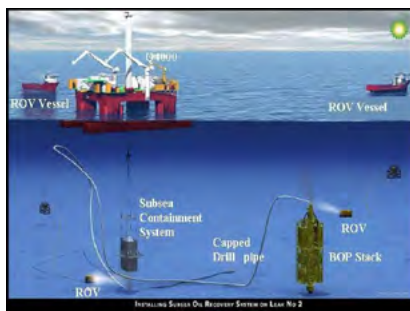


## مراحل کنترل و هدایت جریان نفت و گاز به سطح و کشتن چاه Macondo

تهیه شده در: شرکت نفت خزر - اداره حفاری

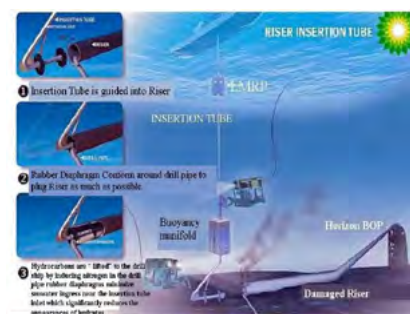
کشتن چاه Macondo توسط روش Top Kill و پمپاژ Junk Shot انجام داد. روش Top Kill و Junk Shot یک روش استاندارد است که برای مهار جریان از چاه‌های فورانی تحت عنوان Dynamic Kill به کار گرفته می‌شود.



شکل ۱ | نمایی از رایزر شکسته شده و سد مهار



شکل ۲ | پوشش و سد مهار چاه Macondo



شکل ۳ | شماتیک نصب RITT درون رایزر شکسته

مشکل در این مورد، تشکیل هیدرات در مسیر انتقال هیدروکربن بود که این هیدرات‌ها سبب مسدود شدن لوله انتقال می‌شدند. برای حل مشکل، شرکت BP تصمیم گرفت بعد از نصب پوشش، جریان آب گرم از سطح به درون این پوشش برقرار سازد. در حالی که شرکت BP تصمیم به مقابله با تشکیل هیدرات بعد از نصب پوشش روی دهانه چاه گرفت، هیچ برنامه‌ای برای جلوگیری در حین نصب پوشش نداشت. از این‌رو، وقتی کارکنان مشغول پایین بردن و نصب پوشش در محل خود بودند، هیدرات‌ها تشکیل شدند و مسیر انتقال هیدروکربن را مسدود نمودند. از آنجایی که این هیدرات‌ها از آب سبک‌ترند، باعث شناور شدن این پوشش درون آب می‌شدند که نصب این پوشش را در محل موردنظر با مشکل روبه‌رو می‌ساخت. لذا این روش نیز بدون موفقیت بود.

### ۳- RITT

بعد از شکست روش قبلی، شرکت BP عملیات قرار دادن وسیله‌ای کوچک به نام RITT را در داخل قسمت شکسته شدن رایزر آغاز نمود. این وسیله یک لوله به قطر ۴ اینچ است که در قسمت انتهایی رایزر جاسازی می‌شد و نفت و گاز را به کشتی جمع‌آوری در سطح انتقال می‌داد. در این روش، احتمال تشکیل هیدرات‌ها وجود نداشت زیرا هیدروکربن بدون تماس با آب به‌طور مستقیم از داخل رایزر به سطح انتقال پیدا می‌کرد. بعد از مدت ۹ روز استفاده از این روش، در مجموع ۲۲۰۰۰ بشکه نفت در سطح جمع‌آوری شد. در تمام این مدت، نشت هیدروکربن از اطراف این وسیله در قسمت انتهایی رایزر قابل مشاهده بود.

### ۴- روش Top Kill و Junk Shot

شرکت BP اولین تلاش خود را برای مهار و

در سال ۲۰۱۰ بعد از فوران چاه Macondo در خلیج مکزیک روش‌های مختلفی برای کنترل و مهار چاه به کار برده شد. این روش‌ها شامل فعال‌سازی مجموعه فوران‌گیر، Top Kill و Junk Shot، قرار دادن سد مهار و پوششی روی دهانه چاه برای انتقال نفت و گاز به سطح و جمع‌آوری آن در سطح توسط کشتی بود. نهایتاً با استفاده از مجموعه پوششی روی دهانه چاه (Capping Stack) و کشتن چاه توسط روش Static Kill و حفر دو چاه و تقاطع این دو چاه در عمق ۱۸۰۰۰ فوتی با چاه اصلی و پمپاژ سیمان، شرکت BP موفق به مهار و کشتن چاه Macondo 252 در تاریخ ۱۹ سپتامبر ۲۰۱۰ بعد از ۱۵۲ روز از فوران چاه شد. در ادامه، روش‌های مختلفی که برای مهار چاه استفاده گردید، بررسی می‌شود.

### ۱- فعال‌سازی شیرهای فوران‌گیر

شرکت BP تصور می‌کرد که فعال‌سازی شیرهای فوران‌گیر بهترین شانس برای بستن سریع چاه است. تلاش‌ها جهت بستن فوران‌گیر برای کنترل جریان بی‌نتیجه بود (جریان شدید و پر فشار هیدروکربن همراه با ماسه سبب سایش شیرهای فوران‌گیر شد و بستن فوران‌گیر بسیار سخت گردید).

### ۲- سد مهار (کفردم)

شرکت BP تصمیم گرفت یک سد مهار (کفردم) بر روی دو نشت شدیدی که بر روی رایزر شکسته شده در کف دریا ایجاد شده بود، قرار دهد. در قسمت بالایی محفظه کفردم یک لوله برای انتقال هیدروکربن به سطح تعبیه شده بود. شرکت BP در تاریخ ۶ ماه می شروع به پایین بردن این سد و پوشش ۹۸ تنی کرد (شکل ۱-).

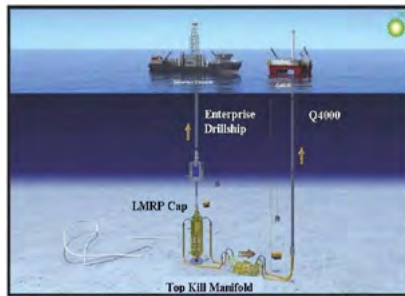
از همان ابتدا جمع‌آوری هیدروکربن توسط کفردم نامحتمل به نظر می‌رسید. مهمترین

کافی است. Junk Shot مکمل Top Kill می باشد. در این روش، مواد مسدودکننده شامل تکه های پلاستیک<sup>۶</sup> به انتهای مجموعه فوران گیر پمپ می شوند. این مواد مسدودکننده مسیر جریان را مسدود کرده و از ایجاد جریان های آتی جلوگیری می کنند. کاهش یا مسدود کردن جریان Junk Shot سبب می شود که مهار چاه توسط روش Top Kill راحت تر انجام شود. اولین تلاش شرکت BP با پمپاژ گل به میزان ۵۳ بشکه در دقیقه و بیش از ۷۶۰۰۰ بشکه در روز انجام گرفت. گرچه در ابتدا فشار پمپاژ شروع به کاهش کرد که برگشت هیدروکربن به مخزن را نشان می داد، ولی فشار به سرعت به یک مقدار ثابتی رسید که نشان دهنده ی عدم پیشرفت روش Top Kill بود. در تلاش دوم، پمپاژ گل به میزان ۲۵ بشکه در دقیقه (۳۶۰۰۰ بشکه در روز) و پمپاژ ۱۵ حجم از Junk Shot انجام شد. تغییرات فشار مانند حالت قبل بود. در سومین و آخرین تلاش، پمپاژ گل به میزان ۸۰ بشکه در دقیقه (۱۱۵۰۰۰ بشکه در روز) و پمپاژ ۲ حجم از Junk Shot انجام شد. با وجود میزان بالای پمپاژ، در این حالت تغییرات فشار مانند حالت قبل بود و روش Top Kill پیشرفتی در مهار چاه نداشت. در نهایت، شرکت BP و دولت امریکا بر توقف کشتن چاه به روش Top Kill موافقت کردند.

#### ۴-۱- آنالیز روش Top Kill

چرا این روش شکست خورد؟ برای پی بردن به جواب باید طراحی این چاه بررسی شود. در این چاه در جداری ۱۶ دیسک های پاره شونده<sup>۷</sup> تعبیه شده است که نقاط ضعیفی در جداری ۱۶ می باشند. طراحی این دیسک ها برای ترخیص فشار حاصل از گرما طی تولید چاه قبل از افزایش فشار به فشار لهیدگی<sup>۸</sup> جداری تولیدی و یا فشار ترکش<sup>۹</sup> جداری ۱۶ انجام گرفت. این دیسک ها برای دو حالت طراحی شده اند: ۱- اگر فشار بین جداری ۱۶ و جداری تولیدی به ۷۵۰۰ پوند بر اینچ مربع برسد (کمتر از ۱۱۱۴۰ پوند بر اینچ مربع لهیدگی جداری تولیدی) این دیسک به سمت

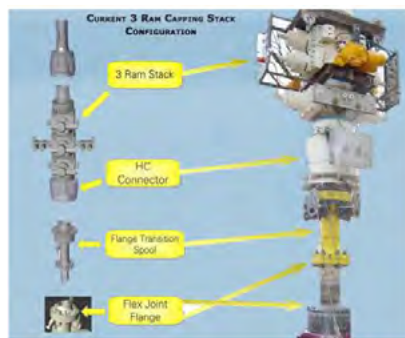
در روش Top Kill گل سنگین از دهانه چاه از طریق خطوط شبکه کاهنده به درون چاه پمپ می شود. میزان فشار این پمپاژ برای هل دادن هیدروکربن به درون چاه و مخزن



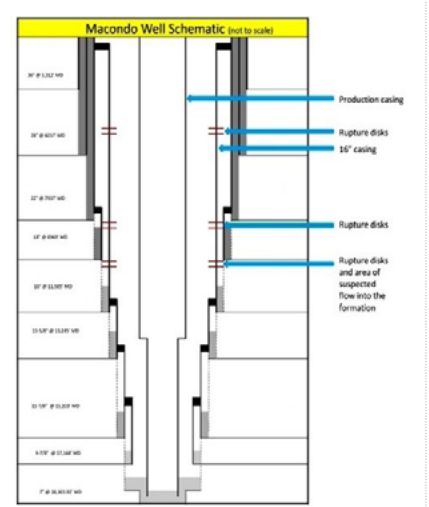
شکل ۸ | جمع آوری هیدروکربن توسط سیستم Top Hat و رایزر



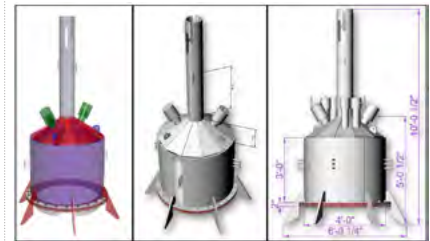
شکل ۹ | تخلیه Three Rams Capping Stack



شکل ۱۰ | جزا Three-Ram Capping Stack



شکل ۴ | شماتیک چاه و محل نصب دیسک های پاره شونده در جداری ۱۶ اینچ



شکل ۵ | طرحی از Top Hat



شکل ۶ | Top Hat استفاده شده در مهار چاه Macondo



شکل ۷ | تصویری از Top Hat و اره برشی برای بریدن رایزر

جداری ۸/۹ \* ۷ اینچ و تجهیزات سرچاهی فشار بالا به سازند اطراف پشت جداری ۱۶ وارد شدند.

### ۵- Top Hat

برای نصب Top Hat شرکت BP بخشی از رایزر متصل به مجموعه فوران گیر را برید و مجموعه جمع کننده هیدروکربن را نصب کرد. همانند RITT و کفردم (cofferdam) این پوشش جدید یا "Top Hat" از طریق رایزر به کشتی در سطح آب متصل می شود. این پوشش LMRP Cap و شبکه کاهنده، می تواند مقدار زیادی از جریان نفت چاه Macondo را جمع آوری کنند. نصب Top Hat موفقیت آمیز بوده و شرکت BP توسط ROV با استفاده از اهر الماسی هیدرولیکی<sup>۱۱</sup> رایزر را در فاصله کمی از مجموعه فوران گیر بردند. شرکت BP با تجربه نصب کفردم (Cofferdam) برای جلوگیری از تشکیل هیدراته، تزریق متانول را از پورت های تعبیه شده روی Top Hat برقرار ساخت. توسط این روش روزانه نزدیک به ۱۵۰۰۰ بشکه نفت جمع آوری می شد. شرکت BP ظرفیت جمع آوری این روش را افزایش داد، بدین ترتیب که یک کشتی تولیدی با استفاده از رایزرهای شناور<sup>۱۲</sup> متصل به خط کشتن فوران گیر نیز به جمع آوری نفت پرداخت.

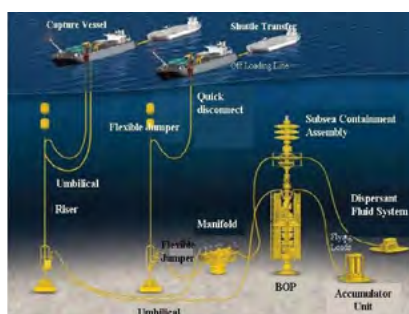
### ۶- نصب Capping Stack و کشتن چاه

#### Macondo

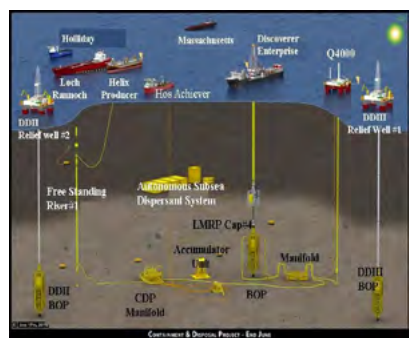
Capping Stack در واقع یک مجموعه فوران گیر در مقیاس کوچک تر است که برای نصب روی مجموعه فوران گیر در مناطق آب های عمیق طراحی شده است. این Capping Stack دارای ۳ رمز برای بستن جریان هیدروکربن و شبکه کاهنده در خود است. در چاه Macondo عملیات Capping Stack بدون حادثه و با موفقیت نصب گردید.

Capping Stack در موقع حفاری به کار نمی رود بلکه در مواقعی که مجموعه

بیرون پاره و سبب ترخیص فشار می شود. ۲- اگر فشار بیرون جداری ۱۶ به ۱۶۰۰ پوند بر اینچ مربع برسد (کمتر از ۲۳۴۰ پوند بر اینچ مربع فشار لهیدگی جداری ۱۶) این دیسک به سمت داخل پاره می شود. وقتی که این دیسک پاره شود، حفره کوچکی در جداری ۱۶ برای ترخیص فشار به سازند اطراف فراهم می کند. اگر فوران، سبب جریان هیدروکربن در دالیز بین جداری ۱۶ و جداری تولیدی شود، اختلاف فشار بین وزن گل سنگین که در بیرون جداری ۱۶ در زمان حفاری وجود داشت و ستون سبک هیدروکربن در داخل جداری ۱۶ می تواند بیش از ۱۶۰۰ پوند بر اینچ مربع باشد که سبب پاره شدن دیسک های تعبیه شده در جداری ۱۶ می شود. در زمان انجام Top Kill پمپ شده درون چاه به جای هل دادن هیدروکربن باقیمانده در ستون چاه، از طریق این دیسک های پاره شده به درون مخزن و به دلیل از بین رفتن نشت بند متعلقات آویزه



۱۱ شماتیک طرح سیستم جمع آوری هیدروکربن CDP



۱۲ سیستم پیشرفته بسته برای جمع آوری هیدروکربن در چاه ماکاندو و حفاری دو چاه relief در دو طرف چاه اصلی



۱۱ پایین بردن Three-Ram Capping Stack در چاه Macondo برای نصب روی مجموعه فوران گیر



۱۲ نمایی کلی از Capping Stack استفاده شده در چاه Macondo

در حین انجام استاتیک کیل، اگر فشار سرچاه به بیش از ۸۰۰۰ پام (به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فشار کاری Capping Stack) می‌رسید، شرکت BP باید عملیات کشتن را متوقف می‌نمود. آزمایش تزریق گل در سوم آگوست شروع شد و فشار سرچاهی در ابتدا تنها ۳۵ پام افزایش یافت و سپس، شروع به کاهش کرد. بر مبنای نتیجه مثبت تست تزریق پذیری، شرکت BP به آهستگی شروع به پمپاژ گل سنگین در چاه نمود و سرانجام موفق به کنترل هیدروستاتیکی چاه و به دنبال آن، پمپاژ گل سنگین سیمان گردید. در نهایت، با تست فشار مثبت انجام شده بر روی پلاگ سیمانی و تقاطع چاه‌های relief با چاه اصلی در عمق ۱۸۰۰ فوتی و پمپاژ سیمان از طریق آنها، چاه Macondo ۱۵۲ روز بعد از فوران به عنوان چاه مرده اعلام شد.

### سیستم بسته برای جمع آوری هیدرو کربن به نام CDP<sup>۲۳</sup>

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ دیاگرام تهیه شده توسط شرکت BP تجهیزات جمع آوری هیدرو کربن موسوم به CPD<sup>۲۴</sup> در اواخر ماه ژوئن نشان داده شده است.

چاه، دولت امریکا در تاریخ ۲۱ سپتامبر چاه Macondo را مرده اعلام کرد. بعد از نصب Capping Stack شرکت BP برای انجام "آزمایش انسجام"<sup>۲۵</sup> چاه<sup>۲۶</sup> که آیا چاه واقعا مهار می‌شود یا نفت و گاز به سازندهای اطراف جریان پیدا می‌کند، تصمیم به بستن موقت چاه گرفت. شرکت BP رمزهای Capping Stack را بست و شروع به آزمایش انسجام چاه نمود (برای اولین بار در مدت ۸۷ روز که هیچ جریانی از نفت و گاز به خلیج مکزیک وارد نشد). فشار اولیه بسته سرچاهی ۶۶۰۰ پام بود و شرکت BP قبل از اتمام حفاری دو چاه relief تصمیم به کشتن چاه از روش استاتیک کیل یا بول هد<sup>۲۷</sup> کردن آن نمود ولی قبل از آن لازم بود که در دو چاه relief مجاور که تنها در فاصله چندین فوتی از چاه اصلی حفر شده بودند، لوله جداری رانده و سیمانکاری نماید. این کار ریسک ناشی از وجود یک چاه باز<sup>۲۸</sup> و یک مسیر جریانی بالقوه در نزدیکی چاه اصلی را از بین می‌برد.

دو چاه DDII relief و DDIII کامل و لوله جداری و سیمانکاری آن انجام گرفت. بعد از آن، تیم دولتی مجوز استفاده از روش استاتیک کیل را صادر نمود مشروط بر اینکه

فوران گیر در هنگام فوران قادر به بستن و مهار چاه نباشد، از آن استفاده می‌شود. این وسیله به عنوان یک پوشش بالای چاه در حال فوران نصب می‌شود. وظیفه آن توقف و یا تغییر جهت و هدایت جریان هیدروکربن از دهانه چاه برای ایجاد زمان کافی برای مهار چاه می‌باشد. Capping Stack حجیم بوده و وزنی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ تن دارد.

Capping Stack طراحی شده برای چاه Macondo دارای ۳ رمز، یک کانکتور<sup>۲۹</sup>، شیرهای حفاری دوگانه بر روی خروجی شبکه رمز میانی<sup>۱۴</sup> و پنل<sup>۱۵</sup> ROV بوده و بر روی LMRP مجموعه فوران گیر نصب شد. برای نصب Capping Stack ابتدا Top Hat از LMRP جدا شد (در حالی که چاه در حال جریان بود). سپس، فلنج رایز<sup>۱۶</sup> از فلنج فلکسیبل جوینت<sup>۱۷</sup> جدا گردید و یک ترنزیشن اسپول به همراه اکستنشن<sup>۱۸</sup> توسط کابل‌های راهنما<sup>۱۹</sup> بر روی مجموعه فوران گیر پیچ و مهره گردید. این مجموعه به صورت موفقیت آمیز دهانه چاه را پوشاند و موقعیتی را برای مهندسان برای انجام استاتیک کیل چاه فراهم آورد. بعد از حفر دو چاه relief و انجام bottom kill توسط این دو

### پانویس‌ها

- |   |  |  |
|---|--|--|
| 1. Containment Dome                     | 10. High Pressure Well head Housing <sup>۲۷</sup>  | 17. LMRP Flexible Joint Flange                   |
| 2. Containment Dome                     | 11. Diamond Riser Saw  | 18. Transition Spool Fitted With Extension Posts |
| 3. Cofferdam                            | 12. FSR: Freestanding Riser  | 19. Guide Wires                                  |
| 4. Riser Insertion Tube Tool            | 13. Wellhead Connector   | 20. Well Integrity Test                          |
| 5. Bridging Materials                   | 14. A Couple Of Double-Block Drilling Valves On The Choke-And-Kill Outlets Of The Middle Ram | 21. Bullhead Kill                                |
| 6. Pieces Of Tire Rubber And Golf Balls | 15. ROV Panels   | 22. Open Well                                    |
| 7. Rupture Disks                        | 16. Riser Flange   | 23. Containment Disposal Project                 |
| 8. Collapse Pressure                    |  | 24. Containment Disposal Project                 |
| 9. Burst Pressure                       |  |  |

### منابع

- [1]. "Stopping the spill: the five-month effort to kill the Macondo well", National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling. Published: December 7, 2010, 12:00 am.
- [2]. "BP Macondo Well Incident", U.S. Gulf of Mexico, Pollution Containment and Remediation Efforts, Presented By: J. Steven Butler.
- [3]. Capping & containment global industry response group recommendation report no.46, may 2011
- [4]. "How Offshore Capping Stacks Work", Mauricio Madrid and Antony Matson, Trendsetter Engineering, Inc. Vol. 10, No. 1, 2014