فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست / سال ۱۴۰۳/ دوره ۲/ شماره۱/ صفحه۶۱-۷۵

فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست

توسعه صنعت زیرسطحی های هوشمند بدون سرنشین به منظور توسعه ایمن و همه‌جانبه صنعت معدن در بستر دریا (جستجو، اکتشاف، استخراج و...)

علیرضا پاژن [۱*]، سعید ناهیدی [۲]

[۱] کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک – گرایش مهندسی دریا، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

[۲] استادیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع) ، تهران، ایران.

چکیده

استخراج از معادن در اعماق دریا زمینه‌ای برای اکتشاف و توسعه است که در سال‌های اخیر به‌سرعت درحال‌رشد بوده است. بر اساس ابلاغ سیاست‌های کلی توسعه دریا محور توسط رهبر معظم انقلاب اسلامی، لازم است توجهی دوچندان برای جهش قابل‌توجه در بهره‌برداری حداکثری و استفاده بهینه از ظرفیت‌ها، منابع و ذخایر زیست‌بوم دریایی با ممانعت از تخریب محیط‌زیست دریایی شود. در این مقاله سعی شده است با مروری بر تاریخچه صنعت معدن در دریا، با بررسی ظرفیت‌های موجود در این صنعت و وضعیت قوانین و الزامات فنی و ایمنی، پیشنهاداتی برای ورود هوشمندانه به این عرصه ارائه شود. باتوجه‌به مطالعات انجام شده، اعماق دریا دارای منابع عظیمی از مواد معدنی گوناگون می‌باشد و به همین دلیل استخراج از معادن در اعماق دریا می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع اصلی در تأمین فلزات و سایر مواد معدنی برای صنایع مختلف مورداستفاده قرار گیرد. بااین‌حال، به دلیل دشواری مکان‌یابی وسایل نقلیه، نمونه‌برداری از مواد زیرسطح و اطلاعات کمیاب زمین‌شناسی، باعث شده است تا سازمان‌ها و مراکز تحقیقاتی به توسعه زیرسطحی‌های هوشمند جهت جست‌وجو، اکتشاف و استخراج از معادن در دریا بپردازند. همچنین توسعه زیرسطحی‌های هوشمند ضمن افزایش بازدهی عملیات در زیرسطح، باعث آسیب‌ها و خطرات کمتر به محیط‌زیست دریایی و افزایش ایمنی برای نیروی انسانی می‌شود. در پایان نیز ظرفیت‌های توسعه این صنعت برای ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳

انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴

*نویسنده مسئول:

alirezapazhan@yahoo.com

کلیدواژه‌ها:

معدن‌کاری دریایی

زیرسطحی هوشمند

محیط‌زیست دریایی

ایمنی

گره‌های فلزی

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

مقدمه

توسعه دریا محور و اقتصاد دریا که در سال‌های اخیر بیش از گذشته موردتوجه قرار گرفته، موضوعی بسیار کلی است و لازم است تا تصویر روشنی از همه ابعاد آن ترسیم گردد. تعریف اقتصاد دریا محور که در ادبیات جهانی عموماً با عنوان اقتصاد آبی از آن یاد می‌شود، استفاده پایدار از ظرفیت منابع و گستره‌های آبی اعم از اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها و جزایر برای رشد اقتصادی، بهبود وضعیت معیشت و ایجاد اشتغال و درنهایت افزایش تولید ناخالص داخلی ملی تعریف می‌گردد؛ بنابراین، حوزه اقتصاد دریا فراتر از مواردی از قبیل توسعه صنایع حمل‌ونقل دریایی، شیلات و گردشگری دریایی است و مستلزم ظهور و حمایت از همه صنایع مرتبط با آب و دریا ازجمله صنایع تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مرتبط با دریا، بیوتکنولوژی دریایی و صنعت معدن و معدن‌کاری دریایی است. [۱].

اگرچه در تدوین برنامه ششم توسعه [۲].و همچنین برنامه های دوران پس از تحریم، اقتصاد دریا محور مورد توجه قرار گرفته بود ولی لازم است در تدوین برنامه هفتم توسعه برای دوران پسا تحریم توجهی ویژه و همه جانبه به این ظرفیت خدادادی صورت پذیرد تا باید بتواند پاسخگوی نیاز و خواسته های اقتصاد کشور از طریق دریا باشد.

یکی از صنایع دریایی که در چند دهه اخیر به آن توجه شده است، صنعت استحصال مواد معدنی و فلزات کمیاب و گران‌قیمت از بستر دریا و صنایع مرتبط با آن است. بر اساس ابلاغ سیاست‌های کلی توسعه دریا محور توسط رهبر معظم انقلاب اسلامی، به بهره‌برداری حداکثری و بهینه از ظرفیت‌ها، منابع و ذخایر زیست‌بوم دریایی با ممانعت از تخریب محیط‌زیست دریایی نیز اشاره شده است.

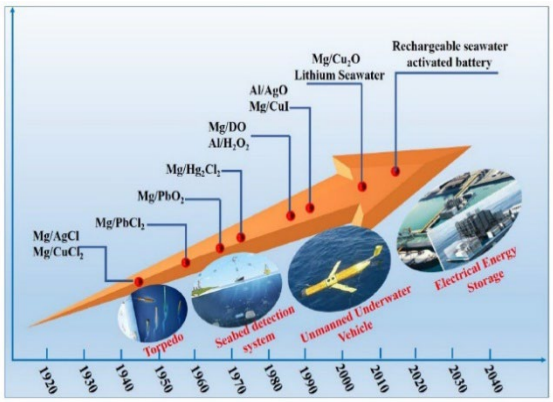
کف اقیانوس‌ها که دمای کمی دارند همواره منابع غنی از فلزات نایاب زمین و مواد گران‌قیمت هستند. بر اساس مطالعات آماری، ارزش طلای قرار گرفته در کف اقیانوس‌ها به ۱۵۰ تریلیون دلار می‌رسد و ارزش سایر فلزات شامل منگنز، نیکل، مس و کبالت نیز کمتر از چندین تریلیون دلار نیست. باتوجه‌به نیاز روزافزون صنایع مختلف امروز بشری به فلزات نایاب، سرمایه‌گذاری دولت‌ها و کشورها برای جمع‌آوری منابع دریایی افزایش پیدا می‌کند کرده است .

همچنین دریاها به دلیل تنوع زیستی بسیار بالا، منابع فراوانی از قبیل کانسارهای فلزی، نفت، گاز طبیعی، سنگ‌های قیمتی و... را در خود جای‌داده‌اند. معدن‌کاری در دریا می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع اصلی در تأمین فلزات و سایر مواد معدنی برای صنایع مختلف استفاده شوند. علاوه بر این معدن‌کاری در دریا می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل اصلی ایجاد اشتغال و رشد اقتصادی در مناطق ساحلی و کشورهایی که به دریا دسترسی دارند محسوب شود. این فعالیت می‌تواند به توسعه صنایع مرتبط با فعالیت‌های دریایی، افزایش درآمد و کاهش بیکاری کمک کند.

استفاده گسترده از مواد خام و تخریب گسترده اموال و مواد در طول جنگ جهانی دوم، تقاضایی برای مواد خام ایجاد کرد که برخی تصور می‌کردند نمی‌توان آن را از منابع متعارف تأمین کرد. در میان آن‌ها گروهی از اساتید دانشگاه کالیفرنیا بودند که در سال ۱۹۵۷ در مؤسسه اقیانوس‌شناسی اسکریپس ملاقات کردند و برنامه‌ای را در مورد ارزیابی گره‌های منگنز استخراج کردند. [۳].

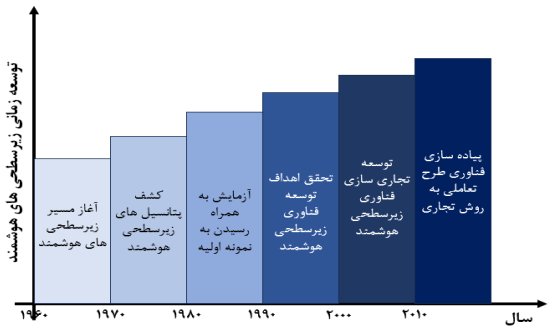
از آن‌جا که فلزات موجود در مواد معدنی اعماق دریا (فلزاتی مانند نیکل، مس، کادمیم، لیتیوم و غیره) کاربردهای متنوعی در صنایع مکانیک، شیمیایی، متالورژی، برق و همچنین الکترونیک برای محصولات مختلف از ماشین‌ها و موتورها گرفته تا انتقال برق، آلیاژها و آبکاری الکتریکی تا باتری‌ها، رنگ‌دانه‌ها، کاتالیزورها، کالاهای زیست‌پزشکی و...دارند، طی سال‌های اخیر، افزایش نرخ تولید این فلزات از ۱/۱٪ (برای طلا) تا ۸/۳٪ (برای کوبالت) بوده و ازآنجایی‌که ذخایر این فلزات در ذخایر زمینی رو به اتمام است، نیاز روزافزونی به یافتن منابع جایگزین وجود دارد). برآوردهای مبتنی بر ذخایر زمینی و نرخ تولید جهانی نشان داده است که ذخایر موجود برخی از فلزات مانند منگنز، مس، نیکل و کبالت کمی بیش از دو دهه و ذخایر سرب و روی، بیش از یک دهه دوام خواهند داشت. [۴].

برخی از این‌ها، فلزات کلیدی برای تولید باتری‌های موردنیاز جهان برای روی‌آوردن به جایگزین‌های انرژی سبز هستند. [۵].در شکل ۱ موارد مصرف این باتری‌ها در طول سال‌های گذشته نشان‌داده‌شده است.



شکل ۱. فلزات استفاده شده در باتری‌های فعال‌شونده با آب دریا و موارد مصرف این باتری‌ها به همراه جدول زمانی توسعه باتری‌های فعال شونده با آب دریا و نوآوری‌ها[۶]

زیرسطحی هوشمند و بدون سرنشین یک وسیله نقلیه پویش‌گر قابل کنترل از راه دور است که به کاربر این امکان را می‌دهد که این وسیله را در اعماق آب کنترل و هدایت کند و از طریق اعمال فرامین عملیات موردنظر را از طریق تجهیزات انجام دهد. ربات‌های زیرسطحی در اندازه‌ها و ابعاد متفاوت و با گستره متنوعی از تکنولوژی‌ها و امکانات در سال‌های اخیر طراحی، ساخت، آزمایش و به‌کارگیری شده و حتی در برخی موارد به تولید صنعتی رسیده‌اند. انواع این ربات‌ها از نمونه‌های کوچک و ساده‌ای که صرفاً مجهز به دوربین فیلم‌برداری کوچکی هستند تا گونه‌های پیشرفته و بسیار پیچیده‌ای که در اعماق بیش از شش هزارمتری دریا امکان انجام عملکردهای متنوع و متعددی را دارند، شامل می‌شوند. استفاده از این زیرسطحی‌ها در صنعت معدن در دریا بسیار رواج یافته است. در شکل ۲ نمای شماتیکی از تاریخچه توسعه زمانی زیرسطحی‌های هوشمند نشان داده شده است .



شکل۲. نمای شماتیکی از تاریخچه توسعه زمانی زیر سطحی‌های هوشمند[۷]

در این مقاله در ابتدا منابع معدنی در اعماق دریا معرفی می‌شوند. سپس با مروری بر قوانین مربوط به این حوزه و چالش‌های زیست‌محیطی، توسعه زیرسطحی‌های هوشمند برای اهداف معدن‌کاری دریایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با مطالعه این مقاله، خوانندگان درک جامعی از وضعیت فعلی تجهیزات و فناوری‌های مورد استفاده برای استخراج منابع معدنی در اعماق دریا به دست خواهند آورد و بینشی در مورد روند استخراج معادن در اعماق دریا به دست خواهند آورد. همچنین تا کنون پژوهشی در رابطه با صنعت معدن در دریا در داخل ایران صورت نگرفته است که در این مقاله چالش‌ها و پتانسیل‌های موجود در راه توسعه‌ی این صنعت در ایران مطرح شده است و راهکارهایی برای حل این چالش‌ها به صورت اجمالی بیان شده است.

مروری بر تاریخچه صنعت معدن در دریا

به‌تحقیق، انتشار کتاب مرو [۸].باعث توجه بسیاری از سیاستمداران و فعالان اقتصادی در دهه ۱۹۶۰ میلادی به تجارت استخراج معادن در اعماق دریا شد. بااین‌حال، مرو اولین کسی نبود که پتانسیل آینده گره‌های منگنز را تشخیص داد. علاوه بر این، دانهام در سال ۱۹۶۴ به‌احتمال وجود مواد معدنی گرمابی بالقوه اقتصادی در بستر دریا، چندین سال قبل از کشف واقعی آنها اشاره کرد. [۹].

به همین دلیل، کشورهای صنعتی پیشرو از جمله فرانسه، آلمان و ایالات متحده به این منظور کشتی‌های تحقیقاتی خود را در جستجوی ذخایر به دریاها و اقیانوس‌ها اعزام کردند. این توجه به استخراج گره‌های چندفلزی در اواسط دهه ۱۹۶۰ آغاز شد و در دهه ۱۹۷۰ چندین کنسرسیوم برای استخراج در منطقه کلاریون کلیپرتون (CCZ) در اقیانوس آرام تشکیل شد که برآورد منابع نشان می‌داد که شامل حدود ۷/۵ میلیارد تن منگنز و به ترتیب ۳۴۰، ۲۶۵ و ۷۸ میلیون تن نیکل، مس و کوبالت می‌شد. از دهه ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۴ حدود ۶۵۰ میلیون دلار توسط کشورهای صنعتی پیشرو برای اکتشاف معدن در بستر دریاها سرمایه‌گذاری هزینه شد. [۱۰].

در سال های ۱۹۷۸ تا ۱۹۷۹، شرکت‌های چندملیتی که از کشورهای ایالات متحده، آلمان، هلند، بلژیک و ایتالیا تشکیل شده بودند، آزمایش‌های معدنی را در اعماق دریا انجام دادندکه منجر به پیشرفت های بزرگی در این زمینه شد. [۱۱] در آغاز قرن بیست و یکم، علاقه به استخراج گره‌های منگنز کاهش یافت و معدن‌کاری در اعماق دریا که انتظار می‌رفت در قرن بیستم اتفاق بیفتد که هرگز رخ نداد. [۱۲] چندین دلیل برای این اتفاق وجود داشت. اول، قیمت فلزات اصلی در گره‌ها در ربع آخر قرن بیستم یا کاهش یافت و یا نسبتاً ثابت ماند. دوم، افزایش قیمت نفت در اواسط دهه ۱۹۷۰ به‌شدت بر هزینه‌های فراوری گره‌ها افزود. سوم، کنوانسیون قانون دریا (ISA) در سال ۱۹۸۲ به طور گسترده توسط صنعت معدن‌کاری آغازین در اعماق دریا نامطلوب در نظر گرفته شد. چهارم، افزایش آگاهی زیست‌محیطی در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ محدودیت‌هایی برای استخراج معادن در اعماق دریا ایجاد کرد.

افزایش قیمت فلزات در آغاز قرن بیست و یکم منجر به علاقه دوباره به استخراج گره‌های فلزی از دریا شد. این کار توسط ISA سرمایه‌گذاری شد که به پیمانکاران اجازه داد در مناطق اختصاصی سایت‌های معدنی که مجوز آن‌ها را صادر کرده بودند و طبق مقررات کنوانسیون قانون دریاها باید توسط دارندگان پروانه واگذار می‌شد، کار کنند. یکی از آن‌ها شرکت (NORI) بود و چندین مورد دیگر از این نوع شرکت‌ها نیز وجود داشت. تا سال ۲۰۱۱، مجوز اکتشاف در چهار بخش منطقه کلاریون کلیپرتون اعطا شد. از سال ۲۰۲۱، اکثر اقدامات معدنی دریایی به آب‌های کم‌عمق ساحلی محدود شد، جایی که ماسه، قلع و الماس راحت‌تر در دسترس هستند. جدول ۱ آزمایش‌ها و اکتشافات مواد معدنی در بستر دریا و آزمایش های عملیاتی تجهیزات هوشمند معدن کاری دریایی را از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۹ نشان می دهد.

جدول۱. مواد معدنی و اعماق مربوط به استخراج آن‌ها[۱۳]

سال	کشور/شرکت	عمق آب (متر)	محتوای پروژه
۱۹۷۸	شرکت بین المللی مدیریت اقیانوس (OMI)	۵۵۰۰	کاری برای اکتشاف آزمایش معدن گره های چند فلزی
۱۹۷۸	انجمن معدن کاری اقیانوس (OMA)	۴۵۷۰	کاری برای اکتشاف آزمایش معدن گره های چند فلزی
۱۹۷۹	شرکت بین المللی معدن‌کاری اقیانوس (OMCO)	۵۰۰۰	کاری برای اکتشاف آزمایش معدن گره های چند فلزی
۱۹۸۹	آلمان / وزارت علم و فناوری سابق جمهوری فدرال آلمان	۴۱۴۰ تا ۴۱۸۰	آزمایش اختلال و استقرار مجدد رسوبات در بستر دریا
۱۹۹۰	روسیه / موسسه اکتشافات زمین‌شناسی مسکو	۷۹	تست سیستم بالابر هیدرولیک
۱۹۹۶	هند / موسسه ملی فناوری اقیانوس (NIOT) و آلمان / دانشگاه زیگن	۵۰۰	داده برداری تست عملکرد انتقال و توسط وسایل نقلیه معدن کاری
۱۹۹۷	ژاپن / پروژه تحقیق و توسعه سیستم استخراج گره‌های چندفلزی	۲۲۰۰	تست وسایل نقلیه معدن کاری
۱۹۹۸	ژاپن / سازمان زمین‌شناسی ژاپن، موسسه ملی علوم و فناوری صنعتی پیشرفته-GSJ) AIST)	۱۶۰۰	امکان سنجی اقتصادی و فنی استخراج سولفید چند فلزی
۲۰۰۲	ژاپن / شرکت ملی نفت، گاز و فلزات ژاپن (JOGMEC)	۱۶۰۰	تست عملکرد انتقال وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۰۶	هند / NIOT	۴۵۰	تست وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۰۹	کره جنوبی / موسسه علوم زمین و منابع معدنی کره(KIGAM)	۱۰۰	تست سیستم وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۱۲	ژاپن / JOGMEC	۱۶۰۰	تست عملکرد داده برداری توسط وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۱۳	کره جنوبی / موسسه علوم و فناوری اقیانوس کره (KIOST)	۱۳۷۰	تست وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۱۵	کره جنوبی / KIOST و موسسه تحقیقات کشتی و مهندسی اقیانوس کره(KRISO)	۱۲۰۰	تست سیستم بالابر هیدرولیک
۲۰۱۶	چین / موسسه تحقیقات معدن و متالورژی چانگشا	۳۰۰	تست سیستم وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۱۷	ژاپن / JOGMEC	۱۶۰۰	و تست سیستم بالابر هیدرولیک تست عملکرد داده برداری توسط وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۱۸	چین / موسسه تحقیقات معدن و متالورژی چانگشا	۵۰۰	تست عملکرد داده برداری توسط وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۱۸	هلند/ شرکت رویال IHC	۳۰۰	تست عملکرد انتقال وسایل نقلیه معدن کاری
۲۰۱۹	چین / موسسه علوم و مهندسی اعماق دریا، آکادمی علوم چین (IDSSE,CAS)	۲۵۰۰	تست وسایل نقلیه معدن کاری

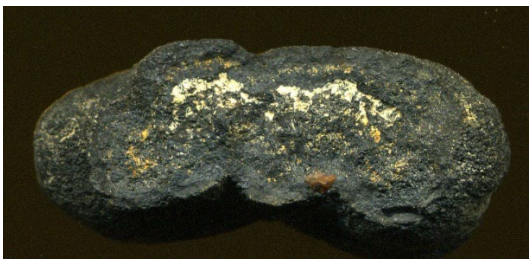
روش تحقیق

در این مقاله سعی شده است که در ابتدا با مروری بر تاریخچه صنعت معدن در دریا، با بررسی ظرفیت‌های موجود در این صنعت و وضعیت قوانین و مقررات و الزامات فنی و محیط زیستی برای ورود هوشمندانه به این حوزه، پیشنهاداتی ارائه گردد. در ادامه در مورد توسعه زیرسطحی‌های هوشمند جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش ایمنی بحث شده است. در ادامه نیز شرایط فنی و محیطی ایران جهت ورود به این حوزه مورد بررسی قرار گرفته است.

ذخایر معدنی موجود در دریا

گره‌های چندفلزی، سولفیدهای گرمابی و پوسته‌های فرو منگنز به‌عنوان کانی‌های اعماق دریا شناخته می‌شوند که هر کدام دارای

برخی ویژگی‌های مشترک و متمایز هستند (جدول ۲). درحالی‌که گره‌های چندفلزی (که گره‌های منگنز نیز نامیده می‌شوند) ترکیب‌های لایه‌ای از اکسیدهای آهن و منگنز در اطراف یک هسته (به طور کلی یک ذره رسوبی، قطعه سنگ، دندان کوسه یا هر بستر سخت) هستند که به‌صورت آزادانه به‌عنوان اجسام کروی در دشت‌های مغاکی قرار دارند. در شکل ۳ نمونه‌ای از گره منگنز استخراج شده از کف دریا مشاهده می‌شود. تاکنون چندفلزی‌ها در اطراف پاپوآ گینه نو، جزایر سلیمان، وانواتو، و تونگا و سایر محیط های اقیانوسی مشابه یافت شده اند. پوسته‌های فرومنگنز (که به‌عنوان پوسته‌های فرومنگنز غنی از کبالت نیز نامیده می‌شوند) اکسیدهای آهن و منگنز لایه‌ای بر روی بستر سخت سنگ واقع در کوه‌ها یا برآمدگی‌های زیر آب هستند که هر دو حاوی فلزات مختلفی می‌باشند. این گره‌ها سرشار از عناصری از جمله خاک های کمیاب، کبالت، نیکل، مس، مولیبدن، لیتیوم و ایتریوم هستند. بزرگترین ذخایر در اقیانوس آرام بین مکزیک و هاوایی در منطقه شکستگی کلاریون کلیپرتون وجود دارد. [۱۴].



شکل ۳. نمونه ای از گره منگنز استخراج شده از کف دریا [۱۵]

ذخایر سولفیدی بستر دریا در محیط‌های تکتونیکی فعال اقیانوسی مانند قوس‌های جزیره‌ای و قوس‌های پشتی و محیط‌های خط الراس میانی اقیانوس تشکیل می‌شوند. [۱۶].این مواد معدنی سرشار از مس، طلا، سرب، نقره و غیره هستند.

جدول۲. مواد معدنی و اعماق مربوط به استخراج آن‌ها[۱۶]

نوع ذخایر معدنی	عمق متوسط	منابع پیدا شده
گره‌های چندفلزی - گره منگنز	۴۰۰۰ – ۶۰۰۰ متر	نیکل، مس، کبالت و منگنز
پوسته منگنز	۸۰۰ – ۲۴۰۰ متر	عمدتاً کبالت، مقداری وانادیم، مولیبدن و پلاتین
رسوبات سولفیدی	۱۴۰۰ – ۳۷۰۰ متر	مس، سرب و روی - مقداری طلا و نقره

پتانسیل ذخایر معدنی در اعماق دریا

برآورد منابع فلزی در رسوبات گره در منطقه کلاریون کلیپرتون در اقیانوس آرام به‌تنهایی نشان می‌دهد که برخی از فلزات کلیدی مانند منگنز، نیکل، کوبالت و ایتریوم بین ۱/۱۵ تا ۳/۴ برابر بیشتر از کل منابع جهانی در خشکی هستند. [۵].پتانسیل مواد معدنی، اعماق دریا را به‌عنوان منبع جایگزین برای برخی از این فلزات نشان می‌دهد. علاوه بر این مواد معدنی، رسوبات اعماق دریا نیز به‌عنوان منبعی برای عناصر کمیاب خاکی شناسایی شده است، به طور مثال در نزدیکی جزیره مینامی در غرب اقیانوس آرام شمالی با منبع تخمینی ۱/۲ میلیون تن اکسید خاکی کمیاب یافت شده است که ۶۲ عنصر را تشکیل می‌دهد که برخی از این عناصر می‌توانند از ۳۲ تا ۵۶ سال، تقاضای جهانی سالانه مربوط به خود را پاسخ دهند. [۱۸].

تعداد قراردادها با ISA برای اکتشاف مواد معدنی اعماق دریا در آب‌های بین‌المللی به ۳۱ مورد بین سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ رسید (نمونه ی این قراردادها به همراه موقعیت منطقه اکتشاف و کشورهای اسپانسر، در سایت www.isa.org قابل مشاهده است). در حال حاضر از این تعداد، ۱۹ قرارداد برای گره‌های چندفلزی (هر کدام به مساحت ۷۵۰۰۰ کیلومترمربع)، ۷ قرارداد برای سولفیدهای گرمابی (هر کدام به مساحت ۲۵۰۰ کیلومترمربع) و ۵ قرارداد برای پوسته‌های فرومنگنز (هر یک به اندازه ۱۰۰۰ کیلومترمربع) می باشند که در بخش‌های مختلف اقیانوس اطلس و اقیانوس هند توزیع شده است. در مجموع ۱،۴۴۷،۵۰۰ کیلومترمربع.

عواملی مانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کانی‌ها (اندازه، فراوانی، چگالی، رطوبت و غلظت فلزات)، ابعاد سنگ معدن (۲ و ۳ بعدی)، ویژگی های توزیع آنها (در معرض یا مدفون، یکنواخت یا تکه تکه)، بسترهای مرتبط رسوبات و سنگ ها و همچنین تنظیمات توپوگرافی (میکرو و ماکرو، شیب ها) در تخمین متغیرهای مرتبط با معدن مانند ناحیه قابل استخراج، اندازه سایت معدن، منطقه تماس، حجم رسوبی که می‌تواند متلاشی شود، در طراحی و عملکرد مختلف اجزای سیستم‌های استخراج معدن بسیار مهم است. [۱۹].

قوانین و مقررات مرتبط با صنعت معدن در دریا

استخراج معادن در اعماق دریا توسط یک چارچوب قانونی منحصربه‌فرد و جهانی اداره نمی‌شود، بلکه مقررات قانونی مختلفی هم در سطح بین‌المللی و هم در کشورهای مختلف تدوین شده است. کنوانسیون سازمان ملل متحد در مورد حقوق دریاها (UNCLOS) چارچوب کلی را تعیین می‌کند. منطقه موردنظر و منابع طبیعی آن تحت نظارت سازمان بین‌المللی بستر دریا (ISA) هستند، درحالی‌که فلات‌های قاره تابع صلاحیت ملی کشورهای ساحلی هستند.

منطقه دارای معدن دریایی توسط یک رژیم بین‌المللی پیچیده با معاهدات و مقررات مختلف، بر اساس اصول مندرج در UNCLOS

مصوب سال ۱۹۸۲ اداره می‌شود که در بخش یازدهم و ضمیمه های III و IV مشخص شده و در موافقت نامه اجرایی سال ۱۹۹۴ و مقررات صادر شده توسط ISA قید شده است. مقررات صادره ISAبر اساس نوع ماده معدنی اکتشاف شده تعریف می‌شوند، که در حال حاضر شامل سه دسته است: گره‌های چندفلزی، سولفیدهای چندفلزی و پوسته‌های فرومنگنز غنی از کبالت. کمیسیون حقوقی و فنی ISA پیش نویس مقررات مربوط به بهره برداری از منابع معدنی در مناطق دریایی را در سال ۲۰۱۷ صادر کرد که این مقررات در سال های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ مورد تجدید نظر قرار گرفت. در سال ۲۰۲۱، انجمن مهندسی اقیانوس چین راهنمای حفاظت از محیط زیست و حفظ فعالیت های معدنی در اعماق دریا را تصویب کرد که اصول کلی برای فعالیت های معدنکاری در اعماق دریا را توصیف می کند. ویژگی اساسی و فراگیر منطقه معدنی این است که "میراث مشترک همه نوع بشر" است، به این معنی که منابع طبیعی آن را فقط می توان بر اساس مقررات بین‌المللی جستجو، اکتشاف و بهره‌برداری کرد و سود حاصل از این مواد باید به اشتراک گذاشته شود. کاوش مستلزم جستجوی مواد معدنی و تخمین اندازه، شکل و ارزش آن‌ها است که این مرحله نیازی به تأیید ISA ندارد و می‌تواند با اعلام منطقه تقریبی و یک شرط کتبی رسمی در مورد انطباق با مقررات UNCLOS و ISA انجام شود. اکتشاف که مستلزم حقوق انحصاری برای جستجوی ذخایر معدنی در یک منطقه خاص است، شامل تجزیه‌وتحلیل منابع، آزمایش بازیابی بالقوه و اثرات بالقوه اقتصادی/زیست‌محیطی استخراج آنها می‌شود که این مرحله نیاز به تأیید ISA دارد. در مورد بهره‌برداری که به معنای بازیابی این منابع برای مصارف تجاری است، هم دولت‌ها و هم نهادهای خصوصی نیاز به یک قرارداد تأیید شده از سوی ISA دارند که توسط کمیسیون حقوقی و فنی آن (LTC) ارزیابی می‌شود. [۱۹].بر اساس ارزیابیLTC ، شورای ISA درخواست را تأیید یا رد خواهد کرد. در صورت تأیید، قرارداد حق انحصاری برای جستجو، اکتشاف و بهره‌برداری از منابع ایجاد می‌شود. قراردادهای اکتشاف می‌تواند تا ۱۵ سال طول بکشد، پس از آن برای دوره‌هایی تا ۵ سال قابل‌تمدید است. [۲۰].و مناطق تحت پوشش بر اساس نوع کانی بدین صورت می‌باشند: ۱۵۰۰۰۰ کیلومترمربع(گره‌های‌چندفلزی)، ۱۰۰۰۰کیلومترمربع سولفیدهای چندفلزی) و ۳۰۰۰ کیلومترمربع فرومنگنز غنی از کبالت.

درحالی‌که این منطقه عمدتاً توسط حقوق بین‌الملل تنظیم می‌شود، مقررات ملی نیز نقشی ایفا می‌کنند، زیرا بازیگران غیردولتی که می‌خواهند درخواستی برای جستجو، اکتشاف و بهره‌برداری از بستر اعماق دریا ارسال کنند، باید توسط یک دولت حامی که مسئول شناخته می‌شود و تضمین می‌کند، حمایت شوند و بازیگر غیردولتی از قرارداد ISA و مقررات UNCLOS تبعیت می‌کند. حمایت توسط قانون ملی تعریف شده است که شرایط، رویه‌ها، اقدامات، هزینه‌ها و تحریم‌ها را برای مشارکت بازیگران غیردولتی تعیین می‌کند.

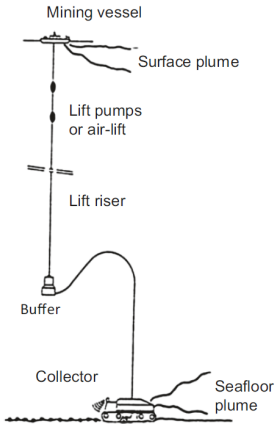
فلات‌های قاره‌ای در ۲۰۰ مایل دریایی از ساحل ترسیم شده‌اند، اما می‌توان آن را تا ۳۵۰ مایل دریایی گسترش داد. فلات قاره تحت صلاحیت دولت ساحلی است که دارای حقوق حاکمیتی بر منابع طبیعی در محدوده مشخص شده خود است. این بدان معناست که هیچ بازیگر دولتی یا غیردولتی دیگری نمی‌تواند بدون رضایت دولت ساحلی منابعی را در فلات قاره جستجو، اکتشاف و استثمار کند.

حقوق بین‌الملل بر قوانین ایالتی در فلات‌های قاره تأثیر می‌گذارد؛ زیرا همه کشورها موظف به حفاظت و حفظ محیط‌زیست دریایی هستند. همه کشورها باید اثرات اکولوژیکی استخراج معادن در اعماق دریا را در محدوده صلاحیت ملی خودارزیابی کنند؛ زیرا این اقدام می‌تواند سطوح قابل‌توجهی از آلودگی ایجاد کند. دولت‌ها همچنین باید اطمینان حاصل کنند که فعالیت‌های معدنی در اعماق دریا به محیط‌زیست سایر کشورها آسیب وارد نمی‌کند و آلودگی نمی‌تواند فراتر از حوزه قضایی یک کشور گسترش یابد.

روند اجرا و روش‌های استخراج

زیرسیستم‌های استخراج در دهه ۱۹۷۰ شامل شاتل معدن‌کار ، بیلچه نواری پیوسته (CLB) و لایروبی هیدرولیک بود. سیستم شاتل معدن‌کار که توسط فرانسه مورد مطالعه قرار گرفت، یک مطالعه امکان سنجی برای یک سیستم معدنی با استفاده از شناورهای زیرسطحی هوشمند (AUV) بود. [۲۱].به صورت عملیاتی، شاتل تا کف دریا پایین می آید، گره‌های چندفلزی را در بدنه خود جمع می کند و به طور مستقل به سطح دریا باز می‌گردد. بیلچه نواری پیوسته یک رویکرد موثر برای استخراج در مقیاس کوچک بود که به هزینه سرمایه گذاری کمتری نیاز داشت. [۲۲].این وسیله از تعدادی سیم با بیل‌های زیادی استفاده می کند که از سطح کشتی به کف دریا به حرکت در می‌آید. بیل‌ها برای جمع آوری گره‌های چندفلزی طراحی شده اند که در کف دریا کشیده می‌شوند. هر دو وسیله شاتل AUV و CLB برای تولید گره‌های چندفلزی در مقیاس انبوه موثر واقع نشدند.
لایروبی هیدرولیک با استفاده از یک جمع‌کننده یدک‌کش، به دلیل قابلیت اطمینان بالاتر و نرخ تولید بیشتر، پایه اصلی زیرسیستم‌ها برای تحقیق و توسعه برای تولید گره‌های چندفلزی در مقیاس انبوه بود. مفهوم کلی لایروبی هیدرولیک در شکل ۴ نشان داده شده است. سه جزء اصلی سیستم استخراج عبارتند از:

یک جمع‌کننده کف دریا در مقیاس بزرگ، یک بالابر در برخی موارد با یک بافر، و یک کشتی معدن‌کاری در سطح دریا. جمع‌کننده به گونه ای طراحی شده بود که گره‌های چندفلزی (مدفون در رسوبات در کف دریا همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است) را جمع آوری کند و آن‌ها را از طریق بالابر به سطح ارسال کند. [۲۳]



شکل۴. مفهوم کلی لایروبی هیدرولیک با دستگاه جمع‌کننده[۲۳].

امروزه برای دستیابی به این فلزات و مواد معدنی، ابتدا باید آن‌ها را در کف اقیانوس شناسایی کرد که برای این هدف از زیرسطحی‌های بدون سرنشین استفاده می‌شود. این زیرسطحی‌ها می‌توانند زیر سطح دریا، نقشه‌برداری کنند. برای دسترسی به اطلاعات بادقت بالا، باید سنسورها و سونارهای مناسب نزدیک به محلی قرار داده شوند که در حال تماشا و اکتشاف آن می‌باشند که برای این کار، ازAUV ها یا زیرسطحی‌های هوشمند استفاده می‌شود. با افزایش تقاضا برای استخراج فلزات نایاب، سرمایه‌گذاری‌ها در بخش زیرسطحی‌های بدون سرنشین افزایش داشته است. در شکل ۵ نمونه‌ای از استفاده از زیرسطحی‌ها برای اکتشاف و نقشه‌برداری از سطح اقیانوس را می‌توان مشاهده کرد.

شکل ۵. نمونه ای از استفاده از زیرسطحی‌ها برای اکتشاف و نقشه‌برداری از سطح اقیانوس[۲۴]

از ربات‌های کنترل از راه دور (ROV) برای جمع‌آوری نمونه‌های معدنی از سایت‌های احتمالی استفاده می‌شوند. با استفاده از مته‌ها و سایر ابزارهای برش، ROVها نمونه‌ها را استخراج می‌کنند .

در طول مراحل کاوش، اکتشاف و ارزیابی منابع، به دارایی‌های نامشهود معدن افزوده می‌شود. در مرحله میانی - آزمون آزمایشی معدن - "منابع" در طبقه‌بندی "ذخایر" قرار می‌گیرند. [۲۵].

مرحله اکتشاف شامل عملیات‌هایی مانند اسکن کف و نمونه‌برداری با استفاده از فناوری‌هایی مانند اکوی صدا، سونارهای اسکن جانبی، عکاسی با یدک‌کش عمیق، ROVو AUV است.

معدن‌کاری شامل جمع‌آوری مواد، حمل‌ونقل عمودی، ذخیره‌سازی، تخلیه، حمل‌ونقل و پردازش متالورژی است. مواد معدنی چندفلزی نیاز به فراوری خاصی دارند. مراحل فراوری شامل تخلیه پسماند، توده‌های رسوبی، اختلال در محیط اعماق دریا، و تجزیه‌وتحلیل مناطق بستر دریا می‌باشد[۲۵].

اثرات زیست‌محیطی توسعه صنعت معدن در دریا

استخراج معادن در اعماق دریا (مانند تمام معادن) باید اثرات بالقوه زیست‌محیطی خود را در نظر بگیرد. استخراج معادن در اعماق دریا هنوز ارزیابی جامعی از چنین تأثیراتی دریافت نکرده است. اثرات زیست‌محیطی شامل توده‌های رسوبی، اختلال در کف دریا و رسوب پس‌ماندها می‌باشد. فناوری برای کاهش این مشکلات درحال‌توسعه است. این فناوری به‌صورت فناوری انتخابی می‌باشد بدین صورت که گره‌هایی را که حاوی حیات موجودات دریایی هستند جمع نمی‌کند و برخی گره‌ها را برای حفظ زیستگاه باقی می‌گذارد.

بااین‌حال، برخی از کارشناسان ادعا می‌کنند که استخراج معادن باعث اختلال در لایه اعماق، افزایش سمیت ستون آب و تولید توده‌های رسوبی می‌شود. برداشتن بخش‌هایی از کف دریا، زیستگاه موجودات اعماق دریا را مختل می‌کند[۱۷].

هنگامی که پسماندهای معدن (معمولاً ذرات ریز) به اقیانوس بازگردانده می‌شوند و ابری از ذرات شناور باقی می‌مانند، توده‌ها ایجاد می‌شوند. دو نوع توده عبارت‌اند از توده‌های نزدیک به کف دریا و ستون‌های سطحی. هنگامی که پسماندها به پایین بازمی‌گردند، توده‌های نزدیک به کف ایجاد می‌شوند. این ذرات، تیرگی یا کدرشدن آب را افزایش می‌دهند و تغذیه موجودات پالیده خوار را مسدود می‌کنند. توده‌های سطحی می‌توانند در مناطق وسیعی پخش شوند و از رشد ارگانیسم‌های فتوسنتزکننده از جمله مرجان‌ها و فیتوپلانکتون‌ها جلوگیری کنند. [۱۷].

اقدامات معدن‌کاری ممکن است سطح نور را به‌شدت افزایش دهد. میگوهایی که در چاه‌های گرمابی یافت می‌شوند، هنگامی که در معرض نورافکن‌های غوطه‌ور قرار می‌گیرند، آسیب دائمی به شبکیه می‌بینند که باعث عدم توانایی برقراری ارتباط و توانایی تشخیص طعمه می‌شود. [۲۶].

اختلال دریامیانی

اگر از سیستم CLB برای بلندکردن و استخراج گره‌ها یا سایر مواد معدنی بستر دریا به طور مستقیم از طریق ستون آب استفاده شود، حجم زیادی از رسوبات در آن آزاد می‌شود. سیستم‌های هیدرولیک یا پنوماتیک رسوبات را در سطح تخلیه می‌کنند. در مطالعه‌ای داده‌های توده‌های رسوب در آزمایش‌های استخراج نمونه اولیه در سال ۱۹۷۸ در اقیانوس آرام شمالی تجزیه و تحلیل شد. محققان با برون‌یابی از داده‌ها به این نتیجه رسیدند که زباله‌های تخلیه‌شده در یک عملیات معدن‌کاری در مقیاس کامل می‌تواند یک توده رسوبی به طول ۱۰۰ کیلومتر و عرض ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر ایجاد کند. همچنین باعث کاهش قابل‌توجهی از سطح نور برای ۸۰ تا ۱۰۰ ساعت می‌شود. اما نویسندگان این آزمایش، تأکید می‌کنند که یافته‌های آن‌ها ثابت نمی‌کند که این کاهش نور بر فیتوپلانکتون تأثیر می‌گذارد یا خیر. [۲۷].

اگر فراوری گره‌های چندفلزی در کشتی اتفاق بیفتد و مواد باطله کارخانه فراوری به بیرون ریخته شوند، حتی رسوبات بیشتری به منطقه روشنایی‌دار وارد می‌شود، اگرچه این رسوبات می‌توانند به آب‌های عمیق‌تر پمپ شوند. مطالعات انجام شده در دهه ۱۹۷۰ نشان داد که توده رسوب نباید مشکل بزرگی برای فرایندهای فتوسنتز باشد. بااین‌حال، بررسی‌های جدیدتر نشان می‌دهد که این باطله‌ها ممکن است به دلیل عناصر کمیاب سمی آزاد شده خطرناک باشند.

هنگامی که استخراج معدن آغاز می‌شود، عناصر کمیاب مانند (سرب، مس، نیکل، کادمیوم، آلومینیوم و...) باید تحت نظارت قرار گیرند تا مشخص شود که آیا این فلزات در زیستگاه‌های نزدیک مانند زئوپلانکتون‌ها، ماهی‌های کوچک و بزرگ‌تر مانند کوسه‌ها و ماهی تن تجمع می‌کنند یا خیر. [۲۸].

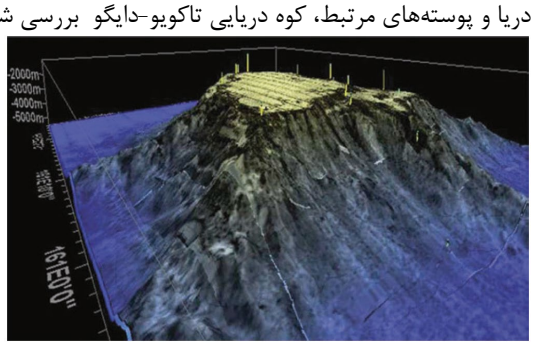
دفع مواد باطله در خشکی

فراوری گره‌ها و پوسته‌های منگنز ضایعات قابل‌توجهی را هم در بقایای گره و پوسته و هم در مواد شیمیایی فراوری ایجاد می‌کند. ضایعات بسته به میزان استخراج منگنز می‌تواند از ۷۰ تا ۹۷ درصد مواد فراوری شده باشد. [۲۹]. یک کارخانه فراوری گره چندفلزی دو میلیون تنی در هر سال می‌تواند زباله‌ای به اندازه پوشش نزدیک به ۲۵۰ هکتار زمین تا عمق فشرده یک متری تولید کند. [۳۰].اگرچه مواد باطله را می‌توان به‌صورت دوغاب پمپ کرد یا به وسیله شناور بارج به مناطق عمیق دور از ساحل منتقل کرد، جایی که نمی‌توانند بر آب‌های سطحی اقیانوس‌ها و سفره‌های خشکی تأثیر بگذارند. [۳۱].

هنگامی که یک شرکت صنعتی بزرگ در نواحی ساحلی و در یک منطقه روستایی مستقر می‌شود، اغلب آسیب‌های زیادی در سبک زندگی آن منطقه رخ می‌دهد که برخی از ارزش‌های سنتی و شرایط زندگی را مختل می‌کند. در مناطق ساحلی کشور بسیاری از ساکنان هنوز به کشاورزی و ماهیگیری مشغول هستند و خانواده‌های بزرگی دارند. هجوم زیاد کارگران از خارج از منطقه می‌تواند تنش‌های قومیتی را افزایش دهد، تقاضاهایی برای خانه‌های جدید و ساختمان‌های جدید ایجاد کند و به نیازهای زیرساختی و خدمات اجتماعی بیفزاید. اگر جذابیت حومه روستایی به خطر بیفتد، این تغییرات می‌تواند تأثیر منفی بر تجارت توریستی داشته باشد.

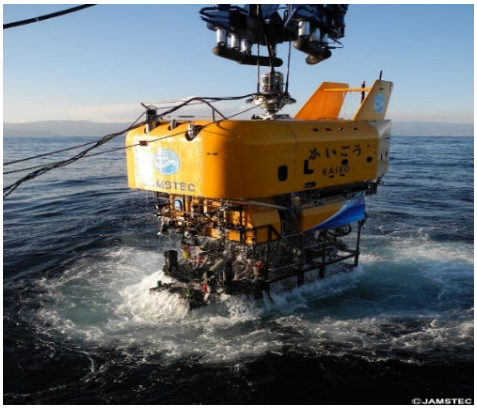
توسعه زیرسطحی‌های بدون سرنشین جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش ایمنی

در حال حاضر به دلیل دشواری در موقعیت‌یابی وسایل نقلیه، نمونه‌برداری از مواد زیرین و اطلاعات کمیاب زمین‌شناسی، اطلاعات و گزارش‌های ضعیفی از الگوهای تغییرات در مقیاس کوچک در حال وقوع، مورفولوژی و ترکیب پوسته‌ها در یک کوه دریایی (شکل ۶) و معادن موجود در دریاها و اقیانوس‌ها وجود دارند. همچنین به علت تاثیرات مخرب زیستی وسایل معدن‌کاری در گذشته برای محیط‌های دریایی و افزایش ایمنی برای نیروی انسانی، سازمان‌ها و مراکز تحقیقاتی در تلاش هستند تا به توسعه زیرسطحی‌های هوشمند جهت جست‌وجو، اکتشاف و استخراج از معادن در دریا بپردازند. همچنین توسعه زیرسطحی‌های هوشمند علاوه بر کاهش آسیب‌ها و خطرات به محیط‌زیست دریایی و افزایش ایمنی برای نیروی انسانی، باعث افزایش بازدهی عملیات در زیرسطح می‌شوند. در پژوهشی در سال ۲۰۲۱ [۳۲] .برای مشخص کردن الگوهای کوچک مقیاس متنوع در درجه و فراوانی و ارتباط آن‌ها با عمق آب، ژئومورفولوژی و شرایط رسوبی کف دریا و پوسته‌های مرتبط، کوه دریایی تاکویو-دایگو بررسی شد.

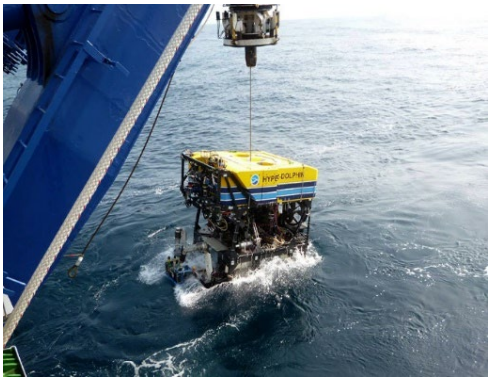


شکل ۶. توپوگرافی یک کوه دریایی صاف در ناحیه دریای مارشال و ضخامت پوسته [۳۲]

این کوه دریایی، نوعی از کوه‌های بزرگ با بالای تخت است که با استفاده از ربات‌های کنترل از راه دور HyperDolphin و Kaiko شکل ۷که توسط انجمن علوم و فناوری دریایی ژاپن (JAMSTEC)ساخته شده به همراه یک سنسور آکوستیکی تازه ابداع شده [۳۳].در امتداد یک خط از پایین تا بالای کوه دریا بررسی شد.



الف



ب

شکل ۷. الف) ربات کنترل از راه دور HyperDolphin. ب) ربات کنترل از راه دور Kaiko [۳۴].

استخراج از بستر اعماق دریا یک فعالیت پیچیده است که به پایش طولانی مدت پارامترهای مختلف نیاز دارد تا عملیات پایدار، اقتصادی، قابل اعتماد و ایمن را تضمین کند. با این حال، محیط دریایی و اقیانوسی نیاز به انتخاب مناسب تکنیک های پایش در محل برای به حداقل رساندن تلفات در طول فعالیت های معدن کاری دارد.

معرفی شرکت GSR و فعالیت‌ها در حوزه صنعت معدن در دریا به عنوان یک نمونه کارآمد و موفق

شرکت منابع معدنی دریای جهانی(GSR) ، یکی از شرکت‌های تابعه گروهDEME ، برای بررسی احتمالات استخراج گره‌های چندفلزی از بستر عمیق دریا تأسیس شده است. در سال ۲۰۱۳، ISAو GSR یک قرارداد اکتشافی ۱۵ساله (ISA 2012) امضا کردند. بر اساس این قرارداد، GSRدارای حقوق انحصاری برای اکتشاف ۷۵۰۰۰ کیلومتر مربع از بستر دریا در منطقه کلاریون کلیپرتون (CCZ) در اقیانوس آرام شد. گره‌ها حاوی فلزات مهمی مانند نیکل، کبالت، مس و منگنز هستند و در سطح بستر دریا در عمق ۴۵۰۰ متری آب یافت می شوند.[۵].برنامه توسعه فناوری GSRدر سال ۲۰۱۵ آغاز شد، که شامل یک رویکرد گام به گام برای توسعه فناوری جمع‌آوری گره‌های چندفلزی می‌باشد. [۳۵].در هر مرحله، آموخته‌ها تحقق می‌یابند و در مرحله بعدی اجرا می‌شوند، در نتیجه خطرات، آسیب‌ها و اثرات زیست‌محیطی و عدم قطعیت‌های عملیاتی کاهش می‌یابند.

سازمان‌دهی سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها برای توسعه ایمن معدن‌کاری در دریا

راه‌های مختلفی برای سازماندهی سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها به‌منظور توسعه یک طرح همه‌جانبه وجود دارد GSR .تصمیم گرفت که سیستم را بر اساس مکان فیزیکی اجزاء تعریف کند. شش عنصر تعریف شد که پنج عنصر آن سیستم‌های مشهود (سیستم ۱- ۵) و یک عنصر نامشهود (سیستم ۶) هستند. به طور کلی، سیستم‌های ملموس به مکان فیزیکی زیرسیستم‌ها مربوط می‌شوند و مطابق با زنجیره ارزش سفارش می‌شوند:

۱. سیستم جمع آوری گره‌های بستر دریا (SNCS) از وسیله نقلیه معدنی یا جمع کننده گره‌های بستر دریا (SNC) تشکیل شده است.

۲. سیستم حمل و نقل عمودی (VTS) گره‌ها را به سطح دریا منتقل می کند .شامل سیستم بالابرنده و سیستم پمپاژ و همچنین تجهیزات مورد استفاده برای استقرار و بازیابی است.

۳.سیستم عامل سطحی (SOS) از شناور عملیاتی سطحی (SOV)تشکیل شده است که همه عملیات‌ها از آن‌جا پشتیبانی و انجام انجام می‌شود.

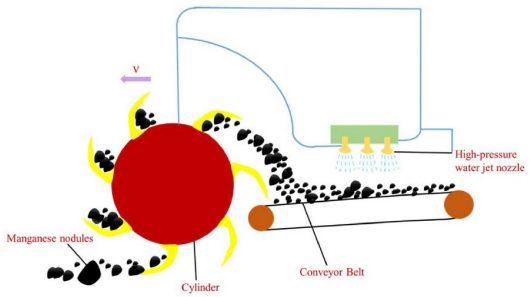
۴.سیستم نظارت و بررسی محیطی :(EMSS) این سیستم شامل کلیه تجهیزات مربوط به نظارت و بررسی عملیاتی محیطی مانند ROVها،AUVها، حسگرها، دستگاه های نمونه برداری و شناورهای اختصاصی نظارت بر محیط‌زیست دریایی می باشد.

۵. سیستم حمل و نقل افقی (HTS) شامل حامل های فله ای است که گره‌ها و تمام تجهیزات کمکی لازم را را به کارخانه های فراوری خشکی می آورند .

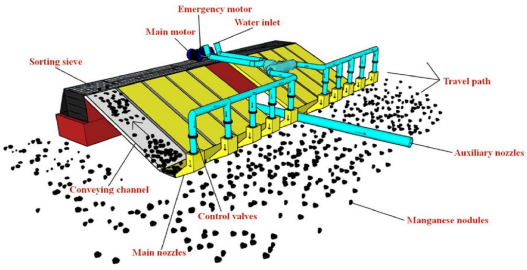
۶. سیستم عملیات معدنی که شامل طرح نظارت و مدیریت زیست‌محیطی (EMMP) و طرح عملیاتی معدن می‌شود. [۳۶]

سیستم جمع آوری گره‌های بستر دریا (SNC) پارامترهای فنی و محیط زیستی در طراحی این سیستم

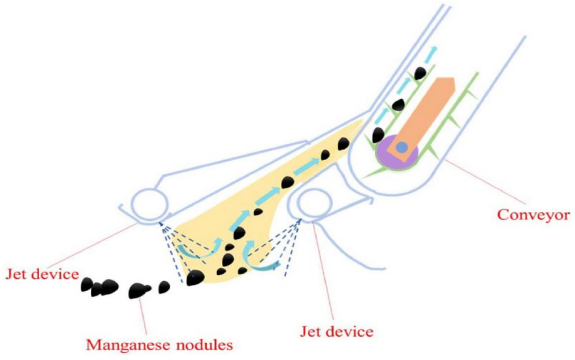
جمع آوری مواد معدنی بستر دریا شامل دو مرحله است، جداسازی مواد معدنی از بستر دریا و انتقال آنها به جمع کننده. با توجه به شرایط مختلف ذخایر منابع معدنی در اعماق دریا، تکنیک های جمع آوری آنها نیز متفاوت است. برای گره‌های چند فلزی، روش‌های اصلی جمع‌آوری توسعه‌یافته تاکنون شامل مکانیکی، هیدرودینامیکی و مکانیکی- هیدرودینامیکی ترکیبی است. شکل ۸ مفهوم سه روش جمع آوری را نشان می دهد. روش جمع آوری مکانیکی (شکل ۸ - الف) از یک بیل شانه ای مرکب برای جداکردن گره ها از بستر دریا و انتقال آنها به تسمه نقاله استفاده می کند. [۳۷]. در حالت هیدرودینامیکی (شکل ۸ - ب)، در حین جمع آوری، گره های منگنز بلند شده و توسط جت آب پرفشار از نازل های کمکی بریده می شوند. سپس گره های منگنز در ادامه شسته می شوند. در مرحله بعد نازل های اصلی با حرکت رو به عقب گره های منگنز را مسدود می کنند. گره‌های منگنز توسط جریان آب صعودی که از جت‌های آب نازل‌های کمکی و نازل‌های اصلی ایجاد می‌شوند، به ورودی انتقال دهنده پرتاب می‌شوند و از طریق کانال انتقال به دستگاه غربالگری منتقل می‌شوند. نوع ترکیبی (شکل ۸ - ج) نیز گره را توسط جت پرتاب می کند و زنجیره صفحه دندانه‌دار با حرکت دوار به سیلو در امتداد صفحه پایین شیبدار با سوراخ های غربال منتقل می شود. از آن‌جایی که سر جمع کننده گره به راحتی توسط رسوب مسدود می شود و اختلال محیطی آن نیز زیاد است، نوع مکانیکی جمع کننده عملا دیگر استفاده نمی شود. سیستم جمع آوری ترکیبی نیز دارای ساختار پیچیده و نرخ جمع آوری ناپایدار است. اما سیستم جمع آوری هیدرودینامیکی بسیار کاربردی است و تخریب کمتری نیز برای محیط زیست دارد. بنابراین به طور کلی به عنوان روش اصلی جمع آوری گره‌ها شناخته می شود.



الف) روش مکانیکی



ب) روش هیدرودینامیکی



ج) روش ترکیبی

شکل۸. الف) ربات کنترل از راه دور HyperDolphin. ب) ربات کنترل از راه دور Kaiko [۳۸]

SNC تأثیر قابل‌توجهی بر محیط عملیاتی و نرخ تولید قابل‌دستیابی دارد، دو معیاری که در توسعه یک عملیات معدنی مسئولانه مهم هستند. ازآن‌جایی‌که عملیات معدن‌کاری تجاری در اعماق دریا کم‌سابقه است، SNCزیرسیستمی است که بیشترین تعداد شکاف اطلاعاتی و دانشی را شامل می‌شود، مانند اثرات و آسیب‌های زیست‌محیطی، واکنش آن به ویژگی‌های خاک، قابلیت تردد، روش‌شناسی جمع‌آوری گره‌ها و غیره. ازاین‌رو، از میان تمام سیستم‌ها و زیرسیستم‌هایی که قبلاً توضیح داده شد، شرکت GSR تصمیم گرفت اولین تلاش‌های خود را بر روی SNCS و به طور خاص‌تر روی یک نمونه اولیه از یک SNC متمرکز کند. این مطالعه امکان‌سنجی، به نام ProCat که از سال ۲۰۱۵ تا اواسط سال ۲۰۲۱ انجام شد، شامل یک رویکرد گام به گام در طراحی، ساخت و آزمایش یک SNC نمونه اولیه، به اوج خود رسید. این نمونه اولیه پاتانیا (PATII) شکل ۹) نامیده شد.

شکل۹. نمونه‌ای از سیستم جمع‌آوری گره پاتانیا ساخته شده توسط GSR[۳۶]

هدف اصلی SNC جمع‌آوری گره‌های چندفلزی در عین رعایت الزامات محیطی، ایمنی، اقتصادی و عملیاتی خاص است SNC .از یک سیستم جمع‌آوری گره‌ها و وسیله‌ای برای مانور در بستر دریا تشکیل شده است که به آن سیستم پیشرانش می‌گویند.

هدف اصلی توسعه سیستم جمع‌آوری گره این است که دارای ظرفیت تولید مناسب همراه با حداقل اثرات زیست‌محیطی و راندمان بهینه باشد. چندین پارامتر برای طراحی این سیستم شناسایی شده است که شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. بازده برداشتن: بازده برداشتن به عنوان نسبت گره‌های جمع‌آوری شده در یک منطقه خاص به کل مقدار گره‌های موجود در همان منطقه تعریف می‌شود. این پارامتر باید حداکثر شود.

۲. تولید: مقدار تولید سالانه، عملیات اقتصادی مقرون به صرفه را تعیین می کند .

۳.جریان آب: جمع کننده هیدرولیک نیاز به جریان آب معینی برای برداشتن گره‌ها دارد. جمع کننده‌های مکانیکی نیز برای جداسازی و پاکسازی گره‌ها از رسوب، به جریان آب نیاز دارند. جریان آب باید به حداقل برسد زیرا منطقی است که فرض کنیم با توده رسوب تولید شده متناسب است.

۴. فشارهای محیطی: به حداقل رساندن اثرات و آسیب‌های زیست‌محیطی عامل مهمی است که در طراحی سیستم جمع آوری گره‌های چندفلزی باید در نظر گرفته شود. از این قبیل سه پارامتر باید مدنظر قرار بگیرد:

- کدرشدن محیط: همه راه‌حل‌های مهندسی شده باید هدفشان این باشد که کدرشدن محیط را تاحدامکان پایین نگه دارند. کدرشدن محیط از سیستم جمع‌آوری، سیستم جداسازی و تمیزکردن و یا سیستم محرکه منشأ می‌گیرد.
- اختلال در بستر دریا: اختلال فیزیکی بستر دریا عاملی است که باید همیشه به حداقل برسد. با طراحی مناسب باید از نفوذ در بستر دریا جلوگیری شود.
- نویز (سروصدا): سطوح نویز باید به حداقل برسد.

۵. فعل و انفعال کف دریا: سر جمع کننده عمدتاً برای جلوگیری از گرفتگی و انسداد باید کمترین تعامل را با کف دریا داشته باشد، زیرا خاک نرم و چسبنده است. خاکی که برداشت می‌شود باید در اوایل فرآیند از گره‌ها جدا شود.

۶. قابلیت اطمینان: سیستم جمع آوری گره باید دارای حداقل تعداد قطعات فعال باشد. این قطعات می‌توانند یک غلتک چرخان، یک تسمه نقاله، پیمانه یا چیز دیگری باشند. هر چه اجزای فعال (متحرک) بیشتر باشند، خطرات خرابی و از کار افتادگی کمتر می‌شود.

۷. طول عمر: طول عمر جمع کننده باید به حداکثر برسد. طراحی باید دارای اجزایی با مقاومت سایشی بالا باشد.

این پارامترهای طراحی برای ارزیابی سیستم‌های مختلف جمع‌آوری گره استفاده می‌شوند. [۳۶].

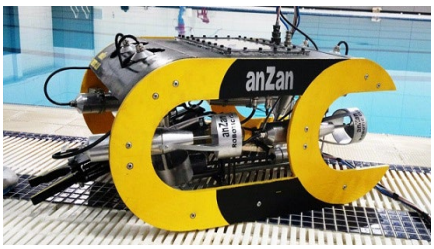
پتانسیل ایران برای ورود به عرصه صنعت معدن در دریا

نمایندگان مجلس شورای اسلامی در جلسه روز ۱۵ آبان سال ۱۴۰۲ و در جریان رسیدگی به گزارش کمیسیون تلفیق لایحه برنامه هفتم توسعه جمهوری اسلامی ایران درباره موارد ارجاعی به این کمیسیون، با تصویب اجزای ۱۳ و ۱۶ بند ب ماده ۴۸ این لایحه، وزارت صنعت، معدن و تجارت را مکلف کردند تا با همکاری وزارت امور خارجه و اتاق بازرگانی و صنایع و معادن و کشاورزی ایران، اقدامات لازم در زمینه شناسایی ذخایر معدنی فراسرزمینی و دریایی و برنامه‌ریزی جهت بهره‌مندی از این معادن را انجام دهد.

درواقع تا کنون اقدام عملی جهت اکتشاف منابع معدنی در دریاها و سواحل ایران صورت نگرفته است و به همین دلیل اطلاعات دقیقی برای برآورد میزان وجود منابع معدنی دریایی در دست نیست. به‌رغم آنکه هنوز آمار و اطلاعات دقیقی توسط سازمان زمین‌شناسی پیرامون منابع موجود در دریا ارائه نشده؛ اما به گفته برخی از فعالان محیط‌زیست منابع معدنی شامل نفت و گاز، طلا، سنگ‌های قیمتی مانند الماس، زمرد و یاقوت، مس، سنگ‌های ساختمانی و... در دریای خزر یافت می‌شود.

همچنین باتوجه‌به اطلاعات درج شده در جدول ۲ که اعماق مربوط به استخراج مواد معدنی در آن ذکر شده است، باید به این نکته توجه کرد که در محدوده آب‌های سرزمینی ایران عمیق ترین عمق دریای خزر به ۱۰۲۵ متر می رسد. بیشترین عمق برای خلیج فارس و دریای عمان نیز به ترتیب به ۹۰ متر و ۲۰۰۰ متر می رسد. البته بیشترین عمق دریای عمان به ۳۴۰۰ متر نیز می رسد که خارج از محدوده آب‌های سرزمینی ایران می باشد. پس باید توجه داشت که در محدوده آب‌های سرزمینی ایران به منابع محدودی می توان دسترسی پیدا کرد و برای دستیابی و استخراج مواد معدنی دیگر که در عمق های بالاتر یافت می شوند، باید طبق قوانین بین‌المللی UNCLOS و ISA به اعماق بالاتری در دریای عمان و اقیانوس هند برای اکتشاف و سپس بهره‌برداری اقدام کرد.

در مرحله کاوش و اکتشاف، علاوه بر شناورهای سطحی مناسب که باتوجه‌به محیط دریایی بتوانند در فورس دریایی موردنظر عملیات انجام دهند، نیاز به شناورها و ربات‌های زیرسطحی هوشمند می‌باشد تا عملیات جست‌وجو، اکتشاف و نمونه‌برداری را در بستر دریا انجام دهند. در این زمینه کشور به‌صورت بالفعل دارای انواع شناورهای سطحی و زیرسطحی می‌باشد و به‌صورت بالقوه نیز دارای مراکز علمی و کارگاه‌های مناسب جهت ساخت هرگونه شناور سطحی و زیرسطحی هوشمند می‌باشد تا بنابر مأموریت تعریف شده بتواند در عمق خواسته شده توسط کارفرما عملیات انجام دهد. نمونه‌هایی از ربات‌های زیرسطحی ساخته شده در داخل کشور در شکل ۱۰ نشان‌داده‌شده است .



الف

ب

شکل ۱۰. الف) ربات زیرسطحی اکتشافگر AnZan ROV ساخته شده توسط شرکت جهان صنعت جنوب. [۳۹] ب) ربات زیرسطحی ساخته شده توسط نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران [۴۰]

نقشه راه توسعه صنعت زیرسطحی‌های هوشمند بدون سرنشین به‌منظور توسعه ایمن، ارزان و همه‌جانبه صنعت معدن در بستر دریا باید با الگوگیری و استفاده از تجربه نمونه‌های موفق گذشته و در حال اجرا که در نقاط مختلف جهان انجام شده صورت بگیرد. همچنین عوامل مختلف محیط زیستی را که پژوهشگران در تحقیقات قبلی مورد بررسی قرار داده‌اند، باید در نظر گرفت تا کمترین آسیب به زیست‌بوم دریایی و مناطق ساحلی نشین کشور برسد که بسیاری از ساکنان آن‌ها به کشاورزی و ماهیگیری مشغول هستند.

اما یکی از ضعف‌های کشور برای مهیاکردن شرایط اکتشاف در زیرسطح، نیاز به سونار و سنسورهای موردنیاز می‌باشد که متأسفانه در شرایط حاضر پتانسیل ساخت این تجهیزات در داخل کشور موجود نمی‌باشد. نیاز به سونار ازآن‌جهت است که امواج الکترومغناطیسی در زیرسطح آب توانایی عبور خود را از دست می‌دهند و به همین دلیل رادارها کارایی خود را از دست می‌دهند. اما امواج صوتی قابلیت انتقال در محیط آب را دارند و به همین جهت از سونار استفاده می‌شود که اساس کار آن انتشار امواج صوتی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مواد معدنی اعماق دریا به‌عنوان یک منبع جایگزین برای تأمین فلزات حیاتی برای مصارف صنعتی و خانگی در نظر گرفته می‌شوند. بخش بسیار کوچکی از تناژ بزرگ گره‌های چندفلزی موجود در منابع دریایی را می‌توان برای چندین دهه استخراج کرد تا تقاضای جهانی برای فلزات خاص را برآورده کند. برخی از فلزات کلیدی مانند منگنز، نیکل، کوبالت و ایتریوم بین ۱/۱۵ تا ۳/۴ برابر بیشتر از کل منابع جهانی در خشکی هستند.

در دنیا تا به امروز ۳۱ قرارداد در این حوزه امضا شده که تاکنون تنها ٪۰/۴۵ از کل مساحت تحت پوشش همه اقیانوس های جهان را به خود اختصاص داده اند و باقی اقیانوس ها و دریاها در نقاط مختلف دنیا باید از لحاظ فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و سایر موارد دیگر مورد بررسی قراربگیرند.

با توجه به داده‌های موجود از کشورهای مختلف جهان، می‌توان نتیجه گرفت که اکثر آزمایشات مربوط به اکتشاف گره‌های چندفلزی، در اعماق بالای ۱۰۰۰ متر صورت گرفته است. درنتیجه باید به این مسئله توجه داشت که ابتدا اعماق دریاهای مدنظر برای معدن‌کاری مورد اندازه‌گیری قرار گیرد.

در ایران نیز در ابتدا نیاز است تا آمار و اطلاعات دقیقی توسط سازمان زمین‌شناسی و دیگر سازمان‌های مربوطه پیرامون منابع موجود در دریاها ارائه شود تا برآورد دقیقی نسبت به منابع موجود در اعماق آب‌های سرزمینی ایران به دست آید. برای این کار نیز نیاز به فناوری‌های پیشرفته‌ای از جمله زیرسطحی‌های هوشمند، سونارها و سنسورهای مختلف برای نقشه‌برداری از کف دریا و همچنین تجهیزات لجستیکی دیگر می‌باشد. پس از انجام این مراحل نیاز است تا ارزیابی کاملی از محیط‌زیست دریاهای ایران صورت گیرد تا در هنگام استخراج و بهره‌برداری از معادن موردنظر، به محیط‌زیست دریایی که جانداران دریایی نیز شامل آن می‌شوند آسیبی وارد نشود. چراکه اشتغال بسیاری از مردمان ساحلی نشین از راه صید ماهی صورت می‌گیرد که در صورت نادیده‌گرفتن این امر ممکن است خسارات جبران ناشدنی اقتصادی و زیست‌محیطی برجای بگذارد.

استخراج معادن در اعماق دریا با استفاده از زیرسطحی‌های بدون سرنشین مزایای اقتصادی و زیست محیطی بیشتری نسبت به استخراج معدن در خشکی دارد. همچنین رسوبات کف دریا دارای عیار بالاتری از فلزات خاص در مقایسه با ذخایر روی خشکی

هستند. انتظار می‌رود که استخراج در اعماق دریا اثرات کربن کمتری نسبت به استخراج در خشکی داشته باشد. زیرسطحی‌های هوشمند مداخله انسان را در حین عملیات معدن‌کاری کاهش می دهند و ایمنی را برای نیروی انسانی افزایش می دهند. همچنین توسعه زیرسطحی‌های هوشمند برای استخراج از معادن اعماق دریا به پویایی صنعت معدن و اشتغال کشور کمک می کند. از دیگر مزایای استخراج معادن در اعماق دریا این است که، نیاز به ساختن جاده‌ها، ساختمان‌ها یا زیرساخت‌ها را از بین می‌برد، زیرا جوامع انسانی در اعماق دریا وجود ندارد و مشکلات کاربری زمین و جابجایی جوامع را کاهش می‌دهد.

افزایش همکاری بین سازمان‌های تحقیقاتی و شرکای صنعتی برای رسیدگی به مسائلی از ارزیابی منابع گرفته تا توسعه فناوری‌های استخراج معدن و همچنین چارچوب قانونی و نظارتی، نشانه‌ای از علاقه روبه‌رشد به معدن‌کاری در اعماق دریا است. مقررات ISA برای محافظت از محیط‌زیست دریایی در برابر اثرات احتمالی استخراج معادن در اعماق دریا و اتخاذ شیوه‌های مدیریت خوب و همچنین رعایت دقیق و نظارت توسط پیمانکاران می‌تواند تضمین‌کننده ایجاد تعادل بین استخراج منابع اعماق دریا برای برآوردن نیازهای بشر و حفاظت از محیط‌زیست باشد.

مراجع

۱. استادی جعفری، مهدی، "توسعه دریامحور و اقتصاد دریا، ضرورتی بی بدیل در تحقق اقتصاد پویا و مقاومتی کشور"، تهران، ایران: مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۰.

۲. افشاریان، حجت‌الله، "اهداف و چشم‌انداز دریایی کشور در افق ۲۰ ساله" صنعت حمل و نقل دریایی، شماره ۴(۳)، صفحات ۳۳-۳۹، ۱۳۹۷.

3. D. S. Cronan, “Deep-sea mining: Historical perspectives,” Perspect. Deep. Min. Sustain. Technol. Environ. Policy Manag., pp. 3–11, 2022.
4. R. Sharma, Environmental Issues of Deep-Sea Mining: Impacts, Consequences and Policy Perspectives. Springer, 2019.
5. J. R. Hein, A. Koschinsky, and T. Kuhn, “Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials,” Nat. Rev. Earth Environ., vol. 1, no. 3, pp. 158–169, 2020.
6. J. Chen, W. Xu, X. Wang, S. Yang, and C. Xiong, “Progress and Applications of Seawater-Activated Batteries,” Sustainability, vol. 15, no. 2, p. 1635, 2023.
7. B. K. Sahu and B. Subudhi, “The state of art of Autonomous Underwater Vehicles in current and future decades,” in 1st International Conference on Automation, Control, Energy and Systems - 2014, ACES 2014, 2014, pp. 1–6. doi: 10.1109/ACES.2014.6808014.
8. J. L. Mero, The mineral resources of the sea, vol. 1. Elsevier Publishing Company, 1964.
9. K. C. Dunham, “Neptunist concepts in ore genesis,” Econ. Geol., vol. 59, no. 1, pp. 1–21, 1964.
10. G. P. Glasby, “Lessons learned from deep-sea mining,” Science , vol. 289, no. 5479, pp. 551–553, 2000.
11. L. J. Xiao, M. Fang, and W. M. Zhang, “Advance and present state of the research in oceanic metalliferous nodule mining,” Met. Mine, vol. 8, pp. 11–14, 2000.
12. S. E. Volkmann and F. Lehnen, “Production key figures for planning the mining of manganese nodules,” Mar. Georesources Geotechnol., vol. 36, no. 3, pp. 360–375, 2018.
13. X. Guo et al., “Deep seabed mining: Frontiers in engineering geology and environment,” Int. J. Coal Sci. Technol., vol. 10, no. 1, p. 23, 2023.
14. M. G. Petterson and A. Tawake, “The Cook Islands (South Pacific) experience in governance of seabed manganese nodule mining,” Ocean Coast. Manag., vol. 167, pp. 271–287, 2019.
15. John, J,(2014, September). Pelagite (deep seafloor manganese nodule) (Pacific Ocean), https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/14953810507/
16. E. Baker and Y. Beaudoin, “Deep Sea Minerals: Sea-Floor Massive Sulphides, a physical, biological, environmental, and technical review,” Secr. Pacific Community GRID-Arendal, Suva, Fiji, 2013.
17. A. Ahnert and C. Borowski, “Environmental risk assessment of anthropogenic activity in the deep-sea,” J. Aquat. Ecosyst. Stress Recover., vol. 7, pp. 299–315, 2000.
18. Y. Takaya et al., “The tremendous potential of deep-sea mud as a source of rare-earth elements,” Sci. Rep., vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2018.
19. R. Sharma, “Assessment of distribution characteristics of polymetallic nodules and their implications on deep-sea mining,” Deep. Min. Resour. potential, Tech. Environ. considerations, pp. 229–256, 2017.
20. F. C. F. Earney, Marine mineral resources. Routledge, 2012.
21. G. al Herrouin, J. P. Lenoble, C. Charles, F. Mauviel, J. Bernard, and B. Taine, “A manganese nodule industrial venture would be profitable: Summary of a 4-year study in France,” in Offshore Technology Conference, 1989, p. OTC-5997.
22. Y. Masuda and M. J. Cruickshank, “Study of the CLB mining system for nodule & crust recovery,” in ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium, 1995, p. ISOPE-M.
23. T. Yamazaki, “Analysis of different models for improving the feasibility of deep-sea mining,” Perspect. Deep. Min. Sustain. Technol. Environ. Policy Manag., pp. 425–463, 2022.
24. Bogue, R. (2015), "Underwater robots: a review of technologies and applications", Industrial Robot, Vol. 42 No. 3, pp. 186-191. https://doi.org/10.1108/IR-01-2015-0010
25. T. Abramowski, “Value chain of deep seabed mining,” in Proc Deep Sea Mining Value Chain: Organization, Technology and Development, Conf, Szczecin, IOM, 2016, pp. 9–18.
26. A. Koschinsky et al., “Deep-sea mining: Interdisciplinary research on potential environmental, legal, economic, and societal implications,” Integr. Environ. Assess. Manag., vol. 14, no. 6, pp. 672–691, 2018.

27. E. Ozturgut, Deep ocean mining of manganese nodules in the North Pacific: pre-mining environmental conditions and anticipated mining effects, vol. 33. Marine Ecosystems Analysis Program, Environmental Research Laboratories …, 1978.
28. J. Hirota, "Potential Effects of Deep-Sea Minerals Mining on Macrozooplankton in the North Equatorial Pacific.," Mar. Min., vol. 3, no. 1, pp. 19–57, 1981.
29. U. S. C. H. C. on M. M. and F. S. on Oceanography, The Ocean and the Future: Hearings Before the Subcommittee on Oceanography of the Committee on Merchant Marine and Fisheries, House of Representatives, Ninety-ninth Congress, First Session, on Marine Biotechnology, July 15, 1985, Baltimore, MD : NOAA's Ocean Minerals Program ... October 24, 1985. U.S. Government Printing Office, 1986. [Online]. Available: https://books.google.com/books?id=8FgoAAAAMAAJ
30. Q. D. Stephen-Hassard, K. E. Chave, Q. Fernando, K. M. Keith, M. A. Meylan, and W. Miklius, "The Feasibility and potential impact of manganese nodule processing in Hawaii," (No Title), 1978.
31. J.C.Wiltshire, 'Environmental impacts of proposed manganese crust mining', in C.Johnson and A.Clark (eds) Pacific Mineral Resources: Physical, Economic and Legal Issues (East-West Center, Honolulu, HA, 1986), p. 477.
32. A. Usui and K. Suzuki, "Geological characterization of ferromanganese crust deposits in the NW Pacific seamounts for prudent deep-sea mining," Perspect. Deep. Min. Sustain. Technol. Environ. Policy Manag., pp. 81–113, 2022.
33. B. Thornton, A. Bodenmann, A. Asada, T. Sato, and T. Ura, " (Placeholder1)," in 2012 Oceans, 2012, pp. 1–10.
34. H. Nakajoh, T. Miyazaki, T. Sawa, F. Sugimoto and T. Murashima, "Development of 7000m work class ROV "KAIKO Mk-IV"," OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, Monterey, CA, USA, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/OCEANS.2016.7761063.
35. T. Weilkiens, J. Lamm, S. Roth, and M. Walker, Model-Based System Architecture. 2015.
36. K. De Bruyne et al., "A precautionary approach to developing nodule collector technology," Perspect. Deep. Min. Sustain. Technol. Environ. Policy Manag., pp. 137–165, 2022.
37. C. R. Deepak et al., "Developmental tests on the underwater mining system using flexible riser concept," in ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium, 2001, p. ISOPE-M.
38. K. Du, W. Xi, S. Huang, and J. Zhou, "Deep-sea Mineral Resource Mining: A Historical Review, Developmental Progress, and Insights," Mining, Metall. Explor., pp. 1–20, 2024.
۳۹. ((۱۳۹۷، مهر). ربات زیردریایی اکتشافگر ROV AnZan به نمایش در می‌آید، برگرفته از لینک: http://marinenews.ir/fa/news/35916 / ربات-زیردریایی- اکتشافگر nzan-rov به نمایش در می‌آید
۴۰. ففرامرزی، م، (۱۴۰۲، آذر). رونمایی ارتش از زیردریایی بدون سرنشین، برگرفته از لینک: https://www.isna.ir/news/1402091107226/ رونمایی- ارتش- از-زیردریایی-بدون-سرنشین

Scientific quarterly Journal of Research in safety, health and environment/ 2024/ Vol.2/ No.1/ 61-75

Scientific quarterly Journal of Research in safety, health and environment

The development of unmanned underwater vehicles industry for the safe and comprehensive development of the mining industry on the seabed (exploration, prospecting, extraction, etc.)

Alireza Pajan [1], Saeed Nahidi [2]

[1]Master's degree, Mechanical Engineering - Marine Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran.
[2]Assistant Professor, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: scientific

Received: 21 February 2024

Received in revised form: 01 May 2024

Accepted: 23 June 2024

Release: 24 June 2024

*Correspondence:

alirezapazhan@yahoo.com

Keywords:

Marine mining

smart subsurface

marine environment

safety

metal nodes

ABSTRACT

Deep sea mining is a field for exploration and development that has been growing rapidly in recent years. Based on the notification of general sea-oriented development policies by the Supreme Leader of the Islamic Revolution, it is necessary to pay double attention to a significant leap in the maximum exploitation and optimal use of the capacities, resources and reserves of the marine ecosystem by preventing the destruction of the marine environment. In this article, an attempt has been made to review the history of the mining industry in the sea, by examining the existing capacities in this industry and the state of the laws and technical and safety requirements, to provide suggestions for a smart entry into this field. According to the studies conducted, the deep sea has huge resources of various minerals, and for this reason, mining in the deep sea can be used as one of the main sources in providing metals and other minerals for various industries. However, due to the difficulty of locating vehicles, sampling subsurface materials and rare geological information, it has caused organizations and research centers to develop unmanned underwater vehicles for exploring, prospecting and extracting mines in the sea. Also, the development of unmanned underwater vehicles, while increasing the efficiency of operations in the subsurface, will cause less damage and risks to the marine environment and increase safety for the human sources. In the end, the development capacities of this industry for Iran have been examined.

Publisher: Imam Hussein University **Authors**
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) .