

# تأثیر تنش‌های ناشی از عملیات حفاری بر چاه و ضریب پوسته

پژوهش‌فست

سال بیستم  
شماره ۶۳  
صفحه ۴۸-۳۹، ۱۳۸۹

محمدرضا سعیدی نیا<sup>۱\*</sup> و سیدرضا شادی زاده<sup>۲</sup>

۱- شرکت فنی مهندسی ایران رضی

۲- دانشگاه صنعت نفت آبادان

Saeedynia@gmail.com

می توان به طراحی بهینه اقدام کرد که این صدمات افت فشار قابل توجه و در بعضی موارد عدم بهره‌برداری از مخزن را در پی داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: صدمه وارد بر چاه، ضریب پوسته، تنش‌های حفاری

## مقدمه

صدمات وارد بر سازند در حین فرایندهای حفاری، تولید و سایر عملیات‌های کاری، فرایندی نامطلوب و مشکل‌ساز از لحاظ فنی و اقتصادی در بازیابی نفت و گاز از مخازن هیدروکربنی است. تعیین صدمات سازند، کنترل و ترمیم آن‌ها از مهم‌ترین مسائل رایج دستیابی به استخراج مخازن هیدروکربنی است. این صدمات به‌علت عوامل مخرب مختلف شیمیایی، فیزیکی، زیستی و فعل و انفعالات دمایی در سازند و سیال و تغییر وضعیت سازند به‌دلیل فشار برشی سیال است [۱].

صدمات سازند وارد بر چاه، اصطلاحی فنی است که به اختلال در نفوذپذیری سازند حاوی نفت به‌دلیل فرایندهای مضر اشاره می‌کند. صدمات سازند، عملکردی غیرمطلوب و مشکلی اقتصادی می‌باشد که ممکن است در حین عملیات‌های مختلف بازیابی نفت و گاز رخ دهد. بخش‌های مختلف شامل تولید، حفاری، شکافت هیدرولیکی

## چکیده

در اثر ضربات مته حفاری، خصوصیات سنگ (خصوصاً مکانیک‌سنگی) تغییر می‌کند. این تغییرات در سنگ مخزن سبب افت فشار مخزن در اطراف چاه در حین بهره‌برداری می‌شود. پس از عملیات تکمیل چاه برای تخمین ضریب پوسته داری از اطلاعات چاه، آزمایش‌های متفاوتی انجام می‌گیرد. برای طراحی و در نظر گرفتن عملیات ترمیمی و پیشگیری، شناخت منبع اصلی ضریب پوسته ضروری است. تعیین ضریب پوسته مربوط به عملیات حفاری و ضربات ناشی از سرمته در اطراف چاه از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف از تعیین اثرگذاری مته بر روی افت فشار اطراف چاه، کنترل اثر ضربه‌های مته برای پیشگیری از صدمات وارد بر چاه می‌باشد. برای محاسبه ضریب پوسته در اطراف چاه به‌علت صدمات وارد بر سازند، مطالعات مخزنی زیادی انجام گرفته است. در این تحقیق با توجه به تأثیرات حفاری سعی بر تعیین اثرگذاری این پارامترها بر ضریب پوسته اطراف چاه با دید مکانیک سنگی است. نتایج نشان می‌دهند، قابلیت کنترل و کاهش ضریب پوسته حاصل در اطراف چاه با انتخاب مناسب نوع حفاری و سرمته مورد استفاده، ارتباط دارد. این بررسی همچنین ارتباط بین بخش‌های مختلف عملیاتی صنعت نفت برای پیشگیری از صدمات وارد بر چاه را تأیید می‌کند به‌طوری‌که با مطالعه و بررسی سازند قبل از شروع عملیات حفاری برای کاهش صدمات وارد بر چاه

موجود و بیان عددی نتایج است. هدف اصلی این مدل در طراحی و برنامه‌ریزی برای پایداری چاه‌ها می‌باشد و برای بررسی تحلیل پایداری و جلوگیری از صدمات وارد بر چاه ضروری و لازم است. ناپایداری دارای عواملی است که از اصلی‌ترین آن‌ها می‌توان به افزایش زمان‌های تاخیر در عملیات سرچاهی اشاره کرد که خود ممکن است شامل ریزش دیواره سازند، زمان زیاد لوله بالا و لوله پایین<sup>۱</sup>، زمان اضافه برای ترمیم دیواره، از دست دادن گل<sup>۲</sup>، گیرلوله<sup>۳</sup>، مانده‌یابی<sup>۴</sup> و برداشت نامطلوب از نمودارهای چاه‌پیمایی و سیمان‌کاری ضعیف باشند.

اطلاعات مورد استفاده برای مدل‌سازی و محاسبه تنش از مجموعه نمودارها و آزمایش‌های کامل چاه مورد نظر به دست آمده که اطلاعات محاسبه تنش در ادامه بیان شده‌اند [۲].

### وزن گل

وزن گل مورد استفاده در چاه حفاری شده در فواصل مختلف از عوامل مهم ایجاد تنش بر سازند است. گل مورد استفاده در حین حفاری به عنوان فشار مقاوم و بازدارنده از فشار سازند و مانع ریزش عمل می‌کند و تنش‌های نهایی به وجود آمده در اطراف چاه برآورد این فشار و فشارهای موجود در منطقه است. وزن گل بر حسب نوع و شرایط سازند تعیین می‌شود. در محاسبات تنش بر دیواره چاه از وزن گل برای محاسبه مقدار نیروی وارد بر بدنه چاه در حین حفاری استفاده می‌شود، زیرا در حین حفاری و قبل از راندن لوله جداره تنها نیروی نگهدارنده سازندهای حفاری شده، وزن گل می‌باشد.

### تنش عمودی

فشار روباره<sup>۵</sup> یا همان تنش عمودی، مجموع چگالی سازندهای روی عمق مورد نظر است. برای محاسبه تنش عمودی از رابطه (۱) استفاده می‌شود [۳]:

$$\sigma_z = \int_0^z p(z).g.dz \quad (1)$$

در این رابطه  $\sigma_z$  تنش عمودی،  $p$  چگالی و  $g$  شتاب ثقل زمین است.

1. Skin
2. Trip
3. Mud Loss
4. Stuck Pipe
5. Fishing
6. Over Burden Pressure

و فرایندهای کاری دیگر شامل این مقوله می‌شوند. در بیان عام، صدمه سازند را می‌توان در دسر پرهزینه‌ای برای صنعت نفت و گاز تعریف کرد [۱].

شاخص صدمه سازند، کاهش نفوذپذیری، صدمه پوسته<sup>۱</sup> و کاهش کارایی چاه را شامل می‌شود. صدمه سازند لزوماً ترمیم پذیر نیست و گاهی غیر قابل برگشت به حالت اولیه است. از اینرو بهتر است از صدمه وارد بر سازند جلوگیری شود تا نیازی به ترمیم نداشته باشد [۱].

هدف از این تحقیق، شناسایی و تحلیل تغییرات تنش‌های موجود در منطقه اطراف چاه پس از عملیات حفاری از دید مکانیک‌سنگی بر روی دیواره چاه است. برای این منظور ابتدا تنش‌های موجود در منطقه را برای یک چاه واقعی به دست آورده و پس از آن تنش‌های به وجود آمده در اطراف دیواره به وسیله محاسبه عددی و شبیه‌سازی با نرم‌افزار المان محدود ABAQUS محاسبه شده است. تنش‌های موجود در اطراف دیواره چاه که در واقع تنش‌های حفاری است، محاسبه و سپس تاثیر این تنش‌ها بر روی خواص اولیه سنگ بررسی می‌شود. عامل اصلی برای تعیین ضریب پوسته در اطراف چاه، تغییرات نفوذپذیری است که به وسیله نرم‌افزار FLAC شبیه‌سازی شد. و پس از آن به محاسبه ضریب پوسته در اطراف چاه پرداخته شد. ضریب حاصل، تنها از اثرات مکانیکی عملیات حفاری می‌باشد که روند آن با توجه به شرایط و عمق به دست آمده است [۲].

### روش کار

هدف از این تحقیق، بررسی صدمات وارد بر چاه در اثر عوامل فیزیکی و مکانیک سنگی است. شبیه‌سازی این تحقیق نیازمند اطلاعات مکانیک سنگی از یک مخزن و شرایط واقعی است تا بررسی‌های انجام گرفته بر حسب اطلاعات صحیح و نتایج قابل اعتماد باشند. لذا از اطلاعات، گزارش تفصیلی و نمودارهای موجود یکی از چاه‌های میدانی ایران استفاده شد که گزارش‌های مربوط به این چاه کامل در دسترس بود، لذا تنش‌های ایجاد شده در اثر عملیات حفاری در این چاه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مدل مکانیکی کامل زمین برای چاه مورد مطالعه، نتایج از اعتبار بالایی برخوردار است. تهیه مدل مکانیکی زمین شامل جمع‌آوری تمامی اطلاعات

۳۵ درجه و در سنگ‌های شیلی حدود ۲۵ درجه فرض می‌شود.

### سبک قرارگیری تنش‌های اصلی

یکی از خصوصیات میدان و چاه مورد مطالعه که از خواص منطقه‌ای است، تأثیر تکتونیک‌های نمکی است. از اینرو گسل‌های رایج ثبت شده به صورت عادی و گسل‌های امتداد لغز نیز وجود دارند. بنابراین رژیم تنش از نوع عادی و ترتیب قرارگیری تنش‌های اصلی به ترتیب  $(\sigma_h < \sigma_H < \sigma_v)$  می‌باشد، البته در محل‌های دارای گسل امتداد لغز، قرارگیری تنش‌ها به ترتیب  $(\sigma_h < \sigma_v < \sigma_H)$  بوده و این روند در عمق کم بیشتر مشاهده می‌شود. شکل ۱، رژیم گسلی و تنش‌های رایج در میدان مورد بررسی را نشان می‌دهد [۴].

### تنش افقی حداقل

برای محاسبه تنش افقی حداقل و تخمین اولیه اندازه این تنش‌ها در میدان مورد مطالعه از مدل ساده الاستیک استفاده شد. مقادیر مدول یانگ استاتیک، ضریب پواسون استاتیک، فشار منفذی و تنش عمودی همان‌گونه که در بخش‌های قبلی شرح داده شد از روی لاگ‌های مختلف محاسبه شدند. طبق فرمول و با فرض صفر بودن فشارهای جانبی برای سازند، مقدار اولیه برای تنش افقی حداقل محاسبه شد [۲].

### خواص الاستیسیته سنگ

مقاومت فشاری تک محوره از پارامترهای کلیدی برای تعیین شکست و رفتار مکانیک سنگی دیواره اطراف چاه است. از بهترین روش‌های محاسبه مقاومت فشاری، انجام آزمایش مقاومت تک محوری روی نمونه سنگ سازند است، ولی به دلیل در دست نبودن نمونه، مقاومت فشاری از روش خاص و مدول یانگ و دیگر خواص الاستیکی محاسبه و مقاومت فشاری سنگ نیز با این پارامترها محاسبه شد.

### ضریب پواسون

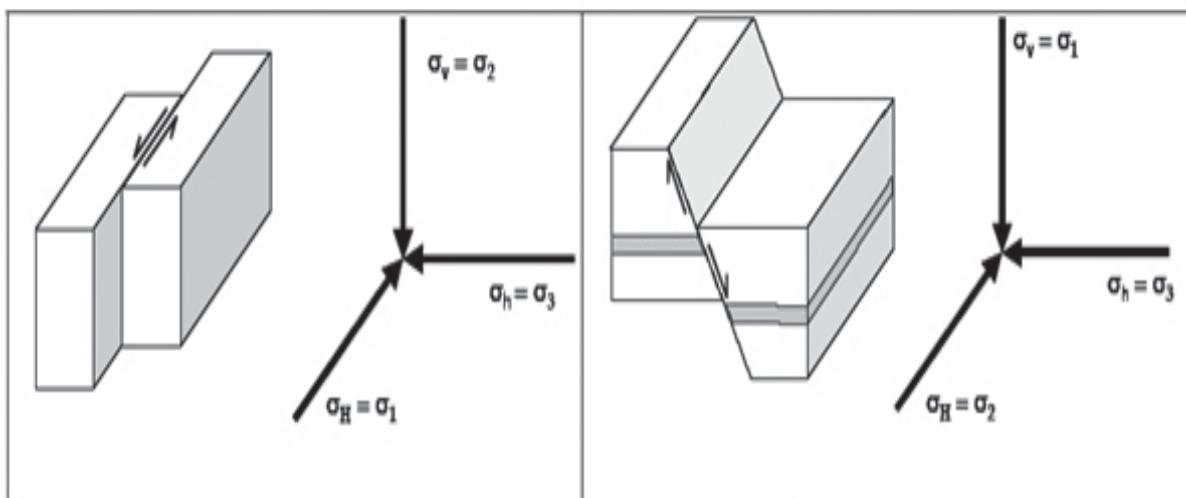
یکی از روش‌های محاسبه ضریب پواسون از روی لاگ‌های 'DSI (مجموعه لاگ‌های صوتی) است که در اینجا از آن بهره گرفته شده است. ضریب پواسون استاتیک طبق رابطه (۲) قابل محاسبه می‌باشد:

$$v_{sta} = v_{dyn} \times 0.7 \quad (2)$$

ضریب پواسون دینامیکی است که از عملیات چاه‌پیمایی محاسبه می‌شود و  $v_{sta}$ ، ضریب پواسون استاتیکی است.

### زاویه اصطکاک داخلی

مقدار متوسط این زاویه برای سنگ‌های کربناته و ماسه‌سنگی

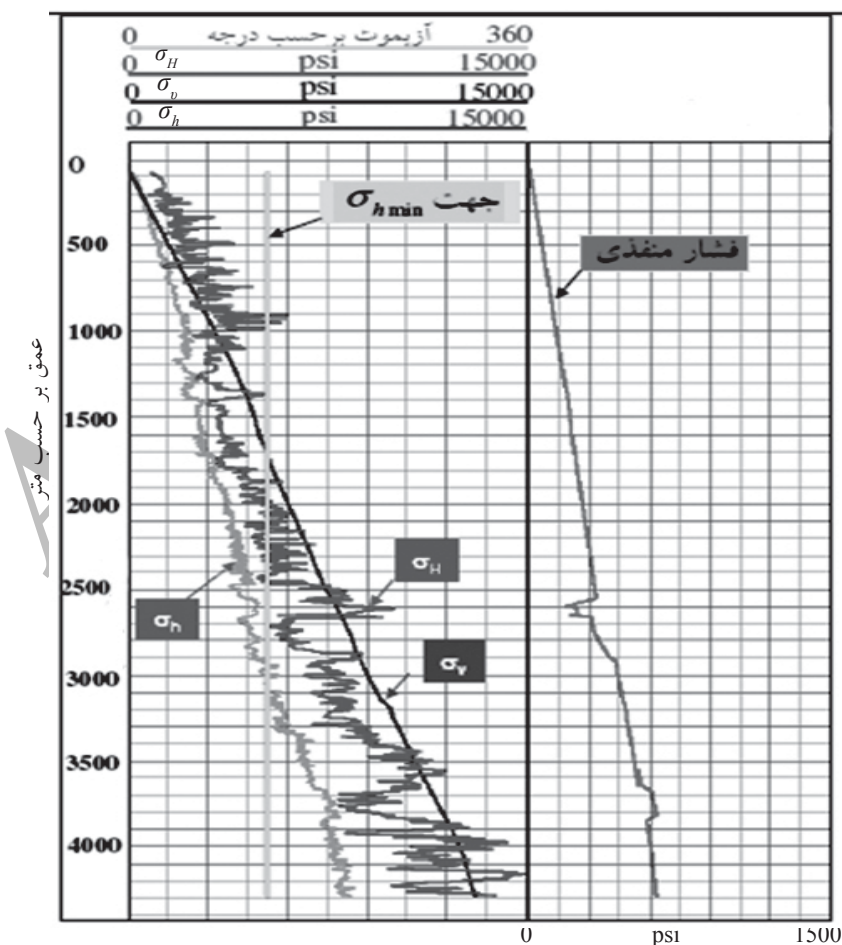


شکل ۱- روند وجود تنش‌های اصلی در گسل عادی و امتداد لغز، دو نوع رژیم رایج در میدان مورد مطالعه [۴]

## تنش افقی حداکثر

همانند تنش افقی حداقل ( $\sigma_h$ )، اندازه‌گیری مستقیم تنش افقی حداکثر ( $\sigma_H$ ) میسر نیست، اما از روی مدل‌های ساخته شده از شکست چاه که از روی تصاویر چاه برداشت می‌شود، قابل استنتاج است. شکست‌های رایج برای تخمین  $\sigma_H$ ، شکست برشی (به علت فشار پایین گل) و شکست کششی (به علت فشار بالای گل) هستند. در مجموع در چاه مورد بررسی مشخصات مکانیکی، لاگ‌ها و اطلاعات موجود از تنش افقی حداکثر، به صورت شکل ۲ از مدل مکانیکی زمین برداشت شده است. این اطلاعات از روی مدل مکانیکی زمین که شامل مجموع تحلیل‌ها و پردازش‌ها بر روی نمودارهای چاه‌پیمایی مختلف است، به دست آمد. از دیگر روش‌های محاسبه مقدار تنش، بهره‌گیری از فرمول‌ها و معیارهای مکانیک سنگی و اطلاعات مکانیک سنگی سازند است [۲].

جدول ۱، پارامترهای اساسی و مورد نیاز برای مدل‌سازی با نرم‌افزار ABAQUS که از روی اطلاعات مدل مکانیکی میدانی به دست آمده و در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است را نشان می‌دهد. با استفاده از اطلاعات چاه موجود، تنش‌ها و مشخصات مکانیک سنگی، اقدام به شبیه‌سازی و محاسبه تنش‌های به وجود آمده در حین حفاری در دیواره چاه شد که به مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار ABAQUS طبق الگوی خاص و پارامترهای این نرم‌افزار نیاز می‌باشد. تحلیل‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS که بر مبنای تحلیل‌های المان محدود می‌باشد، صورت گرفت. این نرم‌افزار دارای یک فهرست گسترده از مدل‌های اجسام است که از طریق آن‌ها می‌توان رفتار بسیاری از اجسام مهندسی، شامل فلزات، لاستیک، پلیمرها، کامپوزیت‌ها، بتون مسلح، فوم‌های فشرده ارتجاعی و مصالح ژئوتکنیکی همانند خاک و سنگ را شبیه‌سازی کرد.



شکل ۲- پروفایل تنش‌های ( $\sigma_H$ ،  $\sigma_v$ ،  $\sigma_h$ )، فشار منفذی و جهت  $\sigma_h$  در میدان مورد مطالعه [۵].

جدول ۱- مشخصات سنگ برای مدل‌سازی در اعماق مختلف چاه

نوع پارامتر	علامت اختصاری	واحد	مقدار در عمق ۲۹۰۰ متر	مقدار در عمق ۳۴۰۰ متر	مقدار در عمق ۳۹۰۰ متر	مقدار در عمق ۴۴۰۰ متر
چگالی	$\gamma$	$kg/m^3$	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰
ضریب پواسون	$\nu$	---	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳
زاویه اصطکاک داخلی	$\phi$	درجه	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
تراوایی	$K$	$md$	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
تخلخل	$n$	---	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳
تنش عمودی	$\sigma_v$	$MPa$	۶۲	۷۲/۴	۸۲/۷	۸۸
تنش افقی حداکثر	$\sigma_H$	$MPa$	۵۵	۶۲	۸۲	۹۳
تنش افقی حداقل	$\sigma_h$	$MPa$	۳۲/۵	۴۵	۵۲	۵۷
وزن مخصوص گل	$\gamma_{mud}$	$kg/m^3$	۱۱۷۰	۱۳۲۹	۱۲۸۱	۱۲۸۱
فشار گل	$P_{mud}$	$MPa$	۳۳/۳	۴۴/۳	۴۹	۵۵/۳

x و موقعیت منطقه ۲، مقدار تنش در راستای محور y در دیواره چاه را نشان می‌دهد. این مقادیر در دو طرف چاه یکسان بوده و حالت تقارن در راستای محورهای اصلی را دارا می‌باشند. نکته مهم، منفی بودن مقدار تنش‌ها است که در مکانیک سنگ کلیه تنش‌های فشاری با علامت منفی شناخته می‌شوند و از اینرو مقادیر به صورت قراردادی به دلیل فشاری بودن تنش‌ها، منفی نشان داده شده‌اند. در واقع تنش حداقل به صورت قراردادی و ریاضی حداقل است ولی در عمل از لحاظ مقدار حداکثر تنش القایی در اثر عملیات حفاری است [۲].

#### ارزیابی مقدار تاثیر تنش بر روی مشخصات سنگ

پس از به دست آوردن مقدار تنش‌های حاصل از عملیات حفاری در حالت دینامیکی، تاثیر این تنش‌ها به عنوان عوامل مکانیکی و فیزیکی ایجاد صدمه بر روی چاه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی صدمه با توجه به مقدار تنش‌های جدید ایجاد شده در اطراف دیواره چاه تنها با بررسی تغییر مشخصات مکانیک سنگی در این ناحیه امکان‌پذیر است. لذا خصوصیات منفذی سنگ در اطراف چاه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پارامترهای مهم دیگر در اطراف چاه، نفوذپذیری و تخلخل هستند. در محاسبه صدمه وارد بر چاه، رابطه (۳)، معیار کلی برآورد صدمه ضریب پوسته می‌باشد [۲]:

1. Mohr-Coulomb

با در نظر گرفتن این که ABAQUS یک ابزار شبیه‌ساز جامع است، می‌توان آن را برای مطالعه و حل مسائل و مشکلات سازه‌ای (تنش یا تغییر مکان) مورد استفاده قرار داد. برای تحلیل کلی فرایند اثر تنش‌های به وجود آمده در اطراف چاه و اثرات آن بر روی خصوصیات سنگ، ابتدا شرایط محیطی اعمال شده و سپس نتایج حاصل در قسمت‌های بعدی ارائه می‌شود.

در مرحله اول تحقیق، رفتار سنگ به صورت الاستیک خطی فرض شد. مقادیر ثابت‌های الاستیک سنگ طبق محاسبات از روی نتایج گزارش مکانیکی میدان و بر اساس عمق، تعیین شدند. در مرحله بعد تاثیر رفتار پلاستیک سنگ با انتخاب مدل رفتاری مور-کولمب<sup>۱</sup>، برای سنگ مورد بررسی قرار گرفت.

مرحله نهایی در تحلیل عددی، اجرای مدل و مشاهده نتایج است. نتایج به صورت گرافیکی و نمودارهای عددی قابل استخراج و ارائه هستند. نتایج در ابتدا به صورت تنش‌های اطراف چاه استخراج شدند، جدول ۲، مقدار تنش‌های مختلف حاصل از شبیه‌سازی برای تنش‌های به وجود آمده در اطراف چاه را نشان می‌دهد. مقادیر موجود در این جدول برای نقاط دیواره چاه و مقدار تنش در دو راستای افقی مقطع چاه برای هر عمق محاسبه شده است که از لحاظ مقدار و جهت تاثیر نیز نقاط حساس تر می‌باشند. موقعیت منطقه شماره ۱، در واقع تنش در راستای محور



جدول ۲- مقادیر تنش های به دست آمده از مدل سازی در اطراف دیواره چاه در اعماق مختلف

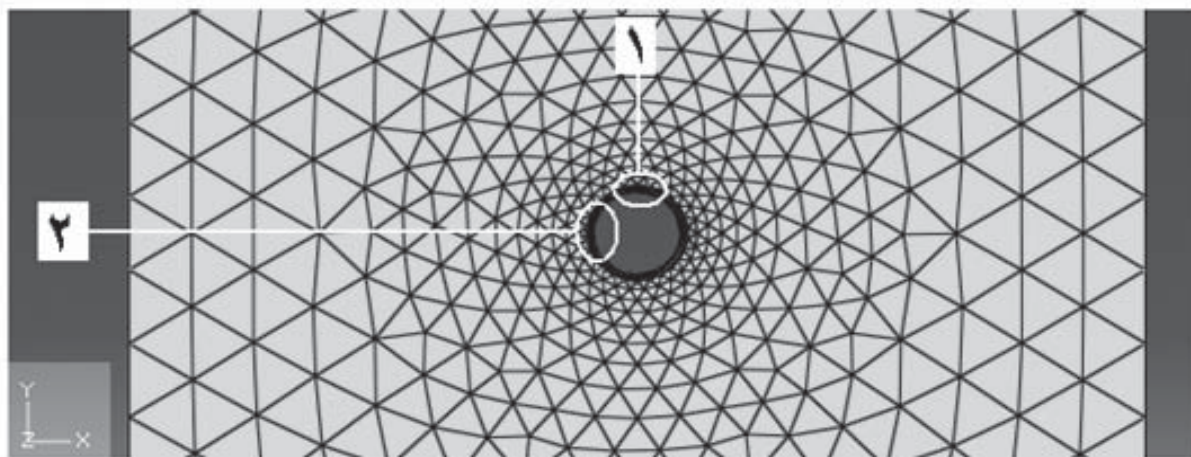
تنش اصلی حداقل MPa		تنش اصلی متوسط MPa		تنش اصلی حداکثر MPa		نوع تنش عمق (m)
در منطقه ۲	در منطقه ۱	در منطقه ۲	در منطقه ۱	در منطقه ۲	در منطقه ۱	
-۹۳/۷	-۵۲/۵۷	-۶۸/۹	-۳۲/۲	-۴۳/۳	-۱۶/۲۵	۲۹۰۰
-۷۴	-۱۳۰	-۷۷/۲	-۷۴/۸	-۸	-۸	۳۴۰۰
-۱۳۲	-۷۶/۱	-۸۸/۲	-۴۹/۲	-۵۵/۱	-۳۸/۸	۳۹۰۰
-۱۵۱	-۸۷/۴	-۹۱/۷	-۵۴/۹	-۶۴/۶	-۳۶/۷	۴۴۰۰

نفوذپذیری اطراف چاه از مقادیر تنش های محاسبه شده از نرم افزار ABAQUS در دیواره چاه استفاده شد. نرم افزار FLAC3D، توانایی شبیه سازی سه بعدی رفتار سازه های خاکی، سنگی و... را دارد. حوزه کاربرد این نرم افزار در معدن و عمران وسیع است که در اینجا برای بررسی تغییرات نفوذپذیری در سنگ به دلیل تنش های به وجود آمده مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین روند تغییرات نفوذپذیری به ساختن یک سلول آزمون سه محوری به منظور به دست آوردن میزان کاهش نفوذپذیری در نمونه مورد آزمایش اقدام شد. به طوری که مقدار تنش های محاسبه شده طبق جدول ۲ به مدل سلول مورد آزمایش وارد شده و تغییرات نفوذپذیری ثبت شدند. منطقه ۱، در واقع تعیین کننده مقادیر پارامترها در راستای محور x و منطقه ۲ در راستای محور y در مقطع رسم شده، در اطراف دیواره چاه هستند که موقعیت مناطق در شکل ۳ نشان داده شده است.

$$S = \frac{kh(\Delta p)_{skin}}{141.2q\mu_0\beta_0} \quad (3)$$

$k$ : ضریب پوسته که بدون واحد می باشد  
 $k$ : نفوذپذیری سازند برحسب میلی داری  
 $h$ : شعاع تحت تأثیر برحسب فوت  
 $(\Delta p)_{skin}$ : افت فشار مخزن در اثر پوسته برحسب psi  
 $q$ : نرخ جریان نفت بشکه در روز  
 $\mu_0$ : ویسکوزیته نفت برحسب سانتی پواز  
 $\beta_0$ : ضریب حجمی نفت سازند

برای تعیین اثرگذاری تنش های اطراف چاه بر روی نفوذپذیری سنگ اطراف چاه، از نرم افزار ABAQUS به دلیل محدودیت ها و پیچیدگی ها و عدم توانایی مدل سازی، استفاده نشد. برای تعیین ضریب پوسته حاصل از تغییرات نفوذپذیری از نرم افزار 'FLAC3D که یک برنامه تفاضل محدود، صریح، سه بعدی و محصول شرکت Itasca است، استفاده شد. همچنین برای به دست آوردن تغییرات



شکل ۳- مقطع موقعیت مناطق در محاسبه تنش های اطراف چاه [۲]

1. Fast Lagrangian Analysis of Continue in 3 Dimensions
2. Finite Difference Method

جدول ۳- تغییرات نفوذپذیری در مناطق و اعماق مختلف چاه

عمق (m)	تنش اصلی حداکثر MPa	تنش اصلی متوسط MPa	تنش اصلی حداقل MPa	فشار گل MPa	نفوذپذیری md
۱-۲۹۰۰ منطقه ۱	-۱۶/۲۵	-۳۲/۲	-۵۲/۵۷	-۳۳/۳	۱۸/۳۳
۲-۲۹۰۰ منطقه ۲	-۴۳/۳	-۶۸/۹	-۹۳/۷	-۳۳/۳	۱۸/۳۶
۳-۳۴۰۰ منطقه ۱	-۸	-۷۴/۸	-۱۳۰	-۴۳/۳	۱۸/۰۸
۴-۳۴۰۰ منطقه ۲	-۸	-۷۷/۲	-۷۴	-۴۳/۳	۱۸/۱۱
۵-۳۹۰۰ منطقه ۱	-۳۸/۸	-۴۹/۲	-۷۶/۱	-۴۹	۱۷/۵۳
۶-۳۹۰۰ منطقه ۲	-۵۵/۱	-۸۸/۲	-۱۳۲	-۴۹	۱۷/۵۶
۷-۴۴۰۰ منطقه ۱	-۳۶/۷	-۵۴/۹	-۸۷/۴	-۵۵/۳	۱۷/۱۵
۸-۴۴۰۰ منطقه ۲	-۶۴/۶	-۹۱/۷	-۱۵۱	-۵۵/۳	۱۷/۱۷

معادله (۳)، در محاسبه ضرایب پوسته در حالت‌های مختلف و عمق‌های مختلف به کار رفته که نتایج عددی آن در جدول ۴ آمده است. به طوری که از محاسبات مشخص است، مقدار ضرایب S محاسبه شده مثبت و تایید کننده صدمه وارد بر دیواره چاه می‌باشد که مویید ایجاد تنش در دیواره اطراف چاه و ناحیه مخزن بر اثر عملیات حفاری است که با دیگر عوامل مختلف اثرگذار در صدمه متفاوت می‌باشد.

#### نتایج و بحث

تخریب سازند ناشی از عوامل متعددی است که بر میزان تراوایی ناحیه اطراف چاه و در نتیجه میزان نفت و گاز تولیدی تأثیر می‌گذارد. هدف از این تحقیق نیز شناخت و تعیین میزان اثرگذاری عملیات حفاری بر روی تنش‌های اطراف چاه و نیز تغییرات ناشی از آن است. صدمه وارد بر سازند در صنعت نفت با ضریب پوسته مشخص می‌گردد که معیار اندازه‌گیری و مقایسه شدت محسوب می‌شود. روش دیگر محاسبه ضریب پوسته از طریق تعیین افت فشار نسبت به حالت اولیه و یا مقایسه نفوذپذیری سنگ پس از عملیات است. هدف از این تحقیق، تعیین صدمه سازند از عملیات مکانیکی حفاری است که مهم‌ترین اثر عملیات حفاری، تغییر تنش در منطقه اطراف چاه است. نمونه‌گیری و آزمایش‌های مکانیک سنگی اگرچه از معتبرترین راه‌ها است اما انجام این آزمایش‌ها نیازمند زمان و امکانات زیادی است و در بعضی از موارد نمونه‌گیری از مخزن با

نفوذپذیری اولیه در محاسبات انجام شده برای کل مخزن ۲۰ میلی‌داری در نظر گرفته شد که علت ثابت در نظر گرفتن پارامترها در کلیه اعماق به هدف این تحقیق یعنی بررسی مقدار تأثیر تنش باز می‌گردد و در واقع با ثابت در نظر گرفتن مقادیر اولیه پارامترها برای کلیه اعماق، کار مقایسه اثرات تنش حفاری ساده‌تر می‌شود. این مقادیر برای عمق‌های مختلف کاهش یافته و با حالت مقدار اولیه تفاوت چشمگیری دارد به طوری که به صورت درصدی، تغییرات نفوذپذیری از ۷ تا ۱۵٪ کاهش می‌یابد که با توجه به موقعیت و عمق در جدول ۳ ملاحظه می‌شوند. همچنین نفوذپذیری با افزایش عمق کاهش می‌یابد که علت آن را می‌توان افزایش تنش‌های موثر و درجا در زمین با افزایش عمق دانست [۲].

#### تأثیر حفاری بر نفوذپذیری و ضریب پوسته حاصل

پس از محاسبات و مدل‌سازی‌ها، محاسبه نهایی صدمه وارد بر چاه در حین حفاری و روند تأثیرگذاری آن انجام می‌گیرد که از معادلات ضریب پوسته استفاده می‌شود. طبق معادله (۳) که رابطه ساده‌ای برای محاسبه S است به شعاع تحت تأثیر نیاز می‌باشد که از شعاع‌های تحت تأثیر از مدل‌سازی‌های ABAQUS استفاده شد و مقدار نفوذپذیری نیز از نتایج مدل‌سازی‌های FLAC3D به دست آمد. در واقع پس از انجام این مدل‌سازی‌ها ارتباط بین صدمات فیزیکی و مکانیکی در حین حفاری به صورت ضریب S بیان می‌شود [۲].

در مقطعی کوچک و در شرایطی نزدیک به عملیات حفاری، نتایج مناسبی به دست آمد. در این محاسبات از اطلاعات مکانیکی و مشخصات واقعی یکی از میداین استفاده شده که اطلاعات آن به صورت دقیق موجود است. از این رو محاسبه و مدل سازی برای محاسبه تنش در اطراف چاه با دقت بالایی انجام گرفته است.

### تغییرات نفوذپذیری در اطراف چاه

پس از محاسبه تنش ها و توزیع تنش منتج از عملیات حفاری، برای تعیین میزان صدمه وارد بر سازند، نیازمند بررسی روند تغییرات نفوذپذیری در اطراف چاه هستیم.

برای این منظور با داشتن تنش ها در اطراف چاه، تغییرات نفوذپذیری حاصل در اثر اعمال این تنش ها در یک مدل استوانه ای تحت تأثیر تنش های موثر اطراف چاه و همچنین تغییرات نفوذپذیری شبیه سازی شد. مقادیر نفوذپذیری جدید در اثر اعمال تنش های حفاری اطراف چاه در داخل مدل ساخته شده اندازه گیری و برای نقاط مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

### ضریب پوسته حاصل

پس از انجام محاسبات و شبیه سازی ها، برای محاسبه صدمه حاصل از عملیات حفاری، به کمی سازی این پارامتر نیاز است، در این مرحله ضریب پوسته برای اعماق مختلف چاه محاسبه شد و به این وسیله مقدار کمی صدمه حاصل از حفاری به دست آمد. مقادیر ضرایب پوسته به دست آمده با استفاده از اطلاعات مدل ساخته شده به وسیله نرم افزار ABAQUS، محاسبه شدند (جدول ۴).

توجه به عمق و شرایط به راحتی میسر نیست، لذا برای محاسبه تنش ها در اطراف چاه، محاسبه از طریق معیارها و روابط موجود انجام می شود. محاسبه تنش به صورت تحلیلی دارای پیچیدگی بسیار، حجم محاسبه بالا و عدم دقت کافی است، لذا محاسبه تنش از طریق تحلیل عددی و شبیه سازی به وسیله نرم افزار انجام شد. پس از این مرحله تأثیر تنش های محاسبه شده بر نفوذپذیری اطراف چاه مدل سازی شده و سپس به محاسبه صدمه سازند و تأثیرات مکانیکی و تغییرات تنش به علت حفاری پرداخته و سپس ضرایب پوسته در اعماق مختلف یک چاه واقعی محاسبه شد.

### تنش های اطراف چاه

بررسی عملیات حفاری از لحاظ اثرات مکانیکی به طور مستقیم به تنش های اطراف چاه و تغییرات حاصل در مقادیر تنش و توزیع جدید تنش در اطراف دیواره چاه باز می گردد. محاسبه توزیع تنش های جدید با محاسبات معمولی غیر ممکن است از این رو برای محاسبه تنش های به وجود آمده از تحلیل عددی و مدل سازی استفاده می شود. در مدل سازی حاضر از تحلیل دینامیک برای شبیه سازی استفاده گردیده که با توجه به عملیات حفاری و تأثیر گذاری آن بر روی سازند دارای اهمیت است. در محاسبه تنش ها نیز از مدل پلاستیک مور-کولمب که مدل مکانیک سنگی رایج و کارآمد در مدل سازی و پیش بینی رفتار سنگ در اعماق می باشد، استفاده شد. پس از تعیین مدل ها و جای گذاری اطلاعات مکانیک سنگی واقعی از یکی از چاه های میداین ایران، تنش های اطراف چاه محاسبه و سپس با توجه به انتخاب تحلیل دینامیک و ساخت مدل

جدول ۴- محاسبه مقدار ضریب Skin در اعماق مختلف چاه

عمق (m)	نفوذپذیری منطقه Skin	نفوذپذیری اولیه	شعاع منطقه تحت تأثیر	شعاع چاه	ضریب Skin	ردیف
(m)	$K_{Skin}$ (md)	$K$ (md)	$r_{Skin}$ (cm)	$r$ (cm)	$s$ (md)	
۲۹۰۰	۱۸/۳۴	۲۰	۲۳	۱۰	۰/۰۷۵۳۹	۱
۳۴۰۰	۱۸/۰۹	۲۰	۲۶	۱۰	۰/۱۰۰۸۹	۲
۳۹۰۰	۱۷/۵۴	۲۰	۲۷	۱۰	۰/۱۳۹۳۰	۳
۴۴۰۰	۱۷/۱۶	۲۰	۲۵	۱۰	۰/۱۵۱۶۴	۴



### نتیجه‌گیری

در یک طبقه‌بندی کلی، تخریب سازند را می‌توان به دو نوع مکانیکی و غیر مکانیکی تقسیم‌بندی کرد. در حالت‌های رایج بررسی تخریب به‌طور کلی و بدون توجه به منشأ آن صورت می‌گیرد ولی در این تحقیق، صدمه و تغییرات در نفوذپذیری به‌علت عوامل مکانیک‌سنگی و تنش به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته‌است. با توجه به این که عملیات حفاری چاه یکی از مخرب‌ترین فعالیت‌های درون‌چاهی برای سازند است، عوامل جانبی عملیات حفاری مثل نفوذ گل حفاری به درون سازند و مسدود کردن منافذ سنگ‌ها توسط حفاری در نظر گرفته نشده است. حفاری با تغییر و تمرکز تنش در اطراف چاه، سبب تخریب مکانیکی سازند می‌شود.

تخریب سازند ناشی از حفاری چاه که به‌صورت تخریب مکانیکی به چاه القا می‌شود، از جمله عواملی است که باید در محاسبه میزان کاهش تراوایی و تخلخل ناحیه اطراف چاه مورد توجه قرار گیرد. برای به‌دست آوردن تأثیر حفاری به‌منظور محاسبه میزان تغییرات پارامترهای مکانیک‌سنگی و رفتار سیالات هیدروکربنی موجود در سنگ از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز تنش و رفتار سنگ استفاده شد. برای بررسی میزان تأثیر حفاری بر تراوایی ناحیه اطراف چاه، از اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در میدان مورد مطالعه استفاده شد. اطلاعات به‌صورت مدل مکانیکی زمین با کمک نرم‌افزار المان محدود ABAQUS، در یک محیط سه‌بعدی و سپس با نرم‌افزار FLAC3D، شبیه‌سازی شدند. مدل‌سازی در اعماق مختلف با توجه به فشار گل موجود انجام گرفت و پس از محاسبه میزان تنش، اثرات تنش‌ها بر روی تخلخل سنگ محاسبه و سپس با استفاده از این اطلاعات ضریب پوسته برای چاه در اعماق مختلف به‌دست آمد.

نتایج این بررسی را به‌صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:  
 ۱- در صورتی که تمرکز تنش در اطراف چاه از حد تسلیم سنگ کمتر باشد، منطقه متراکم شده تحت تأثیر تنش در دیواره چاه تشکیل می‌شود. در صورتی که تمرکز تنش بالاتر از حد تسلیم سنگ باشد ناحیه مجاور دیواره چاه، دچار تغییرات پلاستیک شده و ناحیه متراکم شده ناشی از تمرکز تنش پایین‌تر از حد تسلیم سنگ در فاصله‌ای دورتر از دیواره چاه تشکیل می‌شود.

۲- تراکم ناشی از حفر چاه که در واقع تأثیر تنش‌های اطراف چاه است موجب تأثیر بر روی خصوصیات مکانیک‌سنگی سازند می‌شود. کاهش نفوذپذیری و در نتیجه ایجاد ضریب پوسته در اطراف دیواره چاه پیامد آن است.

۳- روند کاهش نفوذپذیری و افزایش ضریب پوسته با افزایش عمق تشدید می‌شود که در واقع این مسئله با افزایش تنش‌های اطراف چاه و افزایش عمق قابل توجیه است. ۴- از عوامل موثر بر روی صدمه مکانیکی وارد بر چاه، فشار گل است. زیرا فشار گل مستقیماً روی تنش‌های به‌وجود آمده تأثیرگذار است و لذا در محاسبات دارای اهمیت است. روند قابل توجه، کاهش میزان نفوذپذیری سنگ با کاهش فشار گل است. در واقع کاهش وزن گل موجب تنش بیشتر در دیواره و در نتیجه افزایش تراکم ناشی از حفاری می‌شود.

۵- در محاسبات و طراحی روش حفاری چاه علی‌رغم پایداری دیواره چاه تحت فشار گل اعمالی، تغییرات نفوذپذیری ناشی از فشار گل را نیز باید مد نظر قرار داد.

۶- با توجه به یافته‌های فوق، در طراحی حفاری و تولید چاه‌های نفت و گاز قادر به اعمال تغییرات نفوذپذیری و صدمه در اثر تنش ناشی از حفاری خواهیم بود. یعنی قبل از هرگونه تغییر واقعی در وزن و یا عملیات حفاری، میزان تأثیر عملیات بر روی صدمه چاه قابل پیش‌بینی است

منابع

- [1] Civan F., *Reservoir formation damage : fundamentals, modeling, assessment, and mitigation*-Gulf Publishing Company, 2000.
- [۲] پایان نامه: بررسی صدمات وارد بر چاه به علت تغییرات حاصل در حین حفاری، سال ۱۳۸۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، نگارنده: محمدرضا سعیدی نیا.
- [3] Petroiran Development Company (PEDCO) Mechanical Earth Model & Wellbore Stability Study: Salman Field Schlumberger Middle East. 55p., 2004
- [4] Thallak S.G, & Holder.Jon, "Deformation effects on formation damage during drilling and completion operations" SPE (25430), 1993.
- [5] Self Learning Course Rock Mechanics, basic understanding of drilling terms and procedures stuck pipe self learning package- Sugar Land Learning Center. 105p., 2005
- [6] Ahmed T, *Advanced reservoir engineering*, Elsevier ,pp.35-40, 2005.
- [7] Furui K, & Zhu.D, "A new skin factor model for perforated horizontal wells", SPE(77363)- 2008.
- [8] Holt R.M, Horsrud .P, Raaen .A.M & Risnes.R, *Petroleum related rock mechanics*-elsevier publication-2008.

Archive of SID