

## بررسی پدیده مخروطی شدن با استفاده از تست ها و نمودارهای

### چاه پیمایی

محسن پورنقیب<sup>1</sup>، دکتر عبدالمجید موحدی نیا<sup>2</sup>، دکتر خلیل شهبازی<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت

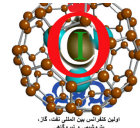
2- عضو هیأت علمی دانشگاه علوم تحقیقات تهران

3- عضو هیأت علمی دانشگاه صنعت نفت اهواز

### چکیده

پدیده مخروطی شدن آب - گاز، بیانگر مکانیسم ورود آب موجود در بخشهای زیرین سازنده های نفتی یا گاز موجود در کلاهک گازی به چاههای تولید نفت می باشد. این پدیده تأثیر بسزایی در کاهش بهره دهی چاهها و به تبع آن کاهش میزان تخلیه و راندمان بازیافت کلی مخازن نفتی خواهد داشت. مخروطی شدن آب در چاههای نفتی یکی از مسائل و مشکلات اساسی است که بر تولید نهایی، افزایش هزینه های عملیاتی و بروز مشکلات زیست محیطی تأثیر فراوانی دارد. تولید آب اضافی در چاه های نفت اثرات منفی و بسیار سنگینی را هم از نظر تولید و هم به لحاظ اقتصادی اقتصادی بوجود می آورد. به همین دلیل کنترل تولید آب اضافی و جلوگیری از اثر گذاری آن بر روند تولید یکی از چالش های کارشناسان صنعت نفت در کشورهای مختلف از جمله ایران می باشد. این امر بدون داشتن اطلاعاتی مانند منشأ تولید آب، دلایل تولید آب و اطلاعات نموداری از روند تولید نفت و آب امکان پذیر نبوده و لذا برخورداری از اطلاعات دقیق و لحظه به لحظه از وضعیت چاه امری ضروری محسوب می گردد. در این مطالعه سعی شده است با بهره گیری از مقالات مختلف چگونگی کنترل تولید آب اضافی در چاه از ابتدای عملیات حفاری تا بهره برداری از آن برای حفظ و صیانت بهتر مخزن مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرد.

واژه های کلیدی: مخروطی شدن - ستیغی شدن - نمودارهای دما - نمودار فراصوتی - جریان متقاطع



همانطور که گفته شد، مسأله ی تولید اضافی آب درون چاه اثرات جبران ناپذیری را به همراه دارد. که می توان به مواردی همچون کاهش عمر تولیدی چاه که بسیار شایع می باشد اشاره نمود. همچنین بروز مشکلاتی از قبیل خوردگی تجهیزات حفاری و درون چاهی - جایگزین ذرات جامد درون مخزن - افزایش وزن سیال ستون چاه و افزایش فشار جریان ته چاه از دیگر مسائل تأثیر گذار روی تولید چاه می باشند. در چنین شرایطی برای جلوگیری هر چه سریع تر از جدا سازی نفت - آب، از بین رفتن انرژی گشیری از آبد مخزن - و کاهش سرعت تولید که نهایتاً منجر به از کار افتادن چاه می شود بایستی فکر چاره بود و برای کنترل آب اضافی تولیدی به راه کارهای مناسبی رجوع کرد.

## 2-دلایل تولید آب: [1]

دلایل تولید آب را می توان به دو دسته عوامل انسانی و ذاتی تقسیم بندی کرد. که در مورد عوامل انسانی می توان به گزینه هایی همچون مشکلات مرتبط با مخزن - مشکلات مرتبط با تکمیل چاه و مشکلات مکانیکی اشاره کرد. اما همان طور که می دانیم مخازن در درون خود از ابتدای دارای آب بوده ولی عوامل مانند منبع آب یا گرادیان فشار همچنین نفوذپذیری نسبی آب از عوامل اند که در تولید آب اضافی اثر گذار می باشند.

## 3-راه های شناسایی محل تولید آب:[1]

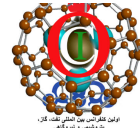
اول از هر چیز همواره پیشگیری بهتر از درمان می باشد و می توان با تمیز کاری های به موقع و انجام سیمان کاری های صحیح، استفاده از لوله های مقاوم و به کارگیری علوم روز دنیا برای کنترل خوردگی ها و با انجام عملیات های اسید کاری، عملیات بهبود چاه و یا عملیات شکاف القایی به شیوه ی درست و دقیق از ایجاد چنین مشکلی جلوگیری نمود. شاید ساده ترین روش برای پیشگیری، ترسیم نمودارهای تاریخچه تولید و نمو دار کاهش تولید چاه باشد که با مقایسه ی ساده و چشمی می توان پی به رفتار چاه و سیالات درون آن برد.

اما اولین گام برای شناسایی محل تولید درک صحیح از مشکل و مساله بوجود آمده است. این که آیا اصلاً مشکل تولید آب ناخواسته و جود دارد یا خیر؟ در این صورت کدام یک از موارد زیر باعث مشکل اند؟ کاناله شدن آب یا نشت لوله های جداری؟ آیا مشکل از شکاف های ایجاد شده بروز کرده و یا به تکمیل چاه مربوط می شود؟ آیا چاه کسل یا شکافهایی را قطع کرده که آن ها به لایه های آبی متصل اند؟ شاید هم عاملی تکنوتیکی و شاید هم انسانی موجب شکسته شدن سدهای درون چاهی شده باشد؟ لذا اولین گام تشخیص صحیح علت است زیرا هر علتی راه حلی منحصر به فرد خود را دارد.

اگر چاهی با دبی ثابتی در مدت زمانی تقریباً طولانی آب تولید کرده باشد و پس از مدتی تغییر ناگهانی در دبی تولیدی آب مشاهده گردد. علامت سوال تازه به وجود می آید! اگر این مشکل در مراحل اولیه تولید از چاه مشاهده شود، باستی پس از تمیز کاری چاه به طور کامل مشکلات شایع مرتبط با نوع تکمیل چاه مورد بررسی قرار گیرند. اگر آب مازاد بعد از گذشت زمانی از عمر چاه بوجود آید، موارد مکانیکی و مخزنی باید مورد تحلیل قرار گیرند.

البته اگر چاهی در اواخر عمر خود باشد و در واقع نزدیک به تخلیه کامل قرار گیرد دچار تولید آب می شود. در چنین شرایطی معمولاً این گونه چاه ها که تحت عملیات سیلاب زنی هستند و به نوعی در اواخر عمر خود به سر می برند برای مطالعه و بررسی درخصوص کنترل آب ناخواسته مطرح نمی شوند.

مرحله دوم کار: مشکل کجاست؟ کاناله شدن آب پشت لوله جداری و یا نشت لوله های جداری؟



برای تشخیص این دو معضل و تمیز دادن آنها از یکدیگر از آزمایش دانه بندی مکانیکی کمک گرفته میشود. فشار بحث اصلی این آزمایش است به گونه ای که فشار بین فضای حلقوی لوله مغزی و جداری نگه داشته شده و روند فشار مشاهده می گردد. ( همچنین با نمودارگیری صوتی از وضعیت سیمان بندی پشت این لوله ها می توان عیب را جویا شد که در ادامه در این خصوص بیشتر صحبت می شود).

مرحله سوم: تشخیص نوع جریان در اطراف چاه؟! [2]

جریان ها

1. خطی: بیشتر مربوط به حرکت درون شکاف ها می باشد.
  2. شعاعی: بیشتر مربوط به حرکت جریان در مخازن غیر شکافدار است.
- البته وجود جریان متقاطع بین لایه های مخزن نشانه ای از وجود شکاف بوده و احتمال تولید آب ناخواسته از طریق شکاف های را قوت می بخشد.

#### 4- روش های تشخیص جریان متقاطع: [2]

- 1- استفاده از نمودارگیری برای اندازه گیری شعاع
- 2- استفاده از نمودارگیری برای اندازه گیری نفوذ پذیری
- 3- استفاده از نمودارگیری برای اندازه گیری تخلخل
- 4- استفاده از نمودارگیری برای اندازه گیری لیتولوژی
- 5- استفاده از نمودارگیری برای اندازه گیری پروفایل تولید/ تزریق
- 6- مدل سازی (شبه سازی)
- 7- انجام عملیات لرزه نگاری
- 8- متداول ترین روش یعنی روش آزمایش فشار بین لایه ها...

#### 5- مکانیزم تست فشار بین لایه ها: [2]

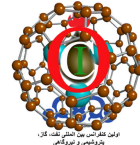
در این تست از یک مسدود کننده بین دو لایه استفاده می شود درحالی که سایر لایه ها آزاد هستند. در صورت مشاهده اختلاف فشار بین دو طرف مسدود کننده و سپس مشاهده تعادل فشاری نسبی نتیجه می گیریم که دو لایه با هم در ارتباط اند. در صورتی که اختلاف فشار بین لایه ها بالا باشد شاهد جریان های متقاطع هستیم. برای تشخیص محل ورود آب ناخواسته به مخزن انجام یکسری کارها لازم است. برای این منظور انواع نمودارها و آزمایشات توصیه می شود.

#### 5-1- آزمایش میزان یون موجود در نمونه:

با انجام مرتب و منظم ( طبق زمان بندی خاص) نمونه گیری و آزمایش روی نمونه ها می توان میزان مواد جامد حل شده یا میزان کلراید و یا سایر یون های مهم را بدست آورد. برای تعیین این که آب مازاد مورد بحث، آب سازنده است یا آب حفاری و یا آب زمان تعمیر بایستی از غلظت کلر موجود در نمونه آگاهی پیدا کنیم. وجود چنین غلظتی گواه 2 مساله است انتقال از

## اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



طریق شکاف ها و یا نفوذ آب سازنده از طریق دانه بندی مکانیکی ضعیف لوله ها. وجود درصدی از فلزات و آهن در نمونه می تواند به ترتیب نشانه ی خوبی برای بحث خوردگی و یا آسیب دیدگی سازند توسط رسوب اسید با آهن باشند. برای تشخیص رسوب اسید با فلزات نیز از تست PH استفاده می کنیم.

در همه ی این نمونه گیری ها بایستی اطلاعات بدست آمده را به مانند یک نمودار ترسیم کنیم و باید آن نمودار را با نمودار های مرجع آب سازنده مقایسه کنیم تا به این صورت بتوان محل تولید آب و نوع آن را حدس زد.

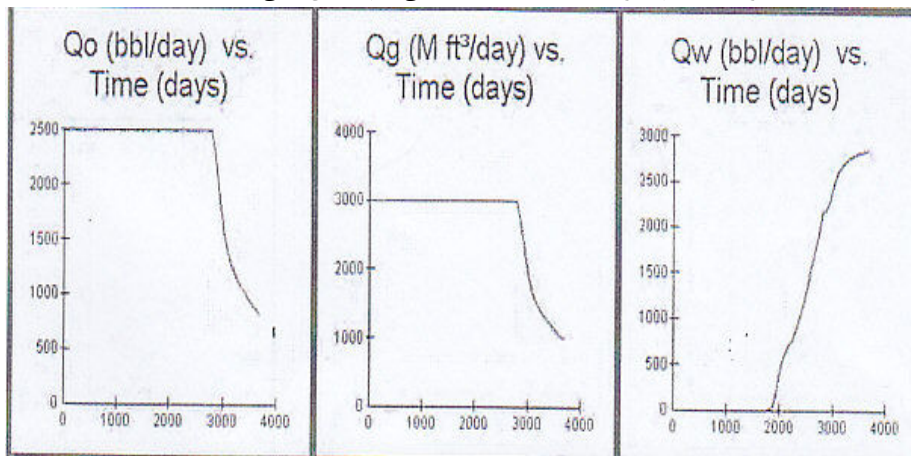
### 2-5- انجام تست های لازم بر روی میزان تولید نمک و آب دریا با دبی تولید:

در این آزمایش چند دبی مختلف که مربوط به زمان های مختلف از تولید چاه می باشند را تجزیه و تحلیل می کنیم در دبی ای که میزان آب تولیدی آن به نظر غیر طبیعی در مقایسه با سایر دبی ها باشد آن را شناسایی کرده و میزان نمک تولیدی و چندین پارامتر یونی دیگر را می توان از نمونه مذکور در آزمایشگاه به دست آورد.

### 3-5- بررسی سطوح هیدروکربن با آب در مخزن:

با داشتن اطلاعات مفید از سطوح تماس و همچنین فواصل تولیدی چاه ها از سطح تماس می توان موقعیت لایه های تولیدی را نسبت به سطح تولید تخمین زده و از طرفی دیگر در صورت تولید نامناسب احتمال وقوع پدیده مخروطی شدن را بررسی کنیم. همانطور که گفته شد نمودارها نیز برای تشخیص محل آب تولیدی بسیار کارسازند.

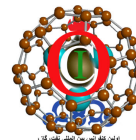
شکل 1- نمودار تاریخچه تولید (نفت و گاز و آب) یکی از چاه های نفتی [3]



### 6- انواع نمودارها : [2]

1- نمودار دما

2- مجموعه نمودارهای تولید (در دو حالت چاه بسته و چاه در حال تولید). [6], [7]



3- نمودار رادیواکتیو (تشخیص میزان کاناله شدن و پروفایل جریان و...).

4- نمودار های مقاومت سازنده در جداری ها (برای مشاهده حرکت سیالات در مخزن)

### 6-1- نمودارهای دما با تکنولوژی [2] (DTS (f fiber- optic Distribution Temperature)

نمودارهای دمای ثبت شده در زمان بسته بودن چاه میتوانند در خصوص ارتفاع سیال و موقعیت دقیق آنها در فضای حلقوی، مکان نشن لوله جداری و ... به مهندسين نفت جهت پیشگیری بموقع از تولید آب نا خواسته کمک شایانی کنند.

دمای سیال موجود در چاه را تحت دو حالت بسته بودن (شرایط پایداری) و حالت تولیدی و جریان<sup>4</sup> (شرایط دینامیکی) می توان به کمک نمودارهای نگاره های دما<sup>5</sup> اندازه گیری کرد.

در این روش با تفسیر پاسخ هایی که به تغییرات دمایی که به واسطه جریان سیال ایجاد شده اند می توان رفتارهای درون چاه را به خوبی دریافت. از این تفسیرها به اطلاعاتی مثل نرخ جریان نقطه ورود و یا خروج سیال که در این مقاله سیال مورد نظر آب است دسترسی پیدا می کنیم.

در نواحی که هیچ گونه سیال تزریقی به آن وارد نشده باشد معمولاً دمای کمتری را مشاهده می کنیم همچنین سرعت برگشت دما به گرادیان اولیه در این ناحیه ها در شرایط پایدار آهسته تر ملی باشد. در تکنولوژی DTS می توان پروفیل دمایی کل چاه را ترسیم کرد. در این روش از نمودارگیری، ارتفاع سیال در فضای حلقوی پشت لوله جداری و محل نشن لوله جداری قابل تعیین می باشند ضمن این که جریان های عرضی (رو به بالا و رو به پایین) و مکان های ورود گاز به داخل چاه نیز قابل شناسایی هستند که ما در این مقاله به دو مورد اول اشاره می کنیم.

### 6-1-1- تعیین ارتفاع سیال در فضای حلقوی پشت لوله جداری: [4] و [6]

تحت شرایط تولید

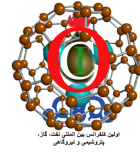
تحت شرایط بسته بودن چاه

#### 6-1-1-1- تحت شرایط تولید:

با توجه به نمودار مثلاً ارتفاع 600 فوت طوری است که به نظر ارتفاع سیال است. در این حالت زمانی حدس ما صحیح است که در ارتفاع های پایین تر از 600 فوت اختلاف منحنی های دما افزایش می یابد. افزایش دما در بعضی از نقاط پایین این ارتفاع مربوط به بخش هایی است که دیواره خارجی لوله، با ابزار نمودار گیری در تماس می باشند.

#### 6-1-1-2- تحت شرایط بسته بودن چاه :

فرض را بر این می گذاریم که فضای حلقوی پشت لوله جداری شامل سیال ساکن باشد. و این فضا از دو بخش بالایی و پایینی تشکیل شده باشد به گونه ای که بخش بالایی از هوا و بخش پایینی از مایع پر شده باشند. براساس مسائل ترمودینامیکی بخش پایینی این فضا (مایع) نسبت به بخش بالایی آن (هوا) بایستی زودتر به دمای ژئوترمال برسد و خنک تر باقی بماند ولی این قضیه رخ نمی دهد و دقیقاً همه چیز معکوس انجام می شود؛ در چنین حالتی روند تغییرات دما یک شرایط غیر عادی را ایجاد کرده است. یعنی دما در هوا بالاتر از دما در مایع است، در اینجا می توان به تعیین گفت که عاملی خارجی در پدید آمدن این وضعیت وجود دارد و آن تولید چاه در منطقه ی خاص مورد بررسی می باشد که با تولید خود باعث افزایش دما شده است.



## 2-1-6- تعیین محل نشت لوله جداری: [2]

برای این منظور باید به شکل نمودار دما در دوره های مختلف بسته بودن چاه توجه کرد. در صورتی که سطح دینامیکی سیال در فضای حلقوی در طی دوره های مختلف بسته بودن چاه تغییر کند. (اختلاف سطح سیال افزایش یابد). می توان عاملی مثل نشت لوله جداری را عامل اصلی این تغییرات دانست. و با مطالعه ی موردی روی دوره های بسته بودن چاه و مقایسه آن با زمانی که چاه در حال تولید بوده می توان محل دقیق نشست در لوله جداری را حدس زد.

## 2-6- استفاده از نمودارهای فراصوتی در تشخیص نشتی چاه ها: [6] [5] [4]

در این روش با استفاده از نمودارگیری فراصوتی به تشخیص نشتی های کوچک و نشتی های پشت لوله جداری پی می بریم. از جمله فرکانس کهای مورد مطالعه در نمودارهای فراصوتی:

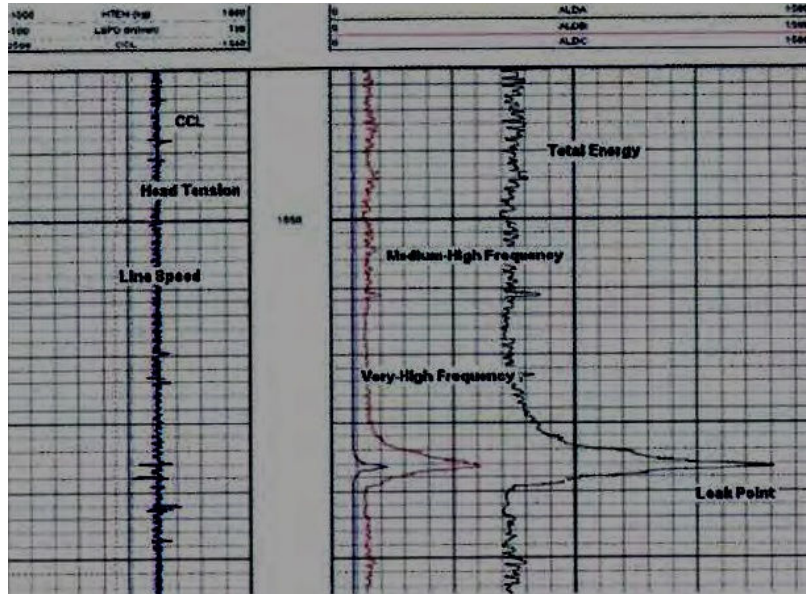
1) سطح انرژی کلی (ALD\_A)

2) محدوده فرکانس متوسط بالا (ALD-B)

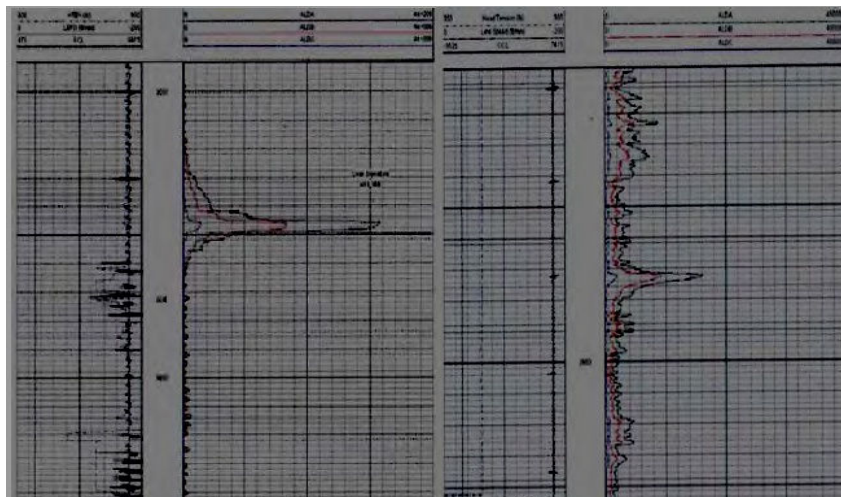
3) محدوده فرکانس بسیار بالا (ALD\_C) هستند.

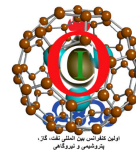
در این روش با کمک گرفتن از امواج فراصوتی پاسخ های آنومالی با فرکانس های مذکور تعیین و نمودار فراصوتی تشکیل می شود. نتایج نگاره فراصوتی با توجه به داده های چاه تصویری واضح از موقعیت نشتی و عمق آن و تقریباً مکانیسم آسیب دیگی نشان می دهد.

شکل 2- نمودار فراصوتی تحت فرکانس های مختلف [8]



شکل 3- نمودارهای فراصوتی مربوط به دو چاه A و B که نشانی موجود در لوله جداری چاه را در عمق مشخصی نشان میدهند. چاه A در عمق 2820 فوت و چاه B در عمق 9830 فوتی [8]





در این روش میتوان موارد زیر را به خوبی تشخیص داد:

1- محل دقیق نشستی سیال تک فاز آبی، نفت و یا گاز

2- تشخیص نشستی بین لوله مغزی و لوله جداری

3- تعیین نشستی های سرچاهی

## 3-6- نمودارهای تولیدی: [7] (production log) PL

مهمترین مشکلات مکانیکی چاه مثل نشستی ها - خوردگی ها و ... همچنین تعیین رابطه ی چاه با مخزن و تجزیه و تحلیل عملکرد چاه یعنی تشخیص حرکت غیر عادی سیالات بین لایه های - نوع سیال تولیدی - چگونگی توزیع سیال تزریقی بین لایه ها- مشارکت لایه ها در تولید - تعیین درجه اشباع اولیه در هر لایه از دیگر کاربردهای (PL) می باشند.

ولی برای انجام این روش و ترسیم نمودارهای تولید نیاز به PLT یا production Logging Tools داریم.

مثل: دماسنج - جریان سنج - چگالی سنج - عمق سنج - قطر سنج و غیره.

## 7- نتیجه گیری

1. نمودارهای دمای ثبت شده در زمان بسته بودن چاه می توانند در خصوص ارتفاع سیال و موقعیت دقیق - آنها در فضای حلقوی، مکان نشستی لوله جداری و ... به مهندسی نفت جهت پیشگیری بموقع از تولید آب ناخواسته کمک شایانی کنند.

2. همواره به نمودارهای تولیدی که از چاه بدست می آیند توجه شود و اطلاعات به صورت ماهانه به طور منظم ثبت شوند، زیرا در غیر این صورت بدون در دست داشتن نمودارهای متناسب و واقعی، نمیتوان برای مدیریت و کنترل تولید آب اضافی در زمان مناسب وارد عمل شد.

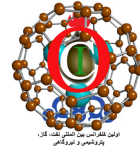
3. همیشه درمبحث کنترل تولید آب پیشگیری، بهترین روش مقابله بوده و عدم توجه به این معضل منجر به مشکلات متعددی میشوند مانند بالا رفتن نمک، که بعدها برای رفع آنها بایستی واحدهای نمک زدایی را افزایش دهیم و این امر و امثال آن بسیار هزینه بر میباشد.

4. برای کنترل و مدیریت تولید آب روشهای گوناگونی وجود دارد مانند: تزریق سیمان (پر فشار و کم فشار)،

تزریق ژل - پلیمر نوع (Relative Permeability Modifier) RPM و ... که بسته به شرایط مخزنی و اقتصادی از آنها در جهت کنترل آب استفاده میشود



اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی  
مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



مراجع

[1] Aminan, k. water production problems and solutions. University of Virginia

[2] بررسی منشأ تولید آب ناخواسته از مخازن نفتی و چگونگی مدیریت و کنترل آن، اولین همایش ملی توسعه تکنولوژی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی

[3] Rodrey R, Reynolds with a contribution from Robert D. kiker, produced water & associated issues' a manual for the independent operator, Oklahoma GEOLGICAL SUERVEY OPEFILE REPORT, 2003

[4] Johns, J, E: applied ultrasonic technology in wellbore leak detection and case histories in Alaska North Slope wells 2006, SPE102815.

[5] Farouqi. M& Nasr, K, K.: Application of ultrasonic technology for well leak detection; 2007, IPTC 11283-pp

[6] Nath, D.k, Finley, D.B. and kaura, j, d.: real- time fiber- optic distributed temperature

Sensing (DTS) – new applications in the oil field, SPE 103069, 2006.

[7] Middle east devaluation review: getting profile on cross flow. " Nov, 14, 1933

[8] کاربرد نمودارهای فراصوتی در تشخیص نشتی چاه، احسان رحیمی لرکی – دکتر محمد رضا زاده – دکتر محمد کمال قاسم العسکری.