



تحریک صوتی؛ یک روش جدید در تمیزسازی ته چاه

سجاد امانی^۱، دانشجوی کارشناسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی نفت آبادان (شهید تندگویان)
سعید بلوچی^۲، صادق صفارزاده حسینی^۳، دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی نفت آبادان (شهید تندگویان)
دکتر حسن امیری بختیار^۴، مشاور مدیر فنی شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

مقدمه

کاهش تولید نفت یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌ها در صنایع نفت و گاز به شمار می‌رود. یکی از مهم‌ترین علل افت تولید، کاهش تراوایی اطراف چاه به دلایلی چون رسوب ذرات درون سیالی^۵ مانند واکس و آسفالتین^۶ است که باعث ایجاد سد نفوذناپذیر در مقابل حرکت سیال می‌شود. در گذشته برای پاک‌سازی این رسوبات روش‌های مختلفی از جمله تزریق حلال و اسید، استفاده از خراشنده‌های مکانیکی^۷ و ایجاد شکاف فشار^۸ قوی مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ اما وجود معایب مختلف و محدودیت‌های آنها مانند هزینه بالا، الزام به بستن چاه تولیدی و تأثیرات سوء استفاده از اسیدهای مختلف بر روی انسان و محیط زیست، مهندسی‌ن نفت را بر آن داشت تا در جست‌وجوی راه‌های ارزان‌تر و منطبق با اصول مقررات HSE^۹ باشند. از این رو محققان با مطالعه امواج لرزه‌ای زلزله‌پی بردند که این امواج و نوفه‌های پوسه‌ای می‌توانند بر روی تولید آب یا حتی نفت تأثیر بگذارند. این مشاهدات، کلیدی برای افزایش برداشت و از بین بردن آسیب چاه به وسیله امواج الاستیک شد و این روش به روش "تحریک صوتی" معروف گردید.

انگیزش صوتی در واقع کاربرد انرژی صوتی در تحریک چاه است. انرژی صوتی نه فقط دامنه شنوایی (فرکانس‌های ۲۰-۲۰۰۰۰ Hz) را در بر می‌گیرد؛ بلکه دامنه فراصوت (فرکانس‌های بالای ۲۰۰۰۰ Hz) و فروصوت (فرکانس‌های زیر ۲۰ Hz) را هم شامل می‌شود. تحریک صوتی در

حال حاضر به عنوان یک روش جایگزین و یا تکمیلی در ازدیاد برداشت و از بین بردن پوسته آسیب دیده مطرح می‌باشد.

۱- مروری بر روش‌های متداول انگیزش چاه

معمولاً منظور از روش‌های متداول انگیزش چاه شامل اسیدکاری^{۱۰} و شکاف هیدرولیکی^{۱۱} می‌باشد؛ اما تاکنون روش‌های مختلف تحریک، کشف و در مخازن مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه مطلب چند روش پر کاربرد مرور می‌گردد.

۱-۱- روش‌های مکانیکی

تا قبل از ورود لوله‌های مغزی سیار^{۱۲} به صنعت نفت در دهه ۱۹۸۰ و با اینکه نیم‌قرن از ورود روش شکاف هیدرولیکی به این صنعت می‌گذشت، معمولاً کمتر اپراتوری استفاده از این روش را لازم می‌دید. این روش اغلب به دلیل نیاز به پمپ‌هایی با فشار بالا و سیال ساینده^{۱۳} بسیار پرهزینه بود. در بسیاری از موارد کاربرد این روش‌ها در چاه‌ها بسیار زمان‌بر بود و برای بسیاری از چاه‌ها مشبک کاری انفجاری^{۱۴} کافی به نظر می‌رسید.^[۱]

۲-۱- روش‌های شیمیایی

اسیدکاری یکی از روش‌های تحریک چاه است که قبل از دهه ۱۹۰۰ نیز انجام می‌شد، اما به صورت اقتصادی در سال ۱۹۳۲ مورد استفاده قرار گرفت. اگرچه اسیدکاری به عنوان علم مهندسی

طی دهه‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما تا قبل از آن، کاربرد این روش به قابلیت انحلال سازندها^{۱۵} و تجربه در منطقه‌ای خاص بستگی داشت. علیرغم نتایج مثبت در پاک‌سازی و تحریک چاه، تکنولوژی روز نشان داده که استفاده از اسید در بسیاری از پروژه‌ها کافی نیست. با این حال افزایش‌های جدید اسید تأثیر به‌سزایی در افزایش تمیزسازی و کاهش روند ته‌نشینی رسوبات درون سیالی داشته است.^[۲]

۱-۳- روش‌های مکانیکی شیمیایی

ایجاد شکافت توسط اسید^{۱۶} از روش‌های معمول تحریک سازندهای هیدروکربنی کربناته به‌شمار می‌رود. لازم است که پاک‌سازی به‌طور هم‌زمان با افزایش تولید انجام شده و عکس‌العمل چاه به این پاک‌سازی پیش‌بینی گردد. در عمل، شبیه‌سازی فرآیند لایه شکافی با اسید پیچیده است. زیرا علاوه بر مدل‌سازی رشد شکاف هیدرولیکی، نرخ و گسترش واکنش شیمیایی نیز باید پیش‌بینی شود.^[۲]

۲-۲- تارپخچه

استفاده از امواج صوتی و فراصوتی برای از بین بردن آلودگی از وسایل آزمایشگاهی سابقه طولانی دارد. اما در صنعت نفت امواج صوتی معمولاً برای اکتشاف و ارزیابی در عملیات لرزه‌نگاری دو بعدی، سه بعدی و نمودارگیری استفاده می‌شوند. شگفت‌انگیز است بدانیم که در حال حاضر نیز از امواج صوتی برای بهبود تولید،

به خصوص برای مقابله با آسیب دیدگی سازند، افزایش تراوایی و در نهایت تمیزسازی اطراف چاه استفاده می شود. این موضوع اولین بار توسط آمریکا و شوروی سابق در دهه ۵۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از امواج فراصوت برای ازدیاد برداشت در دهه ۷۰ میلادی در آمریکا و در دهه های ۷۰ و ۸۰ میلادی در شوروی به اوج خود رسید. بیشترین تحقیقات در این زمینه توسط مؤسسه ها و دانشمندان روسی انجام شده است. در دهه ۵۰ میلادی و با مشاهداتی همچون افزایش سطح آب به علت زلزله و یا سایر صداهای محیطی^{۱۷} به ویژه راه آهن، تحریک با استفاده از امواج الاستیک وارد صنعت نفت و گاز شد. به عنوان مثال در شکل ۱ تغییرات شدید سطح آب در یک چاه ۵۲ متری در فلوریدا به علت عبور قطار و وقوع زلزله نشان داده شده است. [۱]

در شوروی سابق اولین آزمایش صنعتی روش های صوتی برای

تحریک مخزن از سال ۱۹۷۵ آغاز شد (Simkin و Lopukhov ۱۹۸۹). این روش در چند چاه تولیدی برای اولین بار با نرخ موفقیت ۵۲٪ به کار گرفته شد.

شکل های ۲-الف و ۲-ب تولید آب و نفت روزانه پس از تحریک صوتی چاه های تولیدی در میادین Samotlorskoye و Fedorovskoye در سیبری غربی را نمایش می دهند [۱]. در سال های اخیر تحقیقات مدون بسیاری در زمینه تأثیر و مکانیسم های امواج صوتی در کاهش آسیب اطراف چاه انجام گرفته است [۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰].

۲- تحریک صوتی

امروزه محققان متعددی اثر امواج صوتی با فرکانس بالا را در تمیزسازی چاه به اثبات رسانیده اند. این روش با هزینه ای کم می تواند آسیب های نزدیک چاه را با بازدهی قابل قبولی

از میان بردارد. براساس پارامترهای موج، هرچه فرکانس موج بالاتر باشد، طول موج پایین تر و در نتیجه میرایی موج بیشتر می شود. در تحریک درون چاهی از امواج با فرکانس و قدرت بالا استفاده می شود. با توجه به معادله موج و میزان اتلاف انرژی در حرکت موج معادلات ۱ و ۲ به دست می آیند که به ترتیب نشان دهنده شدت و فشار موج هستند. مدل های کامپیوتری به دست آمده از این معادلات بیانگر آن هستند که امواج در درون چاه در فاصله ۲ تا ۳ فوت میرا می شوند (شکل ۳) [۱۱]. بنابراین موج منتشر شده در داخل چاه فقط می تواند محدوده پوسته^{۱۸} را پوشش دهد.

$$I(r) = I_0 \frac{r_0}{r} e^{-\beta(w)t(r-r_0)} \quad (1)$$

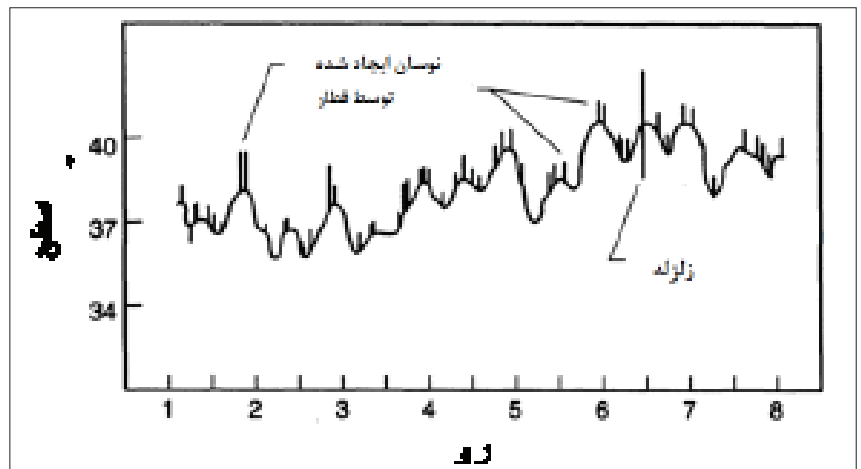
$$P(r, t) = \frac{P_0 \cos(kr - \omega t)}{\sqrt{kr}} e^{-\beta(w)t} \quad (2)$$

که در آن:

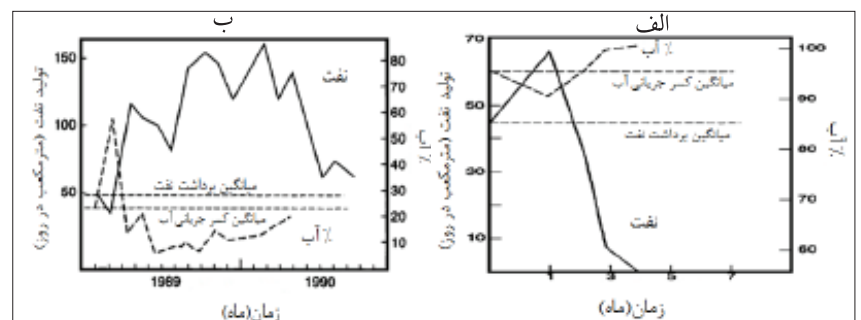
$$I = \text{شدت،} \quad \frac{1}{f} \left(\frac{1}{m} \right) = K = \text{عدد موج،} \quad P = \text{فشار،} \quad r = \text{شعاع،} \quad r_w = \text{شعاع دیوار چاه،} \quad t = \text{زمان،} \quad \beta = \text{ثابت میرایی، بدون بعد}$$

یکی از مهم ترین مزایای استفاده از روش تحریک صوتی چاه در مقایسه با روش های مرسوم، عدم نیاز به توقف تولید نفت از چاه در هنگام عملیات تحریک می باشد. این کار علاوه بر کاهش هزینه، باعث جابجایی و ارسال ذرات آسیب زنده به چاه به سطح می شود. همچنین از این روش می توان در شرایط استاتیک نیز استفاده نمود؛ ولی در این حالت انرژی بیشتری مورد نیاز است (شکل ۴) [۳ و ۴].

از دیگر مزایای این روش می توان به امکان پایش هم زمان اطلاعات اشاره کرد. این کار امکان بهینه سازی به موقع عملیات انگیزش چاه تا رسیدن به حداکثر بازدهی در عملیات را فراهم می کند. در این روش بر خلاف سایر روش های متداول که همه چاه را تحت تأثیر قرار می دهند؛ این امکان فراهم است تا لایه های آسیب دیده را انتخاب کرده و فقط در همین قسمت ها عملیات



شکل ۱ | تغییرات شدید سطح آب در یک چاه ۵۲ متری در فلوریدا به علت عبور قطار و وقوع زلزله



شکل ۲ | تأثیر تحریک صوتی بر تولید آب و نفت در چاه های میدان Samotlorskoye و Fedorovskoye در سیبری غربی در مقاطع زمانی الف) یک دوره یک ماهه و نیمه و ب) دوره زمانی بیش از یک سال



تحریک چاه انجام شود. استفاده از تجهیزاتی که برای تزریق به چاه در فشار بالا استفاده می شوند و همچنین طراحی سیال پیچیده تکمیل چاه که سازگار با سنگ مخزن و سایر وسایل سطح و درون چاهی باشد از دلایل گران بودن روش های شیمیایی و مکانیکی به شمار می روند. به علاوه کار با این ابزار می تواند علاوه بر امکان آسیب به نیروی انسانی به محیط زیست نیز آسیب های جدی وارد کند.

استفاده از روش صوتی به عنوان ابزاری جهت از بین بردن رسوبات و پلاگ های درون چاهی اگر چه نیاز به طراحی وسایل صوتی خاص دارد؛ اما به دلیل عدم استفاده از مقادیر فراوان سیال تزریقی و پمپ های سرچاهی هزینه بسیار پایین تری داشته و می تواند به عنوان یک روش ایمن از دیدگاه HSE مورد استفاده قرار گیرد.

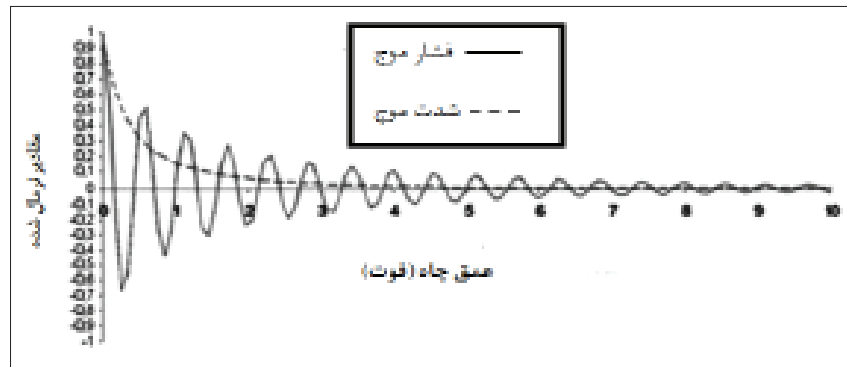
کاربرد امواج صوتی در چاه می تواند

رسوبات، ذرات رسی، پارافین های مومی، آسفالتین ها و مسدودکننده ها را از میان برداشته و گلوگاه های روزنه ها^{۱۹} را باز کند و باعث افزایش نفوذپذیری سنگ ها شود. همچنین با ایجاد ارتعاش می توان غشاء^{۲۰} غیر قابل حرکت و چسبیده شده به دیواره روزنه ها را برداشت و مساحت برش عرضی کانال های روزنه ها را افزایش داد [۸]. هنگامی که موج در داخل یک محیط نفوذ می کند، انرژی آن جذب محیط شده و باعث تبدیل آن به گرما می شود. همچنین پدیده کویتاسیون^{۲۱} نیز باعث تولید میزان زیادی انرژی گرمایی می شود. از سوی دیگر تفاوت بین سرعت ارتعاشات در فازهای مایع و جامد زمانی که تحت تأثیر امواج صوتی با فرکانس بالا قرار می گیرند باعث ایجاد اصطکاک مرزی می شود که موجب تولید گرما می گردد [۱۲]. گرمای ایجاد شده توسط تابش امواج صوتی باعث کاهش گرانیوی می گردد که این پدیده

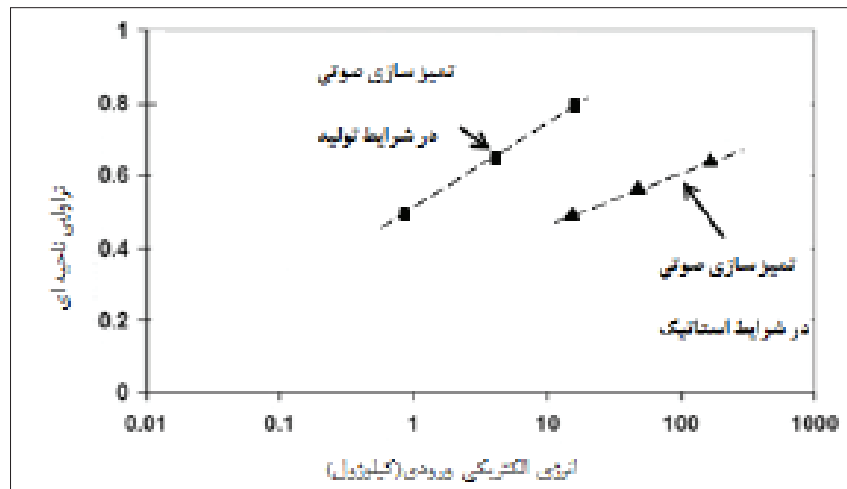
نیز یک مزیت ویژه در بازیافت نفت سنگین به شمار می آید. این پدیده می تواند به واکنش های شیمیایی داخل مخزن کمک کند و سرعت آنها را افزایش دهد.

۴- امکان سنجی

برای تعیین پتانسیل واقعی امواج فراصوت در تحریک چاه نفتی لازم است تادرک صحیحی از پدیده موج، خواص آن، پارامترهای مشخص کننده رفتار آن و عکس العمل محیطی که در آن نفوذ می کند را داشته باشیم. در تحریک صوتی مهمترین عوامل هندسه و تداخل فازها^{۲۲} هستند. تأثیر پارامترهای امواج فراصوتی بر روی محیط متخلخل به خوبی شناخته نشده است. قدرت این امواج به عوامل مختلفی از جمله روش های تکمیل چاه (باز، بسته های ریگی^{۲۳} یا چاه جدا دار^{۲۴})، هندسه شعاعی مسیر نفوذ موج و محیط الاستیکی (ماتریکس) بستگی دارد. در نواحی با نفوذپذیری کم و بدون آسیب، تنها راه برای افزایش قابلیت تولید از چاه ایجاد کانال های شیاردار یا شکستگی های بزرگی است که سیال به وسیله آنها به راحتی بتواند به داخل دیواره چاه نفوذ کند. واضح است که تحریک با استفاده از امواج فراصوتی نمی تواند همانند روش های متداول با ایجاد کانال باعث افزایش نفوذپذیری شود، بنابراین این روش برای مخازن بدون شکستگی توصیه نمی شود. کاربرد امواج فراصوت به عنوان یک نوع روش تحریک چاه در مکانیسم های تخریبی مانند تغییرات ترشوندگی^{۲۵}، هجوم سیال و غیره دارای پتانسیل کمی است، زیرا در این موقعیت ها ذره ای برای برداشتن وجود ندارد [۱۱]. از امواج فراصوتی می توان برای گرم کردن و شکستن ذرات معلق در چاه هایی که دارای سیالاتی با گرانیوی بالا (همانند نفت سنگین و نفت تعلیق شده^{۲۶}) هستند استفاده نمود، اما روش های گرمایی و تعلیق شکنی^{۲۷} دیگر در این زمینه دارای بازدهی بیشتری هستند. استفاده از دستگاه های نگهدارنده مغزه صوتی^{۲۸} امکان به دست آوردن یک تقریب خوب از میزان عملی بودن و صحت این تحریک را فراهم می کند. اما یافتن جواب واقعی در رابطه با عملی بودن تحریک با استفاده از امواج فراصوتی/صوتی با انجام آزمایش های میدانی امکان پذیر است.



شکل ۳ | موج در فاصله ۲ تا ۳ فوت جذب محیط می شود.



شکل ۴ | تحریک صوتی تحت جریان و شرایط استاتیکی

نتیجه گیری

استفاده از امواج صوتی با فرکانس و قدرت بالا به عنوان روش تحریک، یکی از شیوه‌های بر طرف کردن آسیب‌های درون چاهی مانند بسته شدن گلوگاه روزنه‌ها، آسیب‌های ناشی از عملیات مشبک کاری، بسته‌های ریگی از جمله ریزدانه‌ها، رسوبات، نهشته‌های آلی و برداشتن اندود گل است. اگر چه تحریک چاه به وسیله امواج صوتی دارای محدودیت‌هایی مانند نیاز به طراحی وسایل صوتی خاص و پرتوافکنی امواج

با شدت و بسامد بالا (که انتقال این امواج باعث میرایی آن نیز می‌شود) بوده است، اما این روش نسبت به روش‌های متداول اقتصادی تر است و بازدهی نسبتاً خوبی دارد که همین موضوع آن را به عنوان یک گزینه برای تحریک درون چاهی مطرح نموده است.

مزیت‌های تحریک صوتی به قرار زیر است.

(۱) امکان انجام تحریک در شرایط زیر تعادلی^{۲۹} که در این حالت نیازی به بسته شدن چاه

نمی‌باشد (تحریک در حین تولید) و این امر امکان مشاهده و بهینه‌سازی به موقع پروژه را فراهم می‌کند.

(۲) حذف طراحی پیچیده تزریق سیالات.

(۳) کاهش ریسک انجام کار با سیالات خطرناک، خورنده و ساینده و سازگاری با محیط زیست مطابق با قوانین HSE.

(۴) کاربرد وسیع در چاه‌های افقی و چند شاخه‌ای.

(۵) پتانسیل استفاده با سایر روش‌های تحریک چاه.

پانویس‌ها

- | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------|
| ¹ Sajjad.Amani@hotmail.com | ¹¹ hydraulic fracturing | ²¹ cavitation |
| ² Saeed.Balouchi.shz@gmail.com | ¹² coiled tubing | ²² interphases |
| ³ Sadegh.Saffarzadeh@gmail.com | ¹³ abrasive | ²³ gravel packed |
| ⁴ geology@nisoc.ir | ¹⁴ explosive perforating | ²⁴ casedhole |
| ⁵ precipitation | ¹⁵ formation solubilities | ²⁵ wettability |
| ⁶ asphalthene | ¹⁶ fracture acidizing | ²⁶ emulsified oil |
| ⁷ scrapers | ¹⁷ cultural noise | ²⁷ demulsifies |
| ⁸ high pressure fracturing | ¹⁸ skin zone | ²⁸ sonic coreholder |
| ⁹ Health Safety Environment | ¹⁹ pore's throats | ²⁹ underbalance |
| ¹⁰ acidizing | ²⁰ film | |

منابع

- [1] Beresnev, I.A. and Johnson, P.A.: "Seismic Stimulation of Oil Reservoirs: A Review of Theory and Methods", Geophysics 59 No. 6 (1000), 1993.
- [2] Economides M.J., Reservoir Stimulation, Prentice Hall, New Jersey (1989).
- [3] R.V. Westermarck, J.F. Brett, D. R. Maloney, Enhanced Oil Recovery with Downhole Vibration Stimulation, SPE 67303, Oklahoma City, Oklahoma, 24–27 March 2001.
- [4] Sau-Wai Wong, Fred van der Bas, Pedro Zuiderwijk, Bob Birchak, Wei Han, KwangYoo and Diederik van Batenburg, High Power/High Frequency Acoustic Stimulation – A Novel and Effective Wellbore Stimulation Technology, SPE 84118, Denver, Colorado, U.S.A., 5 – 8 October 2003.
- [5] Sau-Wai Wong, Fred van der Bas, Jeroen Groenenboom, Pedro Zuiderwijk, Near Wellbore Stimulation by Acoustic Waves, SPE 82198, Netherlands 13-14 May 2003.
- [6] Fred van der Bas, Eric de Rouffignac, Pedro Zuiderwijk, Sau-Wai Wong, B.V., Diederik van Batenburg, Bob Birchak, KwangYoo, Radial Near Wellbore Stimulation by Acoustic Waves, SPE 86492, Lafayette, Louisiana, U.S.A., 18–20 February 2004.
- [7] Fred van der Bas, Eric de Rouffignac, Pedro Zuiderwijk, Diederik van Batenburg, Acoustic Stimulation to Mitigate Near-Wellbore Damage, SPE 90356, Houston, Texas, U.S.A., 26–29 September 2004.
- [8] Fred van der Bas, Eric de Rouffignac, Pedro Zuiderwijk, Diederik van Batenburg, Near Wellbore Stimulation by Acoustic Waves, SPE 88767, Abu Dhabi, U.A.E., 10–13 October 2004.
- [9] A. Anchliya, Acoustic Stimulation: Mitigating Near Well Bore Damage and Improved Oil Recovery, 7th Canadian International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, June 13 – 15, 2006.
- [10] Jose Gil Cidoncha, Hess Limited, Application of Acoustic Waves for Reservoir Stimulation, SPE 108643, Veracruz, Mexico, 27–30 June 2007.
- [11] Sergio Caicedo, PDVSA-Intevp, Feasibility Study of Ultrasound for Oil Well Stimulation Based on Wave-Properties Considerations, SPE 107083-PA, February 2009.
- [12] GUO Xiao-lei, CHEN Gang, Ultrasonic-assisted Extraction of Cinamon Oil, Co., Ltd, Guangzhou 510665, China, 2004.