طراحی و ساخت حسگر چگالی گل حفاری بر پایه فابری‌پرو فیبر نوری

مریم تولا، فرنود میرخسروی، اسماعیل زیبایی، حمید لطیفی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده –اندازه گیری چگالی سیال حفاری یک فرآیند حساس در عملیات حفاری به شمار می‌رود. این مقاله حسگر جدیدی را برای تعیین چگالی گل حفاری معرفی می‌کند. این حسگر، از یک دیافراگم از جنس استیل فنری و یک حسگر فابری پرو فیبر نوری که بر مرکز دیافراگم چسبانده شده، تشکیل می‌شود. افزایش فشار وارد بر دیافراگم موجب جابه جایی طول موجی طیف تداخلی حسگر فابری پرو می‌شود. حساسیت حسگر فیبر نوری در بازه ۰/۰۰۵*bar* تا۰/۰۸*bar*برابر با ۲۱/۴۶ *nm/bar* و در بازه ۰/۱*bar* تا۰/۵ *bar* برابر با *nm/bar* ۱۱/۸۳ است.

کلید واژه– گل حفاری، فشار، دیافراگم دایره ای، سنسور فابری پرو فیبر نوری

Design and Fabrication of drilling mud density sensor based on fabry-perot fiber optic sensor

M.Tavalla, F.Mirkhosravi, M.I.Zibaii, H.Latifi

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University

Abstract-This paper introduces a new method to measure drilling mud density with an invented sensor. This new sensor is made of a circular diaphragm and a fabry-perot fiber optic to measure pressure. Fabry-perot's interference pattern is shifted due to pressure variations on the diaphragm. Obtained sensitivity for this sensor is 21.46 *nm/bar* for the pressure in range from 0.005 to 0.08 *bar* and is 11.83 *nm/bar* for range in 0.1 to 0.5 *bar*.

Keywords: drilling mud, pressure, circular diaphragm, fiber optic fabry-perot sensor

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

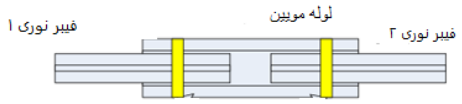
۱. مقدمه

نفت و گاز از مهمترین منابع انرژی، برای تأمین انرژی مورد نیاز بشر به شمار می‌آیند. از گذشته تا کنون بشر برای دست یابی به این مواد گرانبها به حفاری دست زده-است.

سیال حفاری که با نام گل حفاری نیز شناخته می شود، یکی از مهمترین اجزای عملیات حفاری است.[۱] یکی از ویژگی های مهم گل حفاری چگالی آن است، که لازم است طی عملیات حفاری به صورت دائم بررسی شود و با افزودن مواد مناسب چگالی گل تنظیم گردد تا فشار لازم بر مته حفاری وارد نماید.

۲. تئوری

حسگر فابری پرو فیبر نوری بیرونی مورد استفاده از یک قطعه تیوب از جنس سیلیکا و دو قطعه فیبر تک مد مطابق شکل ۱تشکیل شده است.



شکل ۱: ساختار حسگر فابری پرو فیبر نوری[۲]

در این ساختار فیبر نوری۱ به عنوان هدایت کننده، نور منبع را هدایت می‌کند. نور پس از بازتاب از فیبر نوری ۲ توسط فیبرنوری۱ جمع شده، بین دو پرتو منبع و بازتابی تداخل رخ می‌دهد. و طیف تداخلی تشکیل می‌شود. سیگنال خروجی یک کاواک فابری پرو فیبر نوری که به صورت سیگنال I_R بیان می‌شود به صورت معادله۱است.

$$I_R = 2RI_0\left(\frac{1-\cos\varphi}{1+R^2-2R\cos\varphi}\right) \qquad (۱$$

$$\varphi = \frac{4\pi nd}{\lambda}$$

که در آن I_0 شدت نور فرودی،R توان بازتابندگی انتهای فیبر نوری، d طول کاواک فابری پرو، λ طول موج و n ضریب شکست ماده پر کننده فابری پرو است.[۳]شدت سیگنال خروجی با طول کاواک فابری پرو رابطه دارد، بنابراین تغییر طول کاواک موجب جابه جایی طول موجی فابری پرو می‌شود.

زمانی که فشار یکنواخت P بر دیافراگم وارد می‌شود، بر اثر فشار هر نقطه آن از مکان اولیه خود جابه جا می‌شود. میزان این انحراف با معادله بیان می‌شود.

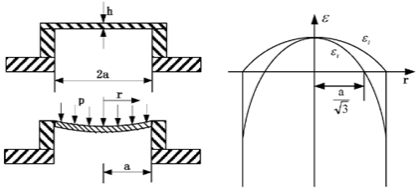
$$\omega(r) = \frac{3P(1-\mu^2)(a^2-r^2)^2}{16Eh^3} \qquad (۲$$

. که در آن $\omega(r)$ جابه جایی دیافراگم در نقطه r از مرکز آن ، P فشار، μ نسبت پواسون، E مدول یانگ، a شعاع دیافراگم، h ضخامت دیافراگم و r فاصله از مرکز دیافراگم است. همچنین رابطه کرنش در راستای شعاعی برای دیافراگم با معادله۳ و کرنش در راستای مماسی با معادله۴ داده می‌شود.

$$\varepsilon_r = \frac{3(1-\mu^2)(a^2-3r^2)}{8Eh^2}P \qquad (۳$$

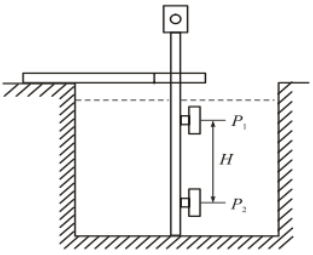
$$\varepsilon_t = \frac{3(1-\mu^2)(a^2-r^2)}{8Eh^2}P \qquad (۴$$

همان طورکه درشکل ۲ نشان داده شده است، بیشترین مقدار کرنش در مرکز دیافراگم ایجاد می‌شود.[۴]



شکل ۲: نمودار مربوط به کرنش در راستای شعاعی و مماسی[۴]

اندازه گیری چگالی گل حفاری با استفاده از اختلاف فشار بین دو فلنج، صورت می‌گیرد.که اساس آن درشکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: اساس کار مربوط به اندازه گیری چگالی با استفاده از اختلاف فشار بین دو فلنج[۵]

P_1 و P_2 به ترتیب فشارهای مربوط به فلنج بالایی و پایینی هستند.

$$P_1 = \rho g h_1 \qquad (۵$$

$$P_2 = \rho g h_2 \qquad (۶$$

در معادلات ۵ و ۶، ρ چگالی مایع، g شتاب گرانش، و h_1 و h_2 به ترتیب فاصله هر کدام از فلنج های ۱ و ۲ از سطح مایع هستند.

$$(۱)-(۲): P_2 - P_1 = \rho g\,(h_2 - h_1)$$

$$H = h_2 - h_1$$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

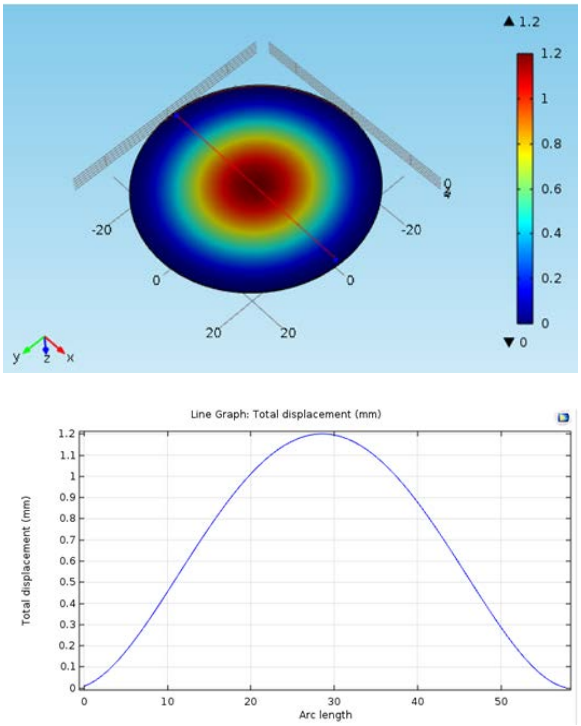
$$\Delta P = \rho g H \qquad (۷$$

از آنجایی که g و H مقادیر ثابتی هستند، رابطه ΔP با ρ یک رابطه خطی است. [۲] بنابراین با اندازه گیری فشار می-توان چگالی را بدست آورد. بدین منظور می‌توان در محل فلنج های ۱ و ۲ دیافراگم هایی را قرار داد و سپس فشار وارد بر دیافراگم را بدست آورد. و به طور معمول نیز برای محاسبه فشار وارد بر دیافراگم از روشهای الکترونیکی استفاده می-شود.[۶] ما در اینجا قصد داریم با استفاده از یک حسگر فابری پرو فیبر نوری که بر روی دیافراگم چسبانده شده فشار وارد بر دیافراگم را محاسبه کنیم.

۳. نتایج مدل‌سازی

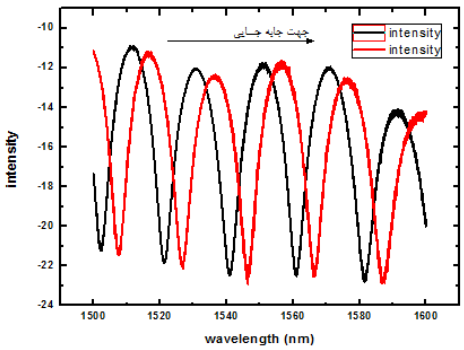
شبیه سازی مربوط به دیافراگم دایروی از جنس Stainless steel را با ضخامت۰/۲mm مشاهده می-کنید. شبیه سازی ها به کمک نرم افزار کامسول انجام شده است. شعاع دیافراگم مورد استفاده ۳ cm است. در این شبیه سازی میزان جابه جایی نقاط مختلف دیافراگم بر اثر فشار اعمالی ۱۳۵۵۸/۸۰۴۲ پاسکال نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود ماکزیمم جابه جایی در مرکز دیافراگم بوده و مقدار آن برابر با ۱/۲mm است.بنابراین با چسباندن سنسور فابری پرو در مرکز دیافراگم، بیشترین تغییرات در طول کاواک فابری پرو را شاهد خواهیم بود. برای این فلز چگالی برابر با $8030\ kg/m^3$، مدول یانگ $1/93\times10^{11}$ pa ، و نسبت پواسون ۰/۳۱ است.

شکل ۴: نمودار توزیع گرافیکی جابه جایی(بالا).ماکزیمم جابه جایی بر حسب فاصله از یک لبه دیافراگم(پایین)



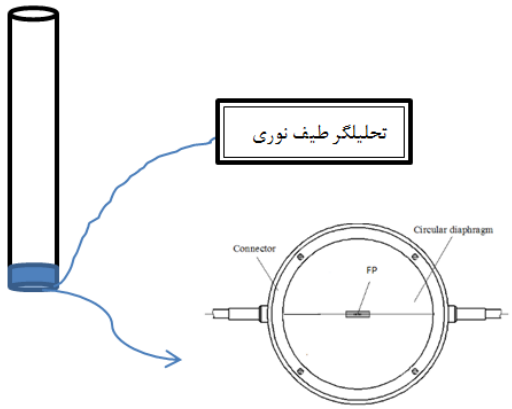
۴. ساخت حسگر و چیدمان آزمایش

برای ساخت حسگر فابری پرو مطابق شکل ۱دو فیبر نوری در داخل یک تیوب شیشه ای قرار می‌گیرند و توسط چسب CN به تیوب متصل می‌شوند. طیف تداخلی فابری پرو مطابق شکل ۵ است.



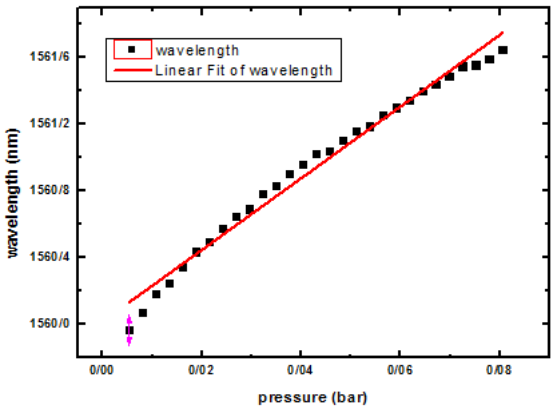
شکل ۵: طیف خروجی حسگر فابری پرو فیبر نوری و جابه جایی آن بر اثر تغییر طول کاواک

چیدمان آزمایش درشکل ۶ نشان داده شده است.حسگر فابری پرو ساخته شده را با چسب بر مرکز دیافراگم به شعاع۳cm،ضخامت ۰/۲mm و جنس استیل فنری متصل می-کنیم و دیافراگم را به انتهای یک لوله به ارتفاع یک متر متصل می‌کنیم.سنسور به وسیله فیبر نوری به یک دستگاه تحلیلگر طیف نوری با دقت ۲/۵pm متصل می‌شود که هم به عنوان منبع نور مورد استفاده قرار می‌گیرد، و هم طیف بازتابی فابری پرو را آشکار سازی می‌نماید.



شکل ۶: چیدمان آزمایش

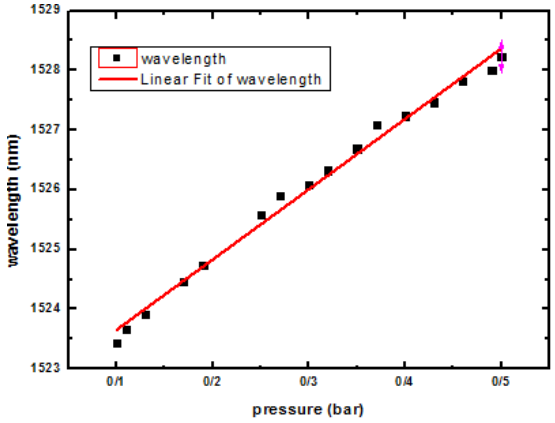
سپس ۱۰۰ml آب به لوله اضافه کرده این فرآیند را تا ۳l ادامه می‌دهیم ودر هر مرحله جابه جایی طول موجی فابری پرو را ثبت می‌کنیم. در هر مرحله افزودن آب با معلوم بودن چگالی، حجم آب و قطر لوله، فشار وارد بر دیافراگم را محاسبه می-کنیم.شکل ۷ نمودارمیانگین جابه‌جایی طول موج بر حسب فشار را برای ۳ بار آزمایش نشان می‌دهد.



شکل ۷: نمودار جابه جایی طول موج بر حسب فشار برای حسگر فابری پرو فیبر نوری

همان طور که شکل ۷ نشان می‌دهد، حساسیت حسگردر محدوده تغییرات فشار۰/۰۰۵barتا۰/۰۸barبرابر با ۲۱/۴۶ nm/bar بوده و ۹۸٪ خطی است.

در مرحله بعد برای افزایش فشار تا ۰/۵bar بالای لوله را به یک کمپرسور هوا متصل کرده فشار را گام به گام افزایش می-دهیم.در این مرحله فشار اعمال شده بالاتر بوده و از ۰/۱bar تا۰/۵ bar تغییر کرده است. مطابق شکل ۸ نمودار ۹۹٪ خطی بوده و حساسیت آن ۱۱/۸۳ nm/bar است.



شکل ۸: نمودار جابه جایی طول موج بر حسب فشار برای کاواک فابری پرو

۵. جمع بندی

در این مقاله طراحی و ساخت حسگر فابری پرو فیبر نوری نصب شده بر روی دیافراگم دایروی، برای اندازه گیری فشار ارتفاع مایعات مورد بررسی قرار گرفته است.حسگر در بازه تغییرات فشار ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۸bar دارای حساسیت nm/bar ۲۱/۴۶ بوده و در بازه ۰/۱ تا ۰/۵bar و دارای حساسیت ۱۱/۸۳ nm/bar می‌باشد که نسبت به حسگر طراحی شده در [۷] حساسیت آن ۵ برابر شده است.

مراجع

[۱]L.Tone"Drilling mud property estimator". norway .2013

[۲]Y.Zhang."Miniature fiber optic multicavity fabry perot interferometric biosensor",PHD Thesis, 2005

[۳]M. Jiang,E. Gerhard." A simple strain sensor using a thin film as a low-finesse fiber-optic Fabry-Perot interferometer",Elsevier, 2001

[۴]Z. Feng,Q. vang,Q. Shida." Design and Implementation of a Self-Validating Pressure Sensor", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 9, NO. 3, 2009

[۵] Hong He, Hengtian Jia, Hongyan ,PanShenglei Han,Xin Cui." Application of Drilling Fluid Density Detection Based on Intelligent Sensor" SPIE Vol. 7130 713012-1

[۶] Series 290 density transmitter user manual,UK,2001

[7] S.H. Aref, H. Latifi, M.I. Zibaii, M. Afshari." Fiber optic Fabry–Perot pressure sensor with low sensitivityto temperature changes for downhole application, ScienceDirect, 2007