مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ٤٧١-٤٧٥

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

مدل‌سازی و تحلیل ارتعاشات خود تحریک رشته حفاری در فرآیند حفاری افقی

محمد مهدی صالحی[۱]، حامد مرادی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

* تهران، صندوق پستی ۹۵۶۷-۱۱۱۵۵، hamedmoradi@sharif.edu

چکیده

امروزه استخراج اقتصادی نفت و گاز و امکان تولید فرآورده‌های آن‌ها برای کشورها از اهمیت بالایی برخوردار است. تاکنون بیشتر توجهات به منظور استخراج نفت، منوط به استفاده از چاه‌های عمودی بوده است. اما مدتی است که عدم دسترسی به منابعی که نمی‌توان به‌سادگی به وسیله‌ی چاه‌های عمودی به آن‌ها دسترسی داشت (مانند منابع زیر دریا)، دولت‌ها و به تبع آن دانشمندان و مهندسان را برآن داشته است تا راهی دیگر برای استخراج آن‌ها بیابند. حفاری افقی از جمله راه‌کارهای کنونی می‌باشد. در این مقاله ابتدا به بررسی دینامیک رشته حفاری افقی پرداخته می‌شود و با توجه به نیروهای تاثیرگذار، ارتعاشات میله حفاری و معادله حاکم بر آن استخراج می‌گردد. پس از به‌دست آوردن معادلات حاکم و تعیین شرایط مرزی مسئله، مودهای اصلی سیستم استخراج شده و جابجایی مکان مته حفاری به وسیله روش جمع مودها به‌دست می‌آید. در ادامه، شبیه‌سازی مساله انجام می‌گردد و نتایج آن با توجه به تعداد مودهای انتخابی ارائه گشته و در نهایت همگرایی پاسخ سیستم با افزایش تعداد مودها دیده می‌شود.

کلید واژگان: حفاری افقی، مدل دینامیکی، روش جمع مودها، ارتعاشات

Dynamic modeling and analysis of self-exited vibration in horizontal drill strings

Mohammad Mahdi Salehi, Hamed Moradi *

Department of Mechanical Engineering, Sharif University, Tehran, Iran
* P.O.B. 11155-9567, Tehran, Iran, hamedmoradi@sharif.edu

ABSTRACT

Today economical extraction of oil and gas and their products is an important issue for many countries. Up to now, vertical wells have been used for oil extraction but some existing wells cannot be reached by using vertical drilling; for example the wells under a sea. Therefore, this makes the governments and scientists to concentrate on the solutions of finding a new way to reach them. Horizontal drilling is one of the new ways to reach such worthy wells. In this article, dynamics of the horizontal drill string is studied. Then, according to the forces that affect the dynamics of drilling, its vibration is analyzed. After finding the boundary conditions and normal modes of the system with using mode summation method, displacement of the bit is obtained. Finally, dynamics of the horizontal drill string is simulated and the effect of increasing the number of modes and the mode convergence phenomenon is discussed.

Keywords: Dynamic Model, Horizontal Drilling, Mode Summation, Vibration.

۱- مقدمه

صنعت نفت و گاز دارای وزن زیادی در اقتصاد دنیا می‌باشد که مهم‌ترین قدم برای رسیدن به آن، استفاده از عملیات حفاری می‌باشد [۱]. یکی از راه‌های جدید در استخراج نفت و گاز ، استفاده از حفاری‌های افقی می‌باشد. تا کنون بیشتر حفاری‌ها به‌صورت عمودی انجام می‌شده است که دارای محدودیت-هایی در رسیدن به برخی از منابع می‌باشد. اگر مخزن به گونه‌ای باشد که نتوان به‌صورت عمودی به آن رسید، می‌بایست از این روش استفاده کرد که مثال آن چاه‌هایی است که در زیر منابع طبیعی مانند دریاها و دریاچه‌ها قرار دارد که در این صورت اگر نتوان از سکو استفاده نمود و یا هزینه آن بالا باشد، حفاری افقی گزینه مناسبی برای استخراج می‌باشد.

سیستم‌های دریل معمولا از چند قسمت عمده تشکیل شده است که عبارتنداز مته حفاری، طوق[۱] حفاری و لوله حفاری است. مته‌ای که در انتهای مجموعه قرار دارد برای شکستن سنگ‌ها و نفوذ در زمین می‌باشد. طوق دریل به‌منظور اعمال وزن به مته استفاده می‌شود [۲]. لوله حفاری که به‌صورت توخالی است، دارای طول‌های چند کیلومتری است که وظیفه انتقال تورک[۲] را از سیستم حرکتی به مته بر عهده دارد [۳]. به علت عملکرد مهم دو جزء مته و طوق حفاری، به ترکیب این دو قسمت مجموعه ته‌چاهی (BHA[۳]) گفته می‌شود [۴].

با توجه به کاربرد رو به گسترش حفاری افقی در دنیا، برای بهره‌گیری از آن می‌بایست مراحل ابتدایی تحلیلی را انجام نمود. در میله حفاری به علت ماهیت نوسانی بودن انجام فرآیند، سیستم دارای حرکتی هارمونیک‌گونه است. در نتیجه تحلیل ارتعاشات این سیستم از دوجهت دارای اهمیت است:

- بررسی حرکت‌های خروجی میله حفاری به منظور شناخت دقیق سیستم
- ایجاد امکانی برای جذب ارتعاشات نامطلوب، به‌منظور افزایش بازده حفاری

1. Collar

2. Torque

3. Bottom Hole Assembly

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

M. M. Salehi, H. Moradi, Dynamic modeling and analysis of self-exited vibration in horizontal drill strings, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 471-475, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.54.4]

به‌علت آن‌که ارتعاشات باعث خوردگی اجزای حفاری می‌گردد و بازده و نرخ تولید را کاهش می‌دهد، کنترل آن از اهمیت بالایی برخوردار است [۵]. به‌منظور کنترل ارتعاشات ایجاد شده در دریل حفاری می‌توان از روش‌های گوناگونی استفاده نمود. ابتدا با استفاده از سیستم خطی‌سازی شده حول نقطه‌کاری می‌توان کنترل ساده‌ای را بر روی سیستم اعمال نمود و در صورت کارکرد مناسب از آن استفاده کرد. البته در مراحل آینده در صورت عدم پاسخ‌دهی مناسب می‌توان از انواع جاذب‌های مختلف (جاذب غیرفعال [۶] و فعال[۷]) و یا روش‌های کنترل غیرخطی مناسب مانند روش مدهای لغزشی[1] استفاده نمود که این موارد در کارهای آینده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مقاله‌ی آقای ریتو [۸]، اولین مقاله در رابطه با حفاری افقی می‌باشد و سعی کرده است تا مقدمات بحث و همچنین تحلیل‌هایی براساس فرضیات مطابق با حفاری، مطرح گردد. در این مقاله یکی از مشکلات این بود که مدل اصطکاک عدم قطعیتی همراه خود داشت. به همین دلیل با استفاده از مدل-های اتفاقی[2] در مورد اصطکاک معادلات استخراج گردیده است. در این مدل تابعی با توزیع گوسین[3] برای تابع تصحیح کننده‌ی اصطکاک درنظر گرفته شده است.

در مقاله‌ای دیگر، آقای ساموئل [۹] به بررسی دقیق‌تری از اصطکاک پرداخته‌اند. در این مقاله هدف رسیدن به جمع‌بندی جامعی برای بدست آوردن ضریب اصطکاک (COF[4])، که یک ضریب بدون بعد می‌باشد، است. در ادامه سعی گردیده است تا تخمین‌های مناسبی از تورک، نیروی درگ[5]، نیروهای جانبی وارد شده به مته، جابجایی‌ها برای تحلیل ارتعاشات و در نظر گرفتن نیروهای الاستیک برای تخمین فشار انجام پذیرد.

برخی از عدم قطعیت‌هایی که در این مقاله به آن‌ها اشاره شده است عبارتند از: تأثیر ویسکوزیتی، نشیمن‌گاه برش، میزان روان‌کاری گل حفاری

آقایان آدنی و اندرسون [۱۰] پس از توضیحات کلی درباره حفاری، اصطکاک را یک عامل محدود کننده در فرآیند حفاری می‌داند. این مقاله بر روی طراحی چاه نفت تمرکز دارد که اصطکاک را به حداقل برساند و در آن به تعدادی از اشکال مختلف چاه اشاره شده است و معادلاتی برای یافتن تورک و نیروی درگ ارائه شده است.

یکی از مسائل موردنظر در حفاری، مبحث مدل‌سازی برخورد مته می-باشد. آقای پرندل و همکاران [۱۱] در مورد قانون برخورد مته با سنگ در فرآیند حفاری جهت‌دار تحقیق نموده‌اند. ایشان سه عامل را در روشن نبودن مدل‌های قبل اشاره می‌کنند که در ادامه می‌آیند. ۱) طبیعت قانون برخورد با سنگ در حفاری و رابطه بین نیرو و نفوذ. ۲) شناسایی کمیت‌های حرکتی موثر در نیرو و ممان وارد بر مته. ۳) جدا نمودن هندسه مته و مشخصات سنگ در قانون برخورد.

گاهی اوقات مته به‌صورت یک بلوک ساده که دارای دوران است مدل-سازی شده است تا مدل بدست آمده ساده‌تر گردد [۱۱]. این مقاله، تحقیق را به دو بخش کلی تقسیم نموده است. در ابتدا بررسی معادله حاکم موردنظر است و پس از آن یافتن پارامترهای درگیر در معادله را در دستور کار قرار می‌دهد.

آقای جعفری و همکاران [۱۲] درباره اثرات گل حفاری و وزن مته در پایداری و ارتعاشات رشته حفاری تحقیق نموده‌اند. براساس این مقاله، سرعت گردش گل حفاری را بر روی پایداری و ارتعاشات سیستم دارد. مدل این سیستم براساس حفاری عمودی است و ارتعاشات خمشی و محوری در آن مورد بررسی قرار گرفته است.

اگر ملاک ادامه‌ی کار، مقاله‌ی آقای ریتو [۸] قرار داده شود، می‌بایست ابتدا همان مدل ساده شده بررسی گردد و بتوان براساس همین مقاله، اطلاعات دقیق‌تری از نیروهای مختلف بدست آورد. سپس با استفاده از مقالات و مراجع دیگر به تدریج نیروها را به سمت واقعی شدن سوق داد تا نتایج به واقعیت نزدیک‌تر گردد. البته در مراحل بعدی کار می‌بایست براساس اشکال واقعی اجزای حفاری آن‌ها را به وسیله‌ی نرم‌افزارهای المان محدود[6] تحلیل نمود و درصورت در اختیار قرار گرفتن امکانات، نتایج را با نتایج عملی مقایسه نمود تا در نهایت بتوان از این تحقیق در پروژه‌های عملی آینده استفاده نمود.

با توجه به مقالات مرتبط که در این زمینه بررسی گردیده‌اند، خلا تحلیل سیستم حفاری از ابتدا احساس می‌گردد. در مورد حفاری عمودی این نوع از تحلیل‌ها انجام گرفته است [۱۳] اما در موضوع حفاری افقی نتایج تنها در یک مقاله و آن هم به‌صورت کلی و تحلیل نرم‌افزاری گنجانده شده است [۸].

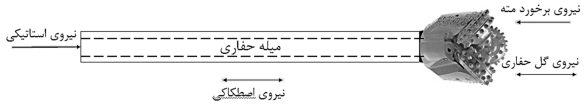
در نتیجه اولویت این مقاله که بر روی آن تمرکز بیشتری وجود خواهد داشت، استخراج معادلات حاکم بر سیستم به صورت تحلیلی خواهد بود که می‌توان در تحلیل‌های پایداری و ارتعاشاتی از آن استفاده نمود همان‌طور که در برخی از مقالات، مدل‌های دینامیکی کاهش یافته[7] مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴].

۲- استخراج معادلات

با توجه به مطالعات انجام شده، سیستم حفاری افقی شامل یک میله افقی می‌باشد که در آن تمرکز بر روی استخراج معادلات سیستم در راستای افقی است. به علت ماهیت یکپارچه سیستم، از معادلات ارتعاشی پیوسته در تحلیل آن کمک گرفته می‌شود. ابتدا به نیروهای درگیر در مسئله اشاره می‌شود تا با شناخت آن‌ها، اثرشان بر روی سیستم مشخص گردد سپس به استخراج معادله سیستم به صورت کلی پرداخته می‌شود و با توجه به شرایط مرزی تعریف شده، مود[8]های اصلی سیستم استخراج می‌گردد. در نهایت جواب معادلات حاکم بر سیستم با استفاده از روش جمع مودهای اصلی، استخراج خواهد شد.

۳- نیروی‌های درگیر در مسئله

در حفاری افقی چند نیروی اساسی وجود دارد که مشخص شدن آن و مدل دینامیکی آن برای حل معادلات الزامی می‌باشد. در ادامه به بررسی هر یک از این نیروها پرداخته می‌شود. کلیات این نیروها با توجه به مقاله آقای ریتو [۸] می‌باشد. در شکل ۱ به نام هر یک از نیروها و محل اثر هر یک از آن‌ها اشاره شده است.



شکل ۱ نیروهای وارد شده به میله حفاری

1. Sliding Mode Control
2. Stochastic Model
3. Gaussian
4. Coefficient of Friction
5. Drag

6. Finite Element
7. Reduced Order Model
8. Mode

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.54.4]

۳-۱- نیروی استاتیکی

این نیرو در ابتدای دریل حفاری وجود دارد که همواره میله را با نیرویی ثابت به سمت جلو می‌راند.

۳-۲- نیروی ناشی از گل حفاری

به‌علت جریان داشتن گل حفاری در مجموعه، این نیرو به‌وجود می‌آید. گل حفاری در سطح زمین توسط یک موتور به سوی مته جریان می‌یابد که وظیفه خنک‌کاری و حمل براده‌های ایجاد شده در اثر حفاری را برعهده دارد. به علت وجود موتور در پمپاژ گل حفاری، نیرو به‌صورت سینوسی خواهد بود.

۳-۳- نیروی ناشی از اصطکاک

به‌علت حرکت دریل به صورت افقی و تماس آن با سطح زیرین، اصطکاک وجود دارد. مسئله اصلی در این نیرو، یافتن توزیع ضریب اصطکاک است. می‌توان برای سادگی از یک ضریب اصطکاک ثابت شروع کرد و پس از آن از یک پروفیل نمایی برای تقریب ضریب اصطکاک استفاده نمود، زیرا به علت خیز ایجاد شده در وسط تیر، اصطکاک در وسط بیشتر است و این ضریب در انتها کاهش می‌یابد. در نتیجه برای ساده‌سازی تحلیل سیستم یک ضریب اصطکاک ثابت بر روی میله در نظر گرفته می‌شود.

۳-۴- نیروی ایجادی از برخورد مته

درصورت برخورد مته با سنگ‌ها در حفاری، نیرویی به‌علت این برخورد به مته وارد می‌گردد.

٤- بررسی ارتعاشات میله و معادله حاکم

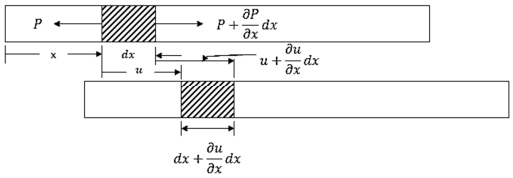
در بررسی ارتعاشات طولی، یک میله درنظر گرفته می‌شود که به علت وجود نیروهای طولی در این مجموعه، جابجایی u در راستای میله به وجود می‌آید که این جابجایی هم تابع مکان المان موردنظر می‌باشد و به‌علت خاصیت موجی پاسخ، به زمان نیز وابسته خواهد بود [۱۵]. در شکل ۲ المان جابجایی میله نمایش داده شده است. ابتدا یک المان به طول dx درنظرگرفته می‌شود و برای آن معادلات دینامیکی استخراج می‌گردد (معادله ۱).

$$EA\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=\rho A\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\rightarrow\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=\frac{E}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (۱)$$

در نتیجه معادله حرکت میله در راستای طولی استخراج گردیده است که حل کامل آن برای به‌دست آوردن نتایج، مستلزم بررسی شرایط مرزی سیستم است.

٥- بررسی شرایط مرزی و تشخیص مودهای اصلی سیستم

با تشخیص شرایط مرزی، می‌توان معادله را حل کرد و با استفاده از آن به فرکانس‌های اصلی سیستم رسید. برای به‌دست آوردن شرایط مرزی و به تبع آن مودهای سیستم، ابتدا تمام نیروها از مجموعه حذف می‌شوند و سیستم اصلی شناسایی شده و فرکانس‌های طبیعی آن استخراج می‌گردد. این عمل مانند به‌دست آوردن فرکانس طبیعی یک جرم و فنر می‌باشد که تنها جرم و



شکل ۲ جابجایی المان میله [۱۴]

فنر مورد توجه هستند و نیروهای خارجی و حتی دمپر[1] کنار گذاشته می‌شوند.

بنابراین مجموعه‌ای که قصد یافتن مودهای آن وجود دارد تنها یک میله[2] است که به‌صورت افقی قرار گرفته است. مسئله مورد بحث در پروژه، میله‌ای است که در انتهای آن یک مته وصل شده است.

باتوجه به آزاد بودن میله در سمت چپ، مقدار نیروی محوری در آن برابر با صفر خواهد بود.

در مورد شرط مرزی سمت راست، می‌بایست تعادلی برای جسم به جرم M نوشته شود.

با فرض این‌که جرم به‌صورت یکنواخت توزیع شده است که با توجه به میله حفاری این فرض درست می‌باشد، و اعمال شرایط مرزی معادله (۲) به‌دست می‌آید که ثابت‌های استفاده شده درآن در معادله‌های (۳) و (۴) آورده شده است.

$$\tan\alpha=-\alpha\beta \quad (۲)$$

که دو مجهول α و β در ادامه تعریف شده‌اند.

$$\alpha=\frac{\omega}{c}l \quad (۳)$$

$$\beta=\frac{M}{\rho Al}=\frac{M}{m} \quad (۴)$$

اگر معادله (۲) برای مودهای مختلف بررسی گردد، فرکانس‌های طبیعی سیستم از آن استخراج می‌گردد و مودهای سیستم به صورت معادله (۵) بدست خواهند آمد.

$$\varphi_n=\cos\frac{\omega_n}{c}x \quad (۵)$$

براساس مقادیر عددی اشاره شده در مقاله آقای ریتو [۸] می‌توان مودهای اصلی سیستم حفاری را استخراج نمود. حل مسئله اصلی در صورتی‌که نیروی خارجی نیز بر مجموعه وارد گردد، براساس همان تحلیل‌های انجام شده برای استخراج معادله حاکم بر سیستم به معادله (۶) منجر می‌شود.

$$EA\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+p(x,t)=\rho A\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (۶)$$

مودهای اصلی $\varphi_i(x)$ که در قسمت قبل به‌دست آمد، دارای خاصیت تعامد می‌باشد که در روند حل از آن‌ها کمک گرفته خواهد شد. پاسخ به صورت معادله (۷) در نظر گرفته می‌شود. که موسوم به‌روش جمع مودها[3] است [۱۴].

$$u(x,t)=\sum\varphi_i(x)\,q_i(t) \quad (۷)$$

با جای‌گذاری متغیرهای اشاره شده، معادله دیفرانسیلی برای بدست آوردن q_i ایجاد می‌گردد (معادله ۸).

$$\ddot{q}_i+\omega_i{}^2q_i=\frac{1}{M_i}\int_0^l p(x,t)\varphi_i(x)dx \quad (۸)$$

در نتیجه، تنها نکته‌ای که می‌بایست قبل از حل معادله (۸) مورد نظر قرار گیرد این است که تمام نیروهای درگیر در مسئله به صورت انتگرال نیرو در مود ارتعاشی تغییر کنند تا پس از یافتن q_i مقدار جابجایی کل از معادله (۷) به‌دست آید. پس از مشخص شدن معادله نهایی، نیروهای درگیر در مسئله در این معادله جایگزین می‌گردد و معادله (۹) بدست می‌آید.

$$\begin{aligned}\ddot{q}_i+\omega_i{}^2q_i=\frac{1}{M_i}\int_0^l\{&F_{\text{sta}}\delta(x)+F_0\sin(\omega_f t)\,\delta(x-l)\\&+\left[C_1\exp\left(-C_2\dot{u}(x,t)\right)-C_1\right]\delta(x-l)\\&-\mu\,\rho Ag\,\text{sign}\left(\dot{u}(x,t)\right)\}\varphi_i(x)dx\end{aligned} \quad (۹)$$

1. Damper
2. Rod
3. Mode Summation

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.54.4]

با توجه به وجود تابع ضربه در برخی از مدل‌های ارائه شده، می‌توان معادله (۱۰) را به‌صورت ساده‌تر استخراج نمود.

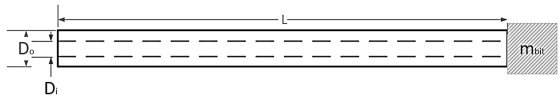
$$\ddot{q}_i + {\omega_i}^2 q_i = \frac{1}{M_i}\{F_{\text{sta}}\varphi_i(0) + F_0 \sin(\omega_f t)\,\varphi_i(l) + [C_1 \exp(-C_2 \dot{u}(l,t)) - C_1]\,\varphi_i(l)\} - \frac{1}{M_i}\mu\rho A g \int_0^l \text{sign}(\dot{u}(x,t))\varphi_i(x)dx \quad (۱۰)$$

٦- شبیه‌سازی عددی و بررسی نتایج

به‌منظور شبیه‌سازی عددی سیستم دینامیکی حفاری افقی از مقادیری که در جدول ۱ آورده شده است استفاده می‌گردد که راهنمای ابعاد داده شده در شکل ۳ آمده است.

با اعمال مقادیر عددی اشاره شده، فرکانس‌های طبیعی مجموعه به‌دست می‌آیند که مقادیر آن در جدول ۲ دیده می‌شود.

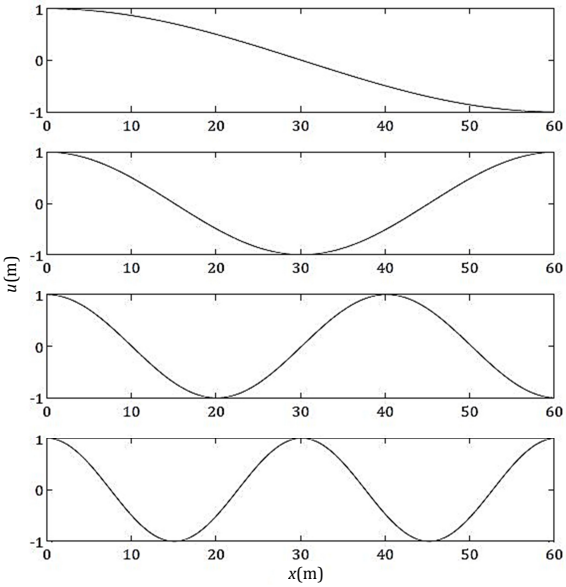
مود اول سیستم، دارای یک حرکت صلب می‌باشد و فرکانس آن صفر است. در شکل ۴ مودهای ارتعاشی دوم تا پنجم سیستم حفاری نمایش شده است.



شکل ۳ راهنمای ابعاد مربوط به شبیه‌سازی

جدول ۱ مقادیر استفاده شده در شبیه‌سازی

مقدار	واحد	نام پارامتر	نماد
۷۸۵۰	Kg/ m³	چگالی	ρ
۲۱۰	GPa	مدول الاستیسیته	E
۶۰	m	طول	l
۰/۱۵	m	قطر خارجی لوله حفاری	D_o
۰/۱	m	قطر داخلی لوله حفاری	D_i
۲۰	Kg	جرم مته	m_{bit}

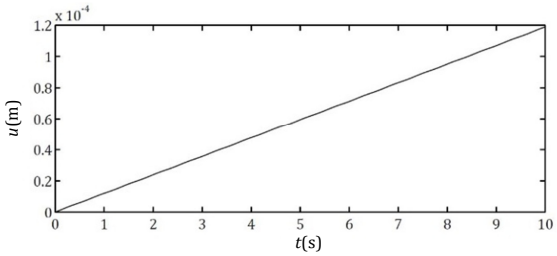


شکل ۴ مودهای دوم تا پنجم میله حفاری(به ترتیب از بالا به پایین)

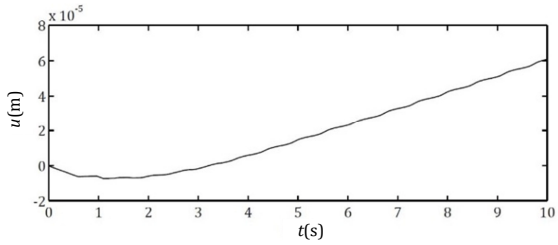
جدول ۲ فرکانس‌های طبیعی سیستم

n	ω_n	$\frac{\omega_n}{c}$
۱	۰	۰
۲	۲۶۹/۶۴۴	۰/۰۵۲۱
۳	۵۳۹/۲۸۷	۰/۱۰۴۳
۴	۸۰۸/۹۳۱	۰/۱۵۶۴
۵	۱۰۷۸/۵۷۵	۰/۲۰۸۵

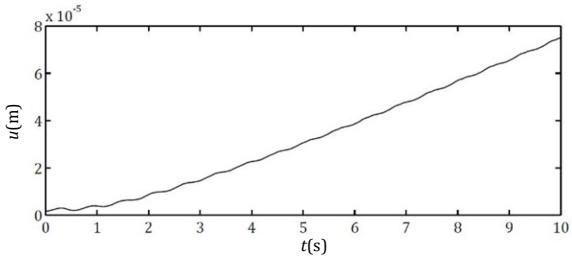
با استفاده از برنامه متلب و کدنویسی در آن اقدام به حل معادله دینامیکی سیستم حفاری شده است. در این برنامه گام حل نمودن معادله، برابر با ۰/۰۰۰۰۱ ثانیه می‌باشد. به منظور محاسبه مقدار نیروی اصطکاک که دارای پیچیدگی بیشتری نسبت به نیروهای دیگر است، میله حفاری در نرم‌افزار به صورت گسسته درآمده است. حال هدف بررسی تعداد مودهای مورد نیاز برای تحلیل سیستم است. بدین منظور پاسخ سیستم از یک مود تا پنج مود بررسی می‌شود و مقایسه‌ای میان آن‌ها انجام می‌شود که در شکل ۵ تا شکل ۱۰ مشاهده می‌شود.



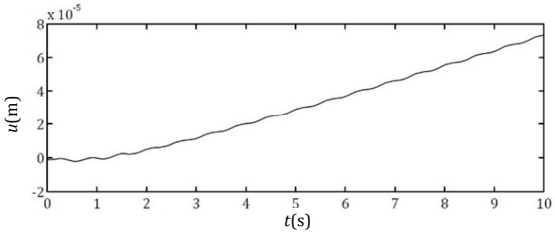
شکل ۵ پاسخ سیستم با استفاده از یک مود



شکل ۶ پاسخ سیستم با استفاده از دو مود

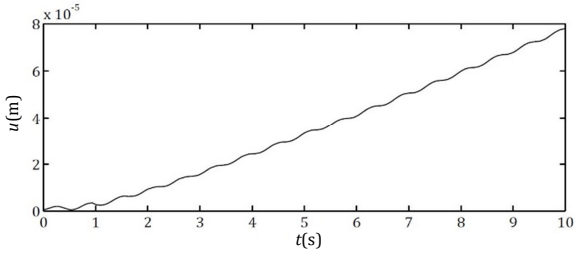


شکل ۷ پاسخ سیستم با استفاده از سه مود

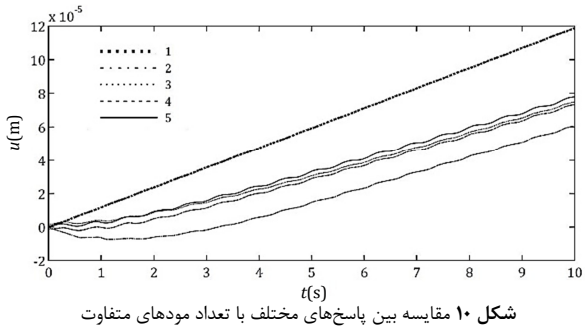


شکل ۸ پاسخ سیستم با استفاده از چهار مود

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.54.4]



شکل ۹ پاسخ سیستم با استفاده از پنج مود



شکل ۱۰ مقایسه بین پاسخ‌های مختلف با تعداد مودهای متفاوت

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، با افزایش مودهای سیستم، نتایج همگرا می‌شود و می‌توان از پنج مود برای تقریب سیستم برای انجام تحلیل‌های تکمیلی بر روی آن استفاده نمود.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله دینامیک حاکم بر فرآیند حفاری افقی مورد بررسی قرار گرفت که این مبحث جزو مواردی است که مقالات مرتبط با آن محدود است. در تحلیل حاضر از یک میله افقی به صورت توخالی استفاده گردیده است. همچنین نیروهای موثر در فرآیند حفاری گردآوری شده است و برای هریک از آن‌ها مدلی ارائه گشته است.

ویژگی این کار نسبت به کارهای دیگر این است که مسئله به صورت تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا مودهای مربوط به سیستم حفاری استخراج شده است و به وسیله روش جمع مودها، پاسخ ارتعاشی آن استخراج شده است. در نهایت مشاهده گردید که با افزایش تعداد مودها همگرایی در پاسخ ایجاد گردیده است و می‌توان سیستم پیوسته حفاری را با تعدادی محدود از مودهای ارتعاشی مدل‌سازی نمود.

این مقاله شروعی بر تحلیل‌های ارتعاشی کنترلی آینده خواهد بود. خرابی در سیستم حفاری با این ابعاد دارای هزینه زیادی می‌باشد و نیازمند صرف هزینه‌های گزاف برای راه‌اندازی دوباره آن می‌باشد. بنابراین بر پایه تحلیل‌های ارائه شده، می‌توان خرابی‌های سیستم را تخمین زد و با روش‌های کنترلی از ایجاد آن‌ها جلوگیری نمود.

۸- تقدیر و تشکر

در این قسمت لازم است که از شرکت ملی گاز استان تهران که از این پایان‌نامه حمایت نموده‌اند، تشکر شود.

۹- مراجع

[1] T. G. Ritto, R. Sampaio, Stochastic drill-string dynamics with uncertainty on the imposed speed and on the bit-rock parameters, *International Journal for Uncertainty Quantification,* Vol. 2, No. 2, 2012.
[2] X. Liu, N. Vlajic, X. Long, G. Meng, B. Balachandran, State-Dependent Delay Influenced Drill-String Oscillations and Stability Analysis, *Journal of Vibration and Acoustics,* Vol. 136, No. 5, pp. 051008, 2014.
[3] J. D. Jansen, *Nonlinear dynamics of oilwell drillstrings*: TU Delft, Delft University of Technology, 1993.
[4] K. Macdonald, J. Bjune, Failure analysis of drillstrings, *Engineering Failure Analysis,* Vol. 14, No. 8, pp. 1641-1666, 2007.
[5] D. Pavković, J. Deur, A. Lisac, A torque estimator-based control strategy for oil-well drill-string torsional vibrations active damping including an auto-tuning algorithm, *Control Engineering Practice,* Vol. 19, No. 8, pp. 836-850, 2011.
[6] E. Navarro-López, R. Suarez-Cortez, Modelling and analysis of stick-slip behaviour in a drillstring under dry friction, in *Proceeding of,* 330-335.
[7] J. Jansen, L. Van den Steen, Active damping of self-excited torsional vibrations in oil well drillstrings, *Journal of sound and vibration,* Vol. 179, No. 4, pp. 647-668, 1995.
[8] T. G. Ritto, M. R. Escalante, R. Sampaio, M. B. Rosales, Drill-string horizontal dynamics with uncertainty on the frictional force, *Journal of Sound and Vibration,* Vol. 332, No. 1, pp. 145-153, 1/7/, 2013
[9] R. Samuel, Friction factors: What are they for torque, drag, vibration, bottom hole assembly and transient surge/swab analyses?, *Journal of Petroleum Science and Engineering,* Vol. 73, No. 3-4, pp. 258-266, 2010.
[10] B. S. Aadnoy, K. Andersen, Design of oil wells using analytical friction models, *Journal of Petroleum Science and Engineering,* Vol. 32, No. 1, pp. 53-71, 2001.
[11] L. Perneder, E. Detournay, G. Downton, Bit/rock interface laws in directional drilling, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,* Vol. 51, pp. 81-90, 2012
[12] A. Asghar Jafari, R. Kazemi, M. Faraji Mahyari, The effects of drilling mud and weight bit on stability and vibration of a drill string, *Journal of Vibration and Acoustics, Transactions of the ASME,* Vol. 134, No. 1, 2012.
[13] H. Moradi, M. Motamedi, F. Bakhtiari-Nejad, Suppression of bending vibration in drilling process via a tunable vibration absorber, in *Proceeding of,* 52-59
[14] H. Melakhessou, A. Berlioz, G. Ferraris, A nonlinear well-drillstring interaction model, *Journal of vibration and acoustics,* Vol. 125, No. 1, pp. 46-52, 2003.
[15] W. Thomson, *Theory of vibration with applications*: CRC Press, 1996.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.54.4]