

## کاربردهای نوین لیزر در صنعت نفت

میربهمن غنی زاده<sup>۱</sup>، احسان اسماعیل نژاد<sup>۲</sup>

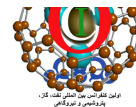
### چکیده:

با توجه به خصوصیات منحصر به فرد لیزر، کاربرد این وسیله به ویژه در دهه‌ی اخیر در حوزه‌های مختلف، بخصوص در صنعت نفت پیشرفت فراوانی داشته است. با گسترش صنایع و نیاز روز افزون به انرژی، لازم است که از ابزارهای دقیق و سریع در حوزه صنعت نفت استفاده شود. از ویژگی‌های بارز لیزر می‌توان به سرعت و دقت بالای این وسیله اشاره کرد، به عنوان مثال، سرعت عملیات توپک رانی به روش لیزر به مراتب سریع‌تر و دقیق‌تر از روش‌های مرسوم می‌باشد. لذا لازم است که کاربرد این وسیله در صنعت نفت ایران به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکننده‌ی انرژی در جهان، توسعه پیدا کند. در این تحقیق به بررسی تعدادی از کاربردهای نوین این وسیله در صنعت نفت خواهیم پرداخت. امید است که معرفی این روش‌های جدید کمکی برای تحول در صنعت نفت ایران باشد

واژه‌های کلیدی: لیزر- انرژی- صنعت نفت.

<sup>۱</sup> دانشجوی مهندسی نفت، دانشگاه حکیم سبزواری (mirbahmanghanizadeh@yahoo.com)

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی گروه نفت و پتروشیمی دانشگاه حکیم سبزواری



## 1. مقدمه:

لیزر ابزاری است که نور را به صورت پرتوهای موازی بسیار باریکی که طول موج مشخصی دارند ساطع می‌کند. این دستگاه از ماده‌ای جمع کننده یا فعال کننده نور تشکیل شده که درون محفظه تشدید نور قرار دارد. این ماده پرتو نور را که به وسیله یک منبع انرژی بیرونی (از نوع الکتریسیته یا نور) به وجود آمده، تقویت می‌کند.

نخستین بار طرح اولیه لیزر را انیشتین داد. کار لیزر به این گونه است که با تابش یک فوتون به یک ذره (اتم یا مولکول یا یون) برانگیخته، یک فوتون دیگر نیز آزاد می‌شود که این دو فوتون با هم، هم فرکانس هستند. با ادامه این روند شمار فوتون‌ها افزایش می‌یابد که می‌توانند باریکه‌ای از فوتون‌ها را به وجود بیاورند [۱].

لیزرهای مختلفی برای صنایع گوناگون استفاده می‌شود، ولی اصول کار آنها یکی می‌باشد. لیزرهایی که در صنعت نفت استفاده می‌شود، که متداول‌ترین آن‌ها عبارتند از [۲]:

1- لیزر  $DF^4$ ,  $HF^3$

2- لیزر  $COIL^5$

3- لیزر کربن دی اکسید<sup>۶</sup>

4- لیزر کربن مونو اکسید

5- لیزر الکترون آزاد<sup>۷</sup>

6- لیزر کریپتون فلورید<sup>۸</sup>

7- لیزر  $Nd:YAG^9$

8- لیزر قدرتمند فیبری<sup>۱۰</sup>

مشخصات اصلی لیزرها طول موج و قدرت، پروفیل اشعه و ... می‌باشد. برای مثال لیزر کربن مونو اکسید با طول موج 5-6 میکرومتر و قدرت 200 کیلووات و لیزر کربن دی اکسید با طول موج 10.6 میکرومتر و قدرت 1 مگاوات کار می‌کنند. با توجه به وظیفه‌ای که لیزر قرار بر انجام آن است، لیزر مورد نظر انتخاب می‌شود. برای اطلاع از جزئیات عملکرد این لیزرها می‌توانید به این منبع [۳] مراجعه کنید. لیزر در صنعت نفت کاربردهای مختلفی دارد، که در ادامه به کاربردهای نوین آن خواهیم پرداخت.

## 2. کاربرد لیزر در توپک رانی لوله‌های انتقال نفت و گاز

<sup>3</sup> Hydrogen Fluoride

<sup>4</sup> Deuterium Fluoride

<sup>5</sup> Chemical Oxygen Iodine Laser

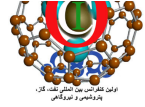
<sup>6</sup> Carbon Dioxide Laser

<sup>7</sup> Free Electron Laser

<sup>8</sup> Krypton Fluoride (Excimer) Laser

<sup>9</sup> Neodymium: Yttrium Aluminum Garnet Laser

<sup>10</sup> High-Power Fiber



با افزایش روزافزون تقاضای نفت و گاز لازم است که مخازن جدیدتری کشف شوند. اکتشاف این مخازن منجر به استفاده از سیستم‌های دریایی و خشکی بیشتری خواهد شد. در این بین لوله‌ها و مخازن ذخیره بسیار مهم می‌باشند و نقش مهمی را در فرایند تولید نفت و استفاده از آن ایفا می‌کند. برای حداقل کردن نشت، حفاظت از محیط زیست و انتقال مطمئن نفت و گاز، لازم است که خوردگی و فرسایش لوله تشخیص داده شود و از خطرات احتمالی جلوگیری کرد.

استفاده از توپک رانی برای نظارت بر لوله‌ها در اکثر کشورها متداول می‌باشد. اخیراً سیستم لیزری در توپک رانی ارائه شده است که در این حالت لیزر بر روی توپک‌های هوشمند قرار می‌گیرد، که قادر است مشکلات موجود در لوله‌ها را به طور دو بعدی و سه بعدی خمیدگی، فرسایش و خوردگی شیمیایی فیزیکی و شیمیایی لوله‌ها را تشخیص دهد. این تکنولوژی بسیار کاربردی و مناسب می‌باشد که برای اولین بار در کشور نیجریه، طراحی و استفاده شده است [۴]. این سیستم قادر است داخل لوله را به طور 3 بعدی با سرعت 25 عکس بر ثانیه اسکن کند. با توجه به اینکه سرعت متوسط توپک 0/5 متر بر ثانیه می‌باشد، این سیستم می‌تواند، هر 20 میلیمتر را با کیفیتی حدود 25 میکرومتر عکس برداری سه بعدی بکند. شکل 1 شماتیک این دستگاه را نشان می‌دهد.

## 1.2. قسمت‌های تشکیل دهنده سیستم:

### 1.1.2. قسمت اپتیکی که شامل:

- لیزر
- عدسی
- دوربین: این دوربین قادر است عکس‌های با کیفیت بالا را در حد 25 عکس بر ثانیه را ثبت کند.

### 2.1.2. قسمت الکترونیکی و کامپیوتری:

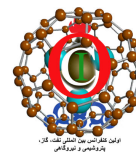
کامپیوترهای جاسازی شده که برای کنترل سنسورها، انتقال سریع داده‌ها، دریافت داده‌ها و پردازش آن-ها به کار می‌رود. کامپیوترهای جاسازی شده قادر به پردازش داده‌ها در حد 1 گیگاهرتز و بیشتر می‌باشند و دارای حافظه حداقل 100 گیگابایت می‌باشند. این قسمت دارای سیستم ارتباطی اینترنت (Ethernet<sup>11</sup>) برای انتقال داده‌ها و ایجاد قابلیت کنترل از راه دور را فراهم می‌کند. سنسورهای مربوط به محیط اطراف در روی وسیله نصب شده‌اند که قادر هستند دما، فشار، میزان رطوبت داخل لوله را ثبت کنند. این سیستم می‌تواند حداکثر در دماهای 50 درجه سانتی گراد عمل کند.

همچنین سنسورهای متحرک برای اندازه‌گیری میزان مسافت طی شده و اندازه‌گیری میزان چرخش‌ها در این سیستم وجود دارد. این سیستم دارای منبع تغذیه از طریق باتری‌هایی است که قادر است 20 ساعت کار را برای سیستم مهیا کند و وسیله‌ای کروی که در بالای این وسیله نصب می‌شود تا نیروهای وارده بر سیستم را خنثی کند.

محفظه‌ای که روی سیستم که در دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل:

- محافظ آلومینیومی و تیتانیومی که قادر است فشار بالاتر از 350 بار را تحمل کند.
- اودیومتر جهت ضبط مسافت دقیق طی شده.

<sup>11</sup> سیستم اینترنت شبیه به سیستم شبکه محلی می‌باشد که قادر است به صورت بی سیم ارتباط برقرار کند و برای انتقال داده‌ها استفاده می‌شود.



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

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

### 2.2. روند کلی دریافت اطلاعات و نمایش آن به صورت سه بعدی

ساختار آنالیز سه بعدی، مبتنی بر دریافت عکس های دوبعدی می باشد. به این صورت که ابتدا عکس ها به صورت دو بعدی تهیه می شوند و سپس به کامپیوتر ارسال می شود که در این کامپیوترها اطلاعات به صورت سه بعدی تجزیه و تحلیل می شوند. برای اکتساب نتایج بهتر کیفیت تصویرهای برداشت شده در حد 720 در 576 پیکسل تنظیم شده اند. عکس های دو بعدی تهیه شده که به حافظه کامپیوتر اصلی منتقل شده است توسط نرم افزار خاصی به صورت سه بعدی تجزیه و تحلیل می شود. عکس های تهیه شده به راحتی می توانند به عکس های سه بعدی تبدیل شوند و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند (شکل 2 را ببینید).

### 1.2.2. آنالیز داده ها:

#### 1.1.2.2. خوردگی شیمیایی:

خوردگی باعث می شود که قطر لوله افزایش یابد که این عیب به راحتی توسط با تاثیری که بر خطوط به دست آمده از لیزر می گذارد قابل تشخیص می باشد. خوردگی های کمتر از 1 میلی متر قابل تشخیص نمی باشند ولی بیشتر از آن به راحتی قابل تشخیص می باشد.

#### 2.1.2.2. فرسایش:

دلیل اصلی فرسایش وجود ماسه در نفت یا آب می باشد. این مشکل نیز همانند خوردگی شیمیایی با همان رویه قابل تشخیص می باشد.

#### 3.1.2.2. خمیدگی:

خمیدگی در لوله ها بسیار مهم می باشد و خطر جدی برای خط لوله محسوب می شود. این عیب از تغییر شکل یافتن خطوطی دریافت شده از لیزر از حالت دایره کامل به حالت بیضی تشخیص داده می شود. که از این طریق می توان زاویه خمش را نیز تعیین کرد.

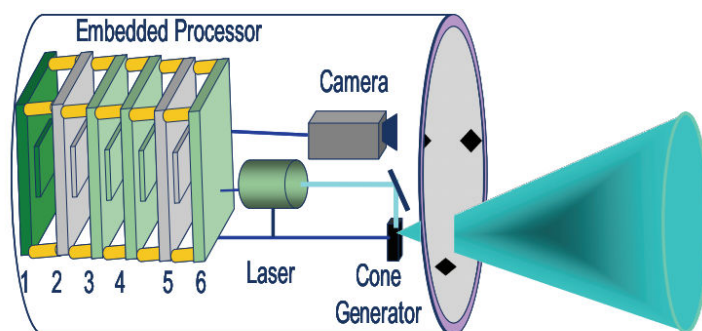
لازم به ذکر است که تجزیه و تحلیل داده ها بعد از خروج توپک از خط لوله و در انتهای کار صورت می گیرد.

#### • مزایای این سیستم

- این سیستم به دلیل داشتن باطری های قوی و حافظه زیاد قادر است مسافت هایی به اندازه 100 کیلومتر را پیگری کند.
- این سیستم طوری طراحی شده است که قادر است از خمیدگی ها و زانوهای موجود در خط لوله به راحتی عبور کند.
- دارای نرم افزار خاصی می باشد که داده ها را تجزیه و تحلیل کرده و نتایج را به صورت آماده به متخصص ارائه می دهد.

#### • محدودیت های این سیستم:

- برای لوله های با قطر بیشتر از 250 میلی متر استفاده می شود.
- هزینه این سیستم به دلیل استفاده از دوربین و لیزر بیشتر از توپک های معمولی می باشد.



- |                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| 1) پردازنده ۱ گیگاهرتزی    | 4) تقویت کننده        |
| 2) هارد دیسک ۱۰۰ گیگابایتی | 5) باتری              |
| 3) دریافت کننده عکس        | 6) DC to DC converter |

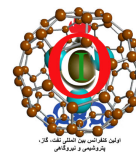
شکل 1: شکل کلی سیستم

شکل 2- نمایشی از تشخیص ایراد در لوله



### 3. کاربرد لیزر در مشبک کاری چاههای نفت

مهمترین بخش در تکمیل چاه مشبک کاری می باشد. به طور کلی این عمل به این معنی است که بین لایه تولید کننده و داخل چاه ارتباط برقرار نماید تا نفت و گاز از سازند به درون حفره چاه راه پیدا کرده و سرانجام به سطح برسد. عملیات مشبک کاری با سوراخ کردن جداره پوششی (Casing) تحقق می پذیرد [۵]. انجام این امر پس از مطالعه کامل سنگ مخزن و مشخص کردن محل لایه تولیدی صورت می گیرد و در انجام آن بایستی دقت زیاد به کار برد؛ به خصوص از نظر تطابق عمق زیرا در صورت اشتباه مشکلات متعددی بروز خواهد کرد. برای مثال ممکن است فاصله آبی چاه به جای فاصله نفتی یا گازی مشبک شود و مشکلات فراوانی را به وجود آورد.



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

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

تحقیقات انجام گرفته برای یافتن روش های جایگزین مشبک کاری نشان داده است که لیزر به خوبی توانایی برش و مشبک کاری سنگ ها را دارد. ضمن آنکه به دلیل انتقال حرارت فراوان برای سوراخ کردن سنگ، تراوایی و تخلخل سنگ نیز افزایش پیدا می کند. (جدول 1 را ببینید). هر دو نوع سنگ مورد آزمایش یعنی Lime Stone و Sand Stone را می توان به گونه ای با لیزر مشبک کاری نمود. در مشبک کاری با لیزر اشعه لیزر با نمونه سنگ برخورد کرده و انرژی لیزر به سنگ انتقال می یابد. این انرژی باعث افزایش دما در نمونه سنگ می شود تا آنجا که خاصیت سیمان شدگی بین ذرات ذوب و یا بخار شده و می شکنند. میزان تأثیر و بازدهی استفاده از لیزر به خواص فیزیکی و گرمایی سنگ بستگی دارد.

جدول 1: مقایسه تراوایی و تخلخل بعد و قبل از تابانیدن لیزر<sup>۶</sup>

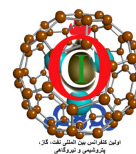
Sample	Permeability (md) Before Lasing	Permeability (md) After Lasing	Porosity (%) Before Lasing	Porosity (%) After Lasing
Berea Yellow Sandstone	7754	7914	0.25	0.40
Berea Gray Sandstone	554	674	0.18	0.35
Sandstone Reservoir	11.1	30.1	0.18	0.40
Limestone	0.02	0.02	0.02	0.02
Shale	0.43	0.55	0.01	0.03

### 1.3 نحوه انجام عملیات

در بحث نحوه انجام عملیات دو گزینه وجود دارد. گزینه اول قرار دادن منبع لیزر در بالای چاه و انتقال پرتو لیزر توسط فیبر به محل مورد نظر است. از مزایای این روش می توان به این نکته اشاره نمود که در این شیوه، منبع لیزر که نسبت به دماهای بالا و ضربه حساس می باشد در مکان مناسبی قرار گرفته و مشکلی از این جهت به وجود نمی آید. در این مورد باید ادامه مسیر توسط فیبر طی شود و برای جلوگیری از اتلاف زیاد در طول مسیر، دیود های انتقال نور در فواصل مشخص در مسیر فیبر قرار گیرند. اگر چه مسیر توسط دیود ها تقویت می شود اما به دلیل مقداری اتلاف در مسیر، منبعی پر قدرت برای تولید لیزر مورد نیاز است. گزینه دوم انتقال منبع لیزر به داخل تا حد امکان با توجه با ابعاد دستگاه و قطر چاه و ادامه مسیر توسط فیبر است، در این صورت منبع لیزر مورد استفاده می تواند دارای توان کمتری باشد، اما حفاظت آن از ضربه های وارد شده الزامی می باشد.

همچنین در محل انجام شلیک به سازند هدف، برای تسهیل در خروج موادی که توسط لیزر برداشته می شوند و برای کمک به تمیز نمودن معبر ایجاد شده، باید هوای فشرده توسط یک نازل به محل هدایت می شود. مجموعه این عملیات، ما را در رسیدن به هدف انجام مشبک کاری با لیزر، یاری می دهد [۷].

### 2.3 مزایای استفاده از لیزر در مشبک کاری:



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

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

- 1- استفاده از لیزر مزایای بسیاری دارد که آن را از دیگر روش ها بهتر کرده است. مزایای استفاده از لیزر به شرح زیر می باشد:
- 2- زائدهات بسیار کمی ایجاد می کند.
- 3- قابلیت مشبک کردن هرنوع سازند را دارد.
- 4- باعث افزایش تراوایی و تخلخل سنگ می شود که این تاثیر خوبی بر افزایش تولید از مخزن می گذارد [۸].

### 4. کاربرد لیزر در کاهش تراوایی سنگ مخزن حاصل از رسوب آسفالتین

نفت تولید شده در بسیاری از چاهها دارای آسفالتین می باشد. رسوب این آسفالتین باعث آسیب سازند اطراف چاه می شود. رسوب آسفالتین باعث کاهش تولید می شود، که لازم می شود عملیات پرهزینه ای را برای جبران این کاهش تولید اجرا کرد، که در برخی موارد این عملیات اثرات نامطلوبی را محیط زیست نیز می گذارد طبق مطالعات انجام گرفته رسوب آسفالتین در طول مدت تولید نفت رخ می دهد. رسوب آسفالتین در اوایل در تسهیلات سرچاهی مثل سپراتورها (Separators) مشاهده می شود. رسوب آسفالتین در اعماق زیاد لوله مغزی نیز مشاهده می شود. در برخی از مطالعات موردی، نتایج نشان می دهد که رسوب آسفالتین باعث کاهش قابلیت تزریق به مخزن و همچنین تولید مخزن می شود.

آسفالتین به موادسنگین موجود در نفت خام گفته می شود که در حلالهای سبک مثل پنتان ۱۲ محلول نمی باشند. آنها دارای مولکولهای پیچیده ای می باشند که دارای کربن، هیدروژن، اکسیژن و سولفور هستند. روش های مختلفی برای حل مشکل رسوب آسفالتین در چاهها وجود دارد:

روشهای شیمیایی که شامل تزریق مواد شیمیایی مخصوص به چاه می باشد. روشهای مکانیکی شامل حذف مواد آسفالتین خطوط جریان، لوله مغزی می باشد. در این موارد از خراشنده های میله ای ۱۳، خراشنده های کابلی ۱۴ خراشنده های دارای پیستون شناور ۱۵ و پیگ رانی استفاده می شود. از مزایای این روش می توان به قطعیت تمیز شدگی و حداقل آسیب رساندن سازند اشاره کرد.

روش های گرمایی شامل استفاده از گرمادهنده های درون چاهی، استفاده از آب یا بخار آب و مواد شیمیایی آزاد کننده گرما می باشد.

استفاده از لیزر، که جدیدترین روش ابداع شده می باشد.

در روش چهارم، مراحل مختلف آزمایشگاهی وجود دارد. جزئیات این آزمایش در منبع [۹] آمده است. نتایج این آزمایش نشان می دهد که تراوایی مغزه بر اثر تابش لیزر تا حدود زیادی افزایش می یابد.

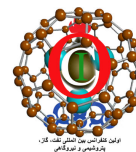
در شکل زیر فوق klt بیانگر تراوایی مغزه بعد از انجام آزمایش و تابانیدن لیزر،  $k_i$  و  $k_d$  تراوایی آسیب دیده اولیه می باشند.

<sup>12</sup> Pentane

<sup>13</sup> Rod Scraper

<sup>14</sup> Flow Line Scraper

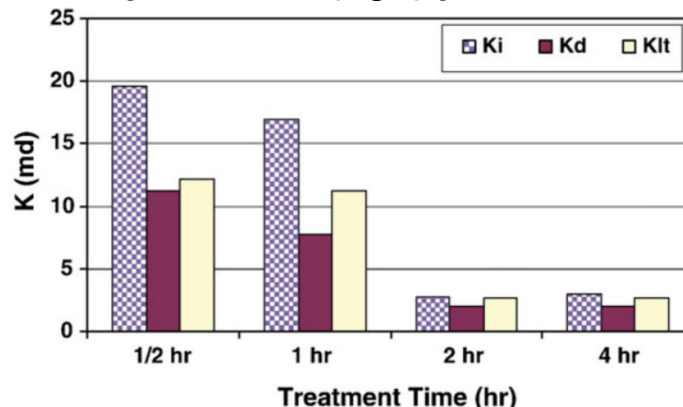
<sup>15</sup> Free-Floating Piston



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

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

شکل 3: مقایسه بین تراوایی مغزه‌ها، قبل و بعد از آزمایش



### 5. کاربردهای دیگر لیزر در صنعت نفت که جزئیات آن‌ها منتشر نشده است [۱۰]:

واحد پژوهش و توسعه‌ی شرکت سعودی آرامکو دستگاهی با بهره‌گیری از فناوری لیزر برای شناسایی نوع نفت ساخته است که می‌تواند کاربرد های فراوانی در زمینه‌های اکتشاف و تولید داشته باشد. این دستگاه که لیزر را، در فرکانس های مورد نظر، به نمونه‌ی نفت می‌تاباند در مدت زمان بسیار کوتاهی، در حدود 2-5 نانوثانیه، طیف فلورسانس نمونه‌ی نفت را برانگیخته می‌کند. سپس دستگاه داده‌های فلورسانس نمونه‌ی نفت را تلفیق و دو نمودار بدون بعد تولید می‌نماید که به عنوان مشخصه نفت مورد نظر می‌باشند. این توانایی که نوع نفت براساس طیف فلورسانس آن قابل تشخیص است این امکان را فراهم می‌آورد که نمونه‌های مختلف نفت را (با درجات متفاوت واز نظر ملاک های تجاری) از هم تمیز داد. به صورت بالقوه کاربردهایی از جمله موارد ذیل را می‌توان برای این دستگاه نام برد:

- اندازه‌گیری میزان آب موجود در نفت و میزان سولفور موجود در نفت (حال حاضر تحقیقات برای بررسی کاربرد این دستگاه در اندازه‌گیری مقادیر میکروسکوپی آب و سولفور در نفت پالایش شده در حال انجام است).
- پایش میزان نمک موجود در نفت
- تشخیص آسفالتین موجود در نفت
- پایش ویسکوزیته در خطوط لوله

### 6. نتیجه‌گیری:

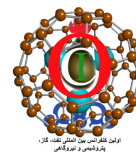
کاربرد لیزر در صنعت نفت باعث تحول اساسی می‌شود چراکه سرعت و دقت در محاسبات و اندازه‌گیری‌ها زیاد شده و هزینه‌های اضافی نیز از بین خواهد رفت. به عنوان مثال سرعت تشخیص خوردگی و ایرادات در لوله‌های انتقال نفت و گاز با استفاده از لیزر به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. به طور کلی مزایای لیزر در بخش‌های گوناگون صنعت نفت روشن است و لازم است که صنعت نفت ایران به این امر توجه ویژه‌ای داشته باشد و تحقیقات در این زمینه را افزایش دهد.

### 7. منابع:



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

## مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



- 
- [1] Breck Hitz & et al. "INTRODUCTION TO LASER TECHNOLOGY". IEEE PRESS. pp., 14-15.
- [2] Pankaj Sinha and Aabhaas Gour ,Laser Drilling Research and Application: An Update. SPE/IADC 102017. pp., 1- 4.
- [3] K.H. Leong, Z. Xu, C.B. Reed, and R.A. Parker . "Lasers and Beam Delivery for Rock Drilling".
- [4] Bernadette Gomez. "Introduction to Drilling & Well Completion". Chapter, 7-2 & 7-3.
- [5] Brian C. Gahan and Samih Batarseh." n Overview of High Power Laser Applications Research for Well Construction and Completion". pp., 3-6.
- [6] Brian C. Gahan. Robert W. Siegfried, "Improving Gas Well Drilling And Completion With High-Energy Lasers. pp., 5-6.
- [7] Brian C. Gahan and et.al. "IMPROVING GAS WELL DRILLING AND COMPLETION WITH HIGH ENERGY LASERS". pp., 2-6.
- [8] Pankaj Sinha and Aabhaas Gour ,Laser Drilling Research and Application: An Update. SPE/IADC 102017. pp., 3- 5.
- [9] Abdulrazag Y. Zekri, Shedid Shedid, Hassan Alkashef. "A new technique for treatment of permeability damage due to asphaltene deposition using laser technology". Journal of Petroleum Science and Engineering 59.
- [10] Official Publication of The Society Of Petroleum Engineers. JPT online. Presented by Saudi Aramco's R&D Center.