مدلي تحليلي براي پيش بيني عمر خستگي لوله حفاري

غلامرضا راشد*[۱]، رحمت ا قاجار[۲] و سيد جلال الدين هاشمي[۳]

[۱] استاديار دانشكده مهندسي نفت اهواز- دانشگاه صنعت نفت

[۲] دانشيار دانشكده مهندسي مكانيک - دانشگاه صنعتي خواجه نصيرالدين طوسي

[۳] دانشيار دانشگاه آزاد اسلامي واحد اهواز و دانشگاه صنعت نفت

(تاريخ دريافت ٨٥/٧/٢٦ , تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ٨٦/٥/١٣ , تاريخ تصويب ٨٦/٣/١٩)

چكيده

در اين مقاله، مدلي تحليلي براي پيش بيني عمر خستگي لوله حفاري پيشنهاد مي‌شود. در اين مدل از روش صفحه بحراني كه از دو پارامتر آسيب، يكي بر پايه دامنه كرنش برشي و ديگري بر پايه دامنه كرنش عمودي، استفاده مي‌شود. در هر دو مورد اثر تنش عمودي بر صفحه بحراني مورد نظر نيز، لحاظ شده است. همچنين در تحليل ضرائب تمركز تنش و كاهش استحكام خستگي به حساب آورده شده است.

در اين مقاله همچنين مدلي تحليلي براي محاسبه كرنش‌ها و تنش‌هايي كه لوله حفاري در طي عمليات حفاري تحمل مي‌كند، ارائه شده و سپس مدل تحليل خستگي پيشنهادي براي پيش بيني عمر لوله‌هاي حفاري، بكار برده مي‌شود. دو برنامه كامپيوتري نيز كه اولي جهت محاسبه بار و تنش در طول رشته حفاري و دومي براي محاسبه پيش بيني آسيب خستگي در چندين صفحه در طول رشته لوله حفاري و براي عمق حفاري معين بوده، تدوين و مورد استفاده قرار مي‌گيرد. نتايج تحليل نشان مي‌دهد كه تطابق خوبي بين نتايج پيش بيني‌هاي انجام شده توسط مدل ارائه شده و داده‌هاي تجربي وجود دارد. همچنين ديده مي‌شود كه گشتاور پيچشي و ضريب تمركز تنش (هم هندسي و هم ضرائبي كه مرتبط با عيوب سطحي مي‌شوند) اهميت زيادي داشته و بايد در تحليل خستگي لوله‌هاي حفاري در نظر گرفته شوند. مدل خستگي پيشنهادي با روش API نيز مقايسه شده و مشاهده مي‌شود كه چون مدل API گشتاور پيچشي را به حساب نمي‌آورد، نتايج مدل خستگي پيشنهادي نسبت به نتايج روش API ، واقعي‌تر است.

واژه هاي كليدي: لوله حفاري - مدل صفحه بحراني - روش API - پارامتر آسيب – خستگي - سگ‌پا

مقدمه

واماندگي زودرس لوله‌هاي حفاري در اثر خستگي مشكلي پر هزينه در صنايع نفت و گاز به شمار مي‌آيد. گر چه محققين زيادي در گذشته به اين مطلب اشاره كرده‌اند[۱]، و پيشرفتهاي چشمگيري هم در عرصه طراحي مهندسي رشته حفاري صورت گرفته، ولي تواتر وقوع اين واماندگي‌ها هنوز هم بيش از حد معمول، و مشكل‌زا مي‌باشد. اين مسئله در ايران نيز هزينه‌هاي هنگفتي را به صنايع نفت و گاز تحميل نموده است[۲] ، بطوريكه هم اكنون فقط در يكي از انبارهاي اهواز بيش از پنجاه هزار لوله كه دچار واماندگي زودرس شده‌اند (و ميليونها دلار هزينه داشته‌اند)، انباشت شده است. مرور تحقيقات صورت گرفته در زمينه خستگي لوله‌هاي حفاري از ديدگاه كلاسيک بيانگر آن است كه تعداد بسيار محدودي از آنها مختص لوله حفاري و با تاكيد بر محاسبه عمر خستگي آن بوده است. از اين رو ضرورت بررسي جامع تر و كامل تر اين پديده آشكار مي‌باشد.

بر مبناي مطالعات Lubinski و Hansford [۳] ، دستورالعمل ساده‌اي براي محاسبه آسيب خستگي تجمعي در رشته لوله حفاري جهت صنايع نفت، استاندارد API-RP7G [٤] ، ارائه شده، كه تصويري مفيد براي طراحي مي‌دهد. اما اين رهيافت كاملا تجربي بوده و مبناي فيزيكي لازم براي در نظر گرفتن اثرات بار چندمحوره را نيز ندارد. Howard و همكارانش[٥] روشي سيستماتيک براي دنبال كردن آسيب حاصل از خستگي تجمعي وارد بر هر قطعه اتصال لوله در هنگام حفاري چاه را ارائه نمودند، ولي اين روش هم در اصل همان توسعه كار Lubinski و Hansford [۳] بوده است.

دو نظريه در مورد پيش بيني عمر خستگي لوله‌هاي حفاري وجود دارد كه يكي بر مبناي شروع ترک و ديگري بر مبناي گسترش ترک است. بعضي از محققين معتقدند كه هميشه خستگي يک مسأله انتشار ترک محسوب مي‌شود. Miller [٦] مي‌گويد كه معمولا نقص بصورت

* نويسنده مسئول : تلفن : ۰۹۱۲۳۸۴۲۳۵۶ , فاكس : ۴۴۴۵۵۸۴۶ , Email: g.rashed@put.ac.ir

ترک در ماده وجود دارد و انتشار آن از عيوب ريز شروع مي‌شود. اما مسأله اصلي اين است که تحليل‌هاي مکانيک شکست نسبت به طول ترک اوليه بسيار حساس هستند. اندازه‌هاي نقائص اوليه هم که براي مرتبط کردن داده‌هاي نمونه صاف لازم است در حد کمتر از اندازه دانه‌هاي تشکيل دهنده ماده مي‌باشند. شناسائي اين عيوب اوليه در حد ميکروسکوپي امر تعيين کننده‌اي بوده و خطاهاي کوچک در تخمين آنها مي‌تواند به خطاهاي بزرگ در پيش بيني عمر خستگي بيانجامد. لذا مکانيک شکست فقط در مواردي که از وجود آشکار ترک اوليه اطمينان حاصل شود و طول آن نيز قابل اندازه گيري باشد، کاربرد دارد. پس روش گسترش ترک براي تحليل لوله حفاري بدليل مشکلات در يافتن و اندازه‌گيري دقيق ترک در محل، مناسب نمي‌باشد. از اينرو در اين مقاله روش بر مبناي شروع ترک بکار گرفته مي‌شود. کارهائي که براي لوله‌هاي حفاري در گذشته صورت گرفته مکانيزم فيزيکي مبناي اين روش را در نظر نمي‌گيرد، بلکه بر اساس نتايج حاصل از ارتباط تجربي داده‌هاي آزمايش‌ها در مقياس واقعي، استوار بوده است. اين روابط براي استفاده در لوله‌هاي حفاري از همان نوع بکار برده شده در آزمايش، بسيار مناسب مي‌باشند. اما جمع‌آوري بانک اطلاعاتي از انجام آزمايش‌ها روي لوله‌هاي حفاري در مقياس واقعي براي تمام نمونه‌هائي که امروزه در صنعت استفاده مي‌شوند از نظر اقتصادي غير عملي مي‌باشد، بنابراين در روش ارائه شده در اينجا، که مبناي فيزيکي دارد، خط مبناي داده‌هاي خستگي از نتايج آزمايش‌هاي کرنش کنترلي نمونه‌هاي صاف استاندارد ASTM، ايجاد مي‌شود.

لوله حفاري عموما تحت تاثير گشتاور خمشي، نيروي محوري، گشتاور پيچشي و فشار بوده که حالت تنش دومحوري روي سطح لوله ايجاد مي‌نمايد (شکل ١الف و ١ب). Tipton [٧] معتقد است که روش‌هاي تحليل خستگي مناسب اين حالت از تنش: روش‌هاي تنش معادل، کرنش معادل، صفحه بحراني، و انرژي مبنا مي‌باشند. چون روش صفحه بحراني از ساير روش‌ها منطقي‌تر و براي پيش بيني عمر مورد انتظار در اين شرايط، مناسب‌تر مي‌باشد[٨] ، در اين مقاله از آن استفاده مي‌شود. مسجل شده که ترک‌هاي حاصل از خستگي در صفحات خاصي شروع و گسترش مي‌يابند[٩] . روش‌هاي صفحه بحراني براي تحليل آسيب خستگي، اين مسئله را با در نظر گرفتن تاريخچه مولفه‌هاي تنش يا کرنش موجود در هر صفحه پاسخ مي‌دهند [١٠] . مفهوم صفحه بحراني در ديدگاه کلاسيک، براي رسيدن به هدف تشخيص صفحه‌اي که در آن ترک ايجاد و راستايي که در آن گسترش مي‌يابد کارگشا است. در اين روش فرض مي‌شود که آسيب خستگي به صورت ترک در صفحات خاصي گسترش مي‌يابد. براي مثال دامنه کرنش عمودي يا برشي وارد بر صفحه خاصي، بعنوان عامل آسيب محسوب مي‌شود. مکانيزم‌هاي آسيب متاثر از تنش متوسط موجود در همان صفحه نيز مي‌باشند.. توسعه پارامترهائي با چنين مبناي فيزيکي مورد توجه زيادي قرار گرفته است[٨،٩،١١ و١٢] . مشاهده شده که بعضي مواد در صفحات معيني که شديدترين نوسانات کرنش برشي را دارند دچار واماندگي مي‌شوند، در صورتي که برخي مواد ديگر در صفحات عمود بر بزرگترين نوسانات کرنش عمودي دچار واماندگي مي‌شوند. پارامترهاي آسيب که براي به حساب آوردن چنين مشاهداتي پيشنهاد مي‌شود معمولا شامل اندازه تنش عمود بر صفحه ماکزيمم کرنش برشي مي‌باشد. در اين روش مکانيزم فيزيکي (دامنه کرنش عمودي يا برشي) مورد بحث در آسيب خستگي شناخته شده و در نظر گرفته شده است. همچنين حالت پيچيده تنش-کرنش، ساده شده و در هر بار تحليل، روي يک صفحه متمرکز مي‌شود. اما احتمال دارد که پايش[1] تعداد بيشماري از صفحات نيز مورد نياز باشد. اين روش مي‌تواند در موارد خستگي پر چرخه و کم چرخه (HCF وLCF) ، دامنه بارگذاري ثابت و متغير و همچنين بارگذاري متناسب و غيرمتناسب بکار گرفته شود.

بارهاي چرخه‌اي

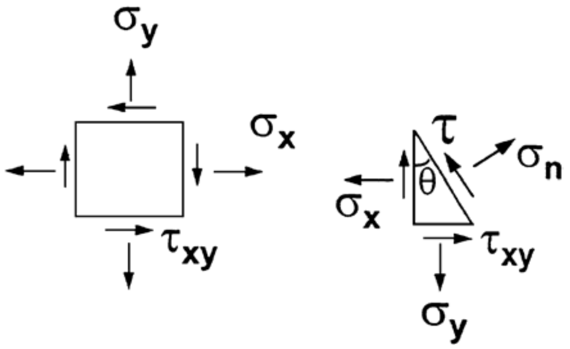
رشته لوله حفاري براي انتقال دوران به مته و فراهم آوردن گردش سيال حفاري تا انتهاي تحتاني حفره چاه به هنگام عمليات حفر چاه، بکار مي‌رود. همچنانکه اين عمليات صورت مي‌گيرد لوله حفاري ترکيبي از بارهاي چرخه‌اي شامل گشتاور خمشي، گشتاور پيچشي، نيروي محوري و فشار را تحمل مي‌نمايد. اين بارهاي چرخه‌اي، عامل آنچه پارامترهاي آسيب ناميده مي‌شوند، هستند.

بطور کلي مساله خستگي در لوله‌هاي حفاري در بدنه لوله، نزديک ناحيه کم شدن برآمدگي آپست[2] (ناحيه گذراي تبديل لوله)، شروع مي‌شود. دليل اصلي خستگي در

لوله‌هاي حفاري هم، وجود گشتاور خمشي حاصل از انحناي چاه مي‌باشد. شكل (٢) يک لوله حفاري تحت كشش در منطقه سگ پا را نمايش داده است.

هنگامي كه لوله حفاري در حال دوران است، تنش عمودي چرخه‌اي با دامنه‌اي برابر با تنش خمشي و يک تنش عمودي متوسط ناشي از نيروي محوري كه مي‌تواند فشاري نيز باشد، را تحمل مي‌كند. اين وضعيت نيروي محوري فشاري، در عمليات حفاري جهتي بيشتر رايج مي‌باشد. خاطر نشان مي‌سازد كه علاوه بر نيروي محوري و گشتاور خمشي، لوله حفاري همچنين تحت تاثير گشتاور پيچشي و فشار شعاعي نيز مي‌باشد. نيروي محوري و فشار شعاعي را در فاصله‌هاي زماني كوتاه مي‌توان غير چرخه‌اي فرض نمود، ولي گشتاور پيچشي مانند گشتاور خمشي ماهيتي چرخه‌اي دارد. با توجه به پديده گير و رهايش، لوله حفاري نوسانات كوچک گشتاور پيچشي را با فركانس بالا (مثلا ١٠٠ دور در دقيقه رشته حفاري) تحمل مي‌نمايد. همچنين اين نوسانات گشتاور پيچشي مي‌تواند ناشي از وجود اتصالات نيز باشد. بازه گشتاور پيچشي از صفر تا مقدار نسبتا ثابتي، پس از رسيدن رشته حفاري به سرعت دوراني مورد نظر، تغيير مي‌نمايد. در يک چاه جهت‌دار با اصطكاک بالا، گشتاور پيچشي مي‌تواند فاكتور قابل توجه و بسيار موثر بوده و ممكن است عامل آسيب خستگي دراز مدت شود. اثر گشتاور پيچشي مهم به نظر رسيده و بايد در تحليل خستگي لوله حفاري لحاظ شود. از آنجائي لوله‌هاي حفاري عموما لوله‌هاي جدار نازک هستند شرايط را مي‌توان تنش صفحه‌اي فرض نمود. حالت تنش در الماني از سطح لوله حفاري در شكل (١) نمايش داده شده است. گر چه ممكن است تنش معادل فون ميسز در لوله از استحكام تسليم ماده كمتر باشد ولي تنش‌ها و كرنش‌هاي موضعي مي‌توانند بدليل ناپيوستگي در شكل هندسي (مثلا ناحيه آپست) و نواقص روي سطح لوله (مثل حفره‌هاي آبله‌گون حاصل از خوردگي[٣] و آثار آچار لوله[٤]) وارد ناحيه پلاستيک شوند. چون حالت تنش موضعي در لوله پيچيدگي خاصي دارد و تعيين دقيق آن مشكلاتي ايجاد مي‌نمايد. همچنين در بعضي موارد مولفه كرنش پلاستيک (اگر نسبت به مولفه كرنش الاستيک قابل توجه باشد) نيز به آن مرتبط مي‌شود. بنابراين روش كرنش مبنا در پيش بيني عمر خستگي لوله حفاري توصيه شده است.

از آنجا كه حالت تنش و كرنش در لوله حفاري دومحوري است از روش صفحه بحراني در تحليل كنوني استفاده مي‌شود،



الف) المان **ب) صفحه عمومي**

شكل ١: حالت تنش صفحه اي در الماني روي سطح لوله حفاري.

فرمول‌بندي مدل پيشنهادي براي پيش‌بيني عمر خستگي

ترک‌هاي حاصل از خستگي، روي صفحات بحراني شروع مي‌شوند. مشاهده شده كه اين ترک‌ها روي صفحاتي كه متحمل نوسانات كرنش عمودي ماكزيمم يا كرنش برشي ماكزيمم مي‌باشند، رخ مي‌دهند[٧و ٩]. اينكه كدام يک از اين صفحات مقاومت در برابر خستگي را كنترل مي‌كنند به فاكتورهاي زيادي از جمله: ماده (ايزوتروپيک يا غيرايزوتروپيک)، دامنه بار (خستگي پر چرخه و كم چرخه) و ناپيوستگي‌ها در ماده (ناچ يا آپست) وابسته مي‌باشد. بعنوان روش طراحي محافظه كارانه براي حالت‌هاي تنش-كرنش چندمحوره، پيشنهاد شده است كه هر دو نوع آسيب روي صفحه مورد نظر، پايش و براي تخمين عمر تركيب شوند[١٠] .

Socie [٩] مشاهده كرد كه ترک‌ها در نمونه‌هاي لوله‌اي جدار نازک فولاد ١٠۴۵ روي صفحاتي با تحمل دامنه كرنش برشي ماكزيمم، شكل مي‌گيرند. سپس نشان داد كه پارامتر آسيب بر مبناي دامنه كرنش برشي ماكزيمم، كه توسط تنش عمود بر صفحه برشي ماكزيمم اصلاح شده، بخوبي مي‌تواند در پيش بيني عمر خستگي تحت بارهاي متنوع، عمل نمايد. از طرفي در نمونه‌هاي اينكونل ٧١٨ و تحت همان بارگذاري، شروع ترک در صفحات عمود بر دامنه كرنش عمودي ماكزيمم رخ مي‌دهد. بنابراين پارامتر كرنش برشي ماكزيمم كه براي فولاد ١٠۴۵ خوب جواب مي‌دهد براي اينكونل ٧١٨ مناسب

نمي‌باشد، در عوض پارامتر آسيبي که بر مبناي دامنه کرنش عمودي استوار است (Smith-Watson-Topper [۱۰]) تطابق خوبي را فراهم مي‌آورد. لازم به ذکر است که پارامترهاي آسيبي که توسط اين محققين بکار گرفته شده است در اصل براي بارگذاري با دامنه ثابت بوده است. Bannatin [۷، ۱۳و ۱۴] بعضي از اين روش‌ها را براي بارگذاري با دامنه متغير توسعه داده و به موارد کاربرد پيچيده‌اي اشاره داشته است.

در اين مقاله دو پارامتر آسيب مختلف، در مدل پيشنهادي پيش بيني خستگي در نظر گرفته مي‌شود. يکي پارامتر آسيب بر مبناي کرنش عمودي که توسط Smith-Watson-Topper [۱۰] پيشنهاد شده، يعني:

$$\varepsilon_a \sigma_{max} = \frac{\sigma_f'^2}{E}(2N_f)^{2b} + \sigma_f' \varepsilon_f' (2N_f)^{b+c}$$

(۱)

و ديگري پارامتر آسيب بر مبناي کرنش برشي است که توسط Fatemi and Socie [۱۱] به صورت زير ارائه شده است:

$$\gamma_a \left(1 + k\frac{\sigma_{max}}{\sigma_Y}\right) = \frac{\tau_f'}{G}(2N_f)^{b_o} + \gamma_f' (2N_f)^{c_o}$$

(۲)

براي محاسبه نمودن کاهش استحکام خستگي که مي‌تواند در اثر خوردگي آبله‌اي و جاي آچار باشد، معادلات (۱) و (۲) به صورت زير اصلاح مي‌شوند:

$$K_f^2 \varepsilon_a \sigma_{max} = \frac{\sigma_f'^2}{E}(2N_f)^{2b} + \sigma_f' \varepsilon_f' (2N_f)^{b+c}$$

(۳)

$$K_f \gamma_a \left(1 + k\frac{K_f \sigma_{max}}{\sigma_Y}\right) = \frac{\tau_f'}{G}(2N_f)^{b_o} + \gamma_f' (2N_f)^{c_o}$$

(٤)

چنانچه ديده مي‌شود تاثير تنش قائم بر صفحه تحت نظر، در هر دو پارامتر آسيب لحاظ شده است. در روش آسيب بر مبناي کرنش برشي، فرض مي‌شود تنش عمودي دو صفحه ترک را از يکديگر جدا ساخته و بنابراين اثر گيرشوندگي بهم[۵] حذف مي‌شود. متذکر مي‌گردد که در معادلات (۳) و (۴) حالت تنش و کرنش، تمرکز تنش حاصل از ناپيوستگي هندسي (ناحيه آپست) منظور شده است. فاکتور کاهش استحکام خستگي، K_f، براي جبران اثرات ريزناپيوستگي (مثل حفره‌هاي آبله‌گون و آثار آچار لوله‌گير) در نظر گرفته شده است.

براي پيش بيني عمر با استفاده از معادلات (۳) و (۴)، لازم است خواص مکانيکي ماده را بدست آورده و تاريخچه تنشي و کرنشي که رشته حفاري در طي عمليات حفاري تحمل کرده، تخمين زده شود.

داده‌هاي ورودي لازم براي مدل خستگي

به منظور بکارگيري فرمول‌هاي فوق‌الذکر جهت پيش بيني عمر خستگي لوله حفاري، لازم است تاريخچه کرنش و تنشي که رشته حفاري در طي عمليات حفاري متحمل مي‌شود را تخمين زده و خواص مکانيکي ماده آن نيز بدست آيد. تاريخچه کرنش و تنشي که لوله حفاري در طي عمليات حفاري تجربه مي‌نمايد مي‌تواند با روش‌هاي تحليلي يا تجربي بدست آيد.

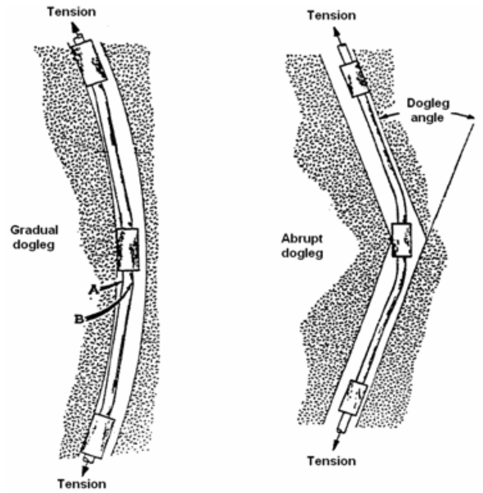
در اين مقاله يک مدل تحليلي براي محاسبه کرنش‌ها و تنش‌هايي که لوله حفاري در طي عمليات حفاري تجربه مي‌نمايد توسعه داده شده است. فرض مي‌شود که لوله حفاري تحت تاثير ترکيبي از: نيروي محوري، گشتاور خمشي، گشتاور پيچشي و فشار قرار دارد. نيروي محوري تابعي از وزن رشته حفاري غوطه‌ور در سيال حفاري است. بار خمشي تابعي از انحناي حفره چاه است. گشتاور پيچشي تابعي از اصطکاک بين رشته حفاري و حفره چاه و بعلاوه گشتاور پيچشي وارد بر مته مي‌باشد. فشار به ميزان افت‌هاي فشار در سيستم گردش سيال، وابسته است. همچنين فرض مي‌شود که لوله‌هاي حفاري جدار نازک هستند. بنابراين حالت تنش صفحه‌اي روي سطح لوله رخ مي‌دهد که شامل تنش‌هاي طولي، محيطي، و برشي مي‌باشد (شکل (۱)).

تنش طولي به دو مولفه متوسط و چرخه‌اي تقسيم مي‌شود، که مولفه متوسط آن به شرح زير است:

$$\sigma_{xm} = \frac{T}{A}$$

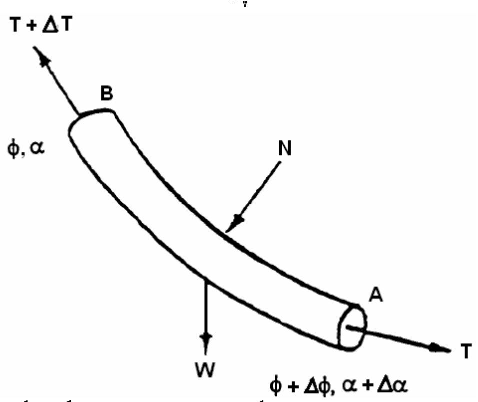
(۵)

همچنين مدل مولفه محوري اصطکاک بين رشته حفاري و چاه را در نظر مي‌گيرد. مدل المان نرم[۶] که توسط Johancsick [۱۵] توسعه يافته، براي محاسبه گشتاور پيچشي و درگ بکار مي‌رود. نيروهائي که در اين مدل براي المان لوله ملاحظه مي‌شوند در شکل (۳) نمايش داده شده است.



الف- سگ پا با شيب تند ب- سگ پا با شيب تدريجي

شکل ۲ : لوله حفاري تحت کشش در يک فسمت داراي سگ پا.



شکل ۳: المان لوله اي بکار گرفته شده در مدل درگ و گشتاور پيچشي.

معادلات زير براي محاسبه نيروي طولي و گشتاور پيچشي وارد بر هر المان بکار مي‌رود. محاسبات از انتهاي پاييني رشته لوله شروع شده و به صورت تکه‌اي ادامه مي‌يابد.

$$N = \left[(T\,\Delta\phi \sin\overline{\alpha})^2 + (T\,\Delta\alpha + w\sin\overline{\alpha})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

(۶)

$$\Delta T = w\cos\overline{\alpha} \pm \mu N$$

(۷)

$$\Delta T_q = \mu N R$$

(۸)

نيروي محوري و گشتاور پيچشي وارد بر هر المان از معادلات زير محاسبه مي‌شوند:

$$T_{i+1} = T_i + \Delta T$$

(۹)

$$Tq_{i+1} = Tq_i + \Delta Tq$$

(۱۰)

گشتاور پيچشي وارد بر اولين المان، گشتاوري است که به مته وارد مي‌شود.

نيروي محوري وارد بر اولين المان از معادله زير محاسبه مي‌شود:

$$T_1 = P_h A_1 + WOB$$

(۱۱)

مولفه چرخه‌اي تنش طولي که تنش خمشي نير ناميده مي‌شود با رابطه زير داده مي‌شود:

$$\sigma_{xa} = E\,c_p\,r_o$$

(۱۲)

انحناي ماکزيمم لوله حفاري از انحناي حفره چاه با استفاده از معادله زير بدست مي‌آيد:

$$c_p = c_w BSMF$$

(۱۳)

ضريب بزرگنمائي تنش خمشي[۷] (BSMF) که در [۱۶] بررسي شده، تابعي از نيروي محوري، ابعاد لوله حفاري، ابعاد ابزار اتصال و خواص مواد لوله حفاري است.

تنش محيطي که به اختلاف فشار داخل و خارج لوله وابسته است براي فاصله زماني کوتاه ثابت فرض مي‌شود. بنابراين مولفه چرخه‌اي تنش محيطي (σ_{ya}) صفر مي‌باشد و مولفه متوسط تنش محيطي از رابطه زير بدست مي‌آيد:

$$\sigma_{ym} = \frac{\Delta P\,\bar{r}}{h}$$

(۱۴)

$$\bar{r} = \frac{(OD_{TJ} + OD_{DP})}{4}$$

(۱۵)

اگر فاصله (عمق) حفاري شده کوتاه باشد (مثلا برابر طول يک شاخه لوله يعني ۹/۱۴۴ متر)، گشتاور پيچشي ثابت فرض مي‌شود. بنابراين مولفه چرخه‌اي تنش برشي در حين حفاري، $\tau_{xya})_d$، صفر در نظر گرفته مي‌شود، مگر حالتي که اثر گير و رهايش وارد شود. مولفه متوسط با رابطه زير بدست مي‌آيد:

$$\tau_{xym})_d = \frac{T_q}{J} r_o$$

(۱۶)

هر زمان که رشته لوله حفاري براي افزودن لوله حفاري ديگري به آن، از دوران مي‌ايستد، گشتاور پيچشي صفر شده و با شروع مجدد عمليات حفاري، به مقدار قبلي باز

مي‌گردد. اين عملكرد مولفه‌هاي چرخه‌اي و متوسط تنش برشي را ايجاد مي‌كند، كه از معادلات زير بدست مي‌آيند:

$$\left.\tau_{xym}\right)_c = \frac{T_{qm}/2}{J} r_o$$

(۱۷)

$$\left.\tau_{xya}\right)_c = \frac{T_{qa}/2}{J} r_o$$

(۱۸)

براي بكار بردن پارامترهاي آسيب (معادلات (۳) و (۴))، بايد دامنه كرنش عمودي و برشي معلوم باشد. همانطور كه شرح داده شد در روش صفحه بحراني فرض مي‌شود كه هر صفحه‌اي مي‌تواند صفحه بحراني باشد. براي محاسبه كرنش‌ها، بايد تنش‌هاي عمودي و برشي در هر صفحه با استفاده از دايره مور محاسبه شوند (شكل (۱-ب). اين معادلات به شرح زير هستند:

$$\sigma_{max} = (\sigma_{xa} + \sigma_{xm})\cos^2\theta + (\sigma_{ya} + \sigma_{ym})\sin^2\theta + 2(\tau_{xya} + \tau_{xym})\sin\theta\cos\theta$$

(۱۹)

$$\sigma_n = \sigma_{xa}\cos^2\theta + \sigma_{ya}\sin^2\theta + 2\tau_{xya}\sin\theta\cos\theta$$

(۲۰)

$$\tau = (\sigma_{ya} - \sigma_{xa})\sin\theta\cos\theta + \tau_{xya}(\cos^2\theta - \sin^2\theta)$$

(۲۱)

از آنجا كه فرض مي‌شود در طي عمليات حفاري عادي، تنش‌هاي عمودي الاستيک هستند، كرنش‌ها در صفحه θ $(\varepsilon_a, \gamma_a)$ نيز قابل محاسبه هستند. مولفه چرخه‌اي كرنش برشي در صفحه θ برابر است با:

$$\gamma_a = \frac{\tau}{G} = \frac{2(1+\upsilon)\tau}{E}$$

(۲۲)

معادلات (۱۹) تا (۲۱) براي محاسبه تنش‌هاي عمودي ماكزيمم و در نتيجه با توجه به قوانين هوک كرنش‌هاي عمودي و برشي ماكزيمم روي هر صفحه خاص بكار مي‌روند.

تحليل ريزناپيوستگي[۸] سطحي و ناحيه آپست در لوله‌هاي حفاري

ريزناپيوستگي سطحي

تحليل‌هاي ميكروسكپي براي بررسي شكل و اندازه ريزناپيوستگي‌هاي سطحي كه ترک‌ها از آنجا شروع مي‌شوند صورت گرفته است. هدف اعمال تكنيك پيش بيني واحدي براي محاسبه ضريب كاهش مقاومت خستگي مي‌باشد. تكنيكي كه توسط Peterson پيشنهاد شده [۱۷و ۱۸] در اين مقاله براي مدل محاسباتي توسعه داده شده كه به شرح زير است:

$$k_f = 1 + \left(k_t - 1 \Big/ \left(1 + \frac{a}{r}\right) \right)$$

(۲۳)

در اينجا ضريب تمركز تنش نظري Ikawa و Ohira [۱۹] نيز استفاده مي‌شود كه به صورت زير است:

$$k_t = 1 + 2\sqrt{t/r}$$

(۲٤)

براي فولاد ، تخمين منطقي پارامتر طول a، توسط Peterson [۱۸] بعنوان تابعي از حد استحكام نهائي (σ_u) داده شده است كه عبارت است از:

$$a = 35.047 \left(\frac{1}{\sigma_u}\right)^{1.8}$$

(۲۵)

كه در آن a برحسب متر و σ_u برحسب پاسكال است.

به منظور ارزيابي دقت معادله (۲۳)، نتايج بدست آمده از شش آزمايش خستگي روي لوله حفاري در مقياس واقعي كه در دانشگاه Tulsa انجام شده[۲۰] و اندازه‌گيري طول ترک‌هاي مربوطه، براي محاسبه ضريب كاهش استحكام خستگي، بكار گرفته مي‌شود.

ناحيه آپست

واماندگي‌ها معمولا نزديک ناحيه‌اي است كه از قطر آپست به قطر داخلي لوله حفاري كاسته مي‌شود[۲۱]. از برنامه المان محدود نرم افزار ANSYS جهت محاسبه تنش‌ها در يک مقطع لوله حفاري استفاده مي‌شود. تحليل با المان هارمونيک نوع ۲۵ از كتابخانه المان نرم افزار ANSYS صورت مي‌گيرد. اين المان متقارن محوري بوده و اجازه اعمال بار غيرمتقارن محوري را مي‌دهد. تنش‌هاي محوري ناشي از نيروي كششي و گشتاور خمشي، تنش برشي در اثر گشتاور پيچشي و تنش محيطي ناشي از فشار براي لوله‌هاي حفاري آزمايش شده، محاسبه مي‌شوند. چنانچه انتظار مي‌رفت، در تمام موارد بيشترين تنش در ناحيه آپست رخ داده و ضريب تمركز تنش براي

هر مود بارگذاري تغيير کرده ولي براي اندازه بارهاي مختلف در هر مود خاص، ثابت باقي مي‌ماند. تنش‌هاي ماکزيمم، و اسمي و همچنين ضريب تمرکز تنش که در اين تحليل المان محدود بدست آمده، در جدول (١) آورده شده است.

جدول ١: ضريب تمرکز تنش حاصل از تحليل المانهاي محدود براي چند مود بارگذاري آزمايش رشته لوله حفاري در مقياس واقعي.

ضريب تمرکز تنش	تنش اصلي [MPa]	تنش عمودي [MPa]	مود بار و تنش مربوطه
1.14	274.335	240.965	(نيروي محوري) تنش طولي
1.14	273.977	241.316	(گشتاور خمشي) تنش خمشي
1.03	159.779	154.808	(گشتاور برشي) تنش پيچشي
1.01	49.401	48.780	تنش (فشار) مماسي

مدل‌هاي محاسباتي

تحليل تنش رشته حفاري

کد کامپيوتري جهت تحليل تنش رشته حفاري بکار گرفته مي‌شود. اولين برنامه: بارمحوري، گشتاور پيچشي، تنش طولي، تنش محيطي و تنش برشي را با فرض حالت تنش صفحه‌اي روي سطح لوله حفاري محاسبه مي‌نمايد. مولفه تنش طولي متوسط از معادله (۵)، مولفه چرخه‌اي تنش طولي که تنش خمشي نيز ناميده مي‌شود از معادله (١٢)، و مولفه تنش محيطي متوسط از معادله (١٤) حساب مي‌شوند و مولفه چرخه‌اي تنش محيطي صفر در نظر گرفته مي‌شود. در حين عمليات حفاري، مولفه تنش برشي متوسط از معادله (١٦) محاسبه، و مولفه چرخه‌اي تنش برشي نيز صفر فرض مي‌شود. برنامه کامپيوتري به داده‌هاي: طراحي رشته حفاري، پيمايش حفره چاه، خواص مکانيکي مونوتونيک ماده و پارامترهاي عملياتي، نياز دارد. داده‌هاي طراحي رشته حفاري شامل قطر لوله، قطر اتصال لوله، وزن بر واحد طول، و طول آن مي‌شود. پيمايش حفر چاه شامل: عمق، شيب و سمت است. خواص مکانيکي مونوتونيک ماده شامل مدول الاستيسيته، استحکام تسليم و نسبت پوآسون مي‌گردد. پارامترهاي عملياتي شامل خواص گل، نرخ جريان گل، سطح مقطع نازل‌هاي مته، وزن روي مته، عمق پاشنه لوله جداري، ضريب اصطکاک، قطر لوله جداري، قطر حفره چاه، دور در دقيقه، نرخ پيش‌روي يا نفوذ و گشتاور پيچشي وارد بر مته مي‌شود.

تحليل خستگي رشته لوله حفاري

در برنامه دوم، از تحليل خستگي براي پيش بيني عمر لوله‌هاي حفاري استفاده مي‌شود. اين برنامه به خروجي برنامه اول که شامل تنش‌ها و کرنش‌ها در طول رشته حفاري است نياز دارد. همچنين به ضرائب تمرکز تنش، ضرائب کاهش استحکام خستگي و خواص مکانيکي ماده در حالت چرخه‌اي وابسته مي‌باشد. برنامه دوم از روش صفحه بحراني براي پيش بيني عمر لوله‌هاي حفاري استفاده مي‌کند. معادلات (٣) و (۴) براي محاسبه تعداد چرخه‌هاي باقي‌مانده تا رسيدن به واماندگي بکار مي‌رود. از نظريه Miner براي محاسبه آسيب خستگي تجمعي استفاده مي‌شود. نمودار جرياني اين برنامه در شکل (۴) داده شده است. خروجي برنامه بصورت خستگي تجمعي برحسب موقعيت لوله داده مي‌شود. از اين نتيجه مي‌توان براي تغيير محل لوله‌هاي حفاري در رشته حفاري و همچنين برنامه ريزي بازرسي لوله حفاري بهره برد. بعنوان نمونه، داده‌هاي ورودي مورد نياز هر دو برنامه، در جداول (٢) تا (۵) آمده است. نمونه خروجي آنها نيز در شکل‌هاي (۵) نشان داده شده است.

جدول ٢: اطلاعات رشته لوله حفاري (داده‌هاي ورودي).

وزن [N/m]	قطر اتصال [m]	قطر بيروني [m]	قطر داخلي [m]	طول [m]	نوع (گريد)	نمونه
1581.98	0.17145	0.17145	0.06985	137.16	D	لوله وزين(کولار)
729.69	0.1651	0.127	0.0762	137.16	D	لوله حفاري وزين
284.58	0.161925	0.127	0.127	4114.8	E	لوله حفاري

ارزيابي مدل خستگي پيشنهادي

مدل خستگي پيش‌بيني عمر لوله‌حفاري پيشنهاد شده در اين مقاله، با داده‌هاي تجربي نمونه‌هاي لوله حفاري با ابعاد واقعي دانشگاه Tulsa [٢٠] ارزيابي شده است.

تنش‌هاي مورد نياز در مدل پيش‌بيني خستگي، از جدول (٦) اخذ شده است. به همين ترتيب اطلاعات مورد نياز مربوط به خواص مکانيکي مادي لوله حفاري در شرايط مونوتونيک، از جدول (٧) گرفته شده است. اطلاعات مربوط به خواص مکانيکي ماده در شرايط چرخه‌اي نيز از جدول (٨) فراهم شده است. شکل‌هاي (٦) تا (٨) نمودارهاي پارامترهاي آسيب خستگي بر مبناي کرنش برشي و عمودي را بر حسب تعداد چرخه معکوس (تعداد برگشت‌ها) تا واماندگي و مقايسه آن با خط مبنا با حد پائين داده‌هاي خستگي(جدول (٨)) را نمايش مي‌دهند. در دانشگاه Tulsa هشت آزمايش تحت خمش و بار محوري ثابت (شکل‌هاي (٦) و (٧)) و شش مورد فقط تحت گشتاور پيچشي چرخه‌اي انجام شده است (شکل (٨)).

اما شکل‌هاي (٦) و (٧) نشان مي‌دهند که پارامتر آسيب بر مبناي کرنش برشي پيش‌بيني بهتري نسبت به پارامتر آسيب بر مبناي کرنش عمودي داشته و صفحه بحراني در زاويه ٤٥ درجه مي‌باشد. شکل (٨) نيز نشان مي‌دهد که پارامتر آسيب بر مبناي کرنش برشي پيش بيني بهتري نسبت به پارامتر آسيب بر مبناي کرنش عمودي، حتي در صفحه بحراني با زاويه ١٥درجه، دارد. به علاوه مدل خستگي به وسيله مقايسه تعداد چرخه‌هاي لازم تا رسيدن به واماندگي حاصل از نتايج آزمايش روي لوله‌هاي حفاري در مقياس واقعي، با تعداد چرخه‌هاي لازم تا رسيدن به واماندگي بدست آمده از مدل خستگي در شکل (٩) مقايسه شده است. جدول (٦) حالت تنش و بعضي نکات مربوط به هر آزمايش را بيان مي‌کند.

از مقادير داده شده براي ضريب تمرکز تنش ناشي از ناحيه آپست در جدول (١)، براي آزمايش‌هاي لوله‌هاي حفاري با ابزار اتصال در مقياس واقعي، استفاده شده است. براي نمونه‌هاي بدون ابزار اتصال، اين ضرايب، يک فرض شده است.

براي آزمايش‌هاي انجام شده روي نمونه‌هاي شيار دار در مقياس واقعي، ضريب کاهش استحکام خستگي ناشي از

جدول ٣ : اطلاعات پيمايش(Survey) چاه (داده‌هاي ورودي) .

نوع چاه	Build and hold
KOP(Kick-off point) عمق جائيکه انحراف چاه آغاز مي‌شود	914.4 m
نرخ بالا بردن زاويه انحراف (Build up)	7 deg/30.48 m
زاويه کجي	30 deg
عمق کلي	5334 m

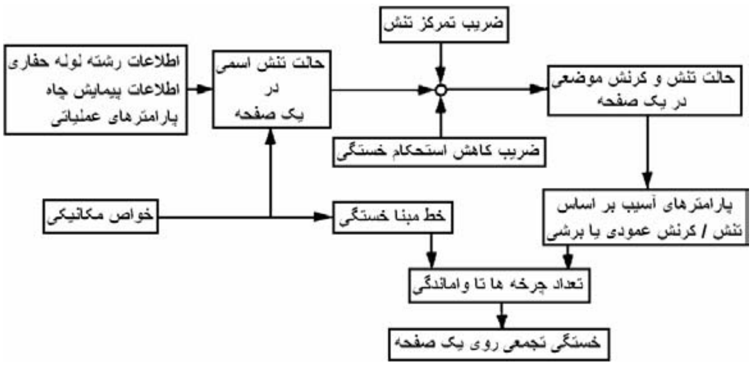
جدول ٤: پارامترهاي عملياتي (داده‌هاي ورودي).

وزن گل	11.751 N/L
ويسکوزيته پلاستيک	0.020 Pa.s
نقطه تسليم	957.605 N/m^2
نرخ جريان گل	1324.89 Lpm
نازل‌هاي مته	3 * 0.00873125 m
وزن روي مته	133446.6 N
عمق پاشنه لوله جداري	1828.8 m
ضريب اصطکاک با جداره چاه	0.3
ضريب اصطکاک با جداره چاه داراي روکش	0.25
قطر داخلي لوله جداري	0.220472 m
قطر حفره چاه	0.2159 m
دور در دقيقه	100 rpm
نرخ پيش‌روي	3.048 m/hr
گشتاور پيچشي وارد برمته	3253.962 N.m
عمليات	حفاري
فاصله‌اي که بايد حفاري شود	9.144 m

جدول ٥: خواص، ابعاد و ضرائب تمرکز تنش در لوله حفاري (داده‌هاي ورودي).

استحکام تسليم در افست 0.2% , σ_Y	703.265 MPa
استحکام کششي نهائي , σ_u	803.929 MPa
مدول الاستيسيته , E	209104.190 MPa
ضريب استحکام خستگي, σ'_f	941.134 MPa
نماي استحکام خستگي, b	-0.0616
ضريب شکل‌پذيري خستگي , ε'_f	6.2937
نماي شکل‌پذيري خستگي, c	-0.8317
خاصيت مادي تجربي, k	0.6
عمق (ريز ناپيوستگي) ناچ, t	0.093218 mm
شعاع (ريز ناپيوستگي) ناچ, r	0.237236 mm
ضريب تمرکز تنش کششي , k_t	1.14
ضريب تمرکز تنش خمشي , k_t	1.14
ضريب تمرکز تنش گشتاور پيچشي	1.03
ضريب تمرکز تنش فشاري	1.01

ريزناپيوستگي، يک فرض شده است. ضريب كاهش استحكام خستگي با استفاده از معادله (۲۳) محاسبه و در جدول (۹) آمده است. براي آزمايش‌هاي انجام شده در مقياس واقعي در مرجع [۲۰]، يک ضريب كاهش استحكام خستگي متوسط، بر اساس ابعاد ريزناپيوستگي بدست آمده بكار برده شده است.



شكل ۴ : نمودار جرياني برنامه كامپيوتري.

جدول۶: آزمايش‌هاي مقياس واقعي انجام شده در دانشگاه Tulsa [۲۰].

شماره آزمايش	دامنه تنش عمودي [MPa]	تنش عمودي متوسط [MPa]	دامنه تنش برشي [MPa]	تنش برشي متوسط [MPa]	تعداد برگشت‌ها تا واماندگي	ملاحظات:
1	190.295	14.479	0	0	1032662	واماندگي در وسط دهنه
2 (نمونه با ابزار اتصال)	142.721	25.511	0	0	1429244	واماندگي در ابزار اتصال گردن پين
3 (نمونه با ابزار اتصال)	188.916	12.411	0	0	804668	واماندگي در آپست سمت پين
4 (نمونه با ابزار اتصال)	190.295	25.511	0	0	288240	واماندگي در ابزار اتصال گردن پين
5 (نمونه با ابزار اتصال)	190.295	25.511	0	0	531178	واماندگي در آپست سمت پين
6	766.697	53.090	0	0	10102	لوله داراي شيار
7	601.912	53.090	0	0	121222	لوله داراي شيار
8 (فقط گشتاور پيچشي چرخه‌اي)	0	0	434.37	434.37	13654	لوله داراي شيار
9 (فقط گشتاور پيچشي چرخه‌اي)	0	0	434.37	434.37	10120	لوله داراي شيار
10 (فقط گشتاور پيچشي چرخه‌اي)	0	0	434.37	434.37	28500	لوله داراي شيار
11 (فقط گشتاور پيچشي چرخه‌اي)	0	0	434.37	434.37	26480	لوله داراي شيار
12 (فقط گشتاور پيچشي چرخه‌اي)	0	0	434.37	434.37	29908	لوله داراي شيار
13 (فقط گشتاور پيچشي چرخه‌اي)	0	0	364.043	364.043	27354	لوله داراي شيار
14 (نمونه با ابزار اتصال)	190.295	25.511	0	0	847348	واماندگي در آپست سمت پين

جدول ٧: خواص مادي و ابعاد لوله حفاري گريدE و قطعه اتصال NC-31 بر اساس استاندارد ASTM-A-370.

	لوله حفاريEU	ابزار اتصالIF $2\frac{7}{8}$ NC-31
OD	0.073025 [m]	0.104775 [m]
ID	0.05461 [m]	0.053975 [m]
W	141[N/m]	-
E	2.09104 [GPa]	2.03367[GPa]
σ_Y	703.265 [MPa]	910.108 [MPa]
σ_u	803.929 [MPa]	1027.319 [MPa]
درصد افزايش طول	8.74% (in 1 Centimeter)	3.54% (in 1 Centimeter)
درصد كاهش سطح مقطع	69.2%	59.0%

جدول ٨: خواص لوله حفاري گريدE بر اساس استاندارد ASTM E-606.

	حد بالاتر (95% Confidence band per ASTM E-739)	منطبق شده	حد پايين‌تر (95% Confidence band per ASTM E-739)
σ'_f	918.382 [MPa]	941.134 [MPa]	962.508 [MPa]
b	-0.0633	-0.0616	-0.0600
ε'_f	4.3674	6.2937	8.9812
c	-0.8432	-0.8317	-0.8205
k'	810.823 [MPa]	798.482 [MPa]	785.658 [MPa]
n'	0.0694	0.0712	0.0731

جدول ٩: ضرائب كاهش استحكام خستگي.

	آزمايش شماره ١	آزمايش شماره ٢	آزمايش شماره ٣	آزمايش شماره ٤	آزمايش شماره ٥	آزمايش شماره ۶
r شعاع حفره نيم دايره‌اي [mm]	0.74422	0.07112	0.2286	0.09906	0.2413	0.96266
t عمق حفره [mm]	0.12446	0.0381	0.10414	0.07112	0.08128	0.1397
K_f از معادله (٢٩)[٢٠]	1.69	1.49	1.84	1.70	1.73	1.67
K_f از مدل پيشنهادي در پيش بيني همان تعداد سيكل تا واماندگي براي آزمايشاههاي مقياس واقعي	1.96	2.14	1.77	1.85	1.76	1.70

در شكل (٩) اگر نقاط مورد نظر زير خط ٤٥ درجه (N مدل= N تجربي) قرار گيرند پيش بيني مدل محافظه‌كارانه و اگر بالاي خط ٤٥ درجه قرار گيرند پيش بيني مدل غيرمحافظه‌كارانه است. بدين ترتيب در شكل (٩) كه نتايج آزمايش‌هاي انجام شده در مقياس واقعي در دانشگاه Tulsa را نشان مي‌دهد، تطابق خوبي بين پيش بيني مدل و داده‌هاي تجربي ديده مي‌شود.

وجود اختلاف بين داده‌هاي تجربي و پيش‌بيني مدل مي‌تواند به دلايل زير باشد.

١- ماهيت خستگي در فلزات، گسترش باندهاي لغزشي را شامل مي‌شود. بنابراين ريز ساختار ماده در مكانيزم خستگي نقش مهمي ايفا مي‌كند.

٢- آزمايش اندازه‌گيري خواص مكانيكي ماده با نمونه‌هائي از لوله‌هاي گريد E صورت گرفته است. هر چند همه لوله‌هاي حفاري آزمايش شده گريد E بوده ولي ممكن

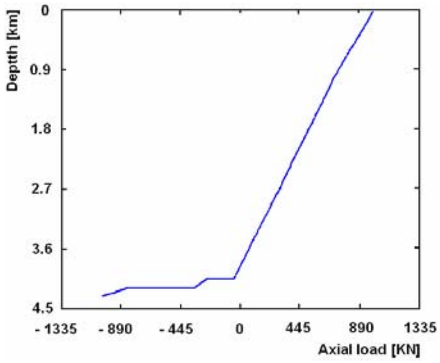
است تفاوت‌هائي بين يک لوله حفاري با لوله حفاري ديگر وجود داشته باشد.

۳- تنش‌هاي پسماند در اين مقاله مورد بررسي قرار نگرفته است، مطالعات آتي بايستي اهميت و نقش آنها را در خستگي لوله حفاري بررسي نمايد.

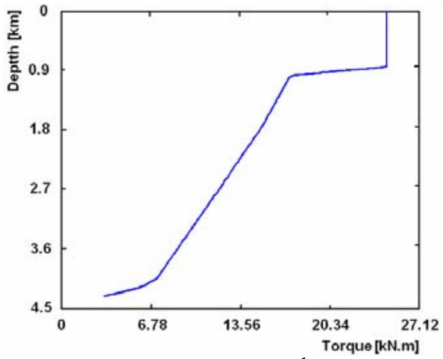
٤- ضريب تمرکز تنش با استفاده از تحليل المان محدود براي يک لوله با شکل هندسي معين محاسبه شده است. فرآيند ساخت ناحيه آپست ممکن است يکنواخت نباشد، بنابراين ممکن است از يک لوله به لوله ديگر تغييراتي هندسي موجود باشد.

٥- پارامتر تجربي k که در فرمول معادله (٤) آمده، ۰/٦ فرض شده است. اما براي دقت بيشتر مقدار آن بايد از ارتباط بين آزمايش‌هاي انجام شده براي اندازه‌گيري تنش‌هاي چرخه‌اي کششي و پيچشي تعيين شود.

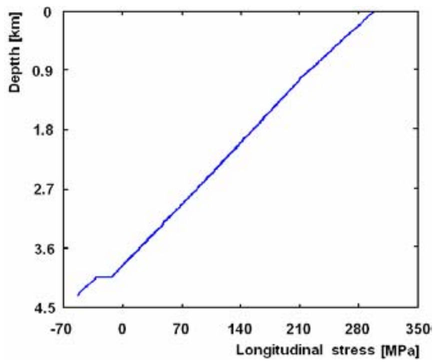
٦- ضريب کاهش استحکام خستگي با استفاده از معادله (۲۳) محاسبه مي‌شود. ابعاد ريزناپيوستگي‌ها از تصاوير گرفته شده توسط اسکن ميکروسکوپ الکتروني بدست مي‌آيد. اندازه‌گيري دقيق ابعاد اين ريزناپيوستگي‌ها بدليل تفرق در شکل هندسي بسيار دشوار است.



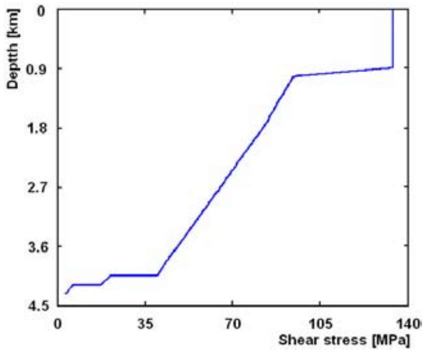
شکل الف: بار محوري بر حسب عمق چاه.



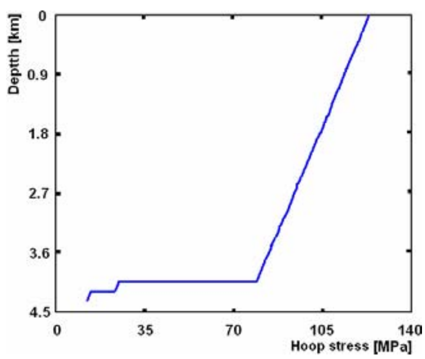
شکل ب: گشتاور پيچشي بر حسب عمق چاه.



شکل پ: مولفه تنش طولي متوسط بر حسب عمق چاه.

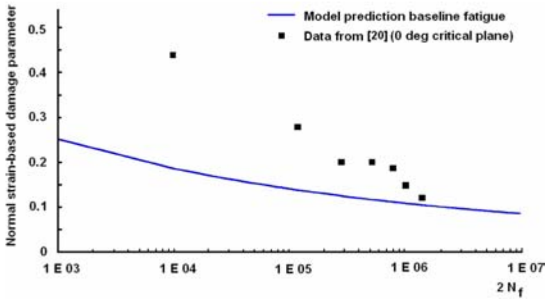


شکل ت: مولفه تنش برشي متوسط بر حسب عمق چاه.

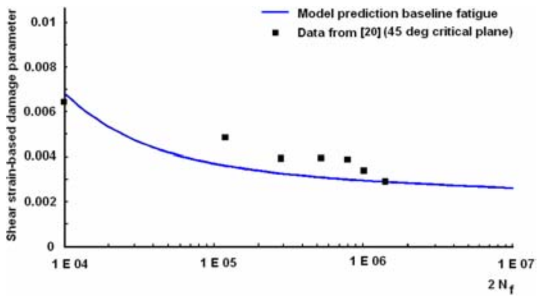


شکل ث: مولفه تنش محيطي(مماسي) متوسط بر حسب عمق چاه.

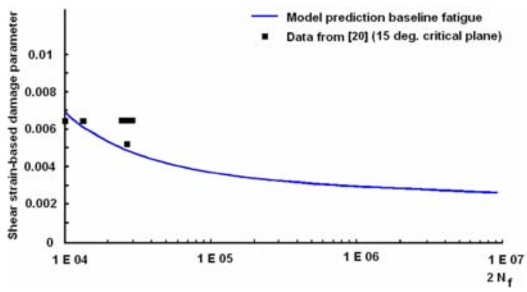
شکل ٥ : تغييرات بارها و مولفه‌هاي تنش بر حسب عمق چاه.



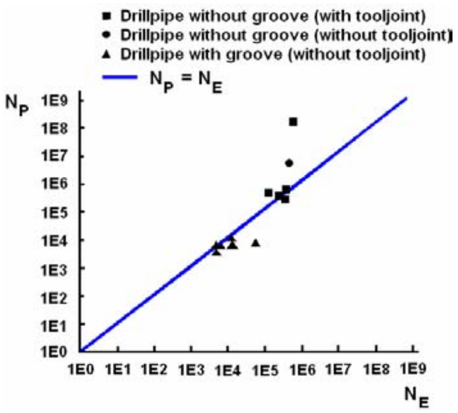
شكل ۶: كرنش عمودي به عنوان پارامتر آسيب خستگي برحسب تعداد برگشت‌ها (معكوس) تا واماندگي.



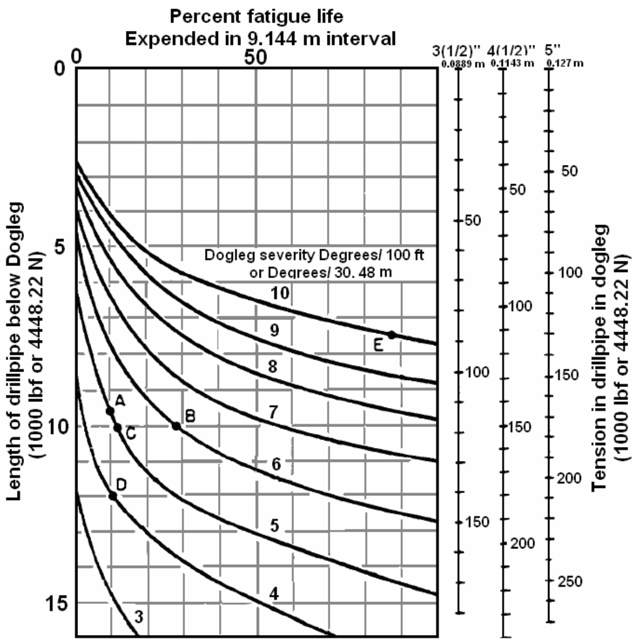
شكل ۷: كرنش برشي به عنوان پارامتر آسيب خستگي برحسب تعداد برگشت‌ها تا واماندگي.



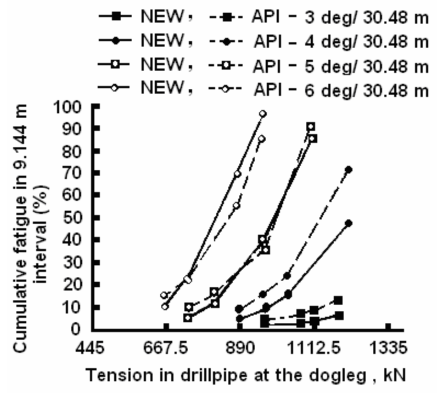
شكل ۸: كرنش برشي به عنوان پارامتر آسيب خستگي برحسب تعداد برگشت‌ها تا واماندگي.



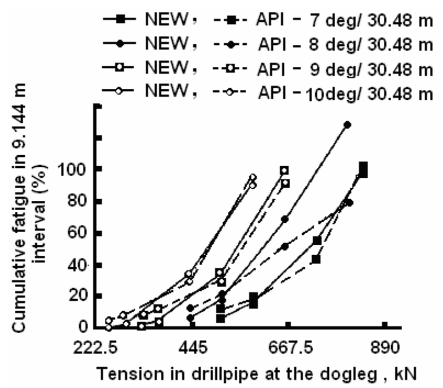
شكل ۹: مفايسه عمر تجربي N_E حاصل از آزمايش در مقياس واقعي[۲۰] در برابر عمر حاصل از پيش بيني مدل خستگي پيشنهادي N_P.



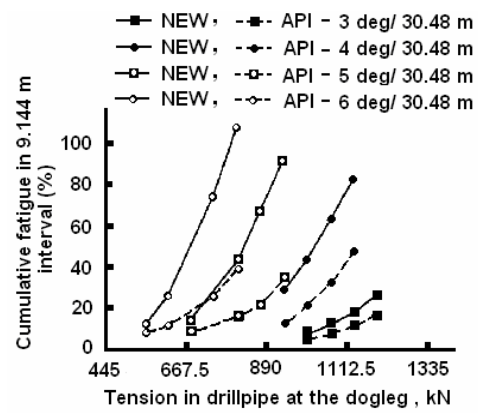
شكل ۱۰: آسيب خستگي لوله حفاري فولادي در سگ پاهاي با شيب تدريجي[۲۲] .



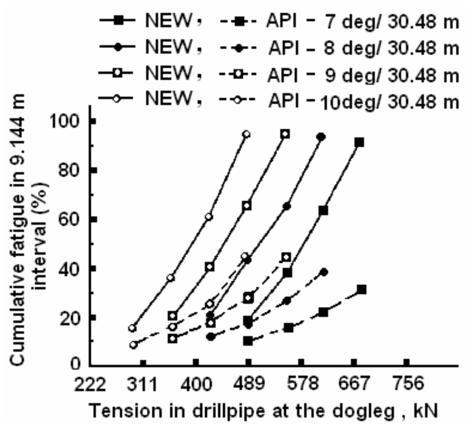
شکل ۱۱: مقايسه بين مدل API [۲۲] با مدل خستگي پيشنهادي در چاه نوع S .



شکل ۱۲: مقايسه بين مدل API [۲۲] با مدل خستگي پيشنهادي در چاه نوعS .



شکل ۱۳: مقايسه بين مدل API [۲۲] با مدل خستگي پيشنهادي در چاه نوع Build and Hold .



شکل ۱۴: مقايسه بين مدلAPI [۲۲] با مدل خستگي پيشنهادي در چاه نوع Build and Hold .

مقايسه مدل خستگي پيشنهادي با روش API

در اينجا نتايج مدل خستگي پيشنهادي براي لوله حفاري با نتايج روش API [۲۲] مقايسه مي‌شوند. دو نوع شکل چاه نيز بکار برده مي‌شود. به منظور محاسبه آسيب خستگي تجمعي و مقادير مختلف کشش محوري لوله حفاري در يک بازه ۹/۱۴۴ متري (طول يک شاخ لوله حفاري) که داراي شدت سگ‌پاي ۳ تا ۱۰ درجه در ۳۰/۴۸ متر است، از شکل (۱۰) استفاده مي‌شود. سرعت دوراني ۱۰۰ دور در دقيقه و نرخ حفاري ۳/۰۴۸ متر در ساعت، پارامترهاي حفاري بکار گرفته شده مي‌باشند.

برنامه کامپيوتري اول نيز به منظور محاسبه کشش در عمق سگ پا به صورت تابعي از اطلاعات پيمايش چاه و داده‌هاي طراحي رشته‌حفاري در همان پروفيل چاه بکار برده مي‌شود، پس از آن برنامه دوم به منظور محاسبه آسيب خستگي تجمعي در يک فاصله ۹/۱۴۴ متري حفاري شده بکار گرفته مي‌شوند. لوله حفاري مورد استفاده در اين آناليز : گريدE با قطر بيروني ۰/۱۲۷ متر و قطر داخلي ۰/۱۰۸۶۱۰۴ متر مي‌باشد. سرعت دوراني حفاري و نرخ حفاري همان مقادير مورد استفاده در شکل (۱۰) مي‌باشند.

روش API با مدل خستگي پيشنهادي با استفاده از داده‌هاي خستگي خط مبنا بر اساس پارامترهاي حاصل از منحني گذران از نتايج، مقايسه مي‌شوند. اين پارامترها که خواص چرخه‌اي مکانيکي ماده براي لوله حفاري گريدE هستند در جدول (۸) آمده است. نتايج آناليز چاه نوع S در شکل‌هاي (۱۱) و (۱۲) و نتايج چاه نوع Build and hold در شکل‌هاي (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است. اندازه گشتاور پيچشي در چاه نوع S از ۳۹۵۲ تا ۵۵۳۲ نيوتن-متر و در چاه نوع Build and hold از ۱۱۲۵۳ تا ۳۶۶۰۷ نيوتن-متر تغيير مي‌کند.

از شکل‌هاي (۱۱) تا (۱۴) ديده مي‌شود که در همه حالت‌ها به جز براي سگ پاهاي با شيب کم (۳ تا ۴

درجه در ۳۰/۴۸ متر)، مدل خستگي پيشنهادي براي لوله حفاري نسبت به روش API واقعي‌تر مي‌باشد. اين نتيجه قابل انتظار بوده چون مدلAPI گشتاور پيچشي را به حساب نمي‌آورد. مشاهده مي‌شودكه با افزايش مقدار گشتاور پيچشي و شدت سگ پا، اختلاف بين مدلها افزايش مي‌يابد. اين اختلاف در چاه نوع Build and hold بيشتر بوده چون گشتاور پيچشي در آن بيشتر از چاه نوع S مي‌باشد.

مشاهده ديگر آن است كه صفحه بحراني در چاه نوع Build and hold ، ۱۵ درجه بوده ولي در چاه نوع S صفر درجه مي‌باشد. باز هم دليل اين اختلاف ميزان گشتاور پيچشي در دو نوع چاه مي‌باشد. روش API نمي‌تواند صفحه داراي ماكزيمم آسيب، يعني صفحه بحراني را تشخيص و پيدا نمايد. مدل خستگي پيشنهادي براي لوله حفاري از روش API دقيق‌تر بوده، چون اين مدل همه بارهاي اعمالي و چندين صفحه بحراني را بررسي مي‌نمايد.

نتيجه‌گيري

۱- تطابق خوبي بين پيش بيني مدل خستگي حاضر و داده‌هاي تجربي مشاهده، و آشكار گرديد كه روش صفحه بحراني ابزار مفيدي براي پيش بيني عمر لوله حفاري محسوب مي‌شود.

۲- براي پيش بيني عمر لوله حفاري معين، به هر دو پارامتر آسيب احتياج مي‌باشد. همچنين براي به حساب آوردن ناپيوستگي‌هاي ريز و درشت به ترتيب به دو ضريب كاهش مقاومت خستگي و ضريب تمركز تنش نياز مي‌باشد.

۳- نشان داده شد كه گشتاور پيچشي در تحليل خستگي نقش مهمي داشته و بايستي در نظر گرفته شود.

۴- دو برنامه كامپيوتري تدوين شده، كه براي طراحي رشته حفاري و دنبال كردن تجمع آسيب خستگي در قسمت‌هاي مختلف رشته حفاري مفيد مي‌باشند.

۵- پيش بيني‌هاي مدل خستگي پيشنهادي براي لوله حفاري، نسبت به روش API واقعي‌تر و محافظه‌كارانه‌تر مي‌باشد.

فهرست علائم

a (Peterson) : پارامتر طول

A : سطح مقطع لوله حفاري

A_1 : سطح مقطع در انتهاي پايين متصل به مته رشته لوله حفاري، در اولين المان انتخابي

BSMF : ضريب بزرگنمائي تنش خمشي

b : نماي استحكام خستگي

b_0 : نماي استحكام برشي خستگي

c : نماي شكل‌پذيري خستگي

c_w : انحناي ديواره چاه

c_o : نماي شكل‌پذيري برشي خستگي

c_p : انحناي ماكزيمم لوله حفاري

E : مدول الاستيسيته

G : مدول برشي

J : ممان اينرسي قطبي لوله حفاري

k : خاصيت مادي تجربي

K' : ضريب استحكام چرخه‌اي

k_t : ضريب تمركز تنش تئوري

K_f : ضريب كاهش استحكام خستگي

N : نيروي عمودي اعمالي بر المان

N_f : تعداد چرخه‌ها تا واماندگي

$2N_f$: تعداد برگشت‌ها تا واماندگي

OD_{TJ} : قطر بيروني لوله حفاري

OD_{DP} : قطر بيروني ابزار اتصال

P_h : فشار هيدرواستاتيک در انتهاي پايين رشته لوله حفاري متصل به مته، در اولين المان انتخابي

r : شعاع ريز (ميكرو) ناپيوستگي

r_0 : شعاع بيروني لوله حفاري

$\bar{r}$: شعاع متوسط لوله حفاري

R : شعاع المان رشته لوله حفاري

T_1 : نيروي محوري در انتهاي پايين در اولين المان

T : نيروي محوري عمل كننده در انتهاي پاييني المان

T_i : نيروي محوري در المان شماره i

T_{i+1} : نيروي محوري در المان شماره $i+1$

Tq_i : گشتاور پيچشي در المان شماره i

Tq_{i+1} : گشتاور پيچشي در المان شماره $i+1$

Tq : گشتاور پيچشي در انتهاي پاييني المان

h : ضخامت ديواره لوله حفاري

t : عمق ريزناپيوستگي

σ_Y : استحكام تسليم

w : وزن شناوري الماني از رشته لوله حفاري

WOB : وزن روي مته حفاري[۹]

ε_a : مولفه دامنه کرنش عمودي روي صفحه θ

ε_f' : ضريب شکل‌پذيري خستگي

$\varepsilon_a \sigma_{max}$: پارامتر آسيب بر مبناي کرنش عمودي

σ_f' : ضريب استحکام خستگي

σ_{max} : تنش عمودي ماکزيمم روي صفحه θ

σ_n : مولفه چرخه اي تنش عمودي روي صفحه θ

σ_x : تنش طولي

σ_{xa} : طولي مولفه چرخه اي تنش

σ_{xm} : طولي مولفه متوسط تنش

σ_{ya} : مولفه چرخه اي تنش مماسي

σ_{ym} : مولفه متوسط تنش مماسي

σ_y : تنش مماسي

σ_u : استحکام نهائي کششي

$\gamma_a \left(1 + k\frac{\sigma_{max}}{\sigma_Y}\right)$: پارامتر آسيب بر اساس کرنش برشي

γ_a : مولفه دامنه کرنش برشي روي صفحه θ

γ_f' : ضريب شکل پذيري برشي خستگي

ϕ : زاويه سمت در انتهاي پاييني المان رشته حفاري

α : رشته حفاري زاويه شيب در انتهاي پاييني المان

$\overline{\alpha}$: زاويه شيب در وسط المان

θ : زاويه يک صفحه خاص

μ : ضريب اصطکاک لغزشي بين رشته حفاري و جداره چاه

υ : نسبت پوآسون

$\Delta\phi$: تغيير در زاويه سمت در سرتاسر طول المان

$\Delta\alpha$: تغيير در زاويه شيب در سرتاسر طول المان

ΔP : تغيير فشار داخل و خارج لوله

ΔT : تغيير در نيروي محوري در سرتاسرطول المان

ΔT_q : تغيير در گشتاور پيچشي در سرتاسر طول المان

$\left.\tau_{xym}\right)_d$: در حين حفاري مولفه متوسط تنش برشي

$\left.\tau_{xym/a}\right)_c$: مولفه‌هاي متوسط يا چرخه اي تنش برشي در حين اتصال

τ_{xya} : مولفه چرخه‌اي تنش برشي

τ_{xym} : مولفه متوسط تنش برشي

τ : مولفه چرخه‌اي تنش برشي روي صفحه θ

τ_{xy} : تنش برشي

τ_{max} : ماکزيمم تنش برشي

τ_f' : ضريب استحکام برشي خستگي

مراجع

1 - Vaisberg, O., Vincke, O., Perrin, G., Sarda, J.P. and Fay, J. B. (2002). "Fatigue of Drillstring: State of the Art." *Oil and gas science and technology*, Vol. 57, No.1, PP. 7-37.

2 - Ghajar, R. and Rashed, R. (2005). *Analysis and determination of the principal factor for the abnormal drill-string failures In Gachsaran and Bibihakimeh oil fields of Iran*. Journal of Faculty of Engineering, University of Tehran, Vol. 39, No. 1.

3 - Hansford, J. E. and Lubinski, A. (1965). *Cumulative Fatigue Damage of Drill Pipe in Dog Leg*. Denver, AIME-SPE: PP. 285-289.

4 - *Recommended Practice for Drill Stem Design and Operating Limits*. (1990). API RP7G, 14th. Edition.

5 - Howard, J.A. et al, (1993). *Systematic Tracking of Fatigue and Crack Growth to Optimize Drillstring Reliability*. IADC/SPE 25775.

6 - Miller, K. J. (1991). "Metal Fatigue - Past, Current and Future." *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers,* London.

7 - Tipton, S. M. (1991). *An Overview of Multiaxial Fatigue Design and Analysis*. Report presented to Deere and Company Technical Center, Moline, Illinois.

8 - Fatemi, A. and Socie, D. F. (1988). "A Critical Plane Approach to Multiaxial Fatigue Damage Including Out-of-Phase Loading." *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.,* Vol. 11, No. 3, PP. 149-165.

9 - Bannantine, J. A. and Socie, D. F. (1988). "Observations of Cracking in Tension and Torsion Low Cycle Fatigue." *Low Cycle Fatigue, ASTM STP 942,* Solomon, Halford, Kaisand and Leis, Eds., PP. 899-921.

10 - Socie, D. F. and Marquis, G. B. (2000). "Multiaxial fatigue." *Society of Automotive Engineers,* Inc., Warrendale, PA., PP. 341-409.

11 - Socie, D. F. (1987). "Multiaxial Fatigue Damage Models." *J. of Engineering Materials and Technology, American Society of Mechanical Engineers.* Vol.109, PP. 293-298.

12 - Smith, K. N., Watson, P. and Topper, T. H. (1970). "A Stress-Strain Function tor the Fatigue of Metals." *Journal of Materials,* Vol. 5, No.4, PP. 767-778.

13 - Bannantine, J. A. and Socie, D. F. (1989). "A Variable Amplitude Multiaxial Fatigue Life Prediction Method." *Third International Conference on Biaxial/Multiracial Fatigue,* Stuttgart, FRG.

14 - Bannantine, J. A. (1989). *A Variable Amplitude Multiaxial Fatigue Life Prediction Method.* Ph.D. Dissertation, The University of Illinois, Champaign, Illinois.

15 - Johancsick, C. A. et al (February 1983). *Torque and Drag in Directional Wells – Prediction and Measurement*. IADC/ SPE 11380, New Orleans.

16 - Rashed, G., Ghajar, R. and Hashemi, S. J. (2006). "The bending stress magnification influence on drillpipe fatigue." *14th ISME,* Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

17 - Peterson, R. E. (1959). *Notch Sensitivity.* Chapter 13, Metal Fatigue, Edited by G. Sines and J.L. Waisman, McGraw-Hill, New York, PP. 193-306.

18 - Peterson, R. E. (1959). "Analytical Approach to Stress Concentration Effect in Fatigue of Aircraft Materials." *Wright Air Development Center Technical Report 59-507*, PP. 173-299.

19 - Ikawa, K. and Ohira, G. (1967). "Fatigue Properties of Cast Iron in Relation to Graphite Structure." *American Foundry Society, Cast Metals Research Journal*, Vol. 3, PP. 11-12.

20 - Placido, J. C. R., Petrobras S. A., Azar, J. J., Sorem Jr, J. R., Kessler, F. and Tipton, S. M. (1994). *OTC* 7569.

21 - Wilson, G. E. and Shepard, J. S. (1992). *What Difference Does MIU Make in the Fatigue Life of Drill Pipe?* IADC/SPE 23841, New Orleans, LA.

22 - *Recommended Practice for Drill Stem Design and Operating Limits*. (1990). API RP7G, 14th Edition.

واژه‌هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Monitoring
2 - Upset fade-out zone
3 - Corrosion pits
4 - Slip marks
5 - Interlocking
6 - Soft element mode
7 - Bending stress magnification factor
8 - Micro discontinuities
9 - Weight on bit