



www.ElitesJournal.ir



تعیین وزن روی مته بهینه در drill-off test با استفاده از شبکه عصبی و انرژی ویژه مکانیکی

حسین یآوری^{۱*}، محمد فضائلی زاده^۲، رسول خسروانیان^۳، وهاب حسینی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دکتری مهندسی نفت دانشگاه کلگری و استاد مدعو دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴- رئیس عملیات مته و بهینه سازی حفاری، شرکت دانا انرژی

*h.yavari@aut.ac.ir

ارسال: اسفند ماه ۹۵ پذیرش: اردیبهشت ماه ۹۶

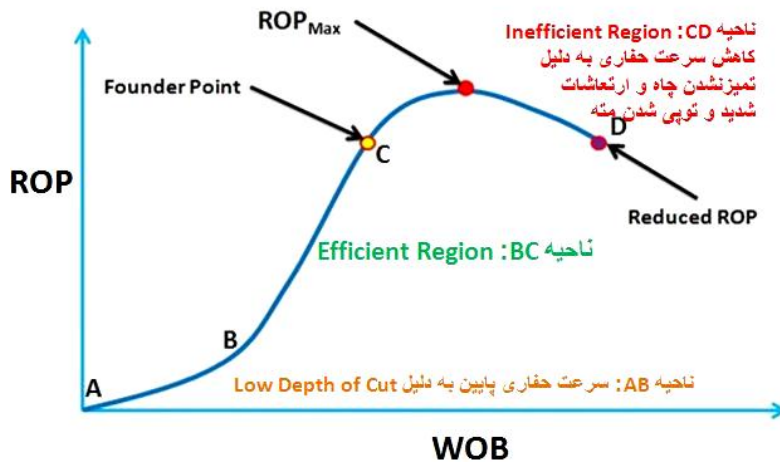
خلاصه

برای تعیین مقادیر بهینه وزن روی مته و سرعت چرخش مته از drill-off test استفاده می شود. در این تست در بازه های محدود حفاری، وزن های مختلفی اعمال می شود و سرعت حفاری اندازه گیری می شود. وزن روی مته ای که بیشترین سرعت حفاری را به ما می دهد، به عنوان وزن روی مته بهینه در نظر گرفته می شود. در سال ۱۹۹۱ بورگوین و همکاران اثبات کردند وزن روی مته ای که بیشترین سرعت حفاری را به ما می دهد نقطه بهینه نیست، بلکه نقطه پیشینه سرعت حفاری، در خارج از محدوده کارآمد حفاری قرار دارد. زیرا در این ناحیه هیدرولیک موجود نمی تواند همه خرده ها را از زیر مته حفاری خارج کند و مته دوباره اقدام به خرد کردن خرده های مرحله قبل می کند. به عبارت دیگر انرژی بیشتری صرف می کنیم اما درصد کمی از این انرژی اضافه صرف حفاری سازند جدید می شود در نتیجه انرژی ویژه مکانیکی بیشتر می شود و بازده عملیات حفاری کاهش می یابد و مته بیشتر ساییده می شود، از طرف دیگر ارتعاشات رشته حفاری و احتمال تویی شدن مته افزایش می یابد. نقطه بهینه، نقطه ای است که دارای کمترین انرژی ویژه مکانیکی است. برای یافتن این نقطه ابتدا با استفاده از داده های تست و استفاده از شبکه عصبی مدل انرژی ویژه مکانیکی برای سازند به دست آورده شد. سپس با استفاده از زمان سیر موج فشاری و برشی و خواص سنگ و درصد شیل آن مقدار مقاومت فشاری تک محوره و سه محوره سنگ محاسبه شد سپس مقدار بازده مکانیکی حفاری به ازای مقادیر مختلف وزن روی مته محاسبه شد و وزن روی مته ای که بیشترین بازده و کمترین انرژی ویژه مکانیکی را داشت به عنوان مقدار بهینه معرفی شد.

کلمات کلیدی: انرژی ویژه مکانیکی، سرعت حفاری، شبکه عصبی، وزن روی مته، بازده مکانیکی.

۱. مقدمه

افزایش پارامترهای حفاری نظیر وزن روی مته همواره سبب افزایش سرعت حفاری نمی شود بلکه از یک محدوده به بعد افزایش وزن روی مته نه تنها باعث افزایش سرعت حفاری نمی شود بلکه با ایجاد مشکلاتی نظیر ایجاد ارتعاشات شدید در سیستم و تویی شدن مته و ساییده شدن بیشتر مته سبب کاهش سرعت حفاری نیز می شوند. شکل (۱) اثر وزن روی مته بر سرعت حفاری را نشان می دهد [۱].



شکل ۱- نمودار سرعت حفاری برحسب وزن روی مته و سرعت چرخش مته [۱]

در وزن‌های پایین، وزن روی مته اثر کمی بر سرعت حفاری دارد (ناحیه AB). در ناحیه دوم که ناحیه کارآمد یا پربازده نام دارد وزن روی مته و سرعت حفاری رابطه خطی با یکدیگر دارند و افزایش وزن روی مته سبب افزایش سرعت حفاری می‌شود (ناحیه BC). نقطه C نقطه تقلا یا Founder Point نام دارد که توسط گرنیت بینگهام در سال ۱۹۵۰ معرفی شد. این نقطه حداکثر وزن روی مته و سرعت چرخش مته در ناحیه پربازده را نشان می‌دهد که اگر پارامترهای اعمال شده از این مقادیر فراتر روند هیدرولیک توان خارج کردن همه خرده‌ها از زیر مته را ندارد در نتیجه مته دوباره اقدام به خرد کردن خرده‌های مرحله قبل می‌کند [۲]. به عبارت دیگر انرژی بیشتری صرف می‌کنیم اما درصد کمی از این انرژی اضافه صرف حفاری سازند جدید می‌شود در نتیجه انرژی ویژه مکانیکی بیشتر می‌شود و بازده عملیات حفاری کاهش می‌یابد و مته بیشتر ساییده می‌شود، از طرف دیگر ارتعاشات رشته حفاری و احتمال توپی شدن مته افزایش می‌یابد و هزینه‌ها افزایش می‌یابند [۳]، [۴] و [۵].

متاسفانه در آزمایش drill-off test وزن روی مته متناظر با ROP_{Max} به عنوان نقطه بهینه معرفی می‌شود. در حالی که بورگوین و همکاران این نقطه را از نقاط ناکارآمد معرفی می‌کنند که در آن اگرچه سرعت حفاری کمی بیشتر Founder Point است اما به دلیل اینکه خرده‌های حفاری به طور کامل از زیر مته خارج نمی‌شوند و مته دوباره قسمتی از خرده‌های مرحله قبل را خرد می‌کند، در نتیجه انرژی بیشتری می‌شود و انرژی ویژه مکانیکی بیشتر می‌شود و بازده کاهش می‌یابد، مته بیشتر ساییده می‌شود، ارتعاشات افزایش می‌یابد و احتمال توپی شدن مته نیز بیشتر می‌شود [۱] و [۴].

همانطور که گفته شد نقطه بهینه همان نقطه Founder Point است، لذا باید پس از انجام آزمایش drill-off test نقطه Founder Point که دارای کمترین انرژی ویژه مکانیکی و بیشترین بازده است را پیدا کنیم. بازده عملیات حفاری با نسبت مقاومت سنگ به انرژی ویژه مکانیکی بیان می‌شود. ابتدا با استفاده از داده‌های تست و شبکه عصبی مدل انرژی ویژه مکانیکی را برای سازند به دست می‌آوریم سپس مقاومت سه محوره سنگ را محاسبه می‌کنیم و به ازای مقادیر مختلف وزن روی مته مقدار بازده عملیات حفاری را محاسبه می‌کنیم. نقطه دارای بیشترین بازده همان نقطه بهینه می‌باشد.

۲. مروری بر سایر مطالعات پیشین صورت گرفته توسط محققین

محمد رستگار و همکارانش در سال ۲۰۰۸ از ترکیب مدل سرعت حفاری با رابطه هزینه حفاری برای تعیین مته بهینه برای حفاری سازند و بهینه سازی پارامترهای حفاری استفاده کردند [۶]. محمود بتایی در سال ۲۰۱۰ از مدل های سرعت حفاری برای پیش بینی سرعت حفاری و بهینه سازی پارامترهای حفاری استفاده کرد [۷]. تونا ایرن و همکارانش در سال ۲۰۱۰ با استفاده ترکیب مدل بورگوین و یانگ و رابطه هزینه حفاری و مدل پیش بینی سایش مته حفاری مدلی برای بهینه سازی

¹ Rate of Penetration

بلادرنگ پارامترهای حفاری نظیر وزن روی مته و سرعت چرخش مته ارایه کردند [۸]. مصطفی شجری در سال ۲۰۱۱ از مدل های مختلفی برای تعیین ضرایب مدل بورگوین و یانگ برای پیش بینی سرعت حفاری و تعیین پارامترهای بهینه حفاری استفاده کرد [۹]. پینگ یی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با استفاده از مدل وارن برای پیش بینی سرعت حفاری و الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه پارامترهای بهینه حفاری را تعیین کردند [۱۰].

۳. انرژی ویژه مکانیکی

انرژی ویژه مکانیکی نخستین بار توسط تیله^۱ در سال ۱۹۶۴ معرفی شد [۱۱]. انرژی ویژه مکانیکی بیانگر مقدار انرژی مصرف شده برای تخریب حجم مشخصی از سنگ است و به عنوان شاخصی جهت اندازه گیری بازده مکانیکی کار انجام شده بر روی سنگ می باشد [۱۲]. تیله انرژی ویژه مکانیکی در حفاری دورانی را به صورت زیر تعریف کرد [۱۱].

$$MSE = \frac{WOB}{A_{Bit}} + \frac{120\pi NT}{A_{Bit} ROP} \quad (1)$$

که در رابطه (۱) داریم:

MSE	انرژی ویژه مکانیکی، psi
WOB	وزن روی مته، lb
A_{Bit}	سطح مقطع مته، in ²
RPM	سرعت چرخش مته، round/min
T	گشتاور، lb _f .ft
ROP	سرعت حفاری، ft/hr

حداقل انرژی ویژه زمانی به دست می آید که انرژی مصرف شده برای حفاری سنگ، دقیقاً برابر با مقاومت فشاری سه محوره سنگ باشد [۱۱]. در رابطه (۲) عبارت CCS مقاومت سه محوره سنگ بر حسب psi می باشد.

$$MSE_{Min} = CCS \quad (2)$$

۴. گشتاور روی مته

گشتاور روی مته توسط سیستم^۲ MWD در میدان اندازه گیری می شود. اما از آنجایی که بیشتر مقادیر سطحی داده ها در دسترس است، برای محاسبه گشتاور روی مته پارامتری به نام ضریب اصطکاک لغزشی مته که با μ نشان داده می شود تعریف می شود. با توجه به مقدار μ و مقدار وزن روی مته، گشتاور روی مته به صورت زیر محاسبه می شود [۱۳].

$$T = \frac{\mu D_{Bit} WOB}{36} \quad (3)$$

که در رابطه (۳) داریم:

T	گشتاور روی مته، lb _f .ft
μ	ضریب اصطکاک لغزشی مته، بدون بعد
D_{Bit}	قطر مته، in
WOB	وزن روی مته، lb

از آنجایی که در آزمایش drill-off test تنها متغیر وزن روی مته است برای مدل کردن سرعت حفاری نمی توان از مدل هایی چون بورگوین و یانگ، مدل هارلند، مدل وارن و ... استفاده کرد [۱۴]، [۱۵] و [۱۶]. مدل هایی نظیر بینگهام [۱۶] و

¹ Teale

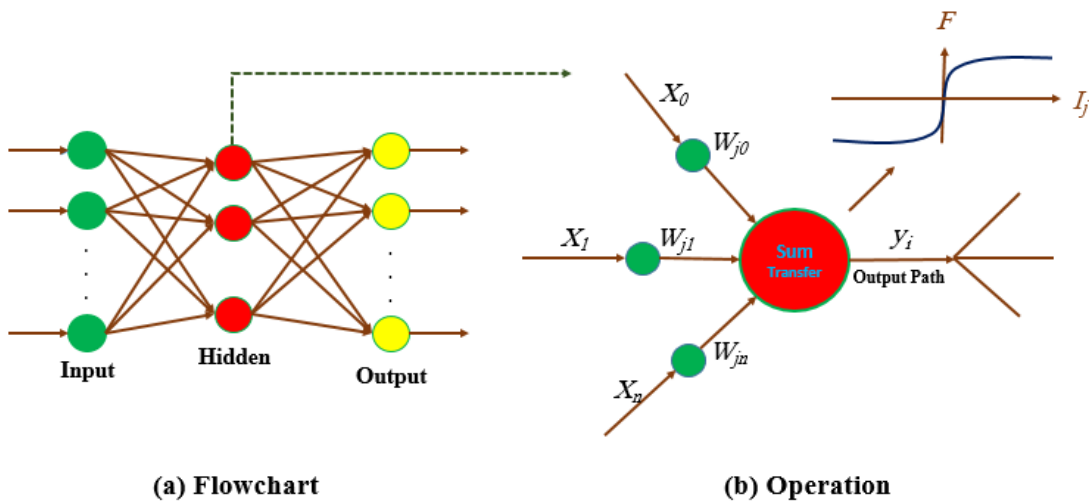
² Measure While Drilling

کائینگهام [۱۷] و بورگوین و یانگ نیز رابطه سرعت حفاری و وزن روی مته را به درستی نشان نمی دهند زیرا در این مدل ها اثر وزن روی مته بر سرعت حفاری همواره افزایشی است و افزایش وزن روی مته همواره سرعت حفاری را افزایش می دهد و نشانه ای از Founder Point در آن ها دیده نمی شود [۱۸]. برای به دست آوردن رابطه بین سرعت حفاری و وزن روی مته از شبکه عصبی استفاده شد.

$$ROP = f_{ANN}(WOB) \quad (4)$$

۵. شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی مصنوعی مدل های ریاضی ساده شده ای هستند، که عملکرد مشابهی با شبکه های عصبی زیستی دارند و الهام گرفته از مغز انسان می باشند. در شبکه های عصبی مصنوعی تعداد زیادی واحدهای پردازنده وجود دارد که نورون نامیده می شوند. تعداد زیادی از نورون های متصل به یکدیگر یک لایه را تشکیل می دهند. معمولا نورون ها در لایه های موازی عمل می کنند [۱۹]. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است یک شبکه عصبی از سه لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی تشکیل شده است.



شکل ۲- ساختار شبکه های عصبی [۲۰]

که در آن X_i ها ورودی های واحدهای پردازنده می باشند، W_{ij} وزن و θ_j یک مقدار آستانه می باشد. در هر واحد پردازنده (نورون) وزن هر ورودی در مقدار آن ضرب می شود سپس مقادیر آن ها با هم جمع می شود و مقدار آستانه به آن اضافه می شود. I_j ورودی مرکب نام دارد. هم چنین تابع انتقال نامیده می شود و y_i همان خروجی تابع انتقال می باشد. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است ورودی مرکب از تابع انتقال می گذرد تا خروجی یک نورون را ایجاد کند و خروجی یک نورون به عنوان ورودی نورون بعدی در نظر گرفته می شود. این فرآیند در روابط ۵ و ۶ نشان داده شده است [۲۱].

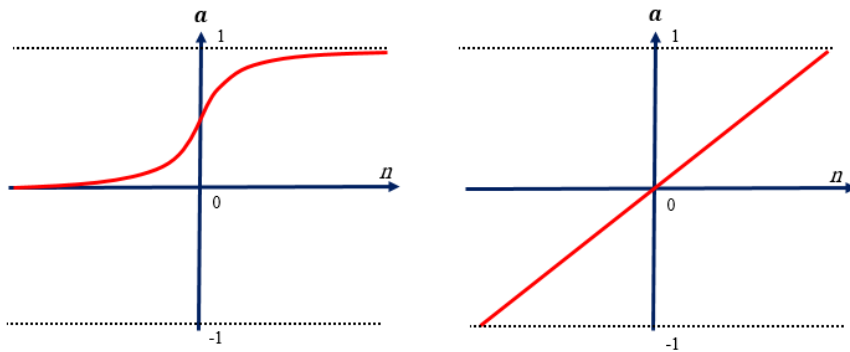
$$I_j = \sum_{i=1}^n W_{ji} X_i + \theta_j \quad \text{Summation} \quad (5)$$

$$y_i = f(I_j) \quad \text{Transfer} \quad (6)$$

توابع انتقال به دو دسته خطی و غیر خطی تقسیم می شوند که انتخاب نوع آن ها بستگی به هدف شبکه و داده های ورودی دارد. توابع انتقال غیرخطی نظیر (LOGSIG & TANSIG) و توابع انتقال خطی نظیر (POSLIN & PURELIN) می باشند. شکل (۳) شمایی از توابع انتقال خطی و توابع انتقال غیر خطی را نشان می دهد. یکی از معروف ترین توابع انتقال تابع Logarithmic Sigmoid function می باشد. معادله ریاضی این تابع به صورت زیر می باشد [۲۰].

$$f = \frac{1}{1 + e^{-av}} \quad (7)$$

که در آن a عدد ثابتی است که بین ۰.۰۱ تا ۱ می باشد.



شکل ۳- تابع انتقال SIGMOID و تابع انتقال خطی [۲۰]

۶. مقاومت فشاری تک محوره سنگ

یکی از اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه بازده حفاری مقاومت فشاری تک محوره سنگ می باشد. با استفاده از لاگ دانسیته، لاگ صوتی و لاگ گاما با روابط زیر می توان UCS را محاسبه نمود [۷].

$$K = \frac{\Delta t_s}{\Delta t_c} \quad (8)$$

$$\mu = \frac{0.5K - 1}{K^2 - 1} \quad (9)$$

$$E = a \left(\frac{2\rho_b}{1 + \mu} \right) \left(\frac{1}{\Delta t_s^2} \right) \quad (10)$$

$$UCS = E(0.008V_{shale} + 0.00045(1 - V_{shale})) \quad (11)$$

۷. مقاومت فشاری سه محوره سنگ

برای محاسبه مقاومت فشاری سه محوره سنگ با توجه به میزان تراوایی سنگ از روابط زیر استفاده می شود.

برای سنگ های تراوا که $\phi > 0.2$ مقاومت فشاری سه محوره به صورت زیر محاسبه می شود [۱۲].

$$CCS_{Permeable} = UCS + DP + 2DP \frac{\sin FA}{1 - \sin FA} \quad (12)$$

$$DP = P(ECD) - \text{Pore pressure} \quad (13)$$

$$FA = \text{Rock Internal Angle of Friction} \quad (14)$$

برای سنگ های ناتراوا که $\phi < 0.05$ مقاومت فشاری سه محوره توسط اسکمپتون^۱ به صورت زیر ارایه شد [۲۲].

$$CCS_{Skempton} = UCS + DP_{Sk} + 2DP_{Sk} \frac{\sin FA}{1 - \sin FA} \quad (15)$$

$$PP_{Skempton} = PP - \frac{OB - ECD}{3} \quad (16)$$

¹ Skempton

$$DP_{Sk} = ECD - PP_{Sk} \quad (17)$$

برای سازندهای نیمه تراوا که $0.05 \leq \varphi \leq 0.2$ داریم [۱۲].

$$CCS_{Mix} = CCS_{Permeable} \frac{\varphi - 0.05}{0.15} + CCS_{Skempton} \frac{0.2 - \varphi}{0.05} \quad (18)$$

در روابط (۸) تا (۱۸) داریم:

Δt_S	زمان سیر موج برشی، $\mu Sec / ft$
Δt_C	زمان سیر موج برشی، $\mu Sec / ft$
K	نسبت زمان سیر موج برشی به فشاری
E	مدول الاستیسیته یانگ، psi
a	ضریب تبدیل واحد
ρ_b	چگالی توده، kg / m^3
V_{Shale}	کسر شیل موجود در سازند
UCS	مقاومت تک محوره سنگ، psi
DP	فشار اختلافی، psi
FA	زاویه داخلی اصطکاک سنگ، deg
ECD	چگالی گردش معادل گل، ppg
φ	تخلخل، %
PP	فشار سازندی، psi
PP_{Sk}	فشار سازندی اسکمپتون، psi
OB	فشار روبره، psi
EFF_M	بازده مکانیکی حفاری، %

۸. بازده عملیات حفاری

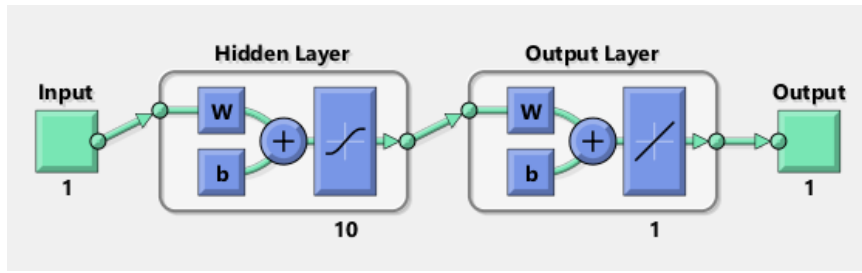
مفهوم حداقل انرژی ویژه و حداکثر بازده مکانیکی نخستین بار توسط تیله بیان شد. حداقل انرژی ویژه برابر با مقاومت سه محوره سنگ می باشد بر همین اساس بازده مکانیکی برای هر نوع مته به صورت زیر تعریف می شود [۱۱].

$$EFF_M = \frac{CCS}{MSE} * 100 \quad (19)$$

۹. مطالعه موردی

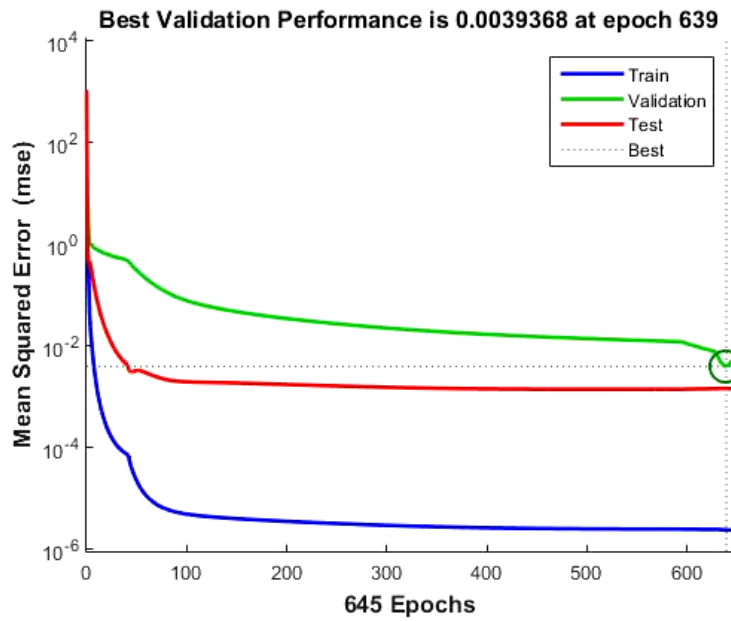
در این بررسی از شبکه عصبی برای ساخت مدلی برای پیش بینی سرعت حفاری با استفاده از داده های آزمایش drill-off استفاده شد. شبکه دارای یک ورودی می باشد. وزن روی مته تنها ورودی شبکه و خروجی آن سرعت حفاری می باشد. شکل

(۴) ساختار مدل طراحی شده را نشان می دهد. این مدل دارای یک ورودی و یک خروجی و یک لایه مخفی می باشد. تعداد نورون های لایه مخفی برابر ۱۰ می باشد.



شکل ۴- ساختار شبکه عصبی طراحی شده

از داده های ورودی ۷۰ درصد آن برای آموزش شبکه و ۱۵ درصد آن برای ارزیابی شبکه و ۱۵ درصد آن برای تست شبکه استفاده شد. شکل (۵) عملکرد شبکه را نشان می دهد.



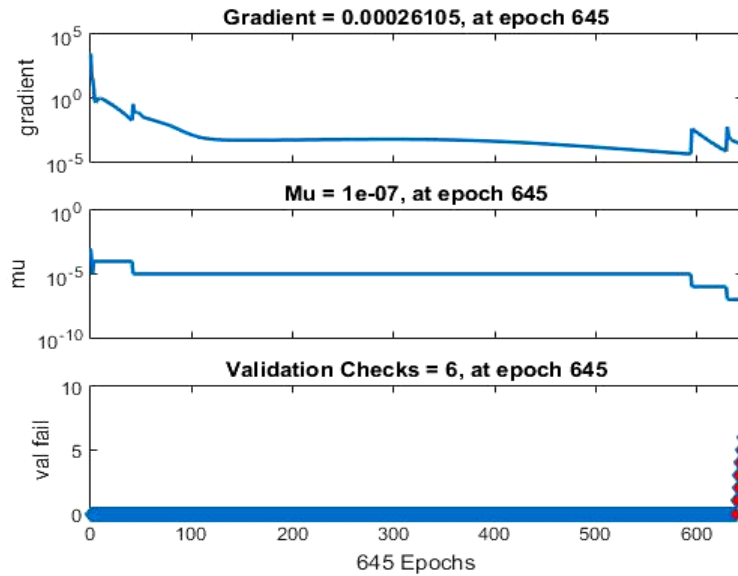
شکل ۵- عملکرد شبکه عصبی طراحی شده

در فرآیند آموزش شبکه از الگوریتم لوببرگ-مارکورت استفاده شد. شکل (۶) نمودار خطای شبکه را نشان می دهد.



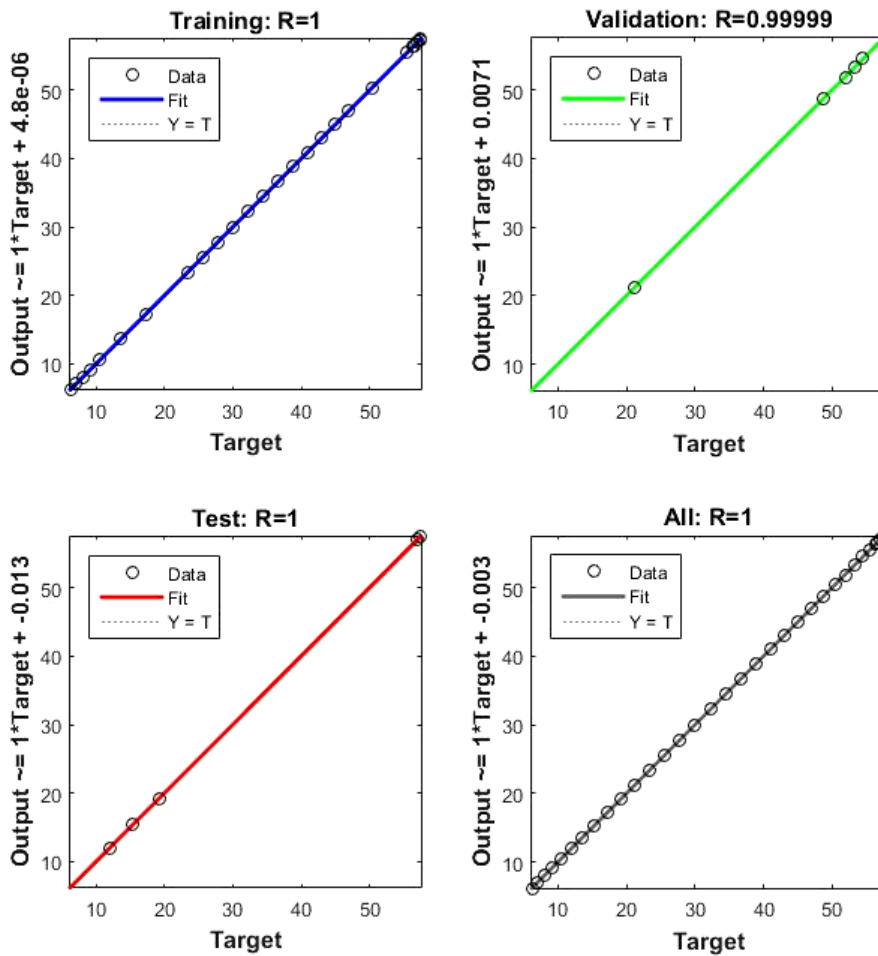
شکل ۶- نمودار خطای شبکه عصبی طراحی شده

شکل (۷) روند آموزش شبکه عصبی طراحی شده را نشان می دهد.



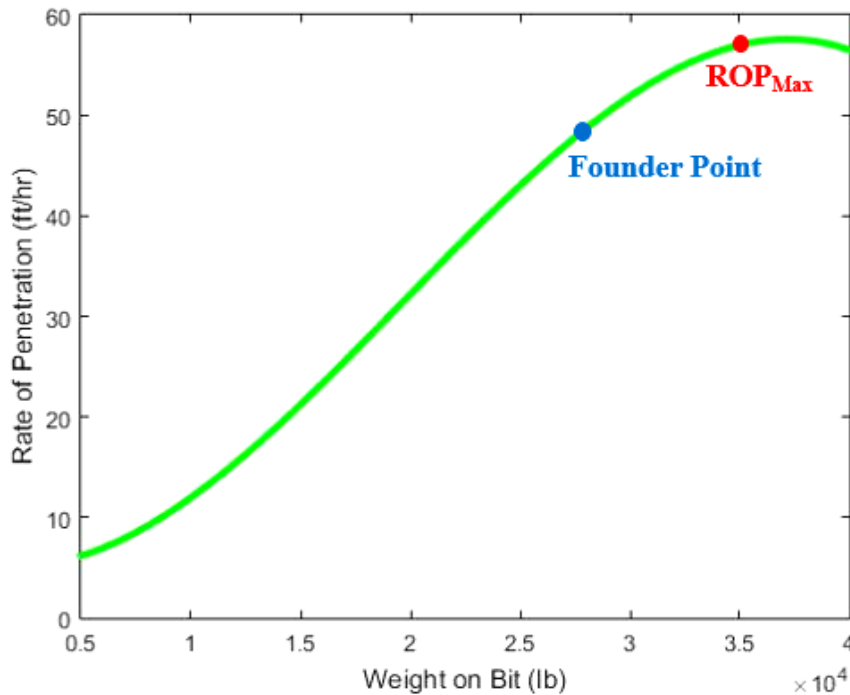
شکل ۷- روند آموزش شبکه عصبی طراحی شده

شکل (۸) رگرسیون مجموعه داده ها را به صورت جداگانه بررسی کرده است. محور افقی مقادیر هدف یا همان مقدار واقعی را نشان می دهد و محور عمودی خروجی شبکه را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۸) دیده می شود خروجی های شبکه بر مقادیر واقعی منطبق می باشند که دقت بالای شبکه را نشان می دهد.



شکل ۸- رگرسیون شبکه عصبی طراحی شده

شکل (۹) سرعت حفاری برحسب وزن روی مته که با استفاده از شبکه عصبی به دست آمده است را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود نقطه بهینه حفاری (کمترین انرژی ویژه مکانیکی) و ROP_{Max} تفاوت چندانی از نظر سرعت حفاری ندارند اما برای رسیدن به بیشینه سرعت حفاری حدود ۷۰۰۰ پوند وزن بیشتری باید اعمال شود. بخش عمده این انرژی اضافه صرف خرد کردن دوباره خرده‌های زیر مته و ساییده شدن بیشتر مته می‌شود و بخش کوچکی از آن صرف افزایش سرعت حفاری می‌شود.



شکل ۹- نمودار سرعت حفاری برحسب وزن روی مته با استفاده از شبکه عصبی

گشتاور روی مته بر اساس رابطه (۳) به صورت زیر مدل می‌شود.

$$T = \frac{0.65 * 12.25 * WOB}{36} = 0.22WOB$$

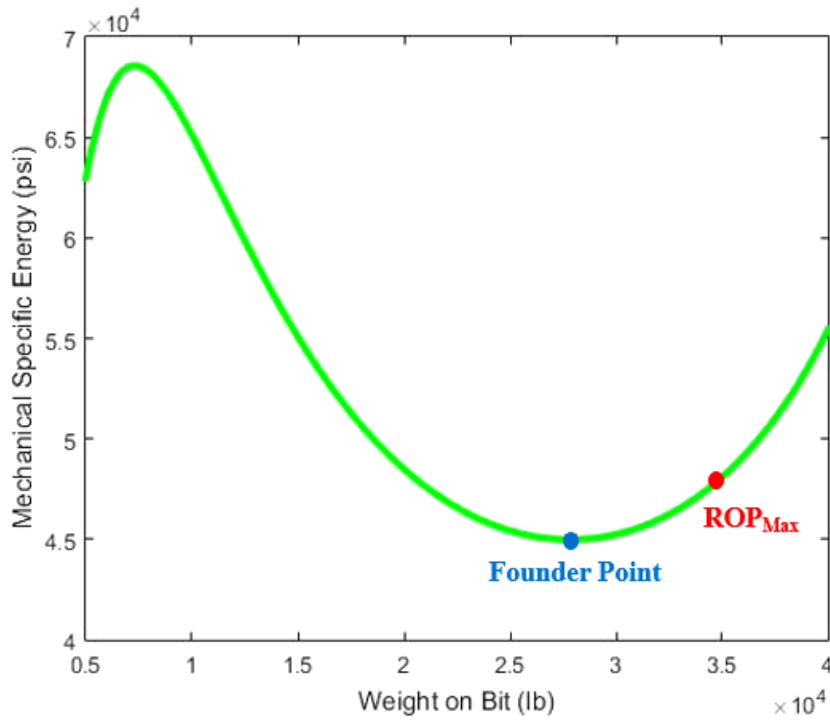
با استفاده از رابطه (۱) مدل انرژی ویژه مکانیکی برای این سازند به صورت زیر است.

$$MSE = \frac{WOB}{117.8} + \frac{120\pi 110 * 0.22WOB}{117.8 f_{ANN}(WOB)}$$

تنها متغیر مدل وزن روی مته می‌باشد که به ازای مقادیر مختلف وزن روی مته مقدار انرژی ویژه مکانیکی را می‌توان محاسبه کرد. با توجه به اینکه مقاومت فشاری سه محوره سنگ برابر با ۱۶۰۰۰ پوند بر اینچ مربع به دست آمد، بازده مکانیکی حفاری بر اساس رابطه (۱۹) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

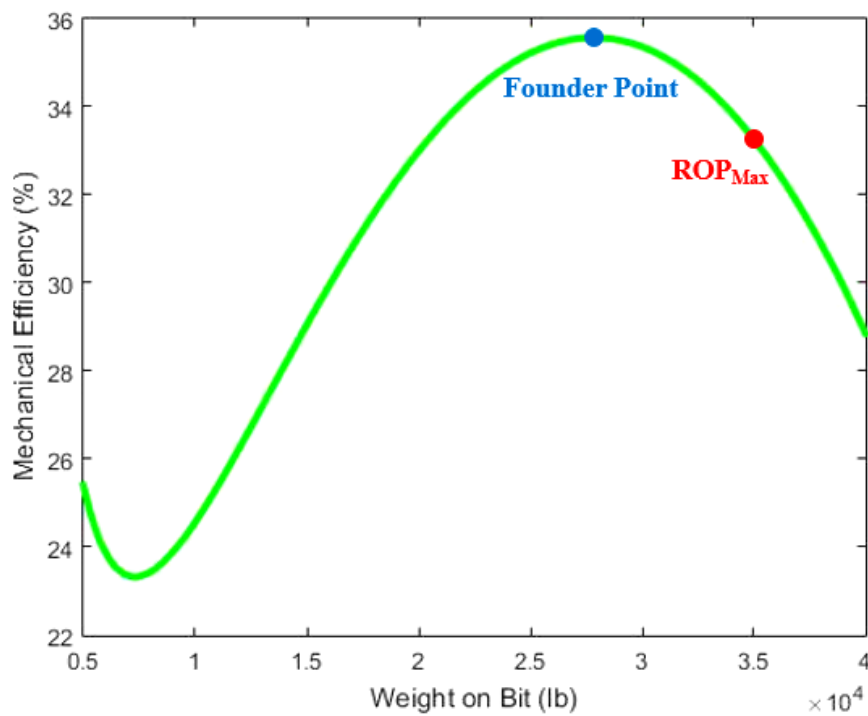
$$EFF = \frac{16000}{MSE} * 100$$

شکل (۱۰) نمودار انرژی ویژه برحسب وزن روی مته را نشان می‌دهد. نقطه ROP_{Max} دارای ۷۰۰۰ پوند وزن روی مته بیشتر و ۳۰۰۰ پوند بر اینچ مربع انرژی ویژه مکانیکی بیشتر نسبت به Founder Point بود، اما بازده مکانیکی آن ۲.۴ درصد کمتر از نقطه Founder Point بود، زیرا بخش عمده این انرژی اضافه صرف خرد کردن خرده‌های ایجاد شده از مرحله قبل و ساییده شدن مته می‌شود و بخش کمی از آن صرف افزایش سرعت حفاری می‌شود. در نتیجه سرعت ساییده شدن مته، ارتعاشات رشته حفاری و احتمال توبی شدن مته و اتلاف انرژی مکانیکی افزایش می‌یابند.



شکل ۱۰- نمودار انرژی ویژه مکانیکی بر حسب وزن روی مته

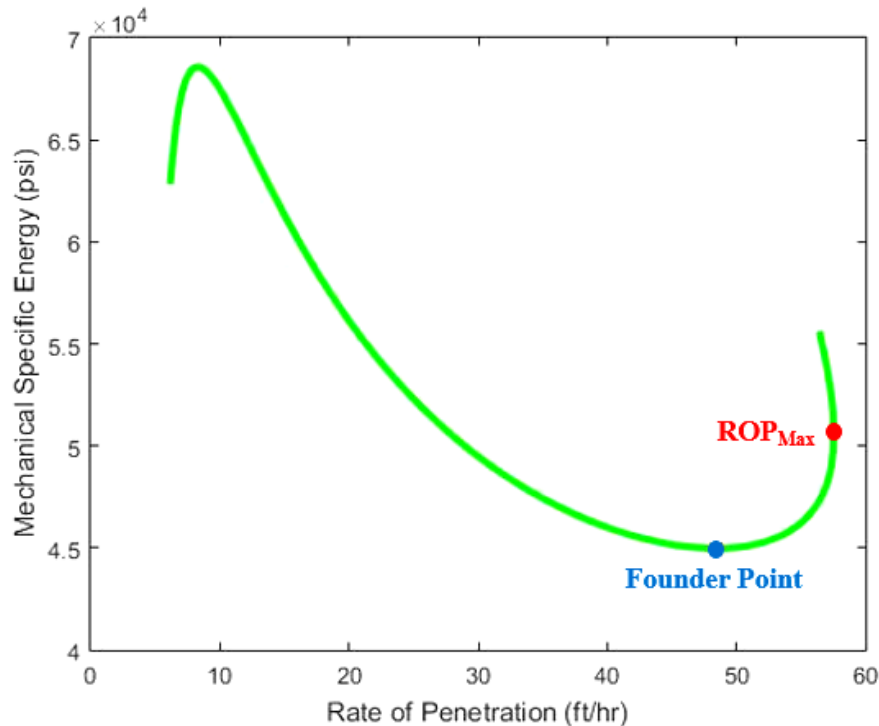
با توجه به مقدار مقاومت سنگ و انرژی ویژه، نمودار بازده مکانیکی حفاری بر حسب وزن روی مته به صورت زیر می‌باشد.



شکل ۱۱- نمودار بازده مکانیکی حفاری بر حسب وزن روی مته

شکل (۱۲) نمودار انرژی ویژه مکانیکی بر حسب سرعت حفاری را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود ابتدا با افزایش سرعت حفاری، انرژی ویژه مکانیکی کاهش می‌یابد سپس با افزایش سرعت حفاری به این دلیل که هیدرولیک نمی‌تواند همه

خرده‌ها را از زیر مته خارج کند و بخشی از انرژی صرف خرد کردن دوباره خرده‌های مرحله قبل می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود Founder Point و نقطه ROP_{Max} تفاوت کمی از نظر سرعت دارند اما انرژی ویژه آن‌ها بسیار متفاوت است. به عبارت دیگر انرژی زیادی صرف شده اما بخش کمی از آن صرف افزایش سرعت حفاری شده است و بخش عمده آن تلف شده است.



شکل ۱۲- نمودار انرژی ویژه بر حسب سرعت حفاری

۱۰. نتیجه‌گیری

در آزمایش drill-off test نقطه بیشینه سرعت حفاری، نقطه بهینه نیست و باید با استفاده از داده‌های به دست آمده از تست، مدل انرژی ویژه مکانیکی را برای سازند به دست آورد، سپس نقطه دارای حداقل انرژی ویژه که دارای حداکثر بازده مکانیکی نیز هست را تعیین کرد. این نقطه که Founder Point نام دارد نقطه بهینه برای حفاری است. نقطه بیشینه سرعت حفاری دارای وزن روی مته بیشتر، انرژی ویژه مکانیکی بیشتر و بازده مکانیکی کمتری نسبت به Founder Point است در حالی که سرعت آن کمی بیشتر است. زیرا بخش عمده این انرژی اضافی، صرف خرد کردن دوباره خرده‌های مانده در زیر مته و ساییده شدن بیشتر مته شده است. اگر امکان این محاسبات بر روی دکل نبود، به عنوان یک قانون سرانگشتی از وزن روی مته معادل با سرعت حفاری بیشینه ده درصد کم می‌کنیم، این وزن، معادل با وزن روی مته Founder Point خواهد بود. همچنین استفاده از داده‌های چاه‌های مجاور تخمین بهتری به ما خواهد داد.

۱۱. مراجع

1. Bourgoyne, A.T., Chenevert, M.E., Millheim, K.K., and Young, F.S. Jr; (1991); Applied Drilling Engineering, second edition. Chapter 5. Richardson, Texas, USA: Society of Petroleum Engineers.
2. Leon H. Robinson, Mark S. Ramsey; (2001); " Are You Drilling Optimized or Spinning Your Wheels?"; AADE National Drilling Technical Conference, AADE 01-NC-HO-31.

3. Hossein Yavari, Mohammad Fazaelizadeh, Rassool Khosravanian, Vahab Hassani, (2017), Correction of Drill-off Test Using Artificial Neural Network and Mechanical Specific Energy, Second National Conference on Petroleum Geomechanics, National Iranian Oil Company, Exploration Directorate, Tehran, Jan 24-26, 2017.
4. Fred E. Dupriest, William L. Koederitz; (2005); "Maximum Drill Rates with Real-Time Surveillance of Mechanical Specific Energy", SPE/IADC Drilling Conference; SPE/IADC 92194.
5. Kingsley Ahmadi, Ibiye Iyalla, Robert Gordon; (2012); "Application of Mechanical Specific Energy Techniques in Reducing Drilling Cost in Deepwater Development", SPE 156370
6. M. Rastegar, G. HAreland, R. Nygaard, A. Bashari, (2008). Optimization of multiple bit runs based on ROP models and cost equation: A new methodology applied for one of the Persian Gulf Carbonate fields. IADC/SPE 114665.
7. Mahmood Bataee, Mohammad Reza Kamyab, Rahman Ashena, (2010). Investigation of various ROP models and optimization of drilling parameters for PDC and Roller-Cone bits in Shadegan Oil field, SPE 130932.
8. Tuna Eren, M. Evren Ozbayoglu, (2010). Real-Time optimization of drilling parameters during drilling operation, SPE 129126.
9. Ping Yi, Aniket Kumar, Robello Samuel, (2014). Real-Time rate of penetration optimization using the Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA). SPE-167824-MS.
۱۰. مصطفی شجری، (۲۰۱۱)، تحلیل کاربردی مدل های مختلف ارایه شده برای بهینه سازی عملیات حفاری در میدان نفتی A در جنوب غربی ایران، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۷۹، خرداد ماه سال ۱۳۹۰.
11. Teale, R, (1965). "The Concept of Specific Energy in Rock Drilling," *Inti. J. Rock Mech. Mining Sci.* (1965) 2,57-73.
12. Hector U. Caicedo, William L. Calhoun, Russ T. Ewy; (2005); "Unique ROP Predictor Using Bit-Specific Coefficient of Sliding Friction and Mechanical Efficiency as a Function of Confined Compressive Strength Impacts Drilling Performance", SPE/IADC Drilling Conference; SPE/IADC 92576.
13. R.C. Pessier, M.J. Fear; (1992); " Quantifying Common Drilling Problems with Mechanical Specific Energy and a Bit-Specific Coefficient of Sliding Friction", SPE 24584.
14. Bourgoyne Jr., A. T and F.S.Young, (1974). A multiple Regression Approach to optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection, SPE4238.
15. Warren, T.M., (1988). Penetration-Rate performance pf roller-cone bits, SPE Drilling Engineering, pp. 83-88, March 1988.
16. Bingham, M.G., (1965). A New Approach to Interpreting Rock Drillability. *Oil & Gas J.* 63 (14): 195–200 (reprint). Tulsa: Petroleum Publishing Company.
17. Maurer, W.C., (1962). The "Perfect-Cleaning" Theory of Rotary Drilling. *J Pet Technol* 14 (11): 1270–1274; *Trans.*, AIME, 225. SPE-408-PA. DOI: 10.2118/408-PA.
۱۸. حسین یاورى، محمد فضائلى زاده، رسول خسروانى، (۱۳۹۵)، "نقص های مدل بورگوین و یانگ در بهینه سازی پارامترهای حفاری"، چهارمین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی با رویکرد توسعه ارتباط بین دولت، دانشگاه و صنعت.
19. Menhrotra K, Mohan C K, Ranka S. (1997). *Elements of Artificial Neural Networks*. Cambridge: MIT Press, 1997.
20. Javad Gholamnejad, Narges Tayarani, (2010). Application of artificial neural networks to the prediction of tunnel boring machine penetration rate, *Mining Science and Technology* 20 (2010) 0727–0733.
21. Shahin M, Jaksa M, Maier H. (2001). Artificial neural networks application in geotechnical engineering. *Australian Geomechanics*, 2001, 36(1): 49-62.
22. Skempton A.W.; (1954); "Pore Pressure Coefficients A and B", *Geo Technique* (1954), Volume 4 143-147.

Determining Optimum Weight on Bit in Drill-off Test Using Artificial Neural Network and Mechanical Specific Energy

Hossein Yavari¹; Mohammad Fazaelizadeh²; Rasool Khosravanian³; Vahab Hassani⁴

Abstract

Drill-off test is utilized to determine the optimum weight on bit and rotary speed during drilling. In this test the weight on bit that gives the highest rate of penetration is considered as the optimum weight on bit. In 1991, Bourgoyne et.al introduced the maximum rate of penetration point as a non-optimal point at inefficient region because at this point available hydraulic can't clean underneath the bit and the bit crushes the cuttings from previous step for another time causing over wearing of the bit, bit balling and vibrations. In other words, more energy is consumed, but a small percentage of this additional energy will be spent on drilling new formation. Therefore, mechanical specific energy increases and mechanical efficiency decreases. In drill-off test the point that has the minimum mechanical specific energy is optimal point. For determining this point at first, mechanical specific energy model for a particular formation was constructed using drill-off test data, Artificial Neural Network and analytical models. Then geomechanical properties of the rock such as unconfined compressive strength and confined compressive strength were determined using compression transit time and shear transit time and bulk density. Finally, mechanical efficiency and mechanical specific energy were calculated for different values of weight on bit. The weight on bit that has the minimum mechanical specific energy and maximum mechanical efficiency is the optimal point.

Keywords: Mechanical Specific energy, Rate of Penetration, Neural Network, Weight on Bit, Mechanical Efficiency.

¹ M.Sc Student at Amirkabir University of Technology, Drilling Engineering, h.yavari@aut.ac.ir

² Faculty Member of Amirkabir University of Technology, mfazaeli@yahoo.com

³ Faculty Member of Amirkabir University of Technology, rasoolkhosravanian@yahoo.com

⁴ Head of Bit Operation & Drilling Optimization, Dana Energy, hassani.vahab@danaenergy.ir