مقاله

رایزرهای دریایی و ربات‌های زیرسطحی

عباس رهی، استادیار دانشکدهٔ فنی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز
abbasrahi@yahoo.com
امیر مقیسه، کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت نفت فلات قارهٔ ایران
amirmoghiseh@gmail.com

چکیده
می‌دانیم که منابع نفت و گاز موجود در خشکی روبه اتمام است. از این‌رو، بشر به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز خود به دریا و منابع هیدروکربنی موجود در آن روی آورده است. از جمله تجهیزات مهم در فرایند بهره‌برداری از این منابع رایزرهای دریایی هستند. در این مقاله رایزرهای دریایی و انواع آنها معرفی شده است. بر این اساس، نحوهٔ عملکرد این رایزرها و اصول طراحی آنها مورد توجه قرار گرفته و تفاوت و شرایط به‌کارگیری آنها بیان شده است. در ادامه به وقوع خوردگی در رایزرها پرداخته خواهد شد و ربات‌های زیرسطحی، که در فرایند نصب و بازرسی رایزرهای آب عمیق استفاده می‌شوند، معرفی خواهند شد.

واژگان کلیدی: رایزرهای فولادی، رایزر انعطاف‌پذیر، رایزر کششی، ربات زیرسطحی

مقدمه

رایزر مسیری لوله‌ای‌شکل است که به‌منظور انتقال مواد از بستر دریا به تجهیزات تولید و یا حفاری در سطح دریا استفاده می‌شود. در حقیقت رایزر یک خط لولهٔ عمودی است که از بستر دریا به سطح آب کشیده می‌شود. رایزرها در فرایند حفاری وظیفهٔ هدایت متهٔ حفاری و انتقال گل حفاری را برعهده دارند. پس از تکمیل فرایند حفاری چاه، از رایزرها به‌منظور نصب تجهیزات سرچاهی و نیز انتقال هیدروکربن، اعم از نفت یا گاز، به سطح دریا استفاده می‌شود. هیدروکربن استخراج‌شده پس از انتقال به سکو و یا شناور در سطح دریا فرآورش اولیه شده، سپس توسط خط لوله دریایی و یا شناورهای مخزن‌دار منتقل می‌گردند.

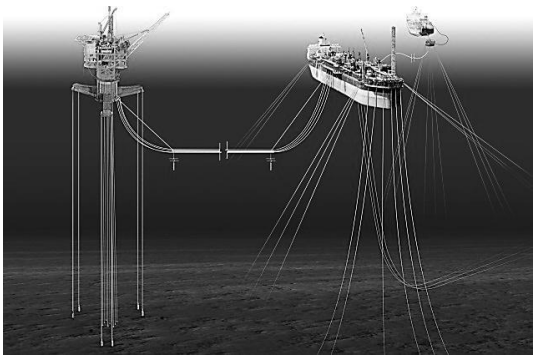
رایزرها همچنین به‌منظور تزریق گاز و یا سایر سیالات درون چاه استفاده می‌شوند. متناسب با شرایط محیطی از جمله عمق آب، دمای محیط، سرعت امواج و جریان‌های زیرسطحی، فشار هیدروکربن، نوع عملیات، نوع سکو و جز این‌ها رایزرها به دو دستهٔ رایزرهای انعطاف‌پذیر و رایزرهای صلب تقسیم می‌شوند. در ادامه انواع گوناگون سیستم‌های رایزری معرفی خواهد شد. شکل ۱ انواع گوناگون سیستم‌های رایزری را نمایش می‌دهد.

انواع رایزرها

امروزه در توسعه و بهره‌برداری از میادین نفت و گاز فراساحل از انواع رایزرها استفاده می‌شود. در ادامه به مهم‌ترین آنها اشاره می‌کنیم.

رایزرهای ثابت

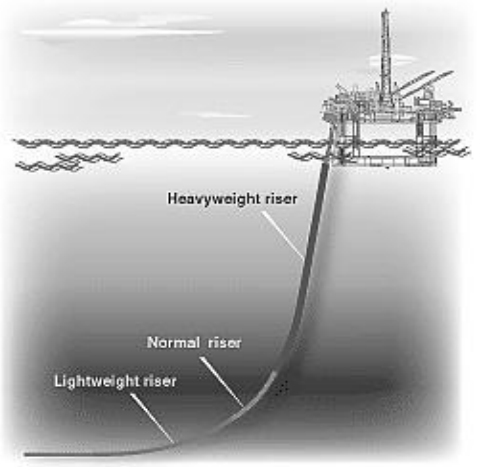
این رایزرها در سکوهای ثابت استفاده می‌شوند. در این سکوها، رایزرها با استفاده از کلمپ‌هایی به پایه‌های سکو متصل و از این طریق حرکت و ارتعاش آنها در اثر برخورد امواج و یا جریان‌های دریا مهار می‌شود. این رایزرها معمولاً در بستر دریا به خطوط لولهٔ دریایی متصل شده، از این طریق سیال فرآوری‌شده در سکو را به خشکی هدایت می‌نمایند. چون سکوهای ثابت در آب‌های کم‌عمق استفاده می‌شوند، این رایزرها در آب‌های عمیق قابل استفاده نخواهند بود.



شکل ۱. انواع سیستم‌های رایزری [۱]

رایزرهای فولادی انحنادار[1]

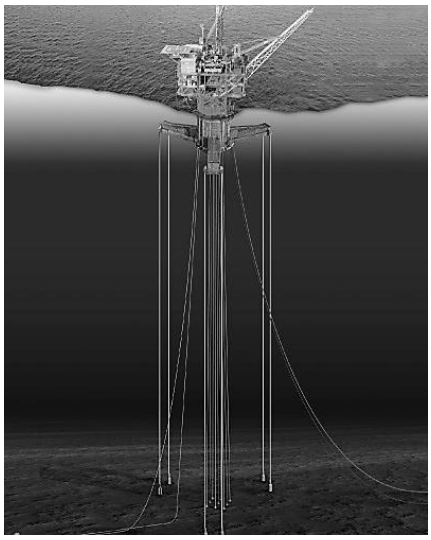
این دسته از رایزرها در حقیقت ادامهٔ خطوط لولهٔ دریایی است که به‌صورت انحنادار تا سکو یا شناور در سطح دریا متصل شده است. این نوع از رایزرها به‌دلیل برخورد امواج و یا جریان‌های دریایی، همچنین حرکت سکو یا شناور در سطح دریا در معرض انباشت آسیب خستگی قرار دارند. این رایزرها به‌منظور اتصال دو سکوی بهره‌برداری شناور، که در مجاورت هم قرار دارند، نیز قابل استفاده‌اند. از این سیستم رایزری در سکوهای پایهٔ کششی، سکوهای ثابت و مخازن ذخیره‌سازی و بارگیری شناور استفاده می‌شود. باوجود اینکه این رایزر می‌تواند برخی از حرکات را تحمل کند، اما چرخش یا جابه‌جایی بیش از حد می‌تواند مشکلاتی را برای آن ایجاد کند. شکل ۲ نمایی از این نوع رایزر را نمایش می‌دهد.



شکل ۲. رایزرهای فولادی انحنادار [۲]

رایزرهای تحت کشش فوقانی

این دسته از رایزرها سیستم‌هایی هستند که به‌صورت کاملاً عمودی از بستر دریا تا شناور در سطح دریا امتداد می‌یابند. شکل ۳ رایزر تحت کشش فوقانی را نمایش می‌دهد.



شکل ۳. رایزرهای تحت کشش فوقانی [۳]

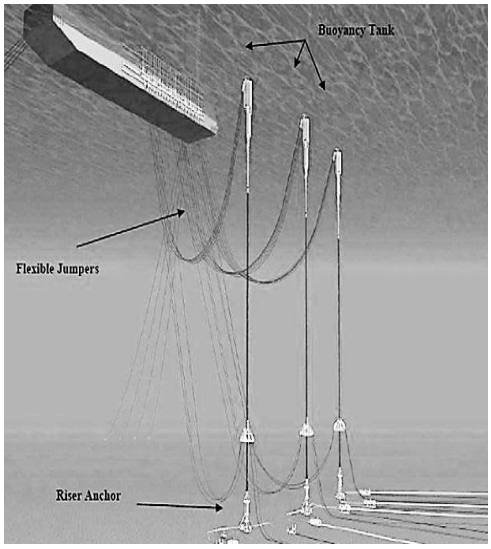
این نوع از رایزرها بیشتر در سکوهای پایهٔ کششی و در آب‌های عمیق استفاده می‌شوند. حرکت عمودی این نوع سکوها توسط کابل‌های متصل به بستر دریا مهار می‌شود، اما در اثر برخورد امواج و باد این سکوها به‌صورت جانبی جابه‌جا خواهند شد. چون این رایزرها در بستر دریا ثابت‌اند، با حرکت افقی سکو یک جابه‌جایی عمودی بین انتهای

فوقانی رایزر و محل اتصال آن به سکو به‌وجود خواهد آمد. به‌منظور رفع این موضوع دو راه حل وجود دارد: نخست آنکه یک جبرانساز هیدرولیکی - پنوماتیکی در محل اتصال رایزر به سکو تعبیه گردد که این جابه‌جایی را جذب نموده و از انتقال آن به رایزر جلوگیری کند. این جبرانساز همچنین میزان کشش وارد بر رایزر را ثابت نگه می‌دارد.

راه‌حل دیگر آن است که محفظه‌هایی از هوا در جدار خارجی رایزر و در مناطق فوقانی تعبیه گردند که با اعمال یک نیروی شناوری مثبت سبب اعمال یک کشش به رایزر می‌شوند و آن را به‌صورت عمودی و شناور نگه می‌دارند. در این وضعیت، رایزر با استفاده از یک اتصال انعطاف‌پذیر به سکو متصل می‌گردد.

رایزرهای هیبریدی

این نوع رایزر از دو قسمتِ رایزر فوقانی و رایزر پایینی تشکیل شده است که توسط یک خم زانویی یا S شکل به‌یکدیگر متصل می‌شوند. سیستم رایزر پایینی از دهانهٔ چاه در بستر دریا تا عمق مشخصی از آب نصب می‌شود و به‌صورت عمودی قرار می‌گیرد. به‌منظور حفظ موقعیت قائم این بخش از رایزر، در انتهای بالایی آن محفظه‌های قوطی‌شکل از هوا به دیوارهٔ خارجی رایزر متصل می‌شوند که از طریق اعمال نیروی شناوری سبب کشیده‌شدن رایزر می‌شود. بخش بالایی رایزر هیبریدی از یک رایزر انعطاف‌پذیر تشکیل شده است که وظیفهٔ اتصال انتهای رایزر تحتانی به شناور را برعهده دارد. رایزرهای انعطاف‌پذیر می‌توانند حرکات عمودی و افقی را تحمل کنند، که این موضوع استفاده از آنها را در سیستم‌های شناور تقویت می‌کند. رایزرهای انعطاف‌پذیر اتصال سکوی شناور را به رایزرهای تولید و صادرات برعهده دارد. رایزرهای انعطاف‌پذیر می‌توانند ترکیب‌های متفاوتی داشته باشند. از آن جمله می‌توان به ترکیب S شکل با شیب تند، S شکل با شیب کم، خم با شیب تند و خم با شیب کم اشاره کرد. رایزرهای هیبریدی قابلیت تطبیق‌پذیری با شرایط محیطی متفاوت دارند، همچنین سبب کاهش بارگذاری خستگی نسبت به رایزرهای فولادی انحنادار می‌گردد که این امر استفاده از آنها را در محیطهای سخت همچون آب‌های عمیق یا حضور هیدروکربن‌های ترش میسر می‌سازد. شکل ۴ ترکیب رایزرهای هیبریدی را نمایش می‌دهد.

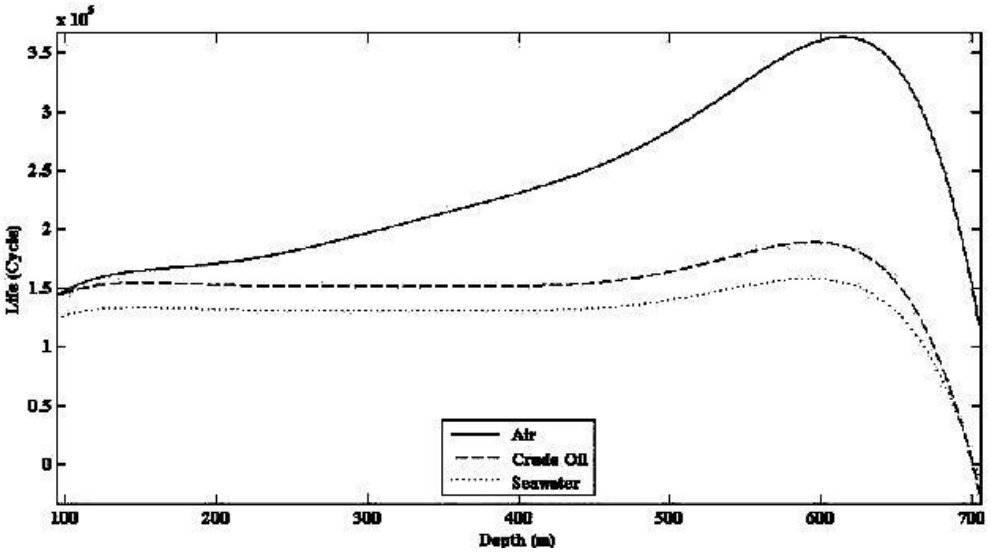


شکل ۴. رایزرهای هیبریدی [۴]

بازرسی رایزرها و ربات‌های زیرسطحی

انواع گوناگون رایزرها به‌علت فعالیت در شرایط محیطی دشوار به‌واسطهٔ حضور بارگذاری متناوب ناشی از برخورد امواج و جریان‌های دریایی در معرض انباشت آسیب خستگی و همچنین وقوع شکست در اثر حضور ترک قرار دارند. طبعاً در صورت حضور سیال خورنده مانند نفت و یا گاز ترش این بارگذاری می‌تواند آثار مخرب‌تری داشته باشد. علاوه بر انتخاب و طراحی رایزر مناسب، شرایط کارکرد واقعی رایزرها، بازرسی متناوب آنها به‌منظور جلوگیری از وقوع شکست، توقف فرایند بهره‌برداری و یا تخریب تأسیسات و وارد آمدن خسارت‌های مالی و جانی بسیار حائز اهمیت است. شکل ۵ نشان می‌دهد که در صورت وجود یک ترک ریز در دیوارهٔ داخلی رایزر و در هر عمق آن و نیز حضور سیال خورنده عمر شکست در طول

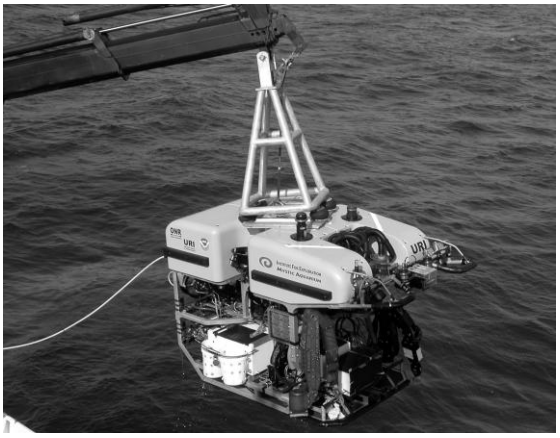
یک رایزر ۷۰۰ متری چگونه تغییر می‌کند. این نمودار که با به‌کار بردن رابطهٔ پاریس و نیز نتایج تجربی [۵] به‌دست آمده است، نشان می‌دهد که در صورت وجود ترک در هر عمق رایزر حضور عامل خورندهٔ آب دریا و نیز نفت ترش سبب کاهش چشمگیر عمر شکست رایزر، به‌خصوص در مناطق نزدیک بستر دریا، می‌شود.



شکل ۵ اثر حضور عامل خورنده بر عمر شکست رایزر در حضور ترک اولیه در اعماق مختلف [۵]

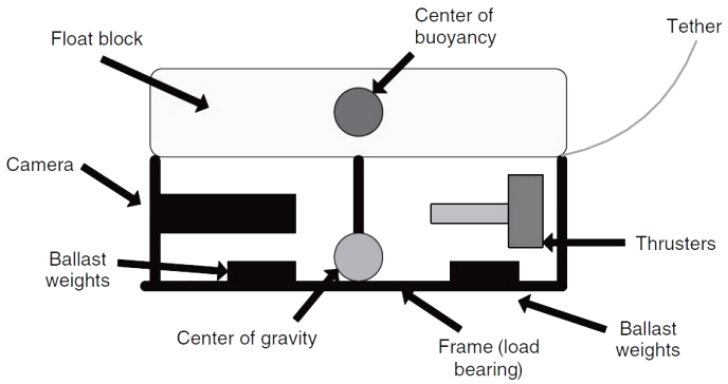
به‌دلیل فعالیت رایزرها در آب دریا، به‌خصوص در آب‌های عمیق، انجام بازرسی آنها با دشواری و پیچیدگی‌های متعددی مواجه است که غلبه بر آنها به استفاده از فناوری‌های پیچیده‌ای نیاز دارد. از جمله تجهیزات پیشرفته‌ای که برای این منظور استفاده می‌شود ربات‌های زیرسطحی[۲] می‌باشد. چون درصد بالایی از منابع نفت و گاز جهان در دریا قرار دارد، استفاده از ربات‌های زیرسطحی در این زمینه کاربردهای فراوانی دارند، چنان‌که می‌توان گفت مهم‌ترین و وسیع‌ترین کاربرد ربات‌های زیرسطحی، در صنایع نفت و گاز، انجام عملیات اکتشاف و استخراج نفت و گاز است. از اواسط دههٔ هفتاد، فناوری ربات‌های زیرسطحی به عملیات جستجوی منابع انرژی زیرزمینی در دریا کمک‌های بسیاری کرده است. در حال حاضر، چنین مأموریت‌هایی توسط ربات‌های زیرسطحی با قدرت و اطمینان‌پذیری بالا در اعماق بیش از ۲۵۰۰ متر انجام می‌شوند، که ربات‌های زیرسطحی امکان پشتیبانی از کلیهٔ اجزای حفاری را داشته و در تمامی مراحل نصب و ساخت، بازرسی و نگه‌داری و نیز تعمیر و دیگر فعالیت‌های مربوطه به‌کار می‌روند. علاوه بر صنایع نفت و گاز، ربات‌های زیرسطحی در نصب و نگه‌داری سکوها، سیستم‌های زیردریایی، نصب، حمل و نگه‌داری و به کاربری خطوط دریایی، سیم‌ها و کابل‌های خطوط مخابراتی نیز نقش مهمی دارند. ربات‌های سبک معمولاً در آب‌های کم عمق یا بسترهای پوشیده از درخت و گیاه به‌کار می‌روند. روبات‌های سنگین و قدرتمند اما اغلب در آب‌های عمیق‌تر، مناطقی با جریان‌های زیرسطحی قوی و زیاد به‌خصوص هنگامی‌که استفاده از فناوری و ابزارهای نوین و پیشرفته، بازوهای مکانیکی و انتقال سیال یا حمل و نگه‌داری بار مد نظر باشد، به‌کار می‌روند. مشارکت در عملیات حفاری، نصب و ساخت تجهیزات صنعتی در اعماق دریا نیاز به اپراتور ماهر و دانش مهندسی پیشرفته در طراحی و ساخت ربات و نیز هدایت و کنترل آن دارد. شکل ۶ نمونه‌ای از این ربات‌ها را نمایش می‌دهد. این ربات‌ها سرنشین ندارند و، با استفاده از کنترل از روی شناور، قابلیت مانور بالایی

دارند. این ربات‌ها با استفاده از یک مهاربندی به‌همراه یک کابل مرکزی استفاده می‌شوند که یک سیستم کنترلی به‌نام TMS [۳] وظیفهٔ تنظیم طول مهار آن را عهده‌دار است و از این طریق نیروی درگ وارد بر مهاربندی، که ناشی از جریان‌های دریاست، را کنترل نموده و کاهش می‌دهد.



شکل ۶. نمایی از یک ربات زیرسطحی [۵]

کابل مرکزی استفاده شده همراه با مهار ربات شامل گروهی از کابل‌هاست که توان الکتریکی مورد نیاز، سیگنال‌ها و اطلاعات برگشتی ویدیوئی بین اپراتور و TMS را منتقل می‌کند. بخش اعظم توان الکتریکی مورد استفاده به موتورهای الکتریکی اختصاص دارد که پمپ‌های هیدرولیکی که وظیفهٔ به‌حرکت درآوردن بازوها و تأمین گشتاور پیچشی ابزارهای مختلف را برعهده دارند، تغذیه می‌نمایند. بیشتر ربات‌های زیرسطحی به حداقل یک دوربین و نورافکن مجهزند. سایر تجهیزات اضافی قابلیت‌های این ربات‌ها را افزایش می‌دهند که از آن جمله می‌توان به سونارها، مغناطیس‌سنج‌ها، ادوات نمونه‌گیری، بازوی برش و ابزارهای اندازه‌گیری وضوح آب دریا، نفوذ نور و دما اشاره کرد. ربات‌های زیرسطحی متعارف به‌منظور تأمین نیروی شناوری مورد نیاز همراه با یک بستهٔ بزرگ شناور در بالای یک شاسی آلومینیومی ساخته می‌شوند. یک قاب فلزی در پایین سیستم نیز به‌منظور نصب انواع حسگرها و نیز پمپ‌های هیدرولیک و مخازن سیال جهت تزریق و حمل تعبیه می‌گردد. تعادل و پایداری سیستم از طریق قرارگیری اجزای سبک در بخش بالایی و اجزای سنگین در پایین ربات تأمین می‌شود؛ به این‌صورت که این ترکیب فاصله‌ای قابل توجه بین مرکز جرم و مرکز شناوری ربات ایجاد می‌کند که نتیجهٔ آن افزایش پایداری ربات خواهد بود. این موضوع در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷. فاصلهٔ مناسب بین مرکز جرم و مرکز شناوری سبب پایداری ربات می‌شود [۶]

پیشرانه‌های ربات به‌منظور افزایش قدرت مانور آن در هر سه محور قرار گرفته و ایجاد نیرو می‌کنند. دوربین‌ها، نورافکن‌ها و بازوهای مکانیکی در جلوی ربات قرار دارند، البته گاهی به‌منظور افزایش قدرت مانور ربات در پشت آن هم نصب می‌شوند. شکل ۸ اجزای یک ربات زیرسطحی را نمایش می‌دهد.

شکل ۸ اجزای یک ربات زیرسطحی شامل: بازوی مکانیکی، دوربین ویدیویی، مهاربندی و کابل، قاب فلزی تحتانی، پیشرانه و بسته شناوری

انواع ربات‌های زیرسطحی

ربات‌های زیرسطحی براساس پارامترهایی چون اندازه، عمق قابل دسترسی، توان مصرفی و دیگر مشخصات الکتریکی و یا الکتروهیدرولیکی، شناسایی و دسته‌بندی می‌شوند. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. ربات‌های زیرسطحی کوچک
۲. ربات‌های زیرسطحی الکتریکی با قابلیت بالا
۳. ربات‌های ژرف‌پیما
۴. ربات‌های بزرگ با قابلیت انجام کارهای سنگین
۵. ربات‌های زیرسطحی هوشمند

در ادامه دربارهٔ هر یک از موارد فوق به‌اختصار توضیح می‌دهیم.

ربات‌های زیرسطحی کوچک

این دست از ربات‌ها شامل ربات‌های زیرسطحی با هزینهٔ پایین و معمولاً تمام‌الکتریکی است که در اعماق حدود ۳۰۰ متری فعالیت می‌کنند. این ربات‌ها جهت انجام اعمالی چون بازرسی و مشاهدات زیرسطحی به‌کار می‌روند. امروزه این ربات‌های کم‌هزینه به‌شکل وسیعی در کاربردهای علمی و پژوهشی، بازسازی صنایع آبی، جستجو و امداد و نجات، بازرسی از سدها، آب‌راه‌ها، بنادر و کشتی‌ها، بازرسی از راکتور هسته‌ای و مشاهده و بازرسی از سازه‌های ساحلی استفاده می‌شوند.

ربات‌های زیرسطحی الکتریکی با قابلیت بالا

این گروه جدید از ربات‌های زیرسطحی کوچک و الکتریکی، که در کمتر از پنج سال پیش طراحی و تولید شده‌اند، دارای هزینه به نسبت بالایی می‌باشند. این ربات‌ها از فناوری جدید موتورهای الکتریکی، سیستم کنترل قابل کاربری و هدایت توسط اپراتور و سیستم انتقال داده‌های مجهز به فیبر نوری استفاده می‌کنند. این دسته از ربات‌ها می‌توانند درعمق ۲۰۰۰ متری دریا کار کنند. توانایی انجام کارهای سنگین هنوز برای ربات‌های الکتریکی ممکن نیست؛ زیرا چنین امری نیازمند سیستم کنترل و بازوهای مکانیکی و الکتروهیدرولیکی پیشرفته است. از این دسته ربات‌ها، به‌دلیل عملکرد مطلوب‌شان، به‌شکل وسیعی در حوزه‌های نظامی و دانشگاهی استفاده می‌شود. این ربات‌ها، در مقایسه با انواعی که در صنعت نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند، از چندان پیچیده نیستند.

ربات‌های ژرف‌پیما

این دسته از ربات‌ها امکان رسیدن به اعماق فراتر از ۴۰۰۰ متر را دارند. این ربات‌ها از انرژی کمتری استفاده می‌کنند و

بیش‌تر در عملیات امداد و نجات و نیز تحقیق و جستجو در اعماق اقیانوس‌ها به‌کار می‌روند. در این‌گونه مأموریت‌ها، ربات به توان زیادی جهت مشاهده و بازرسی و حرکت در امتداد مسیر معینی نیاز ندارد. به‌کمک این‌گونه روبات‌ها محققان این امکان را یافته‌اند تا برای مدت زیاد و دفعات مکرر امکان مشاهدهٔ اعماق و بستر اقیانوس‌ها را داشته باشند. این ربات‌ها در کاربردهای نظامی نیز جهت بازدید بستر دریا و کشف و نجات اجسام و اجساد به‌کار می‌روند.

ربات‌های بزرگ با قابلیت انجام کارهای سنگین

این دسته از ربات‌های زیرسطحی شامل ربات‌هایی با ویژگی‌های منحصر به‌فردی نظیر قابلیت انجام کارهای سنگین در اعماق حدود ۲۵۰۰ متری و با توانی بالا (بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ اسب بخار) و قابلیت حمل ۵۰۰۰ کیلوگرم بار هستند که آنها را از دیگر گونه‌ها متمایز می‌کند. با توجه به نیاز روزافزون صنایع ساحلی و فراساحلی به نصب وسائل و تجهیزاتی با وزن و ابعاد بالا در اعماق دریا این‌گونه ربات‌های قدرت‌مند به وفور به‌کار می‌روند. نسل جدیدی از این ربات‌های زیرسطحی برای استفاده در صنایع نفت و گاز، که قابلیت کار در اعماق حدود ۳۰۰۰ متری را دارند، ساخته شده‌اند که در عین دارابودن ابعاد به نسبت کوچک، به فناوری‌های بسیار پیشرفته‌ای مجهزند. جهت بالابردن امکان کنترل‌پذیری و کاهش آثار اغتشاش کابل، دارای کابل‌های ارتباطی با ابعادی حداقل می‌باشند. انجام عملیات جستجو و ردیابی در اعماق بیش از ۱۲۰۰۰ متر و انجام عملیات حمل و نصب قطعات در عمق ۶۰۰۰ متر به فناوری نوین و پیشرفته‌ای نیاز دارد که همچنان مد نظر طراحان و مهندسان دریاست و تاکنون فقط نمونه‌های انگشت‌شماری از این‌گونه ربات‌ها در دنیا ساخته شده‌اند.

ربات‌های زیرسطحی هوشمند

در اغلب ربات‌های زیرسطحی از کابل برای انتقال توان به پیشرانه‌ها و نیز انتقال فرامین استفاده می‌شود و اطلاعات حسگرها و دوربین‌ها نیز از طریق کابل به اپراتور انتقال داده می‌شوند. اما کابل از طرفی سبب افت انرژی شده و برای عمق‌های زیاد و محدوده‌های عملکرد وسیع، میزان توان مصرفی را افزایش می‌دهد، از سوی دیگر برای انتقال توان بالا، افزایش قطر کابل سبب افزایش نیروهای هیدرودینامیکی وارده و افزایش اغتشاش وارده به سیستم می‌شود. لذا در بسیاری از کاربردها استفاده از ربات‌های زیرسطحی دارای کابل، مشکلات و محدودیت‌های فراوانی دارد. فناوری ساخت این‌گونه ربات‌ها، که کار بر روی آنها از اوائل دههٔ هشتاد آغاز شده است، هنوز دوران آغازین خود را می‌گذراند. این ربات‌ها مجهز به سیستم کنترل و هدایت مرکزی، سیستم ارتباطی پیشرفته و سیستم تولید توان هیدرولیکی به‌منظور تولید انرژی لازم جهت پروانه‌ها و دیگر ابزارها و بازوهای مکانیکی است.

مآخذ

[1] ATLANTIS INC. ROV TEAM, http://www.atlantisrovteam.com (accessed Mar 25, 2013)

[2] Riser & Conductor Engineering, http://www.2hoffshore.com (accessed mar 3, 2013)

[3] Technical Conferences, Technical Publishers, http://www.clarion.org (accessed mar 3, 2013)

[4] www.tenaris.com (accessed mar 3, 2013)

[5] Marine Advanced Technology Education, http://www.marinetech.org (accessed mar 3, 2013)

[6] Chakrabarti, S.K., *Handbook of Offshore Engineering*, Elsevier, 2005.

[7] www.oceaneering.com (accessed mar 3, 2013)

پی‌نوشت

1. Steel Catenary Risers
2. Remotely Operated Vehicle (ROV)
3. Tether Management System