

تبیین کارکرد فناوری بلاکچین در رفع چالش‌های موجود در حقوق بین‌الملل فضا (پژوهشی)

میثم نوروزی *

مهدی اسکندری خوشگو **

ساناز ابوالقاسمی ***

(DOI) : 10.22066/CILAMAG.2025.2034801.2586

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

چکیده

امروزه از فناوری بلاکچین به‌عنوان فناوری انقلابی یاد می‌شود که قابلیت تغییر در بسیاری از امور متداول زندگی کنونی را خواهد داشت. حتی برخی انقلابی‌بودن این فناوری را معادل ظهور اینترنت در قرن بیستم می‌دانند. حقوق بین‌الملل فضایی به‌عنوان حوزه حقوقی پیچیده و چندجانبه، با پیشرفت روزافزون فناوری و افزایش فعالیت‌های فضایی، یکی از مهم‌ترین زمینه‌های بحث و توسعه در حقوق بین‌الملل شده است. حقوق بین‌الملل فضایی در پی تنظیم فعالیت‌ها و روابط بین کشورها در فضا و تضمین دسترسی عادلانه به منابع فضایی است، اما این مهم به‌سادگی محقق نمی‌شود، چرا که حقوق بین‌الملل فضا با چالش‌های متعددی روبه‌روست. پژوهش حاضر تلاش نموده است تا به این پرسش پاسخ دهد که فناوری بلاکچین چگونه می‌تواند به رفع چالش‌های موجود در حقوق بین‌الملل فضایی یاری رساند؟ یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از آن است که فناوری بلاکچین، به شکل مؤثری به رفع چالش‌های موجود در حقوق بین‌الملل فضا کمک نموده و چشم‌انداز امیدبخشی برای آینده‌نگری در حوزه فعالیت‌های فضایی ایجاد می‌نماید.

* نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

m.norouzi@basu.ac.ir

** دانشجوی دکتری حقوق بین‌الملل، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران

mehd1380skan@gmail.com

*** دانشجوی دکتری حقوق بین‌الملل، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران

sanazabolghasemi2019@gmail.com



<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

واژگان کلیدی

حقوق بین‌الملل فضا، فعالیت‌های فضایی، فناوری بلاکچین، فناوری‌های نوین، قراردادهای هوشمند

مقدمه

حقوق فضا به‌عنوان جدیدترین شاخه از دانش حقوق بین‌الملل، با توسعه خیره‌کننده علمی و فنی که برای اولین بار به بشر توانایی ترک کره زمین را بخشید، پا به عرصه وجود گذاشته است.^۱ حقوق بین‌الملل فضا به‌عنوان نظام حقوقی خاص، به مجموعه‌ای از اصول و ارزش‌ها اشاره دارد که به تعاملات انسانی در فضای ماورای جو و فعالیت‌های فضایی شکل می‌دهند. حقوق بین‌الملل فضا به‌عنوان زمینه تعاملی، بر پایه‌هایی مانند دسترسی عادلانه به فضا، حفاظت از محیط‌زیست فضایی، ایجاد محیطی امن برای تحقیقات و اکتشافات فضایی و تضمین اینکه فناوری‌های فضایی به نفع بشریت عمل کنند، پایه‌گذاری شده است. روابط اجتماعی نوینی که بر اثر پیشرفت در علوم فضایی شکل گرفته، با دنیایی که تا امروز ناشناخته بود، پیوند خورده است و بر همین اساس، رشته جدیدی در علم حقوق لازم است تا این پیوند را تنظیم نموده و بر آن حاکم شود.^۲ حقوق بین‌الملل فضایی شامل مواردی از قبیل استفاده صلح‌آمیز از فضا، مدیریت زباله‌های فضایی، مسائل مرتبط با فضانوردی، مالکیت ماهواره‌ها و سایر وسایل فضایی، حقوق و تعهدات متصل به استفاده از فضا و غیره است. تعیین مسئولیت‌ها و حقوق و تعهدات کشورها در فضا، ازجمله مسئولیت‌های مرتبط با فعالیت‌های فضایی، آسیب‌های موجود در فضا و امنیت فضایی است. فعالیت‌های دولت‌ها در فضای ماورای جو، متضمن تبعاتی است که مسئولیت از اهم آن‌ها به شمار می‌رود.^۳ حقوق بین‌الملل فضایی بیش از هر رشته دیگر حقوق بین‌الملل، تحت تأثیر فناوری توسعه یافته، حجم زیادی از قواعد و مقررات حقوقی را در خود جای داده و دشوار است که رشته دیگری از حقوق بین‌الملل را بتوان یافت که این چنین وابسته به فناوری باشد.^۴ حقوق بین‌الملل فضا به منزله بدنه هنجاری حاکم بر فعالیت‌های دولت‌ها، هم‌زمان با تغییر و تحول در فناوری‌های فضایی دستخوش تغییر شده است.^۵ فناوری‌های نوین، چالش‌های جدیدی در زمینه حقوق و مقررات با خود به همراه دارند.

۱. الهام امین‌زاده و یونس علاقه‌بند حسینی، «تحولات هنجارسازی در حقوق بین‌الملل فضا با نگاهی به قطعنامه ۱۹۹۲ اصول مربوط به بهره‌برداری از انرژی هسته‌ای در فضای ماورای جو»، فصلنامه مطالعات حقوق عمومی ۴۶، ۱ (۱۳۹۵): ۳۸.

۲. حمید الهویی نظری، حقوق بین‌الملل عمومی، (تهران: نشر دادگستر، ۱۳۹۲)، ۳۸۰.

۳. الهام امین‌زاده، حقوق بین‌الملل فضا (معاهده فضای ماورای جو)، (تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۱)، ۱۸.

۴. سیده‌ادی محمودی، «تأثیر فناوری‌های علمی بر توسعه و تحول حقوق بین‌الملل فضایی»، فصلنامه پژوهش حقوقی، ۱۳، ۳۲ (۱۳۹۰): ۳۹۵.

۵. امین‌زاده و علاقه‌بند حسینی، همان، ۱۷۴.

چنین چالش‌هایی نیازمند بازنگری در قوانین بین‌المللی و توسعه چارچوب‌های نوین برای تطبیق با پیشرفت‌های فناوریانه هستند. از این رو، ارتباط تنگاتنگ بین فناوری‌های نوین و حقوق فضا، حوزه تحقیقاتی ضروری به شمار می‌آید. فناوری سایبری و حقوق فضا به‌طور فزاینده‌ای با یکدیگر مرتبط شده‌اند و این ارتباط به دلیل رشد روزافزون فناوری‌ها و چالش‌های جدیدی که در عرصه‌های فضایی به وجود آمده است، بسیار حائز اهمیت است. با افزایش تعداد ماهواره‌ها و سیستم‌های ارتباطی فضایی، خطرات سایبری مانند هک، حملات سایبری و اختلال در عملکرد سیستم‌های فضایی افزایش یافته است. برای حفظ امنیت در فضا و زیرساخت‌های مربوط به آن، نیاز است تا کشورها وظایف مشخصی را برای خود معین کنند تا از حملات سایبری در امان بمانند. ماهواره‌ها به جمع‌آوری داده‌ها از زمین می‌پردازند. داده‌های به‌دست‌آمده شامل اطلاعات حساس درباره زیرساخت‌ها، محیط‌زیست و فعالیت‌های اقتصادی هستند. بنابراین، باید به حقوق حریم خصوصی و الزامات حفاظت از داده‌ها در فضای سایبری توجه شود. مقررات ملی و بین‌المللی می‌بایست به‌روز شوند تا به حفظ حقوق افراد و نهادها در برابر سوءاستفاده‌های سایبری از داده‌های فضایی پاسخگو باشند. استفاده از فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تحلیل داده‌های فضایی، نیازمند قوانین و مقرراتی است که به نحوه استفاده و حفاظت از این داده‌ها بپردازد. حقوق فضا باید با توجه به فناوری‌های جدید تطبیق یابد تا از منافع کشورها و بشریت در برابر مخاطرات سایبری محافظت نماید. فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، در طراحی و کاربرد خودروهای فضایی مانند مأموریت‌های مریخی یا پرتاب‌های فضایی به کار می‌روند. سیستم‌های موردنظر نیاز به تصمیم‌گیری خودکار دارند که در صورت بروز مشکلات باید شفاف و مبتنی بر قواعد شناخته‌شده باشند. مسئولیت قانونی در مورد تصمیماتی که توسط سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی اتخاذ می‌شوند، یکی از چالش‌های اصلی حقوق فضا است. در صورت بروز خطا یا آسیب، مشخص کردن مسئولیت قانونی پیچیده می‌شود. هوش مصنوعی قادر است در پیش‌بینی و مدیریت بحران‌های فضایی مانند برخورد زباله‌های فضایی ایفای نقش نماید، اما نیاز به پروتکل‌های قانونی برای تضمین پاسخگویی و مسئولیت در چنین مواردی به‌شدت احساس می‌شود. هوش مصنوعی باید در راستای تطابق با معاهدات بین‌المللی همچون معاهده فضا و موافقت‌نامه‌های مربوط به حفظ محیط‌زیست فضایی عمل نماید. نظارت بر استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی در زمینه فضایی و ارزیابی تأثیرات آن نیاز به همکاری بین‌المللی و شفافیت دارد. بلاکچین، سکویی برای ثبت و پیگیری زباله‌های فضایی و اجرای تعهدات ارائه می‌دهد. فناوری بلاکچین، قابلیت را به نهادهای مربوطه می‌دهد تا زباله‌های فضایی را به‌ویژه با در نظر گرفتن مسئولیت‌ها و هماهنگی‌های لازم بین کشورها کنترل و مدیریت نمایند. اطلاعات مربوط به مشتریان، تأمین‌کنندگان و مجوزهای فعالیت‌ها، در سیستم بلاکچین ذخیره و به‌روز می‌شود. همچنین با استفاده از بلاکچین می‌توان

سوابق دقیقی از فعالیت‌های فضایی و تأثیرات آن‌ها بر محیط‌زیست فضایی را ثبت نمود. فعالیت‌های فضایی در دهه‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته و به همراه آن، چالش‌های متعددی از قبیل مسائل مرتبط با مسئولیت و پاسخگویی در برابر حوادث فضایی، امنیت اطلاعات و زیرساخت‌های فضایی، تأثیرات منفی بر محیط‌زیست فضایی و ناپایداری در همکاری‌های بین‌المللی در حوزه حقوق بین‌الملل فضا به وجود آمده است. با توجه به چالش‌های مذکور، نیاز به راهکارهای جدید و مؤثر برای کنترل، مدیریت و برطرف‌نمودن مشکلات، به‌شدت حس می‌شود. در این راستا، فناوری بلاکچین به‌عنوان نوآوری چشمگیر در حوزه فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، در حال ظهور است. بلاکچین، با قابلیت‌های شفافیت، امنیت و غیرقابل‌تغییربودن اطلاعات، این قابلیت را دارد که به حل مشکلات موجود در حقوق بین‌الملل فضا کمک و کارایی روش‌های کنونی را تقویت نماید. پژوهش حاضر به دنبال بررسی و تحلیل کارکردهای فناوری بلاکچین در راستای رفع چالش‌های حقوق بین‌الملل فضا است. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی، تجزیه و تحلیل و ارائه راهکارهایی بر اساس فناوری بلاکچین برای حل مشکلات موجود در حوزه حقوق بین‌الملل فضا است. فرضیه پژوهش بر این امر استوار است که فناوری بلاکچین به‌عنوان سامانه غیرمتمرکز و شفاف، قادر است به حل بسیاری از چالش‌های حقوق بین‌الملل فضا از جمله حل معضلات محیط‌زیست فضایی یاری رساند.

۱. مفهوم بلاکچین

بلاکچین، فناوری جدید و انقلابی است که در سیستم‌های مدیریتی دنیا استفاده می‌شود و در واقع یک نوع خاص از پایگاه داده است که اطلاعات در آن ذخیره می‌شود. فناوری بلاکچین با سایر پایگاه‌های داده متفاوت است، چون برای اضافه‌کردن یک داده جدید به بلاکچین، قواعدی وجود دارد و همچنین پس از اضافه‌شدن داده به بلاکچین و ذخیره آن، امکان حذف و ویرایش ندارد. داده‌ها در شبکه بلاکچین در ساختاری متشکل از بلوک‌ها وارد پایگاه داده می‌شوند، هر بلوک در ادامه بلوک قبلی ساخته می‌شود و شامل اطلاعاتی است که آن را به بلوک قبلی متصل می‌کند. با توجه به اینکه بلوک‌ها به وسیله اطلاعاتی به هم وصل هستند، یک زنجیره تشکیل می‌دهند که در آن بلوک‌ها به ترتیب ساخت در کنار هم قرار می‌گیرند. به اولین بلوک شبکه که قبل از آن بلوک دیگری وجود ندارد، بلوک پیدایش گفته می‌شود. با توجه به اینکه هر بلوک حاوی یک هش خود و هش بلوک قبلی است، زنجیره بلوک‌ها از امنیت و ارتباط محکمی برخوردارند. هش یک تابع رمزنگاری است که از داده‌ها، یک عدد ثابت به نام هش تولید می‌کند. حتی تغییر کوچک در داده‌ها، تغییر زیادی در هش ایجاد می‌نماید. فناوری بلاکچین و دفترهای توزیع‌شده به‌شدت مورد

توجه قرار گرفته و پروژه‌های متعددی را در صنایع مختلف راه‌اندازی کرده است.^۶ بلاکچین از شبکه پخش متقابل استفاده می‌کند که به هر شخص (نود) در شبکه امکان دسترسی به کل زنجیره بلوک‌ها و اطلاعات داخل آن را می‌دهد. برخی از بلاکچین‌ها از الگوریتم معدن برای ایجاد بلوک‌ها و تأیید معاملات استفاده می‌کنند. بلاکچین توزیع شده است، به این معنا که اطلاعات در تمام شبکه‌ی بلاکچین موجود است. هر نود (رایانه شخصی یا سرور) که به شبکه متصل است، دارای یک کپی از زنجیره بلوک‌ها است. به دلیل استفاده از هش‌ها و زنجیره بلوک‌ها، بلاکچین امنیت بالایی ارائه می‌دهد. هرگونه تغییر در یک بلوک، نیاز به تغییر در تمام بلوک‌های بعدی دارد که این امر، تقلب را دشوار می‌کند. تمام تراکنش‌ها در بلاکچین قابل مشاهده هستند. فناوری بلاکچین به‌عنوان راه‌حلی برای دستیابی به توسعه پایدار از طریق راهکارهای مختلف، از جمله تجارت اعتبار کرین، سیستم‌های انرژی و مدیریت زنجیره تأمین، مطرح شده است.^۷ قراردادهای هوشمند تعریف نشده است؛ مثلاً شاید بتوان گفت نتیجه برنامه‌های رایانه‌ای که به‌صورت توزیع شده و تحت سامانه بلاکچین اجرا می‌شوند، قابل دستکاری و اعتراض نیست و نمی‌توان مفاد آن‌ها را به طرق گوناگون تفسیر کرد. البته فناوری بلاکچین و قراردادهای هوشمند، نقایصی هم دارند. با توجه به توزیع شده بودن فناوری بلاکچین و نیاز به تأیید چند عضو برای ثبت هر تراکنش (برخلاف سامانه‌های مرکزی که یک عضو تأیید می‌کند)، سرعت انجام تغییرات و تراکنش‌ها و ثبت اطلاعات پایین است. اعضای مشارکت‌کننده در یک بلاکچین (رایانه‌ها) با اطلاعات داخل بلاکچین کار می‌کنند. بنابراین برای اجرای قراردادهایی که بر اساس اتفاقات دنیای فیزیکی طراحی شده‌اند، نیاز دارند این اطلاعات به بلاکچین منتقل شود. انتقال این اطلاعات باید توسط گروهی از اعضا انجام شود تا صحت آن زیر سؤال نرود و امکان تبانی نیز وجود نداشته باشد. برای اجرای قراردادها نیاز است که سازوکارهایی طراحی شود که اولاً انگیزه (معمولاً انگیزه مالی) برای انتقال درست اطلاعات به بلاکچین وجود داشته باشد. همچنین اجرای قراردادها بتواند اثرات مالی داشته باشد. در واقع به نوعی نظام پاداش و جریمه نیاز است که برای شرکت‌های فضایی قابل توجه باشد.

۲. مزایا و معایب فناوری بلاکچین در حوزه فضایی

فناوری بلاکچین با تکیه بر توانایی‌های ذاتی خود، نه تنها به‌عنوان فناوری بلکه به‌عنوان ابزار کاربردی استفاده می‌شود. بلاکچین، پیچیدگی‌های الکتریکی، عملیاتی را کاهش، و امنیت را

6. M., Nofer, P., Gomber, O., Hinz, and D., Schiereck, "Blockchain", *Business & Information Systems Engineering* 59, 3 (2017): 183.

7. C., Mulligan, S., Morsfield, and E., Cheikosman, "Blockchain for Sustainability: A Systematic Literature Review for Policy Impact", *Telecommunications Policy* 48, 2 (2024): 1.

افزایش می‌دهد.^۸ برخی ویژگی‌های بلاکچین که بر اساس آن‌ها نقش این فناوری در توسعه صنعت فضایی محرز می‌شود، عبارت‌اند از: پایگاه داده توزیع‌شده، تراکنش‌های نظیر به نظیر، اعتماد، شفافیت، تغییرناپذیری سوابق، منطق نهفته.^۹ بر اساس چنین ویژگی‌هایی می‌توان از فناوری بلاکچین، فی‌نفسه در صنعت فضایی استفاده نمود. نشانه‌گذاری تمامی اشیاء فضایی از زباله‌های فضایی و ماهواره‌ها تا سنگ‌های آسمانی مبتنی بر فناوری بلاکچین موجب می‌شود تا اشراف بهتر و بیشتری بر این اشیاء ایجاد شود. در نتیجه در پایش، ردیابی، پردازش و تحلیل ریسک برخورد و همچنین صدور تأییدیه‌های لازم جهت عملیات فضایی، عملکرد مناسب‌تری مشاهده خواهد شد. با توجه به افزایش روزافزون زباله‌های فضایی و پرتاب‌های فضایی، اشراف بر آن‌ها به مراتب سخت‌تر خواهد شد. در کنار دیگر تمهیدات در نظر گرفته‌شده، ورود فناوری بلاکچین به این عرصه به‌خوبی می‌تواند اثرگذار باشد، چرا که یکی از کاربردهای آن در حوزه داده‌های کلان است. حتی در صورت کاهش تعداد زباله‌های فضایی، با توجه به برنامه‌های فضایی کشورها، تعداد ماهواره‌ها در مدار روند صعودی قرار خواهد داشت. بنابراین به نظر می‌رسد که در آینده‌ای نه چندان دور، استفاده از سامانه‌هایی با ریسک کم و انعطاف بالا اجتناب‌ناپذیر باشد. در این میان بلاکچین با ویژگی تأیید و اطلاع‌رسانی بر مبنای اجماع اعضا (عمومی یا مجوزدار) و رمزنگاری، خطرهای موجود را به حداقل رسانده و با داشتن قابلیت‌هایی همچون قرارداد هوشمند و تعیین سطوح دسترسی، مزیت انعطاف‌پذیری نیز دارد.^{۱۰} سامانه‌ای مانند Space Consensus System TruSat که یک سامانه متن باز برای ایجاد سیستم توزیع‌شده از موقعیت‌مداری ماهواره‌ها مبتنی بر بستر بلاکچین است، نمونه‌ای از ظهور فناوری DLT در عرصه فضایی است. از این دست سامانه‌ها علاوه بر کنترل و مدیریت داده‌ها و ترافیک فضایی، در ترافیک هوایی نیز می‌توان بهره برد. برای درک شهودی از حجم ترافیک فضایی می‌توان به مواردی از قبیل پرتاب‌های پیاپی استارلینک با هدف ۱۲ هزار ماهواره و منظومه آمازون با هدف ۳ هزار ماهواره اشاره کرد.^{۱۱} افزایش بازدهی و بالابردن سرعت انتقال داده‌ها، محاسبات و فرمان‌ها از نیازمندی‌های مأموریت فضایی است. این مهم در بستر بلاکچین به نحو مطلوبی پیاده‌سازی شده است، به نحوی که به روش‌های معمولی، نیاز به محاسبات سنگین بوده و در بسیاری از موارد برای ارتباط بین دو سیستم فضایی، نیاز به ارسال داده‌ها به زمین است که با توجه به قابلیت‌های بلاکچین، هم بخشی از محاسبات حذف شده و

8. S. Anil Surdi, "Space Situational Awareness Through Blockchain Technology", in *The First International Orbital Debris Conference*, Houston, TX, US, December 2019.

9. L. Jones, Karen, *Blockchain: Building Consensus and Trust Across the Space Sector*, 35th Space Symposium, Technical Track, Colorado Springs, Colorado, United States of America Presented on April 8, 2019.

10. D. Mosher, "Elon Musk Just Revealed New Details About Starlink, A Plan to Surround Earth With 12,000 High-Speed Internet Satellites. Here's How It Might Work.", *Business Insider*, 16 May 2019.

11. J. Reisman, Ronald, "Air Traffic Management Blockchain Infrastructure for Security, Authentication, and Privacy", NASA Ames Research Center Moffett Field, CA, United States, January 7, 2019.

هم اینکه برای ارسال داده بین دو ماهواره، ارسال بیهوده به زمین از میان برداشته می‌شود که آشکارا در افزایش سرعت انتقال داده‌ها و تصمیم‌گیری مؤثر است. برای حل مشکل ارتباط بین دو ماهواره، بهتر است صرفاً از یک شبکه توزیع شده مثلاً P2P استفاده شود. از طرف دیگر، حضور پیمان هوشمند، قدرت برخی تصمیم‌گیری‌های خودکار را برای سیستم فراهم کرده و باعث اولویت‌بندی و انجام خودکار برخی دستورها می‌شود. جهت روشن شدن اهمیت این موضوع یعنی حذف واسطه‌ها، مثال برخورد دو ماهواره قابل توجه است. می‌توان این قبیل برخوردها را توسط حسگرهای موضعی، بسیار بهتر از سامانه‌های کنترل از راه دور، مدیریت کرد، یعنی به جای ارسال داده‌ها به زمین و دریافت دستور از زمین، داده‌ها در همان موقعیت موضعی در فضا، تحلیل و تصمیم مناسب مبتنی بر پیمان هوشمند گرفته می‌شود. از طرفی سامانه‌هایی که امروزه جهت ردیابی ماهواره‌ها و زباله‌های فضایی مورد استفاده است، به توان محاسباتی بسیار بالایی نیاز دارند و در عین حال از دقت بالایی نیز برخوردار نیستند. اما در بستر بلاکچین، علاوه بر حذف این تأخیرات زمانی برای انتقال به ایستگاه زمینی، این محاسبات تسریع می‌شود. در بستر بلاکچین بیت کوین با اتریوم، حدود ۳۰ ثانیه تأخیر وجود دارد که اشتراک‌گذاری و فرایند اطلاع‌رسانی در طول تمام شبکه و برای تک‌تک اعضا است در حالی که در حوزه فضایی مسلماً نیازی به اعلان و اظهار تراکنش‌ها برای تمام اعضای شبکه، آن هم در حجم شبکه‌ای مانند اتریوم یا بیت کوین وجود ندارد.^{۱۲} استفاده از فناوری بلاکچین در حوزه فضایی به‌رغم مزایای قابل توجهی که ارائه می‌دهد، معایب و چالش‌های قابل توجهی نیز دارد. بلاکچین‌های عمومی و غیرمتمرکز به دلیل نیاز به انجام فرایندهای اجماع برای هر تراکنش، با افزایش تعداد کاربران و داده‌ها ممکن است با کندی در پردازش مواجه شوند. به‌عنوان مثال، در هنگام وقوع بحران‌ها یا وضعیت‌های اضطراری در فضا، تبادل سریع اطلاعات، ضروری است که تحت فشار شبکه قرار بگیرد. بهبود مقیاس‌پذیری در بلاکچین‌ها مستلزم توسعه روش‌های جدیدی برای پردازش داده‌ها و تراکنش‌هاست، که هسته اصلی این فناوری‌ها را به چالش می‌کشد. ایجاد و راه‌اندازی امکانات بلاکچین نیاز به سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی دارد، ممکن است استمرار فعالیت در شبکه بلاکچینی و اختصاص منابع برای پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها، بخصوص در محیط فضا غیرقابل توجیه باشد. قوانین و مقررات در حال حاضر به‌وضوح نحوه استفاده از بلاکچین را برای مقاصد فضایی مشخص نکرده‌اند. بحران‌های حقوقی ناشی از نبود تعاریف دقیق در مورد مالکیت داده‌ها، حاکمیت و مسئولیت‌های قانونی به بروز مشکلات جدی می‌انجامد. وجود اختلافات بین کشورها در خصوص حقوق فضایی و حاکمیت داده‌ها، بر استفاده از بلاکچین تأثیرگذار است. موفقیت بلاکچین در فضا مستلزم

۱۲. امیرحسین حاجی شیخی و مهدی جعفری ندوشن، «کاربرد بلاکچین در توسعه صنعت فضایی»، نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن هوافضای ایران، (۱۴۰۰)، ۳-۵.

همکاری و تنظیم توافقاتی مؤثر بین کشورها و نهادهای فضایی مختلف است، که این مسئله در عمل به دلیل ملاحظات سیاسی و اقتصادی دشوار به نظر می‌رسد. با اینکه فناوری بلاکچین در حال طی کردن گام‌های ابتدایی جهت انطباق‌پذیری است، همچنان چالش‌های بسیار زیادی به همراه دارد. البته به باور بسیاری از کارشناسان، این نوآوری واجد قابلیت‌های بسیاری برای ایجاد فرصت‌های جدید در حوزه‌های فضایی نیز هست. استفاده از استاندارد یا به عبارتی استانداردسازی بلاکچین شامل ارسال و دریافت تراکنش‌ها، تعیین تعداد بلوک‌ها و سایر عملیات‌های مرتبط با آن می‌شود. بدیهی است که کلیه این اقدامات باید به صورت استاندارد و مطابق با قواعد تعریف‌شده توسط بلاکچین انجام شوند. طی سال‌های اخیر، ارزیابی فناوری بلاکچین جهت استفاده در بخش‌های فضایی، جای خود را به تحقیق نظارتی داده است. ضروری است که کارایی بلاکچین باید قبل از رسیدن به مرحله عملیاتی به طور کامل اثبات شود. بر این اساس، استانداردسازی بلاکچین می‌تواند موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه، کنترل خودکار و همچنین دسترسی سریع به داده‌ها شود.

۳. کارکرد فناوری بلاکچین در رفع چالش‌های موجود در کنوانسیون‌های فضایی

فناوری بلاکچین، به عنوان نوآوری پیشرفته در حوزه فناوری اطلاعات، قادر است به گونه‌ای مؤثر در رفع چالش‌های مرتبط با کنوانسیون‌های فضایی عمل نماید. در ادامه به برخی از چالش‌های موجود در مهم‌ترین کنوانسیون‌های فضایی و چگونگی عملکرد بلاکچین در رفع این چالش‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۱. معاهده فضای ماورای جو^{۱۳}

معاهده فضای ماورای جو حائز اهمیت بسیاری در حوزه حقوق فضا است و توسط سازمان ملل متحد در ۱۹۶۷ به امضا گذاشته شد. معاهده فضای ماورای جو ۱۹۶۷ به تعیین حقوق و مسئولیت‌های کشورها در فضای ماورای جو می‌پردازد. بر اساس ماده ۱ این معاهده، استفاده و بهره‌برداری از فضای ماورای جو باید به نفع همه کشورها صورت پذیرد. فضای ماورای جو باید بر اساس اصل تساوی آزاد برای اکتشاف و استفاده تمام کشورها باشد.

ماده ۲ معاهده فضای ماورای جو نیز بیان می‌دارد که فضای ماورای جو نباید تحت ادعای حاکمیت ملی تصاحب شود. همچنین ماده ۴ معاهده مذکور بیان می‌نماید که فعالیت‌ها در فضای ماورای جو می‌بایست مطابق با حقوق بین‌الملل، شامل منشور سازمان ملل متحد و به جهت حفظ

13. Treaty on Principle Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies.

صلح و امنیت بین‌المللی باشد.^{۱۴} با گذشت زمان و پیشرفت فناوری‌های فضایی، این معاهده با چالش‌های گوناگونی مواجه شده است. به‌عنوان مثال، مرز دقیقی بین فضای هوایی یک کشور و فضای ماورای جو به‌طور دقیق تعریف نشده است. چنین ابهامی موجب بروز اختلافات در مورد حاکمیت بر مناطق خاصی از فضا می‌شود. معاهده در مورد ماهیت حقوقی اجرام آسمانی، مانند سیارک‌ها و قمرهای طبیعی، توضیحات کافی ارائه نمی‌دهد. این مسئله باعث ابهام در مورد حق بهره‌برداری از منابع موجود در این اجرام شده است. یا در مورد دیگر، معاهده به‌طور صریح، استقرار سلاح‌های کشتار جمعی در فضا را ممنوع می‌کند اما در مورد سایر انواع سلاح‌های فضایی سکوت کرده و نگرانی‌هایی را در مورد مسابقه تسلیحاتی در فضا ایجاد نموده است. با افزایش فعالیت‌های تجاری در فضا، مانند گردشگری فضایی و استخراج منابع فضایی، معاهده به اندازه کافی برای تنظیم این فعالیت‌ها مجهز نیست. معاهده در مورد حاکمیت بر مناطق خاصی از فضا، مانند نقاط لاگرانژی و مدارهای زمین ثابت، سکوت کرده است. همچنین معاهده، سازوکارهای مشخصی را برای حل اختلافات بین کشورها در مورد تفسیر یا اجرای مفاد آن ارائه نمی‌دهد. چنین موضوعی باعث طولانی‌شدن و پیچیدگی روند حل اختلافات می‌شود. در نهایت با پیشرفت سریع فناوری‌های فضایی، بسیاری از مفاهیم و اصطلاحات مورد استفاده در معاهده دیگر پاسخگوی نیازهای کنونی نیستند. به‌عنوان مثال، مفهوم فضاییما در زمان تدوین معاهده به معنای سفینه‌های فضایی سرشنین‌دار بود، در حالی که امروزه شامل ماهواره‌ها و سایر اجسام مصنوعی نیز می‌شود.^{۱۵} اما راهکارهای بلاکچین برای رفع این چالش‌ها چیست؟ بلاکچین به‌عنوان دفترچه دائمی و عمومی برای ثبت تعاریف و مفاهیم استفاده می‌شود و اطلاعات در بلاکچین، غیرقابل تغییر و قابل دسترسی برای تمام کشورها است، که این امر موجب اجماع جهانی درباره تعاریف و اصطلاحات می‌شود. کشورهای مختلف به‌طور مشترک با استفاده از فناوری بلاکچین، استانداردهای جدیدی برای مفاهیم کلیدی فضایی تدوین می‌نمایند. البته باید بیان نمود که بلاکچین مستقیماً کمکی به رفع ابهام نمی‌کند، بلکه رفع ابهام، نیاز به کار حقوقی دارد. اما بلاکچین به کمک قراردادهای هوشمند از تفسیر قوانین جلوگیری می‌نماید؛ کما اینکه بسیاری از کشورها همچون ایالات متحده آمریکا، قوانین را به نفع خود تفسیر کرده‌اند. بلاکچین منجر به قراردادهای هوشمند می‌شود که برای هر فعال در صنعت فضایی این امکان را به وجود می‌آورد که اصول و شرایط خاصی را در زمینه‌های تجارت فضایی و سلاح‌ها تعریف کند. قراردادهای هوشمند به‌طور خودکار اجرا خواهند شد و نیاز به واسطه‌ها را کاهش می‌دهند.

14. F. Tronchetti, "Annex 2 - Treaty On Principles Governing The Activities Of States In The Exploration And Use Of Outer Space, Including The Moon And Other Celestial Bodies". In *The Exploitation of Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies* (Leiden The Netherlands: Brill/Nijhoff, 2009) 5.

15. Z. Bao, M. Luo, H. Wang, K.K.R. Choo and D. He, "Blockchain-Based Secure Communication for Space Information Networks", *IEEE Network* 35, 4(2021): 53.

۳-۲. موافقت‌نامه راجع به نجات و بازگرداندن فضانوردان و اشیای پرتابی به فضای ماورای جو^{۱۶}

توافقنامه راجع به نجات و بازگرداندن فضانوردان و اشیای پرتابی به فضای ماورای جو که در ۱۹۶۸ به تصویب رسیده، به تضمین امانت و اطمینان از سلامت فضانوردان و ارائه یاری به آنان در صورت نیاز می‌پردازد. بر اساس ماده ۱ این موافقت‌نامه، کشورها باید با یکدیگر در مورد اقدامات نجات و هماهنگی در این زمینه اطلاعات لازم را به اشتراک بگذارند. در صورت وقوع حوادث یا شرایط غیرمنتظره، کشورها موظف به اطلاع‌رسانی به یکدیگر هستند. توافقنامه حقوق فضانوردان به منظور تضمین سلامت و امانت فضانوردان و همچنین هماهنگی بین‌المللی در عملیات نجات در مواقع اضطراری مرتبط با فعالیت‌های فضایی اهمیت دارد. بر اساس مواد ۲ و ۳ این موافقت‌نامه، کشورها متعهد شده‌اند که در صورت نیاز، هر کدام از طریق منابع خود و بدون هیچ‌گونه پیش‌شرطی، در نجات و بازگشت به زمین به فضانوردان دیگر کمک خواهند کرد. توافقنامه بر مبنای احترام به حقوق فضانوردان برای ادامه حیات و ایمنی آنان تا زمان بازگشت به زمین تأکید دارد.^{۱۷}

معاهده نجات فضانوردان، بازگشت سفینه‌های فضایی و اشیاء پرتاب‌شده به فضا، گامی حیاتی در جهت همکاری‌های بین‌المللی در حوزه فضا محسوب می‌شود. با این حال، این معاهده نیز مانند هر توافق بین‌المللی دیگری، با چالش‌هایی همراه است. به عنوان مثال، تعریف دقیقی از فضانورد در این معاهده وجود ندارد و در برخی موارد موجب ابهام و اختلاف نظر می‌شود. تعریف از اشیاء پرتاب‌شده نیز به اندازه کافی دقیق نیست و ممکن است شامل طیف گسترده‌ای از اجسام شود که از ماهواره‌های کوچک تا زباله‌های فضایی را شامل می‌شود. چالش دیگر این است که این معاهده عمدتاً بر مسئولیت دولت پرتاب‌کننده تأکید دارد و در مواردی که چندین کشور در یک مأموریت فضایی مشارکت دارند، تعیین دقیق مسئولیت‌ها پیچیده به نظر می‌رسد. همچنین معاهده در مورد نحوه تعیین و جبران خسارات واردشده به دلیل فعالیت‌های فضایی، مقررات دقیقی ارائه نمی‌دهد. در موردی دیگر با افزایش تعداد ماهواره‌ها و فعالیت‌های فضایی، مشکل زباله‌های فضایی به چالش جدی تبدیل شده است. توافقنامه راجع به نجات و بازگرداندن فضانوردان و اشیای پرتابی به فضای ماورای جو به‌طور کامل به این موضوع نپرداخته است. با وجود اینکه این معاهده بر استفاده صلح‌آمیز از فضا تأکید دارد، تهدیدات نظامی و تسلیحات فضایی را به‌طور کامل پوشش نمی‌دهد. همچنین با افزایش فعالیت‌های بخش خصوصی در حوزه فضا، ممکن است این معاهده نتواند به‌طور کامل

16. Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space.

17. S. Wood, "The Scope of International Obligations to Extend Rescue Assistance to 'Astronauts' and 'Personnel' Under the Outer Space Treaty and the Return and Rescue Agreement". In *Commercial Uses of Space and Space Tourism*. Cheltenham, (United Kingdom: Edward Elgar Publishing, 2017), 8-10.

این فعالیت‌ها را پوشش دهد. فناوری بلاکچین باعث ظهور روایت‌های قدرتمندی برای ترویج روش‌های جدید اداره فضای بیرونی شده است.^{۱۸} بنابراین بلاکچین یکی از نوآوری‌های بنیادی در دنیای دیجیتال است که به واسطه ویژگی‌های منحصر به فرد خود به حل چالش‌های مربوط به معاهده نجات فضانوردان مصوب ۱۹۶۸ می‌انجامد. بلاکچین، پایگاه داده‌ای برای ثبت تعاریف به‌روز از این مفاهیم فراهم می‌نماید. با همکاری کشورهای مختلف می‌توان تعاریف دقیقی طراحی نمود که به‌طور مداوم به‌روز شده و در بلاکچین ذخیره می‌شوند. چنین اطلاعاتی به‌صورت عمومی در دسترس هستند و از این طریق، مردم و متخصصان حقوقی و فضایی قادرند به‌راحتی به اطلاعات دقیق و مورد توافق دسترسی پیدا کنند.

۳-۳. کنوانسیون راجع به مسئولیت بین‌المللی در قبال خسارات ناشی از اشیای فضایی^{۱۹}

کنوانسیون مسئولیت در فضا که در ۱۹۷۱ تصویب شد، به اهمیت ارتقاء قواعد بین‌المللی در زمینه مسئولیت ناشی از آسیب‌های ناشی از اشیای فضایی تأکید می‌کند.^{۲۰} این کنوانسیون با ۲۸ ماده، استانداردهای مسئولیت را برای فعالیت‌های فضایی و پرتاب‌ها که ممکن است خسارت به انسان، اموال و محیط‌زیست کشورهای دیگر برسانند، تعیین می‌کند. مواد مختلف این کنوانسیون به تضمین پرداخت دقیق غرامت‌ها به قربانیان خسارت‌های فضایی می‌پردازند. به‌عنوان مثال، ماده ۲ این کنوانسیون تعیین می‌کند که در صورتی که سفینه فضایی خسارتی به زمین یا هواپیمای در حال عبور از کشور پرتاب‌کننده وارد کند، مسئولیت مالی بر عهده کشور پرتاب‌کننده است. کنوانسیون مسئولیت در فضا با چالش‌ها و نواقصی روبه‌روست. به‌عنوان مثال از زمان تصویب این کنوانسیون، فعالیت‌های بخش خصوصی در حوزه فضا رشد چشمگیر داشته است. این کنوانسیون عمدتاً بر مسئولیت دولت‌ها تمرکز کرده و به مسئولیت نهادهای خصوصی کمتر پرداخته است. ظهور فناوری‌های جدید مانند ماهواره‌های کوچک، اجرام فضایی کوچک و بهره‌برداری از منابع فضایی، پیچیدگی‌های جدیدی را به رژیم حقوقی فضا وارد کرده است. افزایش فعالیت‌های تجاری در فضا، وجود سازوکارهای حقوقی دقیق‌تری برای تعیین مسئولیت در صورت وقوع خسارت را

18. P. De Filippi and A. Leiter, "Blockchain in Outer Space", *American Journal of International Law* 115, (2021): 413.

19. Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects.

20. F. Lyall, "State Liability for Outer Space Activities in Accordance With the 1972 Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects", *British Yearbook of International Law* 64, 1 (1993): 428.

ضروری می‌کند.^{۲۱} در موردی دیگر، کنوانسیون عمدتاً بر خسارات مادی تمرکز کرده و به خسارات غیرمادی مانند خسارت به محیط‌زیست یا آسیب به میراث فرهنگی کمتر پرداخته است. بنابراین کنوانسیون به‌طور صریح به خسارات ناشی از فعالیت‌های نظامی فضایی نپرداخته است. چالش دیگر این است که کنوانسیون در برخی موارد با اصول کلی حقوق بین‌الملل عمومی مانند اصل حاکمیت دولت‌ها بر قلمرو خود در تضاد است. تغییرات در مقررات داخلی کشورها بر تفسیر و اجرای کنوانسیون تأثیرگذار است. با استفاده از قراردادهای هوشمند می‌توان مسئولیت‌های قانونی و الزامات مربوط به اپراتورهای خصوصی را مشخص کرد. قراردادهای به‌طور خودکار، شرایط و قواعد را اجرا می‌کنند. بنابراین در صورت بروز حادثه، مدارک و شواهد مربوطه در بلاکچین موجود و قابل بازیابی است. با اتکا به بلاکچین، اپراتورهای فضاپیما در ایجاد و اجرای تعهدات، بدون اتکا به یک سیستم حقوقی توانا می‌شوند.^{۲۲} بلاکچین، بستر مناسبی برای ایجاد شناسنامه‌هایی برای پروژه‌های فضایی است که اطلاعات مربوط به تأثیرات زیست‌محیطی را ثبت می‌کند. داده‌های جمع‌آوری‌شده، مبنای مطالبه خسارات به محیط‌زیست و دیگر آسیب‌های غیرمادی قرار می‌گیرد. فناوری بلاکچین، ردیابی و ثبت اطلاعات مربوط به فعالیت‌های نظامی در فضا را تسهیل می‌نماید. با ایجاد سیستم‌های ثبت‌نامی شفاف، اطلاعات به‌راحتی قابل دسترسی خواهد بود و نشان می‌دهد که کدام کشور مسئول چه فعالیتی بوده است. لازم است که در پیاده‌سازی بلاکچین در صنعت فضایی به تمام جنبه‌های حقوقی و قانونی توجه کافی شود تا از وقوع مشکلات و تبعات حقوقی جلوگیری شود.^{۲۳}

۴. رفع چالش‌های موجود در حقوق بین‌الملل فضایی در قالب فناوری بلاکچین

تحلیل حقوق بین‌الملل فضایی و چالش‌های موجود در آن به نظمی بسیار دقیق نیاز دارد که تحت تأثیر پیشرفت‌های فناوری، تحولات سیاسی و اقتصادی قرار دارد. مهم‌ترین چالش‌های موجود در حقوق بین‌الملل فضایی که فناوری بلاکچین می‌تواند در برطرف‌نمودن آن‌ها کمک کند، عبارت‌اند از:

21. A. N. Bikos, and S.A. Kumar, "Enhancing Space Security Utilizing the Blockchain: Current Status and Future Directions" In *2022 IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE)*, 2022), 2-3.

22. R. Brian, "Space Governance 3.0", *Georgia Journal of International & Comparative Law* 48, 3 (2019): 715.

23. I. Lianos, P. Hacker, S. Eich and G. Dimitropoulos, *Regulating Blockchain: Techno-Social and Legal Challenges* (Oxford: Oxford University Press, 2019) 11-13.

۴-۱. حقوق مالکیت بر منابع فضایی

اخیراً برخی کاربردهایی را برای بلاکچین در فضا پیشنهاد کرده‌اند.^{۲۴} با ظهور فناوری‌های جدید و تأکید بر استخراج منابع طبیعی از فضا، مانند معادن خورشیدی و منابع معدنی بر روی سیارک‌ها و کره ماه، مسائل حقوقی مربوط به مالکیت و استفاده از این منابع بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. معاهده فضایی ۱۹۶۷ محدودیت‌هایی برای مالکیت ملی بر منابع فضایی تعیین می‌کند و چالش اصلی این است که چگونه می‌توان اصول فعلی را با واقعیت‌های جدید تطبیق داد. اگر کشوری به‌طور یک‌طرفه ادعای مالکیت بر یک منبع فضایی داشته باشد، این کار موجب بروز منازعات جدی بین کشورها می‌شود. فناوری بلاکچین به‌عنوان راهکار مؤثر برای حل چالش‌های حقوق مالکیت بر منابع فضایی عمل می‌کند. بلاکچین به‌عنوان سکو برای ثبت اطلاعات مربوط به مالکیت منابع فضایی استفاده می‌شود. هر نوع ادعای مالکیت یا قرارداد مربوط به منابع در بلاکچین ثبت می‌شود و این ثبت به‌صورت غیرقابل تغییر و دائمی خواهد بود. چنین ویژگی موجب می‌شود که تمام کشورهای مربوطه از مالکیت و حقوق دیگران مطلع شوند و از بروز ابهام جلوگیری کند. با استفاده از بلاکچین، هرگونه تغییر در مالکیت یا انتقال حقوق مربوط به منابع فضایی به‌راحتی قابل پیگیری و ثبت است. سیستم مذکور به‌صورت خودکار تعیین می‌کند که پس از تأیید معامله، مالک جدید معرفی و ثبت شود، که این موضوع، شفافیت و قطعیت را در حقوق مالکیت به همراه دارد. قراردادهای هوشمند برای تنظیم شرایط مربوط به استخراج و استفاده از منابع فضایی طراحی شده‌اند. چنین قراردادهایی به‌صورت خودکار اجرا می‌شوند و شرایط مشخصی را برای مالکیت و استفاده از منابع تعیین می‌نمایند. همچنین به‌طور خودکار، حقوق و مسئولیت‌های مربوط به طرفین را پیگیری می‌کنند. با ایجاد شرایط مشخص و قابل اجرا در قراردادهای هوشمند، احتمال بروز اختلافات و منازعات بین کشورها کاهش می‌یابد. اگر هر طرف به شرایط توافق پایبند باشد، منازعات به حداقل می‌رسند. اجرای فعالیت‌های اکتشاف و استفاده از فضای بیرونی توسط یک دولت، مبتنی بر معاهده فضایی ۱۹۶۷ است که بر دو اصل اساسی در استفاده از فضای بیرونی حاکم است: عدم تخصیص و اکتشاف آزاد.^{۲۵} بلاکچین می‌تواند به‌عنوان بستر برای ایجاد مشارکت‌های بین‌المللی در خصوص اکتشاف و استفاده از منابع فضایی عمل کند. کشورهای مختلف می‌توانند به اتفاق یکدیگر بر مبنای بلاکچین، توافقات خود را ثبت کنند و به اشتراک بگذارند. ایجاد سکو غیرمتمرکز که بر پایه بلاکچین باشد، به کشورهای مختلف، اعتماد بیشتری

24. D. Hyland-Wood, P. Robinson, S. Johnson, C. Hare, B. Henderson, C. Lewicki and R. Saltini, "Blockchain Properties for Near-Planetary, Interplanetary, and Metaplanetary Space Domains", *Journal of Aerospace Information Systems* 17, 10 (2020): 1.

25. A. Yusliwidaka, K. Roisah and J. Setiyono, "State Liability for the Fault Causing Damage in Outer Space", *JED (Jurnal Etika Demokrasi)* 8, 3 (2023): 326.

می‌دهد تا اطلاعات و توافقات به‌درستی ثبت و قابل پیگیری باشند. با وجود فناوری بلاکچین، کشورهای مختلف، اطلاعات حساس و داده‌های مربوط به استخراج منابع را به‌طور خصوصی نگهداری کرده و تنها داده‌های عمومی و غیرحساس را به اشتراک خواهند گذاشت. محافظت از داده‌ها موجب ارتقاء شفافیت و کاهش نگرانی‌ها در خصوص افشای اطلاعات حساس می‌شود.

۴-۲. تأثیر بر حقوق بشر و دسترسی به فضا

فضا به‌عنوان منبع جهانی برای تمامی بشریت شناخته می‌شود، اما در عمل، کشورها و شرکت‌های خاصی به منابع و فناوری‌های فضایی دسترسی بیشتری دارند. دسترسی نابرابر به منابع و فناوری‌های فضایی به نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی دامن زده و فرصت‌های برابری برای همه کشورها ایجاد نمی‌کند. تضمین دسترسی عادلانه به منابع فضایی، هم‌زمان با احترام به حقوق بشر در کشورهای مختلف، نیازمند همکاری بین‌المللی بیشتری است. بلاکچین، به‌عنوان سکویی برای ثبت و اشتراک‌گذاری اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها و فرصت‌های فضایی (شامل داده‌های مربوط به پروژه‌های فضایی، فناوری‌ها و منابع طبیعی موجود در فضا) عمل می‌کند. دسترسی به این اطلاعات به کشورهای کمتر توسعه‌یافته کمک کرده تا از فرصت‌های موجود، بهره‌برداری کنند.^{۲۶} با استفاده از بلاکچین، همه ذی‌نفعان، از جمله کشورها و شرکت‌های خصوصی، از اطلاعات به‌طور یکسان استفاده می‌کنند که به این ترتیب، از ایجاد انحصارطلبی اطلاعاتی جلوگیری می‌شود. قراردادهای هوشمند، به کشورها و شرکت‌های مختلف اجازه می‌دهند که به‌طور خودکار و شفاف بر اساس توافقات بین‌المللی همکاری کنند. قراردادهای هوشمند، حقوق و شرایط دسترسی به فضا را به‌طور دقیق مشخص و تضمین می‌کنند تا تمامی طرفین به‌طور برابر از منابع فضایی بهره‌برداری کنند. بهره‌برداری برابر از منابع فضایی موجب تقویت همکاری‌های بین‌المللی و جلوگیری از سوءاستفاده‌ها و انحصارطلبی‌ها در منابع فضایی می‌شود. فناوری بلاکچین به خودی خود به بهبود نابرابری‌های اقتصادی یاری رسانده و به کشورهای کمتر توسعه‌یافته امکان می‌دهد تا از مزایای فعالیت‌های فضایی بهره‌برداری کنند. با توجه به اینکه اطلاعات ثبت‌شده در بلاکچین، غیرقابل تغییر و همگانی است، کشورها می‌بایست به منظور تضمین دسترسی عادلانه و جلوگیری از نقض حقوق بشر، نسبت به فعالیت‌های فضایی نظارت کنند. نظارت مؤثر به این معناست که کشورها و سازمان‌های بین‌المللی قادر خواهند بود از ارتکاب تخلفات در زمینه حقوق بشر در طرح‌های فضایی جلوگیری کنند. فناوری بلاکچین به‌عنوان بستر برای تسهیل همکاری‌های بین‌المللی در حوزه فضایی، به‌ویژه در زمینه‌های انسانی و اجتماعی عمل می‌کند. با فراهم کردن یک سیستم شفاف و غیرمتمرکز،

26. E. Fasan, "Technical and Policy Issues Related to the Use of the Space Environment", *Journal of Space Law* 23, (1995): 89.

می‌توان زمینه‌های بیشتری برای همکاری‌های بین‌المللی ایجاد کرد که شامل کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه شود و امکان دسترسی به منابع فضایی را تحت تأثیر قرار دهد.

۳-۴. مشکلات زیست‌محیطی فضا

تعامل بشر به‌عنوان جزئی از طبیعت، با محیط پیرامونش شامل سه مرحله می‌شود: دوران تسلط طبیعت بر انسان، دوران تسلط انسان بر طبیعت و دوران تعامل و هم‌گرایی انسان و طبیعت.^{۲۷} پیش از ۴ اکتبر ۱۹۵۷ یعنی زمان پرتاب اسپوتنیک ۱ و آغاز رقابت در فضا، اندکی از حقوق‌دانان، به وضعیت حقوقی فضا توجه کرده بودند. در واقع، فضای ماورای جو در ادبیات حقوقی قبل از پرتاب اسپوتنیک، ناشناخته بود.^{۲۸} اما اکنون موارد زیادی از مخاطرات، ضررها، تهدیدها و خسارت‌های بالقوه در شرف به‌وجودآمدن است و دانشمندان، خطر افزایش مستمر این فعالیت‌ها را گوشزد کرده‌اند.^{۲۹} در حقیقت، موضوع آلودگی محیط فضا از موضوع آلودگی محیط‌زیست زمین پیچیده‌تر و نامحسوس‌تر است و ممکن است نتواند به‌خوبی جلب توجه کرده و حساسیت طرفداران محیط‌زیست و مردم عادی را برانگیزد. مطابق با تعریف سازمان همکاری و توسعه اقتصادی،^۱ آلودگی عبارت است از: «واردکردن مستقیم یا غیرمستقیم مواد یا انرژی توسط انسان به محیط‌زیست که به بروز تأثیرات زیان‌آور و به‌خطرانداختن سلامت انسان، آسیب به منابع زنده و زیست‌بوم، لطمه به امکانات رفاهی و اختلال در سایر استفاده‌های مشروع از محیط‌زیست منجر می‌شود.»^{۳۰} موضوع آلودگی فضا پیچیده‌تر از آلودگی‌های زمین است. شرکت‌های حمل و نقل فضایی و مؤسساتی که خدمات حمل بار به فضا ارائه می‌دهند، بیشترین آسیب‌ها را به محیط‌زیست فضا وارد می‌کنند. بر اساس بررسی‌ها، بالاترین ریسک در سوانح فضایی مربوط به استفاده از تجهیزات فضایی است زیرا این فعالیت‌ها ضایعات بیشتری تولید می‌کنند که ماندگارتر هستند. تجمع آلاینده‌ها در فضا و انباشت زباله‌های فضایی باعث تشکیل پدیده‌ای به نام ابرهای زباله‌ای می‌شود. برای نمونه، هنگامی که ماهواره متلاشی می‌شود، بلافاصله توده‌ای از گرد و غبار تشکیل می‌شود که در ابتدا به شکل بیضی سه‌بعدی است. محور این توده در امتداد مدار خاصی حرکت می‌کند که موازی با مدار جسم فضایی قبل از انفجار است. ابرهای زباله‌ای به‌تدریج در اطراف این مدار به شکل مارپیچی گسترش یافته و تمامی مدارات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ابرها باعث کاهش

۲۷. مهدی فیروزی، حق بر محیط‌زیست، (تهران، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۵)، ۱۸.

۲۸. مجید خسروی، هوا و فضا از دیدگاه حقوقی، (تهران، انتشارات سازمان عقیدتی سیاسی ارتش ج.ا.ا، ۱۳۸۱)، ۱۷۷.

۲۹. حسین نواده توپچی، حقوق بین‌الملل فضا، (تهران، انتشارات خرسندی ۱۳۹۰)، ۱۴۲.

۳۰. محمود جلالی و علی آقاحسینی، «حقوق بین‌الملل فضا و ضرورت حفظ محیط‌زیست فضایی»، فصلنامه مطالعات حقوق عمومی ۴۶، ۳ (۱۳۹۵): ۶۹۸.

میدان دید ماهواره‌ها و اختلال در ارتباطات راه دور می‌شوند. هنگامی که سفینه‌های فضایی پرتاب می‌شوند، شروع به تولید موادی به نام ابر زمینی می‌کنند که اساساً ترکیبی از گازهای خروجی راکت‌ها، آب، شن و گرد و غبار است.^{۳۱} همچنین اشیاء فضایی معمولاً در زمان پرتاب، آلودگی صوتی شدیدی ایجاد می‌کنند. آثار آلودگی ناشی از خروج مواد سوختی برای لایه اوزون و محیط‌زیست انسانی بسیار خطرناک است. استفاده از سوخت‌های جامد و مرکب در راکت‌ها و هواپیماها باعث تخریب لایه اوزون شده که وظیفه آن حفاظت از زمین در برابر تشعشعات مضر فربانفش خورشید است. آلودگی رادیواکتیو، زمانی به وجود می‌آید که محموله‌های فعال با ماهواره‌های مجهز به منابع رانش هسته‌ای برخورد کنند. تصادم این محموله‌های پرتابی با زباله‌های فضایی یا سایر اجسام فضایی باعث انتشار و گسترش آلودگی رادیواکتیو به محیط زمین و فضای ماورای جو می‌شود. استفاده از ماهواره‌ها و هواپیماها با سوخت هسته‌ای به منظور تأمین نیروی الکتریسیته مورد نیاز زیرسیستم‌ها و سامانه‌های فضایی صورت می‌گیرد. در برخی موارد، منبع آلودگی رادیواکتیو ناشی از پرتاب ناموفق اجسام فضایی است که حامل منابع رانش هسته‌ای هستند. در صورت خرابی یا برخورد این اجسام با دیگر اشیاء، مواد رادیواکتیو نشت کرده و به جو زمین وارد می‌شوند و صدمات جدی به بار می‌آورند. در این زمینه، جامعه جهانی تا کنون دو حادثه مهم را تجربه کرده است. بررسی اسناد حقوقی فضایی نشان می‌دهد که بیشتر قواعد و مقررات موجود، جنبه آرمانی و غیرالزام‌آور دارند و به همین دلیل غالباً از آن‌ها تخطی می‌شود. با این حال، برای تعیین مسئولیت دولت‌ها در قبال آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌توان به اسناد مختلفی مانند پیش‌نویس مسئولیت بین‌المللی دولت‌ها مراجعه کرد که توسط کمیسیون حقوق بین‌الملل در ۲۰۰۱ تهیه شده است.^{۳۲} تعهد عمومی به احترام به محیط‌زیست دیگر کشورها یا مناطق خارج از قلمرو ملی، بخشی از حقوق بین‌الملل محیط‌زیست محسوب می‌شود. در قضیه سدسازی گابچیگو-ناگیماروس، دیوان بین‌المللی دادگستری مجدداً اعلام کرد که احترام به محیط‌زیست نه‌تنها برای دولت‌ها بلکه برای تمام بشریت، اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. بررسی هنجارهای حقوقی و رویه‌های قضایی موجود نشان می‌دهد که این هنجارها نتوانسته‌اند به اندازه کافی در جلوگیری از آلودگی‌های محیط‌زیست مؤثر واقع شوند. بنابراین، تکیه بر اصل پیشگیری، اقدام مناسبی در راستای انجام تعهدات بین‌المللی است. اصل پیشگیری که ریشه در حقوق داخلی دارد، توانسته است به سرعت در اسناد حقوق فضایی گسترش یابد. فناوری بلاکچین به عنوان فناوری نوآورانه به طور مؤثری به حل چالش‌های مدنظر در زمینه آلودگی محیط‌زیست فضایی یاری می‌رساند.^{۳۳} نخست: با توجه به

31. S., Gorove, *Developments in Space Law* (Martinus Nijhoff Publications, the Netherland 1991) P. 131.

32. R.B., Wangchen, *Protection of the Outer Space Environment*, West Bengal National University of Juridical Sciences, March 17, (2010).

33. F., Lyall, *Protection of the Space Environment and Law* 42nd Proc. IISL; (2000), pp. 472-82.

ماهیت جهانی فعالیت‌های فضایی، نیاز به چارچوب‌های حقوقی جدید برای مدیریت مشترک الزامات و مسئولیت‌ها اهمیت زیادی دارد. با فراهم کردن پایگاه داده مشترک و شفاف‌سازی مقررات، امکان همکاری و هماهنگی بین کشورها و نهادهای مختلف و به‌ویژه نهادهای بین‌المللی فراهم می‌شود. چارچوب‌های توسعه‌یافته با استفاده از بلاکچین، مبنای مشخصی برای قوانینی که کشورها باید رعایت کنند، فراهم می‌سازند. فناوری بلاکچین به نهادهای دولتی و بین‌المللی این امکان را می‌دهد که نه تنها به سرعت، قوانین و سیاست‌های مرتبط با فعالیت‌های فضایی را به‌روزرسانی کنند، بلکه همچنین به توسعه چارچوب‌های حقوقی جدیدی بپردازند که به هماهنگی و همکاری مؤثرتر در زمینه مدیریت آلودگی و زباله‌های فضایی منجر می‌شود. ایجاد زیرساخت قانونی شفاف و کارآمد می‌تواند به بهبود شرایط محیط‌زیست فضایی و حفظ امنیت در این عرصه بینجامد. دوم: فناوری بلاکچین به عنوان ابزار مؤثر در ایجاد و اجرای قوانین و مقررات مرتبط با آلودگی رادیواکتیو ناشی از فعالیت‌های فضایی عمل می‌کند. یکی از چالش‌های اساسی در این زمینه، عدم الزام‌آوری و اجرای مؤثر قوانین موجود است. در این راستا، استفاده از قراردادهای هوشمند،^{۳۴} انقلابی در نحوه مدیریت و نظارت بر این قوانین ایجاد می‌نماید. قراردادهای هوشمند، برنامه‌های رایانه‌ای هستند که به‌طور خودکار، شرایط و الزامات توافق‌نامه‌ها را اجرا می‌کنند. این قراردادها بر روی شبکه بلاکچین ذخیره می‌شوند و به‌طور خودکار در صورت برآورده شدن شرایط مشخص‌شده، عمل می‌کنند. به عبارت دیگر، این قراردادها می‌توانند به عنوان واسطه خودکار عمل کنند که نیاز به دخالت انسان را کاهش می‌دهد. یکی از ویژگی‌های کلیدی بلاکچین، شفافیت و عدم تغییرپذیری اطلاعات است. هرگونه تغییر در قراردادهای هوشمند یا داده‌های مربوط به فعالیت‌های فضایی به صورت عمومی ثبت می‌شود و نمی‌توان آن را تغییر داد. چنین ویژگی باعث می‌شود که همه ذی‌نفعان (دولت‌ها، سازمان‌ها و عموم مردم) بتوانند به راحتی اطلاعات را مشاهده کرده و از اجرای صحیح قوانین، اطمینان حاصل کنند. قراردادهای هوشمند، به‌طور خودکار، پیامدهایی را برای عدم رعایت الزامات قانونی تعیین می‌نمایند. برای مثال، اگر یک سازمان اقدام به پرتاب موشکی کند که با استانداردهای زیست‌محیطی مشخص‌شده در قرارداد همخوانی نداشته باشد، قرارداد به‌طور خودکار، جریمه‌ای را برای آن سازمان تعیین نموده یا مجوز فعالیت آن را معلق می‌کند. استفاده از قراردادهای هوشمند، نیاز به واسطه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. در بسیاری از موارد، اجرای قوانین و مقررات، نیازمند حضور نهادهای نظارتی یا قضایی است که ممکن است زمان‌بر و پرهزینه باشد. با استفاده از بلاکچین و قراردادهای هوشمند، فرآیندها سریع‌تر و کارآمدتر می‌شوند زیرا همه چیز به صورت خودکار انجام می‌شود. با ایجاد سیستم شفاف و خودکار، دولت‌ها و سازمان‌ها تشویق می‌شوند تا با یکدیگر همکاری کنند و بهترین شیوه‌ها را برای رعایت الزامات قانونی به

اشتراک بگذارند. این همکاری، منجر به ایجاد استانداردهای بین‌المللی می‌شود که همه کشورها باید به آن پایبند باشند. ناسا ذیل پروژه شبکه حسگری و اینترنت اشیا در فضا و همچنین آژانس فضایی اروپا تحت عنوان نسل چهار فضا، از مزیت پیمان هوشمند استفاده کرده‌اند.^{۳۵} سوم: آلودگی‌های رادیواکتیو ناشی از فعالیت‌های فضایی، عواقب جدی و مضر برای محیط‌زیست و سلامت عمومی (شامل آسیب به زیست‌بوم‌ها، تهدید برای سلامت انسان‌ها و ایجاد مشکلات اقتصادی) به همراه داشته‌اند. بلاکچین به‌عنوان پایگاه داده غیرقابل تغییر برای ثبت تمامی فعالیت‌های مرتبط با پرتاب‌ها و استفاده از مواد رادیواکتیو عمل می‌کند. با استفاده از بلاکچین، امکان ایجاد سیستم نظارتی وجود دارد که فعالیت‌های خطرناک را شناسایی و ثبت می‌کند. چنین سیستمی به‌طور خودکار، هشدارهایی را در مورد فعالیت‌های مشکوک یا خطرناک ارسال می‌کند. اطلاعات جمع‌آوری شده در بلاکچین، برای تحلیل عواقب ناشی از فعالیت‌های خطرناک به کار می‌رود. چنین تحلیلی شامل بررسی تأثیرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. در صورت بروز آلودگی رادیواکتیو، بلاکچین به‌عنوان منبع اطلاعاتی برای مدیریت بحران عمل می‌نماید. با ثبت دقیق داده‌ها، مسئولیت‌پذیری در برابر عواقب ناشی از فعالیت‌های فضایی افزایش می‌یابد. اگر یک دولت یا سازمان نتواند از آلودگی جلوگیری کند، اطلاعات موجود در بلاکچین به‌عنوان شواهدی برای تعیین مسئولیت عمل می‌نمایند. بلاکچین موجب شفافیت اطلاعات می‌شود، به‌طوری که عموم مردم و نهادهای نظارتی، به‌راحتی به اطلاعات مربوط به آلودگی و عواقب آن دسترسی پیدا می‌کنند. این مسئله، فشار بیشتری بر دولت‌ها و سازمان‌ها برای رعایت اصول زیست‌محیطی ایجاد می‌نماید. فناوری بلاکچین به ایجاد سیستم‌های پیشگیرانه یاری می‌رساند. سیستم‌های پیشگیرانه، بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از فعالیت‌های فضایی، خطرات احتمالی را شناسایی می‌کنند. چنین سیستم‌هایی شامل الگوریتم‌هایی هستند که به تحلیل داده‌ها پرداخته و پیش‌بینی‌هایی در مورد تأثیرات زیست‌محیطی انجام می‌دهند. با شناسایی عواقب ناشی از فعالیت‌های فضایی می‌توان راهکارهای بهبود را توسعه داد که شامل تغییر رویه‌ها، استفاده از فناوری‌های جدید یا تجدیدنظر در قوانین و مقررات است. با افزایش شفافیت، مسئولیت‌پذیری و توانایی در مدیریت بحران، فناوری بلاکچین، نقش حیاتی در حفاظت از محیط‌زیست و سلامت عمومی ایفا می‌کند. مزیت‌های فناوری بلاکچین موجب شد تا این فناوری به شیوه خاصی مورد توجه همگان قرار گیرد.^{۳۶} در مورد مشکلات زیست‌محیطی باید این نکته را بیان کرد که ممکن است خود فناوری بلاکچین، مشکلات زیست‌محیطی به وجود آورد زیرا سامانه‌های بلاکچین به‌طور معمول از یکی از دو روش اثبات

35. Karen L. Jones, *Blockchain: Building Consensus and Trust Across the Space Sector*, 35th Space Symposium, Technical Track, Colorado Springs, Colorado, United States of America Presented on April 8, 2019.

36. Sir Mark Walport, *Distributed Ledger Technology beyond block chain*, A report by the UK Government Chief Scientific Adviser, London, England, Government office for science, 2016.

کار^{۳۷} یا اثبات سهام^{۳۸} برای تأیید و ثبت تغییرات استفاده می‌کند. روش اثبات کار یا POW به علت مصرف انرژی بسیار زیاد، از خطرات زیست‌محیطی محسوب می‌شود و روش اثبات سهام یا POS که خطرات کمتری برای محیط‌زیست دارد، ممکن است راحت‌تر توسط یک گروه اقلیت تحت کنترل قرار گیرد.

الف. حجم و مسئولیت ناشی از زباله‌های فضایی

یکی از چالش‌های اساسی در نظام حقوق فضایی، نبود تعریفی دقیق از اشیاء فضایی و تمایز آن‌ها با زباله‌های فضایی است. به‌عنوان مثال، مسئولیت دولت‌ها در قبال خطرات ناشی از اشیاء فضایی که از کارافتاده و رها شده‌اند، به‌وضوح مشخص نیست. همچنین هیچ معیار یا ضابطه‌ای برای اندازه‌گیری و ارزیابی حجم و میزان زباله‌های فضایی تدوین نشده است. گزارش‌های مراکز تحقیقاتی نشان می‌دهد که برای احراز مسئولیت بین‌المللی دولت‌ها لازم است زباله‌های فضایی در حجم انبوه تولید شده باشند؛ اما هنوز ضابطه‌ای برای تعیین این حجم وجود ندارد. به همین دلیل، بسیاری از حقوق‌دانان پیشنهاد می‌کنند که در این موارد به جای مسئولیت مبتنی بر تقصیر، از مسئولیت مطلق استفاده شود. از سوی دیگر، برای ایجاد نهاد مسئولیت، باید عملی به یک دولت نسبت داده شود. این امر نیازمند شناسایی عامل خطر زباله‌ها است. یکی از چالش‌های عملی در انتساب زباله‌های فضایی به دولت پرتاب‌کننده، شناسایی آن‌هاست. شناسایی و ردیابی زباله‌های کوچک یا زباله‌هایی که فاقد علائم مشخص هستند، به‌شدت دشوار است. در این زمینه، استفاده از سیستم‌های پایش جهانی موجب شناسایی زباله‌های فضایی و انتشار اطلاعات مربوط به آن‌ها می‌شود. سیستم‌ها به‌صورت مداوم زباله‌ها را پایش کرده و در زمان بروز خطر، اطلاعات لازم را در اختیار قربانیان قرار خواهند داد. با استفاده از بلاکچین خصوصی بر اساس پروتکل اتریوم، سیستمی ایجاد می‌شود که در آن حسگرها با یک دستگاه هوشمند ارتباط برقرار می‌کنند که سوابق همه رویدادها را روی بلاکچین می‌نویسد.^{۳۹} در حال حاضر، ناسا، آژانس فضایی اروپا و دیگر آژانس‌های فضایی در تلاش‌اند تا ظرفیت‌هایی برای ردیابی این زباله‌ها ایجاد کنند. پس از شناسایی زباله‌ها، انتساب آن‌ها به دولت پرتاب‌کننده آسان‌تر خواهد شد و دولت مربوطه مسئولیت جبران خسارت ناشی از آن را بر عهده خواهد داشت. به‌طور کلی می‌توان گفت که زباله‌های فضایی، نظام حقوق فضایی را با چالش‌های زیر مواجه کرده‌اند: (۱) افزایش احتمال برخورد زباله‌های کوچک با

37. Proof of work

38. Proof of stake

39. K.N., Griggs, O., Ossipova, C.P., Kohlios A.N., Baccarini, E.A., Howson and T., Hayajneh, "Healthcare Blockchain System Using Smart Contracts For Secure Automated Remote Patient Monitoring", *Journal of Medical Systems*. 1, 42 (2018):129.

ایستگاه‌های فضایی؛ ۲) ماندگاری طولانی زباله‌ها و فقدان دستورالعمل‌ها و استانداردهایی برای جمع‌آوری آن‌ها؛ ۳) ناکارآمدی اسناد حقوقی و معاهدات فضایی در جلوگیری از خطرات احتمالی؛ ۴) نبود سیستم پایش جهانی با قدرت تفکیک بالا برای شناسایی و رصد مداوم زباله‌ها؛ ۵) نبود قوانین و مقررات لازم‌الاجرا برای انتساب مسئولیت و روش‌های جبران خسارت؛ ۶) فقدان رویکرد جهانی همگرا برای حفاظت از محیط‌زیست؛ ۷) عدم اجرای رهنمودها و طرح‌های پیشنهادی مراکز علمی و نهادهای مرتبط برای کاهش زباله‌های فضایی. بلاکچین به‌عنوان پایگاه داده غیرمتمرکز که شامل اطلاعات مربوط به هر شیء فضایی است، عمل می‌نماید. هر شیء فضایی، یک کد شناسایی منحصر به فرد مانند QR code یا RFID است که به‌راحتی قابل ردیابی و شناسایی است. این امر موجب شناسایی زباله‌های فضایی و تفکیک آن‌ها از اشیاء فعال می‌شود. با استفاده از بلاکچین، تمام فعالیت‌های مرتبط با هر شیء فضایی مانند پرتاب، تعمیرات و تغییرات وضعیت به‌طور دائمی ثبت می‌شود. چنین سوابقی در مواقع بروز مشکلات یا تصادفات به‌عنوان مدرک قانونی استفاده می‌شود. در صورت وقوع حادثه‌ای ناشی از زباله‌های فضایی، اطلاعات موجود در بلاکچین به شناسایی نهاد یا کشوری که مسئولیت آن شیء را بر عهده دارد، کمک می‌نماید. با ترکیب بلاکچین با فناوری‌های حسگر و اینترنت اشیاء (IoT)، می‌توان سامانه پایش بلادرنگ برای زباله‌های فضایی ایجاد نمود. سامانه‌های توزیع انرژی می‌توانند از زنجیره بلوکی برای کنترل از راه دور جریان انرژی به یک منطقه خاص با نظارت بر آمار استفاده از آن منطقه استفاده کنند.^{۴۰} حسگرها اطلاعاتی مانند موقعیت، سرعت و مسیر زباله‌ها را جمع‌آوری کرده و به بلاکچین ارسال می‌نمایند. داده‌ها برای تحلیل الگوهای حرکت زباله‌های فضایی و پیش‌بینی تصادفات احتمالی استفاده می‌شوند. یکی از ویژگی‌های کلیدی بلاکچین، غیرقابل‌تغییربودن داده‌ها پس از ثبت آن‌هاست. ویژگی مذکور باعث می‌شود که همه طرف‌ها بتوانند به اطلاعات موجود در بلاکچین اعتماد و از صحت آن اطمینان حاصل کنند. اطلاعات موجود در بلاکچین به‌صورت عمومی قابل دسترس است. بنابراین سازمان‌ها و دولت‌ها به‌راحتی می‌توانند به اطلاعات مربوط به زباله‌های فضایی دسترسی داشته و از آن‌ها استفاده کنند. بلاکچین، سامانه ثبت ادعاهای خسارت ناشی از زباله‌های فضایی (شامل فرم‌های الکترونیکی برای ثبت ادعاها، ارزیابی خسارات و روند پرداخت جبران خسارت) ایجاد می‌کند. با استفاده از بلاکچین، کاربران، وضعیت ادعای خود را در هر زمان پیگیری نموده و از پیشرفت آن مطلع می‌شوند. کشورهای مختلف، خواهند توانست اطلاعات مربوط به زباله‌های فضایی را در شبکه مشترک به اشتراک گذاشته و بهترین شیوه‌ها را تبادل کنند. بلاکچین موجب ثبت توصیه‌ها و طرح‌های علمی مرتبط با مدیریت زباله‌های فضایی می‌شود.

40. T., Alladi, V., Chamola, JJ., Rodrigues and S.A., Kozlov, "Blockchain in Smart Grids: A Review on Different Use Cases", *Sensors*. 22 Jan 4867; (2019): 1.

ب. فناوری بلاکچین و اصول معاهداتی

با شروع انقلاب صنعتی، بهره‌برداری نامتعارف از منابع زمینی، هوایی و دریایی آغاز شد. پیشرفت سریع فناوری‌ها، دسترسی انسان را به فضا هموار کرد و فرصت‌های زیادی برای اکتشاف فضای ماورای جو بر روی بشر گشود. هنگامی که فعالیت‌های فضایی در فضا شروع شد، کمتر کسی نگران آثار زیست‌محیطی این فعالیت‌ها بود.^{۴۱} ورود بشر به عرصه فضای ماورای جو در ابتدا بر اساس رقابت‌های بین قدرت‌های بزرگ در زمان جنگ سرد بنا شد. بخش عمده مقتضیات و نیازهای آن زمان ایجاب می‌کرد تا معاهدات و قوانینی در این راستا تدوین شود که به موجب آن‌ها تا حد ممکن از بروز مخاصمات و مشکلات جدی جلوگیری شود.^{۴۲} از ابتدای شروع فعالیت‌های بشر در فضای ماورای جو، دغدغه حمایت از محیط‌زیست فضا و استفاده صلح‌جویانه از آن وجود داشت و نگرانی دولت‌ها نسبت به رعایت مسائل زیست‌محیطی در اسناد حقوق فضا انعکاس یافت. به‌عنوان مثال، می‌توان اصول اساسی و مقررات زیربنایی حفاظت از محیط‌زیست فضا را در معاهده فضا یافت. به‌طور خاص، مواد ۱ و ۲ و ۴ معاهده فضا با درج قید رعایت مقررات حقوق بین‌الملل و استفاده صلح‌آمیز از فضا توانست تأثیر فراوانی بر محدودسازی آلودگی محیط فضا بگذارد. از این میان، مهم‌ترین مقررۀ معاهده فضا ماده ۹ است که آلودگی فضای ماورای جو و محیط‌زیست کره زمین را غیرقانونی اعلام می‌کند. البته در پیش‌نویس ماده ۹ صرفاً به آلودگی‌های زیست‌شناختی و شیمیایی و رادیواکتیو توجه شده بود و آلودگی‌های ناشی از زباله‌های فضایی از دید تدوین‌کنندگان مغفول مانده بود. ماده ۹ تنها ماده‌ای است که به‌طور مستقیم به حمایت از محیط‌زیست فضای ماورای جو می‌پردازد. این ماده از دولت‌ها خواسته است استانداردها و دستورالعمل‌هایی را برای جلوگیری از ایجاد و تجمع زباله‌های فضایی تدوین کنند و در مواقعی که ممکن است فعالیت‌های فضایی آنان، خطرات بالقوه‌ای برای محیط‌زیست ایجاد نماید یا با فعالیت‌های سایر کشورها تداخل داشته باشد، تعهد به مشاوره و اطلاع‌رسانی را ضروری می‌شمارد. بنابراین ماده ۹ الزام دوگانه‌ای را به دولت‌ها تحمیل می‌کند. اعضای معاهده باید اکتشافات خود را طوری انجام دهند که از بروز آلودگی پیش رو و آلودگی پشت سر اجتناب شود و هر جا که ضروری باشد، اقدامات مقتضی را به عمل آورند. همچنین موافقت‌نامه نجات، فاقد مقررۀ خاص برای موضوع محیط‌زیست است ولی برای تأمین کمک به فضانوردان در معرض خطر که ممکن است قربانی حوادث ناشی از مسائل زیست‌محیطی شوند، روش‌های خاصی را پیش‌بینی کرده است. بند ۴ ماده ۵ موافقت‌نامه نجات تصریح می‌کند: «اگر دولت طرف معاهده به این باور برسد که شیئی که در فضای خارجی یا اطراف

۴۱. محمدرضا حسینی، نظام حقوقی فضای ماورای جو (چالش‌ها و رهیافت‌ها)، (تهران: نشر میزان، ۱۳۹۳)، ۲۵۵.

۴۲. الهام امین‌زاده، قانونگذاری ملی در حقوق بین‌الملل فضا، (تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۰۱)، ۳۹.

زمین پیدا شده، خطرناک و مضر است، باید دولت پرتاب‌کننده شیء را سریعاً مطلع سازد تا بلافاصله اقدامات لازم را برای پیشگیری از آسیب‌های احتمالی به عمل آورد». با استناد به این ماده، اگر شیء فضایی در منطقه خارج از قلمرو حاکمیت دولتی کشف شود، دولت‌ها هیچ الزامی برای برطرف کردن خطر احتمالی نخواهند داشت. پس از معاهده فضا، مهم‌ترین سند متضمن مقررات مربوط به محیط‌زیست، موافقت‌نامه ماه است. در این توافقنامه نیز همانند معاهده فضا تأکید شد اجرام آسمانی باید فقط برای اهداف صلح‌آمیز استفاده شوند؛ استقرار سلاح‌های کشتار جمعی و پایگاه‌های نظامی در ماه، ممنوع است و دولت‌ها در اکتشاف و استفاده از ماه، ملزم‌اند از آلودگی محیط‌زیست جلوگیری کنند. اگرچه در حال حاضر ماده ۹ معاهده فضا، چارچوب حقوقی مناسبی برای حفاظت از محیط‌زیست را هم در عرصه فضا و هم بر روی زمین تبیین کرده است، ماده ۷ توافقنامه ماه نیز آن را تکمیل نموده و اضافه می‌کند کشورهای عضو باید اقدامات لازم را برای جلوگیری از اختلال در تعادل سامانه اجرام آسمانی و آسیب به محیط‌زیست زمین به عمل آورند. این مقرر به‌طور مستقیم به ملاحظات زیست‌محیطی نمی‌پردازد اما بر لزوم انجام اقداماتی جهت کاهش آثار زیان‌بار بر محیط‌زیست زمین از طریق وارد کردن مواد فرازمینی تأکید ورزیده است. افزون بر این در مورد پدیده‌هایی که ممکن است جان و سلامت انسان‌ها را به مخاطره افکند، در بند ۲ ماده ۵ توافقنامه ماه، هشدارهای لازم داده شده است. در حال حاضر، نبود سیستم مقررات جامع و یکپارچه باعث تنش‌ها و ناهماهنگی‌هایی در مدیریت زباله‌های فضایی و آلودگی‌های محیط‌زیست شده است. با بهره‌گیری از بلاکچین می‌توان پایگاه داده شفاف، غیرقابل تغییر و توزیع شده برای ثبت و ذخیره‌سازی اطلاعات مربوط به فعالیت‌های فضایی و آلودگی‌ها ایجاد کرد. این پایگاه داده، شامل اطلاعاتی نظیر: الف) مکان دقیق زباله‌های فضایی؛ ب) نوع و مقدار زباله‌ها؛ پ) منشأ زباله‌ها و ت) پیشرفت در اقدامات پاک‌سازی است. شفافیت در ثبت اطلاعات به دولت‌ها و سازمان‌ها کمک می‌کند که از طریق تحلیل داده‌ها، منابع آلودگی را شناسایی کرده و اقداماتی مؤثر جهت جلوگیری از آلودگی‌های بیشتر اتخاذ کنند. ماده ۹ معاهده فضا به کشورها این الزام را می‌دهد که باید از هرگونه فعالیت فضایی که ممکن است به آلودگی فضایی و خطرات زیست‌محیطی بینجامد جلوگیری کنند و در عین حال، اطلاعات کافی برای مشاوره در مورد خطرات موجود را به اشتراک بگذارند. بلاکچین، الگوریتم‌هایی برای شناسایی و تجزیه و تحلیل داده‌ها ایجاد می‌کند و به مقامات قابلیت می‌دهد تا از وقوع حوادث زیست‌محیطی جلوگیری کنند. فناوری بلاکچین، امکان به اشتراک‌گذاری اطلاعات به صورت غیرمتمرکز و با قابلیت دسترسی همگانی را فراهم می‌آورد. بنابراین، کشورها به راحتی می‌توانند اطلاعاتی در مورد خطرات ناشی از فعالیت‌های فضایی و زباله‌های فضایی را با یکدیگر به اشتراک بگذارند و از تجربیات دیگر کشورها بهره‌مند شوند. موافقت‌نامه نجات، به عنوان یکی از اسناد بین‌المللی در زمینه حقوق فضایی، تأکید زیادی

بر ضرورت نجات فضاوردان و ارائه یاری به آنان در صورت بروز حوادث در فضا دارد. اما در این موافقت‌نامه به‌طور خاص به حفاظت از محیط‌زیست فضایی و ساماندهی زباله‌های فضایی پرداخته نشده است. در اینجا است که فناوری بلاکچین می‌تواند به‌طور مؤثری در ایجاد مقررات خاص و قوی‌تر جهت حفاظت از محیط‌زیست فضایی کمک کند. با استفاده از فناوری بلاکچین می‌توان قراردادهای هوشمندی ایجاد کرد که به‌صورت خودکار و بر اساس پیش‌شرط‌های تعریف‌شده، اقداماتی برای حفاظت از محیط‌زیست را در هنگام عملیات‌های فضایی الزامی کنند. در خصوص مفهوم پیمان هوشمند یا دفترکل باید گفت که این مفاهیم از ویژگی‌های شاخص بلاکچین هستند که فواید زیادی به همراه دارند.^{۴۳} چنین قراردادهایی شامل شرایط خاصی هستند که تعیین می‌کند چگونه مأموریت فضایی باید اجرا شود تا حداقل آسیب به محیط‌زیست فضایی وارد شود. قراردادهای هوشمند می‌توانند به‌وضوح مسئولیت‌های بازیگران مختلف در عملیات فضایی را مشخص کنند. به این ترتیب اگر یک کشور یا یک سازمان به تعهدات خود عمل نکند و به محیط‌زیست فضایی آسیبی برساند، مسئولیت آن به‌طور مشخص تعیین خواهد شد. با ثبت اطلاعات مرتبط با هر مأموریت فضایی و استفاده از قراردادهای هوشمند، می‌توان به‌سادگی رصد کرد که چه اقداماتی انجام شده و آیا تعهدات به‌درستی دنبال شده‌اند یا خیر. از آنجا که موافقت‌نامه نجات به‌صراحت به چالش‌های زیست‌محیطی فضایی نمی‌پردازد، فناوری بلاکچین به‌عنوان ابزار توسعه‌دهنده برای ایجاد چارچوب‌های قانونی جدید به کار می‌رود. چنین چارچوب‌هایی می‌توانند به اقدامات حفاظت از محیط‌زیست و کاهش زباله‌های فضایی یاری رسانند و در عین حال، الزامات حقوقی لازم را برقرار سازند. تضاد میان حقوق حاکمیتی کشورهای مختلف و مسئولیت‌های زیست‌محیطی، یکی از چالش‌های جدی در حقوق فضایی است. از یک سو کشورها حق دارند بر فضای خارج از جو خود و فعالیت‌های فضایی که به نام آن‌ها انجام می‌شود، نظارت داشته باشند و از منافع ملی خود دفاع کنند و از سوی دیگر، بر اساس مقررات بین‌المللی، کشورها مسئولیت‌هایی در قبال حفظ محیط‌زیست فضایی دارند که ممکن است با حقوق حاکمیتی آنان در تضاد باشد. کشورها به‌طور طبیعی تمایل دارند که بر شیء‌های فضایی که مربوط به آن‌هاست، حاکمیت داشته باشند و نسبت به فعالیت‌های فضایی که در مدار زمین یا در فضا انجام می‌دهند، حق مالکیت قائل باشند. این نوع از حاکمیت، باعث مشکلاتی می‌شود، به‌ویژه زمانی که بقایای زباله‌های فضایی یا آلودگی‌های ناشی از مأموریت‌های فضایی به فضا اضافه می‌شود. در صورت وقوع اتفاقاتی که ممکن است به محیط‌زیست فضایی آسیب برساند، مانند وقوع تصادفاتی که منجر به تجزیه زباله‌های فضایی می‌شود، مسئولیت‌پذیری کشورهای ذی‌نفع، مبهم می‌ماند. فناوری بلاکچین با ارائه یک بستر

توزیع شده و غیرمتمرکز، موجب تسهیل و شفاف‌سازی مسئولیت‌های بین‌المللی و نظارت بر تأثیرات زیست‌محیطی می‌شود. با استفاده از بلاکچین، اطلاعات مربوط به فعالیت‌های فضایی، نظیر پرتاب‌ها، زباله‌های تولیدشده و آلودگی‌های ناشی از آن‌ها، به‌صورت دائمی و غیرقابل تغییر، ثبت می‌شود. فناوری بلاکچین به کشورها و سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که به‌راحتی اطلاعات را با یکدیگر به اشتراک بگذارند و از تغییرات به‌وجودآمده در نتیجه فعالیت‌های فضایی باخبر شوند. شفافیت، تنش‌های بین‌المللی را کاهش می‌دهد و زمینه‌ساز همکاری‌های مؤثرتر در زمینه حفاظت از محیط‌زیست فضایی می‌شود. کشورها می‌توانند با استفاده از بلاکچین، مشترکاً به تدوین و اجرای استانداردهای بین‌المللی برای مدیریت محیط‌زیست فضایی بپردازند. با به‌کارگیری قراردادهای هوشمند، کشورها و شرکت‌ها می‌توانند به‌صورت خودکار و بر اساس شرایط تعریف‌شده، مسئولیت‌های زیست‌محیطی خود را در عملیات فضایی پیگیری کنند. به این ترتیب، مسئولیت‌های مشترک به‌وضوح تعیین شده و نظارت بر اجرای آن‌ها تسهیل می‌شود. با رشد تمایل برای استخراج منابع از سیارک‌ها و دیگر اجرام فضایی، نگرانی‌هایی درباره تخریب زیست‌بوم‌های فضایی به وجود آمده است. چنین نگرانی‌هایی به‌ویژه در مورد تأثیرات منفی بر محیط‌زیست فضایی و حقوق مالکیت بر منابع طبیعی افزایش یافته‌اند. استخراج بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی موجب تخریب محیط‌زیست فضایی، تغییر در ساختار اجرام فضایی و از بین رفتن تنوع زیستی (اگر وجود داشته باشد) می‌شود. بلاکچین، امکان ثبت دقیق و غیرقابل تغییر اطلاعات مربوط به فعالیت‌های استخراج منابع را فراهم می‌کند. یکی از چالش‌های اصلی در استخراج منابع فضایی، تعیین حقوق مالکیت بر این منابع است. بلاکچین به‌عنوان زیرمجموعه از فناوری دفترکل توزیع‌شده، بر توزیع‌بودن گره‌ها مبتنی است.^{۴۴} با استفاده از بلاکچین، اطلاعات مربوط به استخراج منابع فضایی به‌صورت شفاف در دسترس تمامی کشورها و سازمان‌های بین‌المللی قرار خواهد گرفت. شفافیت داده‌ها باعث می‌شود که کشورها بتوانند به‌راحتی وضعیت فعالیت‌های استخراج را پایش کنند و در صورت مشاهده تخلفات یا نادیده‌گرفتن قوانین، اقداماتی انجام دهند. همچنین این همکاری به ایجاد توافقات بین‌المللی قوی‌تر برای حفاظت از منابع طبیعی در فضا می‌انجامد. کشورهای مختلف باید با کنوانسیون‌های بین‌المللی، مانند معاهده اصول استفاده از فضای ماورای جو، هماهنگ باشند. کنوانسیون‌ها به منظور حفاظت از محیط‌زیست فضایی و استفاده پایدار از منابع فضایی طراحی شده‌اند. عدم هماهنگی یا نادیده‌گرفتن قوانین، موجب تنش‌های بین‌المللی، تخریب محیط‌زیست فضایی و ایجاد مشکلات حقوقی می‌شود. بلاکچین، امکان ثبت تمامی توافقات، معاهدات و قوانین بین‌المللی را به‌صورت غیرقابل تغییر فراهم می‌کند. به این ترتیب، شفافیت در فرآیندهای حقوقی

44. Anastasiia Lastovetska, "Blockchain Architecture Basics: Components, Structure, Benefits & Creation", January 5, 2021.

و سیاسی تقویت می‌شود. با ثبت فعالیت‌های فضایی و اطلاعات مربوط به رعایت قوانین در بلاکچین، نهادهای نظارتی به راحتی می‌توانند انطباق کشورها با کنوانسیون‌های بین‌المللی را پایش کنند. چنین موضوعی به کشورهای عضو، این امکان را می‌دهد که از رفتارهای غیرقانونی یا نقض حقوق دیگر کشورها جلوگیری کنند و در صورت لزوم، اقدامات قانونی را انجام دهند. در صورت بروز تغییرات یا اصلاحات در کنوانسیون‌های بین‌المللی، بلاکچین این تغییرات را به طور فوری و دقیق ثبت می‌کند. ویژگی مذکور، موجب می‌شود تا کشورها از آخرین وضعیت قوانین مطلع شوند و به روزرسانی‌های لازم را در سیاست‌های خود اعمال کنند. طی بررسی‌های صورت گرفته بر بستر بلاکچین بیت کوین، احتمال حمله به بلاک‌ها بعد از حدود ۲۰ بلاک صحیح، تقریباً به صفر می‌رسد.^{۴۵}

نتیجه

با پیچیدگی‌های روزافزون فعالیت‌های فضایی و افزایش تعداد بازیگران غیردولتی در این عرصه، چالش‌های حقوقی متعددی ایجاد شده که ضرورت تجدیدنظر در چارچوب‌های موجود را به وجود آورده است. در این راستا، بلاکچین به عنوان ابزار مؤثر در رفع این چالش‌ها عمل می‌کند. بلاکچین با توانایی ثبت اطلاعات به صورت غیرقابل تغییر و شفاف، معیارهای دقیقی برای جبران خسارت ایجاد می‌کند. شفافیت اطلاعات، از احتمال تفسیرهای مختلف درباره میزان خسارت می‌کاهد و به تعیین مسئولیت دقیق‌تر در حوادث فضایی یاری می‌رساند. ثبت دقیق عملکردها و تجزیه و تحلیل آن‌ها به هنگام بروز حوادث، امکان ارزیابی عادلانه و معقول مسئولیت‌ها را فراهم می‌آورد، بدون اینکه نیاز به اثبات تقصیر باشد. عملکرد نهادهای نظارتی و دولتی با استفاده از بلاکچین، ارتقا می‌یابد. نظارت بر فعالیت‌های فضایی به شیوه‌ای غیرمتمرکز و شفاف، قواعد بین‌المللی را تقویت نموده و از تضادهای قانونی جلوگیری می‌کند. چنین امری موجب رویکرد یکپارچه برای نظارت و کنترل فعالیت‌های فضایی بین‌المللی می‌شود. بلاکچین با قابلیت‌های منحصر به فرد خود به جلوگیری از تخلف و افزایش مسئولیت‌پذیری در بین بازیگران این عرصه یاری می‌رساند. با توجه به رشد روزافزون فعالیت‌های فضایی و چالش‌های محیط‌زیستی ناشی از آن، ضرورت بررسی و تحلیل راهکارهای مؤثر در مدیریت این چالش‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. فناوری بلاکچین به عنوان نوآوری بنیادی، به‌ویژه برای مقابله با مشکلات محیط‌زیستی در حقوق بین‌الملل فضا، امکانات زیادی ارائه می‌دهد.

45. P., Yingyu, "Mathematical Derivation and Analysis of Success Probability of Bitcoin Attack", School of Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China, International Conference on Network, Communication, Computer Engineering (NCCE 2018).

نخستین دستاورد بلاکچین در رفع چالش‌های محیط‌زیستی، شفافیت و قابلیت ردیابی است. در حالی که آلودگی‌ها و زباله‌های فضایی به یکی از جدی‌ترین دغدغه‌های جهانی تبدیل شده‌اند، بلاکچین امکان نظارت دقیق بر منابع و فعالیت‌های فضایی را فراهم می‌آورد. با ثبت داده‌های معتبر و غیرقابل تغییر در بلاکچین، اعتماد عمومی به اطلاعات مرتبط با محیط‌زیست فضایی افزایش می‌یابد و مؤسسات با بهره‌وری بیشتری به مدیریت آلودگی‌ها می‌پردازند.

دومین مزیت بلاکچین در این زمینه، بهبود مدیریت داده‌ها و اطلاعات است. با ایجاد پایگاه داده توزیع شده و نامتمرکز، امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌های محیط‌زیستی به صورت یکپارچه و هماهنگ فراهم می‌شود. چنین موضوعی نه تنها به تقویت ارزیابی خطرات و مدیریت بحران‌ها یاری می‌رساند، بلکه زمینه را برای تصمیم‌گیری‌های علمی و پژوهشی بهینه فراهم می‌آورد.

سومین مزیت این است که بلاکچین با امکان ایجاد و اجرای قراردادهای هوشمند، اصول مشترکی را برای تمامی بازیگران فعال در زمینه فعالیت‌های فضایی و محیط‌زیستی تعریف می‌کند. قراردادهای هوشمند، تضمینی برای رعایت قوانین و اصول محیط‌زیستی هستند و به خودکارسازی فرآیندهای پیچیده یاری می‌رسانند. به این ترتیب، زمان و هزینه‌های مربوط به نظارت و اجرای مقررات به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، بلاکچین، زمینه‌ساز تشکیل جوامع و مجامع خودنظم‌دهی است. چنین جوامعی می‌توانند به طور مستقل و در سطح بین‌المللی بر مبنای اطلاعات موجود در بلاکچین فعالیت کرده و بر فعالیت‌های محیط‌زیستی نظارت کنند. همچنین از طریق تسهیل همکاری‌های بین‌المللی، بلاکچین بستر مرکزی برای تبادل اطلاعات و تجربیات بین کشورها و نهادها فراهم می‌آورد که به شکل‌گیری رویکرد هماهنگ و کارآمد در مدیریت چالش‌های محیط‌زیستی خواهد انجامید.

منابع:

الف. فارسی

۱- کتاب

۱. الهویی نظری، حمید، *حقوق بین‌الملل عمومی*، تهران: نشر دادگستر، ۱۳۹۲.
۲. امین‌زاده، الهام، *قانونگذاری ملی در حقوق بین‌الملل فضا*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۰۱.
۳. _____، *حقوق بین‌الملل فضا (معاهده فضا ماورای جو)*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.
۴. حسینی، محمدرضا، *نظام حقوقی فضای ماورای جو (چالش و رهیافت)*، تهران: انتشارات میزان، ۱۳۹۳.
۵. خسروی، مجید، *هوا و فضا از دیدگاه حقوقی*، تهران: انتشارات سازمان عقیدتی سیاسی ارتش ج.ا.ا، ۱۳۸۱.
۶. فیروزی، مهدی، *حق بر محیط‌زیست*، تهران: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۵.
۷. نواده توپچی، حسین، *حقوق بین‌الملل فضا*، تهران: انتشارات خرسندی، ۱۳۹۰.

۲- مقاله

۱. امین‌زاده، الهام و یونس علاقه‌بند حسینی، «تحولات هنجارسازی در حقوق بین‌الملل فضا با نگاهی به قطعنامه ۱۹۹۲ اصول مربوط به بهره‌برداری از انرژی هسته‌ای در فضای ماورای جو»، *فصلنامه مطالعات حقوق عمومی* ۴۶، شماره ۱ (۱۳۹۵).
<https://doi.org/20.1001.1.24238120.1395.46.1.8.1>
۲. جلالی، محمود و علی آقاحسینی، «حقوق بین‌الملل فضا و ضرورت حفظ محیط‌زیست فضایی»، *فصلنامه مطالعات حقوق عمومی* ۴۶، شماره ۳ (۱۳۹۵).
<https://doi.org/10.22059/jpls.2016.59478>
۳. حاجی شیخی، امیرحسین و مهدی جعفری ندوشن، «کاربرد بلاکچین در توسعه صنعت فضایی»، *نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن هوافضای ایران*، تهران، (۱۴۰۰).
<https://www.google.com/amp/s/civilica.com/doc/1362375/amp/>
۴. محمودی، سیدهادی، «تأثیر فناوری‌های علمی بر توسعه و تحول حقوق بین‌الملل فضایی»، *فصلنامه پژوهش حقوق* ۱۳، شماره ۳۲ (۱۳۹۰).
<https://sid.ir/paper/225230/fa>

ب. انگلیسی

- Books

1. Anil Surdi, S. "Space Situational Awareness tThrough Blockchain Technology", in *The First International Orbital Debris Conference*, Houston, TX, US, 2019.
2. Bikos, A. N., & S.A. Kumar. "Enhancing Space Security Utilizing the Blockchain: Current Status and Future Directions". In *2022 IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE)*, 2022.
3. Gorove, S. *Developments in Space Law* Martinus Nijhoff Publications, the Netherland, 1991.
4. Karen L. Jones. *Blockchain: Building Consensus and Trust Across the Space Sector*, 35th Space Symposium, Technical Track, Colorado Springs, Colorado, United States of America Presented, 2019.
5. Lianos, I. & P. Hacker & S. Eich & G. Dimitropoulos. *Regulating Blockchain: Techno-Social and Legal Challenges*. Oxford: Oxford University Press, 2019.
6. Lyall, F. *Protection of the Space Environment and Law*, 42nd Proc. IISL; 2000.
7. Tronchetti, F. "Annex 2 - Treaty on Principles Governing The Activities of States. In The Exploration And Use of Outer Space, Including The Moon And Other Celestial Bodies". In *The Exploitation of Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies*. Leiden, The Netherlands: Brill / Nijhoff, 2009.
8. Wangchen, R.B. *Protection of the Outer Space Environment*, West Bengal National University of Juridical Sciences, 2010.
9. Wood, S. "The Scope of International Obligations to Extend Rescue Assistance to 'Astronauts' and 'Personnel' Under the Outer Space Treaty and the Return and Rescue Agreement". In *Commercial Uses of Space and Space Tourism*. Cheltenham, United Kingdom: Edward Elgar Publishing, 2017.
10. Yingyu P. *Mathematical Derivation and Analysis of Success Probability of Bitcoin Attack*, School of Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China, International Conference on Network, Communication, Computer Engineering (NCCE), 2018.

- Articles

1. Alladi, T., Chamola, V., Rodrigues, J.J. and Kozlov, SA, "Blockchain in Smart Grids: A Review on Different Use Cases". *Sensors* 22, No. 19, (2019). <https://doi.org/10.3390/s19224862>
2. Bao, Z. & M. Luo & H. Wang & K. K. R. Choo & D. He, "Blockchain-Based Secure Communication for Space Information Networks". *IEEE*

- Network 35, No. 4 (2021). <https://doi.org/10.1109/MNET.011.2100048>
3. Brian R., "Space Governance". *Georgia Journal of International & Comparative Law* 48, No. 3 (2019). <https://digitalcommons.law.uga.edu/gjicl/vol48/iss3/7>
 4. De Filippi, P., & A. Leiter, "Blockchain in Outer Space". *American Journal of International Law* 115, (2021). <https://doi.org/10.1017/aju.2021.63>
 5. Fasan E., "Technical and Policy Issues Related to the Use of the Space Environment". *Journal of Space Law* 23, (1995). <https://airandspace.law.olemiss.edu>
 6. Griggs KN, Ossipova O, Kohlios CP, Baccarini AN, Howson EA, Hayajneh T. "Healthcare Blockchain System Using Smart Contracts for Secure Automated Remote Patient Monitoring". *Journal of medical systems* 42, No. 7, (2018). <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0982-x>
 7. Hyland-Wood, D. & P. Robinson & S. Johnson & C. Hare & B. Henderson & C. Lewicki & R. Saltini, "Blockchain Properties for Near-Planetary, Interplanetary, and Metaplanetary Space Domains". *Journal of Aerospace Information Systems* 17, No. 10 (2020). <https://doi.org/10.2514/1.1010833>
 8. Lyall, F., "State Liability for Outer Space Activities in Accordance with the 1972 Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects". *British Yearbook of International Law* 64, No. 1 (1993). <https://doi.org/10.1093/bybil/64.1.428>
 9. Mulligan, C., & S. Morsfield & E. Cheikosman, "Blockchain for Sustainability: A Systematic Literature Review for Policy Impact". *Telecommunications Policy* 48, No. 2, (2024). <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2023.102676>
 10. Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., & Schiereck, D. "Blockchain". *Business & Information Systems Engineering* 59, No. 3, (2017). <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0467-3>
 11. Yusliwidaka, A. & K. Roisah & J. Setiyono, "State Liability for The Fault Causing Damage in Outer Space". *JED (Jurnal Etika Demokrasi)* 8, No. 3(2023). <https://doi.org/10.26618/jed.v8i3.11398>

- Reports

1. Sir Mark Walport, *Distributed Ledger Technology Beyond Blockchain*, A Report by the UK Government Chief Scientific Adviser, London, England, Government office for science, 2016. <https://assets.publishing.service.gov.uk>

- Other Documents

1. Mosher, D., *Elon Musk Just Revealed New Details About Starlink, A Plan To Surround Earth with 12,000 High-Speed Internet Satellites. Here's How It Might Work*, Business Insider, 2019. <https://www.businessinsider.com/spacex-starlink-satellite-internet-how-it-works-2019-5>

2. Ronald J. Reisman, *Air Traffic Management Blockchain Infrastructure for Security, Authentication, and Privacy*, NASA Ames Research Center Moffett Field, CA, United States, 2019. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190000022>

