمع آوری شده توسط گروه گل نگاری

| DEPTH | ROP   | WOB | BIT RPM | TORQUE | SPP  | FLOWIN  | PUMP SUM | MTI  | MJO  | CONDIN | CONDOUT | MWL  | MWO  | ECD  | Dxc  | ACTEVT | TDS_RPM | DownHole_RPM | CSIB | BITRUNTIME |
|-------|-------|-----|---------|--------|------|---------|----------|------|------|--------|---------|------|------|------|------|--------|---------|--------------|------|------------|
| m     | m/min | lb  | rpm     | klbft  | psi  | gal/min | spm      | Deg  | DegC | s/m    | s/m     | pcf  | lcf  | ppf  | *    | bbf    | rpm     | rpm          | PSI  | Hr         |
| 2960  | 59.8  | 3.2 | 182     | 3.3    | 2341 | 211     | 49       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 9.6     | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.80 | 556    | 30      | 152          | 0    | 0.3        |
| 2961  | 16.7  | 3.4 | 183     | 3.5    | 2307 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.2   | 11.2    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.92 | 560    | 30      | 152          | 0    | 0.6        |
| 2962  | 9.4   | 3.8 | 181     | 3.7    | 2343 | 211     | 49       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 11.1    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.78 | 558    | 30      | 152          | 0    | 0.7        |
| 2963  | 25.6  | 3.1 | 183     | 3.8    | 2303 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.2   | 11.1    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.73 | 557    | 30      | 152          | 0    | 0.9        |
| 2964  | 17.4  | 4.8 | 153     | 0.0    | 2179 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.2   | 11.1    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.82 | 557    | 0       | 152          | 0    | 1.0        |
| 2965  | 16.9  | 6.8 | 153     | 0.0    | 2163 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 11.0    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.80 | 543    | 0       | 152          | 0    | 1.6        |
| 2966  | 25.1  | 6.5 | 153     | 0.0    | 2147 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 10.9    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.84 | 543    | 0       | 152          | 0    | 2.0        |
| 2967  | 28.8  | 6.6 | 153     | 0.0    | 2139 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 10.8    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.89 | 541    | 0       | 152          | 0    | 2.5        |
| 2968  | 29.1  | 6.8 | 152     | 0.0    | 2130 | 211     | 49       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 10.7    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.91 | 537    | 0       | 152          | 0    | 3.0        |
| 2969  | 10.7  | 2.4 | 152     | 0.0    | 2104 | 210     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 10.8    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.91 | 561    | 0       | 152          | 0    | 3.1        |
| 2970  | 7.2   | 2.8 | 190     | 4.1    | 2268 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.2   | 10.8    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.66 | 554    | 37      | 152          | 0    | 3.3        |
| 2971  | 6.9   | 2.7 | 189     | 4.2    | 2269 | 211     | 49       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 10.8    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.63 | 554    | 37      | 152          | 0    | 3.4        |
| 2972  | 6.1   | 2.2 | 189     | 4.3    | 2292 | 211     | 49       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 10.7    | 73.3 | 74.3 | 74.9 | 0.63 | 556    | 37      | 152          | 0    | 3.5        |
| 2973  | 27.1  | 3.3 | 152     | 0.0    | 2149 | 211     | 49       | 57.4 | 59.4 | 10.3   | 10.7    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.63 | 551    | 0       | 152          | 0    | 3.9        |
| 2974  | 17.9  | 4.7 | 153     | 0.0    | 2165 | 211     | 50       | 57.4 | 59.4 | 10.2   | 10.7    | 73.3 | 74.4 | 74.9 | 0.81 | 548    | 0       | 152          | 0    | 4.2        |

پس از بررسی داده های جمع آوری شده و بررسی کیفیت داده ها و همچنین جهت جلوگیری از همپوشانی داده ها، ۶ داده اصلی با توجه به عوامل موثر بر نرخ نفوذ، انتخاب شد:

وزن روی مته و دوران مته نماینده شرایط عملیاتی حفاری، وزن گل به عنوان نماینده شرایط سیال حفاری، اختلاف فشار و میزان گل پمپاژ شده به چاه به عنوان نماینده هیدرولیک سر مته و در نهایت زمان کارکرد مته به عنوان نماینده فرسودگی سر مته انتخاب شدند. (جدول ۲-۲)

جدول (۲-۲) بازه داده های انتخاب شده



|       |       |       |           |       |           |       |                     |
|-------|-------|-------|-----------|-------|-----------|-------|---------------------|
|       | □ □ □ | □ □ □ | □ □ □ □ □ | □ □ □ | □ □ □ □ □ | □ □ □ | □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ |
|       | □ / □ | □ □ □ | □ □ □     | □ □ □ | □ □ □ □ □ | □ □ □ | □ □                 |
| □ □ □ | ۲.۱۲  | ۱.۲   | ۳۰        | ۱۵۰۰  | ۲۰۰       | ۷۰    | ۰.۰۰۵               |
| □ □ □ | ۱۰.۲۸ | ۱۸.۱۸ | ۲۰۵       | ۲۹۵۰  | ۲۹۴       | ۱۴۰   | ۱۷۵                 |

جهت استفاده از داده ها و به دلیل نوسان بسیار زیاد داده ها، اصلاحاتی در داده های انتخابی صورت گرفت و به جای اصل داده ها، از داده های تجمیعی آن استفاده گردید، بدین صورت که داده اصلاحی با داده های قبل از خود جمع و پس از آن بر تعداد آن ها تقسیم گردد. با این روش توانستیم نوسان موجود را حذف و کیفیت و وضوح داده ها را بالا ببریم. همچنین جهت بهتر شدن وضوح داده ها، داده های فوق را با ضریب ۱۰۰ وارد محاسبات نمودیم (به جز وزن روی مته که با ضریب ۱۰۰۰ تبدیل شد). جدول ۲-۳ نتیجه حاصل را نشان می دهد.

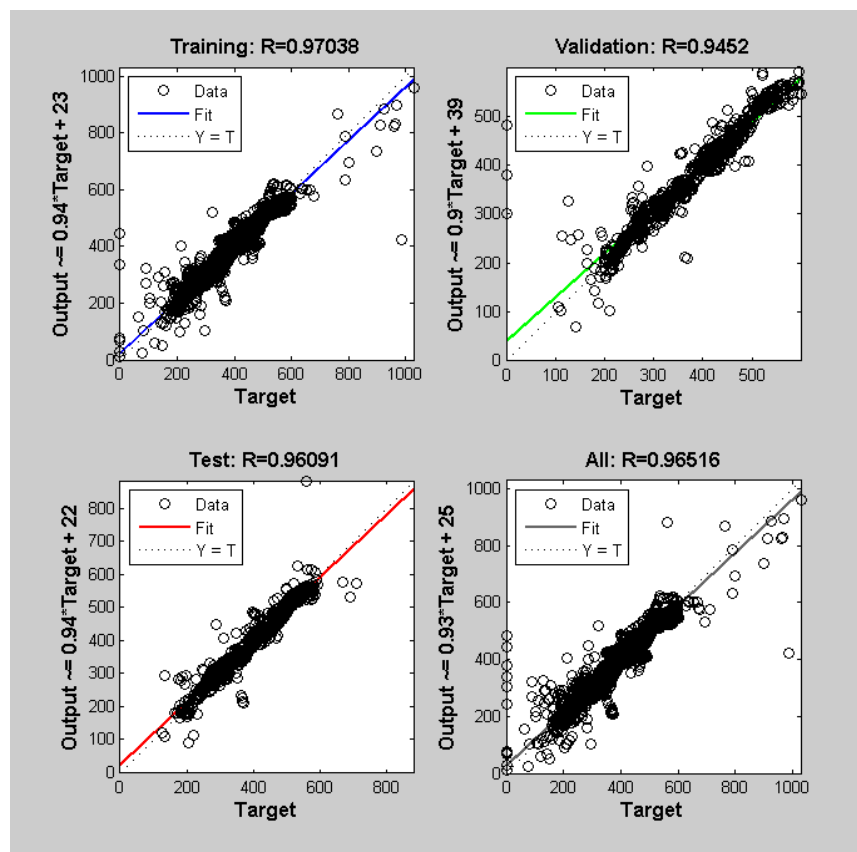
جدول (۲-۳) داده های اصلاح شده

| ROP*100 compulative | WOB     | BIT RPM    | SPP         | FLOWIN      | MWI       | TRUNTIM |
|---------------------|---------|------------|-------------|-------------|-----------|---------|
| cm/h                | lb      | RPM*100    | PSI*100     | 100*gal/min | PCF*100   | hr*100  |
| ۳۲۲.۵۸۰۶۴۵۲         | ۳۱۸۹.۲  | ۱۸۲۰.۲     | ۲۳۴۰.۶۵     | ۲۱۱۳۳.۶     | ۷۳۳۰.۸۷۶۸ | ۳۱      |
| ۳۴۴.۸۲۷۵۸۶۲         | ۳۲۸۴.۲  | ۱۸۲۲.۶     | ۲۳۲۳۸۰      | ۲۱۱۳۳.۶     | ۷۳۳۱.۲۲   | ۵۸      |
| ۴۰۵.۴۰۵۴۰۵۴         | ۳۴۶۸.۴  | ۱۸۱۹۶.۶۶۶۷ | ۲۳۳۰۲۶.۶۶۶۷ | ۲۱۱۳۳.۶     | ۷۳۳۱.۲۰۹۶ | ۷۴      |
| ۴۵۹.۷۷۰۱۱۴۹         | ۳۳۶۹.۱  | ۱۸۲۱۸.۲۵   | ۲۳۲۳۳۵      | ۲۱۱۳۳.۶     | ۷۳۳۱.۱۴۲  | ۸۷      |
| ۵۰۰                 | ۳۶۵۵.۲۸ | ۱۷۶۳۶.۶    | ۲۲۹۴۵۵      | ۲۱۱۳۳.۶     | ۷۳۳۱.۱۰۱۴ | ۱۰۰     |

داده های حفره ۶ اینچ ۶ چاه توسط این روش جمع آوری و اصلاح شد که مجموعاً بانک اطلاعاتی شامل بیش از ۴۰۰۰۰ داده تشکیل شد.

### توسعه مدل

در این تحقیق، یک شبکه سه لایه ای تغذیه رو به جلو توسعه داده می شود. که شامل لایه های ورودی، نهفته و خروجی می باشد. (مدل شبکه عصبی انتخاب شده مدل ۳ لایه ای همراه با ۱۶ نورون در ۲ لایه اول و یک نورون در لایه آخر است.) در ساختن یک مدل اولین مرحله فرایند سازی و آماده کردن داده میدان است. پس از آن جهت بررسی تمام شرایط موجود و حالت های ممکن، داده ها در شش گروه قرار داده شدند. داده های گروه یک، داده های شامل یک چاه، گروه دو متشکل از داده های دو چاه، الی گروه ۶ که شامل داده های ۶ چاه می باشد. برای هر گروه، از ۷۵٪ داده ها جهت آموزش، ۱۵٪ جهت فرآیند تایید و ۱۰٪ جهت تست استفاده شد. خروجی کلیه شبکه ها، ضریب انطباق [1] بالای ۰.۹۵ را نشان می داد. شکل شماره (۲-۲) عملکرد شبکه ۶ چاهی را نشان می دهد.



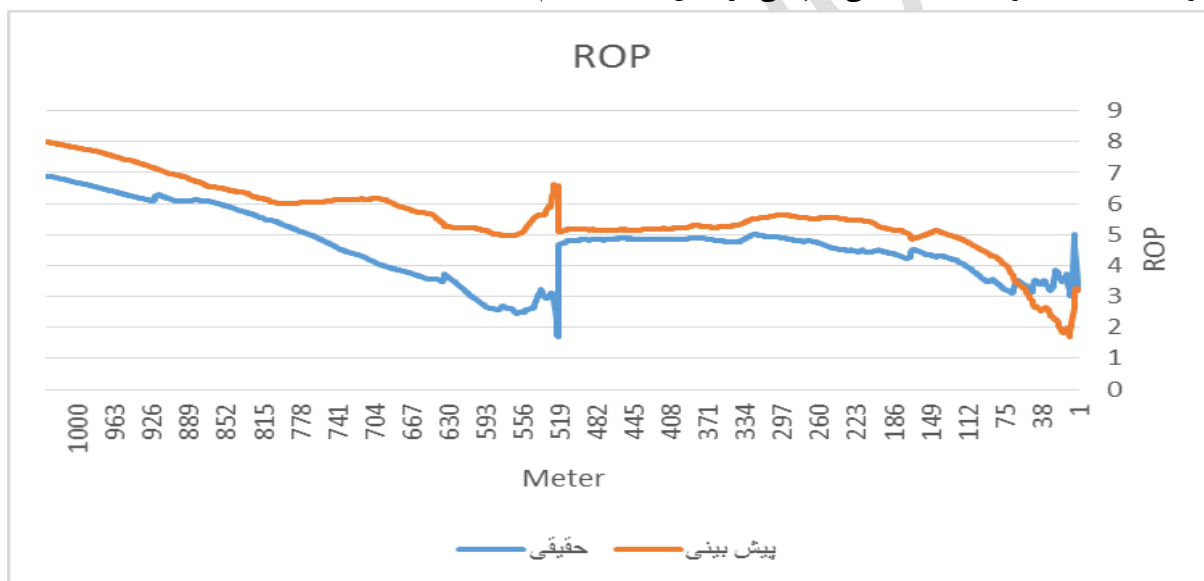
شکل شماره (۲-۲) عملکرد شبکه حاصل از داده های ۶ چاه

حال شبکه را با داده های حقیقی از یک چاه واقعی در این میدان تست می کنیم که در حال حفاری حفره ۶ اینچ می باشد، جهت این کار، ما داده های حقیقی را تا ۵۰۰ متر اول حفاری را انتخاب و جهت ۵۰۰ متر باقیمانده از میانگین پارامترهای حفاری که در پروپوزال پیش بینی شده استفاده کردیم و توسط برنامه Excel به این اعداد به صورت تصادفی به میزان درصد انحراف که در شکل (۲-۳) موجود است اضافه یا کم کردیم به گونه ای که از میزان حداقل و حداکثر میزان مجاز منحرف نشوند. البته اگر پروپوزال موجود بوده یا عملکرد دکل حفاری در چاه های قبلی و در همین عمق موجود باشد، میتوان از آنها به جای داده های تصادفی استفاده کرد. سپس این داده ها را در ۶ شبکه موجود تست کردیم. نتیجه را در جدول (۲-۴) مشاهده می کنید.

جدول شماره (۲-۴) نتیجه تست چاه حقیقی با شبکه های عصبی تشکیل شده

| ردیف | مقدار نفوذ حقیقی (متر) | مقدار نفوذ شبکه عصبی (متر) | میانگین درصد خطا |
|------|------------------------|----------------------------|------------------|
| ۱    | ۳۸.۸                   | ۶۱۹۹۰                      | ۰.۹۸             |
| ۲    | ۶۴                     | ۵۹۷۷۱                      | ۰.۹۸             |
| ۳    | ۶۱.۳۹                  | ۲۰۱۸۶                      | ۰.۹۸             |
| ۴    | ۷۳                     | ۲۳۲۸۳                      | ۰.۹۵             |
| ۵    | ۵۶                     | ۱۸۲۵۲                      | ۰.۹۶             |
| ۶    | ۷۱.۶                   | ۱۶۰۵۵                      | ۰.۹۶             |

بهترین همگرایی و کمترین میزان انحراف متعلق به شبکه تشکیل شده از ۶ چاه است که نمودار نرخ نفوذ حقیقی و نمودار نرخ نفوذ به دست آمده توسط شبکه عصبی ۶ چاهی در شکل (۲-۳) با هم مقایسه شده اند.

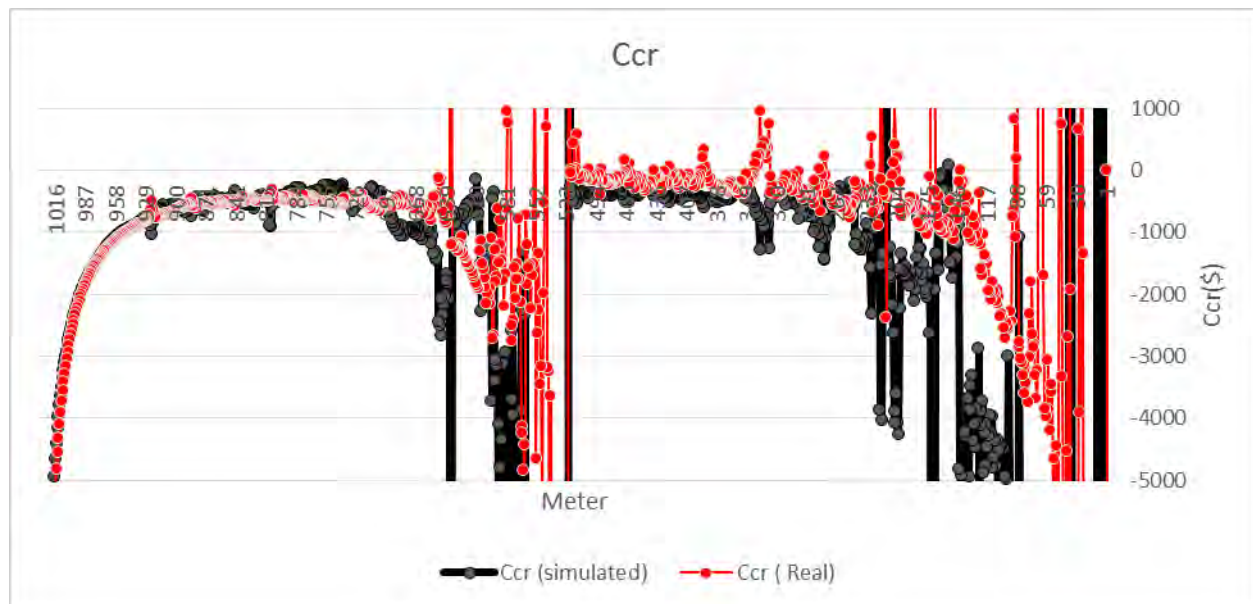


شکل (۲-۳) مقایسه نمودار نرخ نفوذ حقیقی با نرخ نفوذ به دست آمده از شبکه عصبی ۶ چاهی

با توجه به نمودار مشخص است که حتی با داشتن محدوده پارامترهای حفاری، به خوبی می توان نرخ نفوذ و روند آن را مشخص کرد..

### ۲-۳) رسم نمودار Ccr و پیش بینی زمان تعویض مته

با توجه به نرخ نفوذ به دست آمده و زمان کارکرد مته، عمق متناظر با نرخ نفوذ را محاسبه و پس از آن هزینه بحرانی Ccr را محاسبه کردیم و ( شکل ۲-۴) با استفاده از آن رسم گردید.



( شکل ۴-۲) نمودار مقایسه هزینه بحرانی پیش بینی شده با میزان حقیقی آن

با توجه به نمودار، کاملاً واضح است که حتی با اینکه نرخ نفوذ به دست آمده در برخی نقاط اختلافات مشهودی با میزان حقیقی داشت، ولی در نتیجه نهایی و نقطه تعویض مته، هر دو نمودار در در نقاط تعویض  $Ccr=0$  دقیقاً در یک نقطه قرار گرفته اند. بنابراین روش ما توانایی پیش بینی زمان تعویض مته را دارد، به شرطی که پارامترهای اولیه را به درستی انتخاب کرده باشیم.

### ۳- نتیجه گیری

با توجه به نمودارهایی که از داده های حقیقی رسم شده اند، به وضوح چند نکته مهم و نتیجه را می توان مشاهده کرد.  
۱- شبکه های عصبی میتوانند به عنوان یک ابزار قابل اعتماد جهت پیش بینی نرخ نفوذ و استفاده از آن در انتخاب بهینه مته و سایر پارامترها در حفاری چاههای جدید باشد.

۲- در این مطالعه رویکردی جدید در بررسی نرخ نفوذ و انتخاب زمان تعویض مته بر مبنای داده های چاه قبلی، داده های حین حفاری و داده های پروپوزال و شبکه عصبی مصنوعی معرفی شد. تأیید شبکه عصبی به وسیله تست شبکه با داده هایی که در آماده سازی به کار نرفته بودند، بدست آمد. تصاویر مربوط به آماده سازی و آزمون این شبکه، کارایی آن را اثبات نمود.

۳- ضریب همبستگی مجموعه آزمایش و مجموعه تست ۰٫۹۵ می باشد. این عدد نشانگر توانایی و قدرت بالای شبکه های عصبی در پیش بینی نرخ نفوذ مته است.

۴- می توان با تهیه شبکه عصبی از چاه های قبلی، در سازند های یکنواخت و در اندازه ثابت حفره چاه، نرخ نفوذ را با دقت خوبی پیش بینی کرد. با توجه به جدول (۵-۲) می توان دید که با افزایش تعداد چاه ها، همگرایی داده ها بهتر و انحراف داده ها کمتر می شود.

۵- با استفاده از داده های پروپوزال و بازه هایی که به طور معمول برای آن ها مشخص می شود، می توان نرخ نفوذ را فقط بدون در نظر گرفتن مترژ حفاری شده و فقط با داده های عمر مته، وزن روی مته و چرخش مته، وزن گل و فشار ته چاه و میزان پمپاژ گل پیش بینی کرد. البته با ادامه حفاری و به دست آوردن داده های حقیقی، در هر لحظه می توان این شبکه را اصلاح کرد و داده های حقیقی را با داده های پروپوزال جایگزین کرد.

- ۶- استفاده از روش فوق جهت پیش بینی نرخ نفوذ، می تواند با صرفه جویی زمان برای ناظر حفاری، او را جهت انتخاب زمان تعویض مته یازی کند و از اشتباهات انسانی بکاهد.
- ۷- با توجه به نمودار حقیقی و نمودار پیش بینی، می توان شرایط غیرعادی را در نقاطی که این دو نمودار با یکدیگر تفاوت فاحش دارند به راحتی تشخیص داد.
- ۸- با توجه به نرخ نفوذ و عمق هدف، می توان با توجه به معادله (۲) برآورد و پیش بینی از نرخ هزینه حفاری به ازای هر متر به دست آورد که امری مهم برای انتخاب زمان تعویض مته و همچنین برای مناقصه ها و شرکت هایی است که در صنعت نفت حضور دارند.

### تشکر و قدردانی

با تشکر از دکتر عبدالنبی هاشمی و مهندس محمد علی محمدی به خاطر راهنمایی های ارزشمندشان و شرکت CNLC به دلیل حمایت از این تحقیقات و کمک های فنی بی دریغ ایشان.

### مراجع

1- مهدی نظیری، پایان نامه کارشناسی ارشد، تخمین بهترین زمان تعویض مته در حفاری جهت دار به صورت بلادرنگ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، (۱۳۹۲)

- [2]. Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E. and Young, F.S.  
“**Applied Drilling Engineering**”, 9th ed., SPE, Richardson, TX, 2003
- [3]. Lummus, J.L.:”Drilling Optimization”,*JPT*, SPE-AIME 2744, Pan American Petroleum Corp,Nov. 1970, p. 1379
- [4]. Simmons, E.L., “A Technique for Accurate Bit Programming and Drilling Performance Optimization”, IADC/SPE 14784, IADC/SPE Drilling Conference, Dallas, TX, 10–12 Feb. 1986
- [5] <http://www.irmatlab.ir/>