

فناوری زنجیره بلوکی در حفظ مالکیت فکری و ثبت تغییرات داده‌های علمی در کتابخانه‌های رقمی

زهره داورزنی^۱، فهیمه دباغی زرنندی^۲

۱. استادیار، مهندسی کامپیوتر، فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول). zohreh.davarzani@pnu.ac.ir **رایانامه:**

۲. استادیار، مهندسی کامپیوتر، فنی مهندسی، ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران، f.dabaghi@vru.ac.ir **رایانامه:**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۶/۲۵ صص: ۴۴-۳۵

چکیده

با افزایش داده‌های علمی در محیط‌های رقمی، حفظ مالکیت فکری و اطمینان از صحت داده‌ها به یکی از چالش‌های اصلی در نظام‌های اطلاعاتی بدل شده است. برای جلوگیری از تغییرات غیرمجاز، جعل هویت و ازدست‌رفتن قابلیت ردیابی نسخه‌ها، کتابخانه‌های رقمی به راهکارهای مؤثرتری نیاز دارند. هدف این پژوهش ارائه یک الگوی مفهومی مبتنی بر زنجیره بلوکی^۱ برای ثبت، رهگیری و اثبات مالکیت داده‌های علمی در کتابخانه‌های رقمی است. در این الگو، با استفاده از الگوریتم‌های هش، داده‌ها و فراداده‌ها رمزنگاری شده و همه تراکنش‌های ثبت، ویرایش یا حذف، در یک زنجیره بلوکی امن و غیرمتمرکز ذخیره می‌شوند. قراردادهای هوشمند، برنامه‌هایی قابل اجرا بر روی زنجیره بلوکی هستند که قواعد مالکیت و سیاست‌های دسترسی را به‌صورت خودکار اعمال می‌کنند. این پژوهش با ارائه‌ی چارچوبی مفهومی، زمینه حفظ مالکیت فکری، ثبت پایدار تغییرات نسخه‌ها و راستی‌آزمایی اصالت داده‌ها و فراداده‌های علمی را در کتابخانه‌های رقمی فراهم کرده و می‌تواند برای طراحی و توسعه سامانه‌های مبتنی بر زنجیره بلوکی در این حوزه استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: زنجیره بلوکی، مالکیت فکری، کتابخانه رقمی، قرارداد هوشمند، امنیت داده‌های علمی.

^۱. Block chain

مقدمه

با رشد سریع تولید علم در فضای رقمی، پژوهشگران و مؤسسات علمی به ثبت و اشتراک داده‌ها در محیط‌های برخط تمایل بیشتری نشان داده‌اند. این تحول، ضمن افزایش دسترسی به اطلاعات، با چالش‌های زیادی مانند حفظ اصالت، مالکیت فکری و یکپارچگی داده‌های علمی روبرو است. در نتیجه، بیش از پیش به ارائه‌ی رویکردی جدید برای مدیریت توزیع‌شده و غیرمتمرکز اطلاعات علمی نیاز است (کابلو و همکاران، ۲۰۱۷). از آنجایی‌که کتابخانه‌های رقمی واسط بین ناشران و کاربران علمی مانند دانشجویان و پژوهشگران هستند، در آموزش و پژوهش جامعه نقش بسزایی دارند؛ اما این کتابخانه‌ها با مشکلاتی اساسی روبرو هستند: بسیاری از سامانه‌های رایج کتابخانه رقمی، فراداده‌های کتابشناختی و اطلاعات سطح خدمت (نظیر ناشر و نوع منبع) را مدیریت می‌کنند. با این وجود، در معماری‌های متمرکز، ردگیری قابل‌اتکا و تغییرناپذیرِ زنجیره مالکیت، تاریخچه نسخه‌ها و ثبت رویدادهای استفاده، به گونه‌ای که امکان راستی‌آزمایی مستقل فراهم شود، با چالش‌هایی مانند وابستگی به مرجع مرکزی، امکان دست‌کاری سوابق و دشواری ممیزی روبرو است (صفدر و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، چنانچه پژوهشگری در تحقیق خود از منابع جعلی یا ساختگی استفاده کند، سامانه از تشخیص یا پیش‌گیری از آن ناتوان است. این مسئله، اخلاق پژوهشی را نقض می‌کند.

در سال‌های اخیر، در حوزه‌ی فناوری زنجیره بلوکی و کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف، مطالعات و پژوهش‌های زیادی انجام شده که دانش گسترده، متنوع و پراکنده‌ای در این حوزه تولید شده است. این فناوری، بدون نیاز به نهاد مرکزی، امکان ذخیره و تأیید داده‌ها را در شبکه‌ای از گره‌ها فراهم کرده و از تغییر یا جعل مالکیت داده‌ها پیشگیری می‌کند. اطلاعات ذخیره‌شده در این فناوری، به‌عنوان بخشی از یک معامله، به گونه‌ای ذخیره می‌شود که به هیچ‌عنوان نمی‌توان آن را تغییر داد مگر آن‌که دو طرف معامله توافق کنند که معامله اصلی را

اصلاح کنند. به همین دلیل، زنجیره بلوکی می‌تواند راه‌حلی مؤثر برای اثبات مالکیت آثار علمی، ثبت تغییرات نسخه‌ها و حفظ اصالت محتوای رقمی در کتابخانه‌های رقمی باشد. زنجیره بلوکی، ساختار نگهداری داده‌های متراکم و انبوه توزیع‌شده و مبتنی بر شبکه است. با این فناوری می‌توان هر نوع اطلاعاتی را به اشتراک گذاشت. به‌طور کلی، برای تبادل اطلاعات مهم و رمزنگاری‌شده، فناوری زنجیره بلوکی راه‌حلی اساسی است. استفاده از فناوری زنجیره بلوکی در مدیریت مجموعه‌های فرهنگی، اعتماد و کارایی را افزایش داده و الگویی مقیاس‌پذیر برای کتابخانه‌های ملی فراهم می‌کند (ترچک، ۲۲۰۲).

پژوهش‌ها نشان داده است که در هر یک از مراحل تولید، پردازش، ذخیره و توزیع اطلاعات در کتابخانه‌های رقمی، فناوری زنجیره بلوکی کاربردهای زیادی دارد. به‌طوری‌که می‌تواند سوابق استفاده‌کنندگان از منابع را ذخیره کرده و برای پیگیری اصول اخلاقی ردیابی کند. در این پژوهش و با تکیه بر دو هدف الف) اثبات و حفاظت از مالکیت فکری آثار علمی و ب) ثبت تغییرات نسخه‌ها و امکان راستی‌آزمایی اصالت داده/ فراداده در کتابخانه‌های رقمی، مبنایی مفهومی مبتنی بر زنجیره بلوکی در کتابخانه‌های رقمی طراحی شده است.

در برخی از مطالعات (صفدر و همکاران، ۲۰۲۳؛ جها، ۲۰۲۳)، کاربردهای مختلف فناوری زنجیره بلوکی در خدمات اطلاعات رقمی و کتابخانه‌ها بررسی شده و بر امنیت این خدمات و حفظ مالکیت آثار تأکید شده است. واراداجن و همکاران (۲۰۲۵) اشاره کرده‌اند که نبود آگاهی فناورانه، نبود نیروهای خبره و محدودیت‌های مالی می‌تواند باعث نپذیرفتن این فناوری در کتابخانه‌ها و آثار رقمی شود. این فناوری همچنین در کتابخانه‌های دانشگاهی نیز کاربردهای فراوانی دارد.

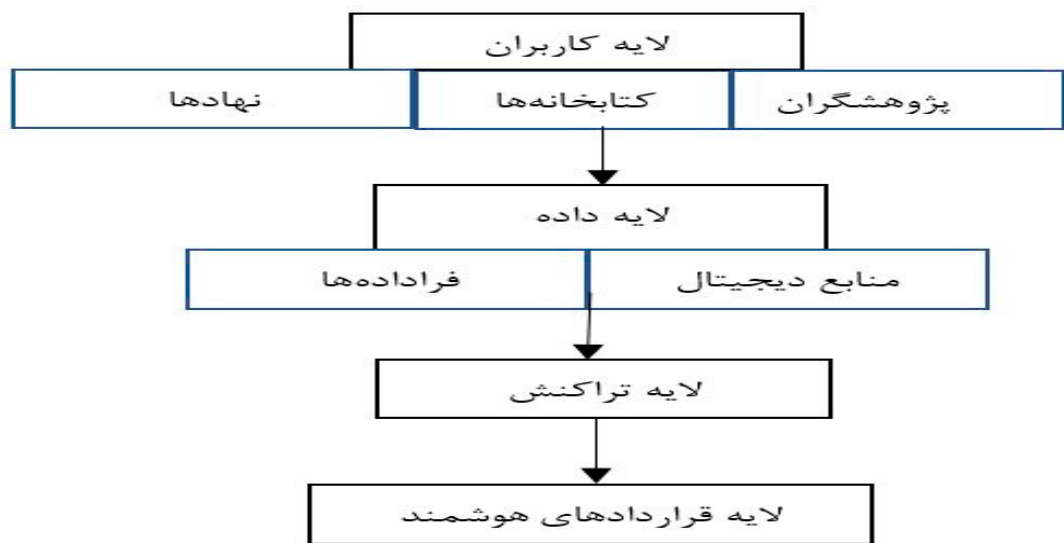
مطالعات بسیاری در زمینه مدیریت حقوق رقمی و حفظ امنیت این آثار انجام شده است. چیان و همکاران (۲۰۲۱) براساس فناوری زنجیره بلوکی، یک الگوی مدیریت حقوق رقمی برای کتابخانه‌های دانشگاهی ارائه دادند. این الگو امکان

ردیابی کامل فرآیند و استفاده از حقوق رقمی را فراهم کرده و با افزایش شفافیت و کارایی، از حقوق صاحبان محتوا محافظت می‌کند. این الگو همچنین می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای مدیریت حقوق رقمی در کتابخانه‌های دانشگاهی استفاده شود. ژو و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی به چالش‌های دزدی دریایی، توزیع غیرقانونی و امنیت در کتابخانه‌های رقمی اشاره کرده و برای حفاظت از حق مولف، سامانه‌ای مبتنی بر زنجیره بلوکی طراحی کردند. این سامانه اطلاعات حق مولف قابل‌اعتمادی ارائه می‌دهد و از طریق احراز هویت منحصربه‌فرد و رمزنگاری حریم خصوصی، امنیت داده‌ها را تأمین می‌کند. همچنین، شیائو و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از فناوری زنجیره بلوکی و به‌منظور معاملات حق مولف رقمی در کتابخانه‌های رقمی، یک سامانه غیرمتمرکز، امن و قابل‌ردیابی طراحی کردند. این سامانه با استفاده از یک معماری چندلایه، به خالقان، مدیران و مشترکین خدمات داده دسترسی دارد و برای ثبت دقیق، نظارت و اجرای معاملات، از قراردادهای هوشمند استفاده می‌کند. در پژوهش تامیل سلوان (۲۰۲۴) نیز چالش‌های سامانه‌های مدیریت حقوق رقمی در کتابخانه‌های رقمی بررسی شده و به مزایای استفاده از فناوری زنجیره بلوکی در تقویت این سامانه‌ها اشاره شده است. با ایجاد یک دفتر کل غیرمتمرکز و تغییرناپذیر، این چارچوب

امکان اجرای خودکار و شفاف قراردادهای هوشمند را فراهم می‌کند. مجوزهای دسترسی، تاریخ انقضاء و شرایط استفاده در قراردادهای هوشمند کدگذاری شده است. این موضوع، امنیت محتوا را افزایش داده و دارایی‌های رقمی را به روشی ساده‌تر و کارآمدتر مدیریت می‌کند.

یافته: الگوی مفهومی پژوهش

در این پژوهش برای استفاده از فناوری زنجیره بلوکی در حفظ مالکیت فکری و ثبت تغییرات داده‌های علمی در کتابخانه‌های رقمی، الگویی مفهومی ارائه شده است. این الگو با رویکرد طراحی‌محور و بر مبنای مرور نظام‌مند ادبیات مرتبط با زنجیره بلوکی در کتابخانه‌ها و مدیریت حقوق رقمی تدوین شده است. ابتدا نیازمندی‌های مسئله شامل اثبات مالکیت، ثبت تغییرات نسخه‌ها، راستی‌آزمایی اصالت و ممیزی‌پذیری، استخراج شد. سپس، اجزای فنی الگو شامل هش، امضاء، دفتر کل توزیع‌شده، اجماع و قرارداد هوشمند به‌صورت یک معماری چهارلایه نگاشته شد. شکل ۱ ساختار الگو مفهومی را نشان می‌دهد. این الگو شامل چهار لایه و هر لایه از اجزای مختلفی تشکیل شده است. در ادامه به تفصیل به هر یک از این لایه‌ها اشاره می‌شود.



شکل ۱. ساختار الگوی مفهومی

لایه کاربران

این لایه رابط تعامل کاربران با سامانه مبتنی بر زنجیره بلوکی است و ازطریق در گاه‌های وب یا سامانه‌های کتابخانه رقمی امکان دسترسی و استفاده از خدمات را فراهم می‌کند. در این لایه کاربران می‌توانند فعالیت‌هایی مانند ثبت آثار علمی، مشاهده سوابق تراکنش‌ها، بررسی اصالت منابع و مدیریت دسترسی به داده‌ها را انجام دهند. برخلاف سامانه‌های سنتی کتابخانه‌های رقمی که کاربران صرفاً با یک پایگاه داده متمرکز تعامل دارند، در الگوی پیشنهادی کاربران به‌عنوان بازیگران فعال در یک بوم‌سازگان غیرمتمرکز تعریف می‌شوند و هر یک در تولید، ثبت، اعتبارسنجی و دسترسی به داده‌های علمی، نقشی مشخص دارند. در این لایه سه گروه اصلی کاربر تعریف می‌شوند:

● پژوهشگران و نویسندگان، که تولیدکنندگان دانش هستند و آثار علمی خود شامل کتاب‌ها، مقالات، پایان‌نامه‌ها و داده‌های پژوهشی را در سامانه ثبت می‌کنند. در این فرآیند، برای هر اثر یک شناسه و هش رمزنگاری‌شده ایجاد و در زنجیره بلوکی ثبت می‌شود که امکان اثبات مالکیت، ردیابی نسخه‌ها و تأیید اصالت داده‌ها را فراهم می‌کند؛

● کتابخانه‌های رقمی، که علاوه بر نگهداری منابع در مخازن رقمی، نقش سازماندهی و مدیریت فراداده، تسهیل ثبت تراکنش‌های مرتبط با منابع علمی در زنجیره بلوکی و فراهم‌سازی دسترسی کنترل‌شده به داده‌ها را برعهده دارند. بدین ترتیب، نقش کتابخانه از یک مخزن صرف ذخیره‌سازی داده به یک نهاد فعال در مدیریت و اعتباربخشی اطلاعات ارتقاء می‌یابد؛

● گره‌های شبکه‌ای، که اجزای زیرساختی سامانه را تشکیل می‌دهند و مسئول اعتبارسنجی تراکنش‌ها و ثبت آن‌ها در دفتر کل توزیع‌شده هستند. این گره‌ها با اجرای سازوکار اجماع و نگهداری نسخه‌ای از زنجیره بلوکی، صحت و تغییرناپذیری سوابق ثبت‌شده را تضمین می‌کنند.

لایه داده

در این لایه، داده‌های علمی و اطلاعات مربوط به هر اثر، ازجمله فایل اصلی، فراداده‌ها، شناسه نویسنده و زمان ثبت در جدول هش رمزگذاری می‌شوند. هر منبع یک شناسه منحصر بفرد مانند شناسگر شیء رقمی^۱ دارد که در زنجیره بلوکی ثبت می‌شود. داده‌های علمی می‌تواند شامل دو گروه زیر باشد:

● منابع رقمی: شامل مقالات، پایان‌نامه‌ها، کتاب‌های الکترونیکی، داده‌های پژوهشی و سایر محتوای رقمی. این منابع، متن کامل یا فایل اصلی آثار علمی است که به‌دلیل حجم بالای داده‌ها در مخازن رقمی یا سامانه‌های ذخیره‌سازی برون‌زنجیره‌ای نگهداری می‌شوند و تنها شناسه یا هش رمزنگاری‌شده آن‌ها برای تضمین اصالت و یکپارچگی در زنجیره بلوکی ثبت می‌شود؛

● فراداده‌ها: شامل اطلاعات توصیفی هر منبع مانند نام نویسنده، سال انتشار، کلیدواژه‌ها، ناشر و سایر مشخصات کتابشناختی است که برای شناسایی، سازماندهی و بازیابی منابع استفاده می‌شوند و در کنار شناسه رمزنگاری‌شده منبع در سامانه ثبت می‌شود.

در الگوی زنجیره بلوکی، به‌جای ذخیره کل داده، فقط هش فراداده در زنجیره ثبت می‌شود تا اصالت و تمامیت آن تضمین شود. هدف از این فرآیند، ایجاد اثر انگشت رقمی برای هر سند علمی و جلوگیری از هرگونه تغییر یا دست‌کاری غیرمجاز در محتوا است. در این مرحله، محتوای اصلی در پایگاه داده کتابخانه ذخیره می‌شود، اما مقدار هش آن به زنجیره بلوکی منتقل می‌شود تا اصالت اثر به‌طور دائمی قابل‌بررسی باشد. هرگونه تغییر در محتوی داده هش جدید ایجاد می‌کند و همه نسخه‌های سند علمی در طول زمان قابل‌رهگیری خواهند بود.

لایه تراکنش

پس از تولید هش، هر عمل مرتبط با چرخه حیات منبع علمی در قالب یک تراکنش در شبکه زنجیره بلوکی ثبت می‌شود. ثبت منبع، به‌روزرسانی فراداده، تغییر مالکیت، و همچنین رویدادهای مرتبط با دسترسی و استفاده از منابع مانند درخواست دسترسی، مشاهده یا دریافت فایل، می‌توانند ازجمله این تراکنش‌ها باشند. هر تراکنش می‌تواند اطلاعاتی مثل شناسه سند، هش محتوای آن، شناسه کاربر یا مالک، زمان رویداد و امضای رقمی باشد.

این تراکنش‌ها در دفتر کل توزیع‌شده ثبت و به‌صورت زنجیره‌ای به تراکنش‌های قبلی متصل می‌شوند. به این ترتیب، سابقه‌ای شفاف و تغییرناپذیر از ثبت، تغییر و استفاده از داده‌های علمی ایجاد می‌شود که امکان ردیابی سوابق، تضمین اصالت منابع و نظارت بر نحوه بهره‌برداری از آن‌ها را فراهم می‌کند. همچنین در این لایه، تراکنش‌های ایجادشده باید ازسوی گره‌های شبکه تأیید شوند تا از صحت و اعتبار آن‌ها اطمینان حاصل شود. باتوجه به اینکه در محیط‌های دانشگاهی یا پژوهشی، شبکه زنجیره بلوکی معمولاً به‌صورت خصوصی یا مجوزمحور پیاده‌سازی می‌شود، استفاده از الگوریتم‌های اجماع سبک و کارآمد مناسب‌تر خواهد بود. این لایه تضمین می‌کند که بدون تأیید شبکه، هیچ تراکنشی در زنجیره ثبت نمی‌شود و همه رویدادهای مرتبط با مدیریت و استفاده از منابع علمی به‌صورت معتبر و قابل‌اعتماد ثبت می‌شوند.

لایه قرارداد هوشمند

قراردادهای هوشمند مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های خودکار هستند که در شبکه زنجیره بلوکی اجرا می‌شوند تا بر حقوق مالکیت و سیاست‌های دسترسی بر داده‌های علمی نظارت کنند.

در این الگو، قراردادهای هوشمند وظایف زیر را برعهده دارند:

● تعریف مالکیت هر داده علمی و تعیین حق دسترسی دیگر کاربران؛

● اجرای خودکار شرایط اشتراک‌گذاری یا واگذاری حق

کاربرد هوش مصنوعی در حوزه تحقیقات گیاهشناسی / مهرنوش پناهی

استفاده؛

● ثبت موارد نقض حقوق مالکیت یا استفاده غیرمجاز؛

● ایجاد اعلان یا ثبت رویداد درصورت تخلف.

برای مثال، اگر نویسنده‌ای داده‌ای خاص را ثبت کرده باشد، تنها با اجازه او یا کتابخانه مالک اثر قابل‌دسترسی خواهد بود. این لایه بُعد حقوقی و قانونی سامانه را به‌صورت هوشمند و خودکار مدیریت می‌کند. به‌عنوان نمونه‌ای دیگر، در اغلب کتابخانه‌ها، امانت‌بین کتابخانه‌ای وجود ندارد. این مسئله باعث می‌شود تا کاربران برای دسترسی و امانت منابع، در کتابخانه‌های مختلف عضو شوند. این فناوری در این زمینه می‌تواند بسیار کارآمد عمل کند؛ یعنی، با عقد قراردادهای هوشمند با موسسات امانت‌دهنده، منابع اطلاعاتی در سراسر جهان به اشتراک گذاشته شده و روند امانت منابع کتابخانه‌ای به‌صورت خودکار انجام می‌شود. قراردادهای هوشمند امکان اجرای تراکنش‌های امن، مدیریت حق مؤلف و نظارت‌بر دسترسی را در بوم‌سازگان کتابخانه رقمی فراهم می‌کنند. در نتیجه، اطمینان حاصل می‌شود که تنها افراد دارای مجوز می‌توانند به دارایی‌های رقمی دسترسی یافته و از آن‌ها استفاده کنند. بنابر این، احتمال دستکاری یا سرقت ادبی کاهش می‌یابد (ژو و همکاران، ۲۰۲۱؛ زنک و همکاران، ۲۰۲۲).

تحلیل تعاملات و جریان‌های بازخوردی در معماری الگو

در الگوی پیشنهادی، هر یک از لایه‌ها با لایه‌های دیگر تعامل دارند. در این بخش جزئیات تعاملات میان این لایه‌ها بیان می‌شود.

لایه کاربران و لایه قرارداد هوشند

نقطه شروع هر کنش در سامانه، لایه کاربران است. وقتی یک پژوهشگر یا مدیر کتابخانه بخواهد یک مدرک علمی را بارگذاری، ویرایش یا در سطوح دسترسی آن تغییر ایجاد کند، ابتدا قراردادهای هوشمند درخواست او را بررسی می‌کنند. این قراردادا به‌عنوان سازوکاری نظارتی و بازخوردی عمل کرده و با بررسی سوابق ثبت‌شده در دفترکل توزیع‌شده، بررسی می‌کنند

که آیا کاربر درخواست‌دهنده، مالک قانونی منبع یا دارای مجوز لازم برای انجام عملیات موردنظر هست یا خیر. درصورت تأیید، درخواست به لایه داده ارسال می‌شود تا پردازش‌های بعدی انجام شود. در غیر این صورت، قرارداد هوشمند با ارسال پیام «عدم دسترسی» به لایه کاربر، از اجرای عملیات جلوگیری می‌کند. این سازوکار بازخوردی، بدون نیاز به مداخله انسانی، امکان اعمال خودکار سیاست‌های دسترسی و حفاظت از حقوق مالکیت فکری را فراهم می‌کند.

لایه قرارداد هوشمند و لایه تراکنش

پس از تأیید درخواست در قرارداد هوشمند، رخداد موردنظر، مثل ثبت اولیه یک منبع یا ایجاد تغییر در نسخه آن، باید به‌صورت رسمی در سامانه ثبت شود. در این مرحله، لایه قرارداد هوشمند، خروجی تأییدشده را در قالب یک تراکنش به لایه تراکنش ارسال می‌کند. لایه تراکنش این رخداد را به همه گره‌های شبکه اعلام می‌کند تا ازطریق سازوکار اجماع، بررسی و تأیید شود. پس از تأیید و ثبت تراکنش در یک بلوک، یک رسید رقمی یا هش تراکنش تولید شده و به لایه قرارداد هوشمند بازگردانده می‌شود. این بازخورد نشان می‌دهد که تغییر موردنظر به‌طور قطعی در دفترکل توزیع‌شده ثبت شده و از این پس به‌عنوان بخشی تغییرناپذیر از تاریخچه سامانه قابل‌مشاهده و استناد است

لایه تراکنش و لایه داده

یکی از نوآوری‌های الگوی پیشنهادی، جداسازی محتوای حجیم داده‌های علمی از سوابق امنیتی زنجیره بلوکی است. در این معماری، لایه داده مسئول ذخیره‌سازی فایل‌های کامل و فراداده‌های منابع علمی است، درحالی‌که اعتبار و یکپارچگی این داده‌ها ازطریق لایه تراکنش در زنجیره بلوکی تضمین می‌شود. پس از آنکه تراکنشی مانند «ویرایش مدرک» در لایه تراکنش با موفقیت ثبت و تأیید شد، شناسه منحصربه‌فرد نسخه جدید و هش مربوط به محتوای آن به لایه داده بازخورد داده می‌شود. درنتیجه،

یک نگاشت سه‌گانه میان شناسه منبع، شماره نسخه و هش محتوا ایجاد می‌شود. این سازوکار بازخوردی باعث می‌شود تا لایه داده همواره نسخه رسمی و تأییدشده هر فایل را شناسایی کند و از جایگزینی غیرمجاز فایل‌ها با نسخه‌های جعلی جلوگیری شود.

لایه داده و لایه کاربران

در این مرحله، کاربران نهایی مانند پژوهشگران، داوران یا نهادهای نظارتی، برای دریافت یک منبع از لایه داده باید از اصالت آن اطمینان حاصل کنند. ازاین‌رو، سامانه به‌صورت خودکار هش فایل دریافت‌شده را مجدداً محاسبه کرده و آن را با هش ثبت‌شده در زنجیره بلوکی، که از لایه تراکنش فراخوانی می‌شود، مقایسه می‌کند. اگر دو مقدار هش کاملاً منطبق باشند، پیام «اصالت تأییدشده» به کاربر نمایش داده می‌شود. در مقابل، در صورت وجود هرگونه تغییر، مقادیر هش متفاوت خواهد بود و سامانه بلافاصله هشدار «احتمال دست‌کاری» صادر می‌کند. این سازوکار بازخوردی، چرخه اعتماد در سامانه را تکمیل کرده و به کاربران امکان می‌دهد بدون اتکا به یک نهاد متمرکز، از صحت و یکپارچگی داده‌های علمی اطمینان حاصل کنند.

دستاوردها و اهمیت کاربردی الگوی پیشنهادی

دستاورد اصلی این پژوهش، ارائه یک الگوی مفهومی چهارلایه مبتنی بر زنجیره بلوکی برای ثبت، ردیابی و راستی‌آزمایی داده‌ها و فراداده‌های علمی در کتابخانه‌های رقمی است. در جدول ۱ کتابخانه‌های رقمی سنتی و کتابخانه‌های مبتنی بر زنجیره بلوکی در الگوی پیشنهادی مقایسه شده‌اند. این الگو با هدف پاسخ به چالش‌های مرتبط با اثبات مالکیت فکری، مدیریت نسخه‌ها و تضمین اصالت براساس ارائه و مقایسه داده‌های رقمی طراحی شده و خروجی‌های مفهومی آن، سازوکارهای عملیاتی مشخصی در چرخه حیات داده علمی است.

جدول ۱. مقایسه سامانه‌های سنتی کتابخانه‌های رقمی در برابر سامانه‌های مبتنی بر زنجیره

معیار مقایسه	سامانه‌های سنتی کتابخانه‌های	الگوی پیشنهادی مبتنی بر زنجیره بلوکی	چالش‌ها / محدودیت‌های الگوی پیشنهادی
ثبت و مدیریت نسخه‌ها	ثبت نسخه‌ها در پایگاه داده داخلی و قابل‌تغییر	ثبت هر نسخه به‌صورت تراکنش همراه با هش رمزنگاری‌شده	نیاز به طراحی دقیق سیاست‌های مالکیت در قراردادهای هوشمند
مدیریت مالکیت فکری	مبتنی بر پایگاه داده متمرکز و سیاست‌های سازمانی	ثبت تغییرناپذیر مالکیت در زمان ایجاد اثر در دفتر کل	نیاز به طراحی دقیق سیاست‌های مالکیت در قراردادهای هوشمند
اصالت و راستی‌آزمایی داده‌ها	وابسته به اعتماد به مدیر سامانه	امکان تأیید اصالت ازطریق تطبیق هش فایل با هش ثبت شده در زنجیره بلوکی	نیاز به سازوکار مناسب برای اتصال مخازن برون‌زنجیره‌ای با زنجیره بلوکی
شفافیت و قابلیت ممیزی	دسترسی محدود به سوابق تغییرات	امکان ردیابی تاریخچه تغییرات و تراکنش‌ها برای گره‌های مجاز	نیاز به مدیریت سطوح دسترسی برای حفظ محرمانگی برخی داده‌ها
کنترل دسترسی و اجرای اعمال دستی یا با نرم‌افزار	اجرای اعمال مرکزی	اجرای خودکار سیاست‌های دسترسی ازطریق قراردادهای هوشمند	پیچیدگی طراحی و به‌روزرسانی قراردادهای هوشمند

در سطح عملیاتی، الگوی پیشنهادی جریان ثبت اثر علمی را به‌صورت نظام‌مند تعریف می‌کند، به‌گونه‌ای‌که هر دارایی علمی پس از ایجاد شناسه و نسخه، ازطریق محاسبه هش رقمی و تولید تراکنش در دفترکل توزیع‌شده ثبت می‌شود. همچنین سازوکار مدیریت نسخه‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده است که با هرگونه ویرایش یا به‌روزرسانی، هش و پیوند نسخه‌ای جدیدی در زنجیره تراکنش‌ها تولید می‌شود. این ویژگی امکان ردیابی دقیق تغییرات در طول زمان را فراهم می‌کند.

ازسوی‌دیگر، الگو برای راستی‌آزمایی اصالت، سازوکار مشخصی ارائه می‌دهد. یعنی، با مقایسه هش محتوای فعلی با هش ثبت‌شده در زنجیره بلوکی، هرگونه تغییر غیرمجاز قابل‌شناسایی خواهد بود. بعلاوه، قراردادهای هوشمند در الگو نقش کلیدی دارند و اجرای خودکار سیاست‌های مالکیت و دسترسی، صدور یا لغو مجوزها و ثبت رخدادهای تخلف را بر عهده می‌گیرند. به‌این‌ترتیب، فرآیندهای نظارتی از حالت سلیقه‌ای و انسانی خارج شده و در قالب قواعد از پیش تعریف‌شده و تغییرناپذیر اجرا می‌شوند. بر مبنای این نتایج مفهومی، دستاوردهای الگوی پیشنهادی را می‌توان در چند محور خلاصه کرد.

۱. افزایش اعتماد در چرخه حیات داده علمی، زیرا ثبت تغییرات

به شکلی تغییرناپذیر، امکان ارجاع به نسخه معتبر و کاهش اختلاف بر سر نسخه صحیح را فراهم می‌کند؛

۲. کاهش خطر دست‌کاری و جعل، چراکه هرگونه تغییر در داده یا فراداده به عدم‌تطابق هش و آشکارشدن تغییر می‌انجامد؛

۳. تقویت ممیزی‌پذیری و پاسخگویی، به این معنا که سوابق ثبت، ویرایش و واگذاری مجوز در قالب تراکنش‌های قابل پیگیری باقی مانده و امکان گزارش‌گیری مدیریتی برای کتابخانه‌ها فراهم می‌شود؛

۴.اجرای یکنواخت و استاندارد سیاست‌های دسترسی ازطریق قراردادهای هوشمند که وابستگی به خطای انسانی یا تصمیم‌گیری‌های سلیقه‌ای را کاهش می‌دهد. در نهایت، الگوی پیشنهادی امکان همکاری بین‌سازمانی را تقویت می‌کند، زیرا هر سازمان می‌تواند بدون نیاز به اعتماد کامل به نهاد مرکزی، اصالت داده را به‌صورت مستقل بررسی کند.

این چارچوب به‌ویژه در حوزه کشاورزی بااهمیت است. این حوزه با طیف گسترده‌ای از داده‌های حساس و متنوع شامل داده‌های مزرعه و اقلیم، نتایج آزمایش‌های خاک و آب، داده‌های آزمایشگاهی، اطلاعات ژرم‌پلاسم و ارقام، و مستندات پروژه‌های تحقیقاتی سروکار دارد. در چنین بستری، تضمین اصالت داده،

ردیابی نسخه‌ها و حفظ مالکیت فکری برای جلوگیری از تحریف نتایج، کاهش خطر سوءاستفاده از داده‌ها و افزایش قابلیت بازتولید پژوهش‌ها اهمیت اساسی دارد.

اهمیت و کاربرد الگوی پیشنهادی در حوزه کشاورزی

بخش کشاورزی بیش از پیش به داده‌های علمی و اطلاعات رقمی وابسته است. داده‌های حاصل از پژوهش‌های مزرعه‌ای، نتایج آزمایش‌های خاک و آب، داده‌های اقلیمی، اطلاعات ارقام و ژرم‌پلاس، و همچنین منابع آموزشی و ترویجی بخش مهمی از زیرساخت دانشی این حوزه را تشکیل می‌دهند. در چنین محیطی، حفظ اصالت داده‌ها، امکان ردیابی تغییرات و نسخه‌ها، و صیانت از حقوق مالکیت فکری پژوهشگران و تولیدکنندگان محتوا اهمیت ویژه‌ای دارد. در صورت نبود سازوکارهای قابل اعتماد برای ثبت و راستی‌آزمایی داده‌ها، احتمال دست‌کاری، انتشار نسخه‌های غیرمعتبر و بروز اختلاف درباره مالکیت یا اعتبار اطلاعات افزایش می‌یابد.

از الگوی پیشنهادی مبتنی بر زنجیره بلوکی می‌توان به‌عنوان چارچوبی برای تقویت شفافیت و اعتماد در مدیریت داده‌های علمی کشاورزی استفاده کرد. در این الگو، با استفاده از هش رقمی و ثبت تراکنش‌ها در دفترکل توزیع‌شده، امکان ثبت تغییرات و ردیابی نسخه‌های مختلف داده‌ها فراهم شده است ازطریق قراردادهای هوشمند نیز سیاست‌های مالکیت و دسترسی به‌صورت خودکار اجرا می‌شود. این ویژگی‌ها می‌توانند در سه حوزه اصلی کشاورزی شامل پژوهش، آموزش و ترویج نقش مؤثری ایفا کنند.

در حوزه پژوهش کشاورزی، حجم قابل‌توجهی از داده‌های میدانی و آزمایشگاهی در طول اجرای طرح‌های تحقیقاتی تولید می‌شوند. ثبت تغییرات این داده‌ها در طول زمان و امکان استناد به نسخه‌های معتبر برای تضمین صحت نتایج علمی امری ضروری است. استفاده از الگوی پیشنهادی می‌تواند به ثبت و ردیابی تغییرات داده‌های پژوهشی، حفظ مالکیت فکری پژوهشگران و افزایش قابلیت بازتولید و اعتبار نتایج تحقیقات کشاورزی کمک

کند.

در حوزه آموزش کشاورزی نیز دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی از منابع رقمی متنوعی، شامل داده‌های آموزشی، محتوای چندرسانه‌ای، گزارش‌های علمی و پایان‌نامه‌ها، استفاده می‌کنند. بهره‌گیری از سازوکارهای مبتنی بر زنجیره بلوکی می‌تواند به مدیریت بهتر مالکیت محتوای آموزشی، حفظ تاریخچه تغییرات منابع و اطمینان از اصالت داده‌های استفاده‌شده در فرآیند آموزش کمک کند.

در حوزه ترویج کشاورزی نیز کارشناسان و مروجان کشاورزی در انتقال دانش و توصیه‌های فنی به بهره‌برداران نقش مهمی دارند. دستورالعمل‌های ترویجی، توصیه‌های مدیریتی، بسته‌های دانشی و اطلاعات تخصصی در صورتی می‌توانند اثربخش باشند که معتبر بوده و اصیل باشند. در این زمینه، الگوی پیشنهادی می‌تواند با فراهم کردن امکان نسخه‌گذاری و راستی‌آزمایی منابع ترویجی، از انتشار اطلاعات به‌صورت غیر مجاز جلوگیری کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای مدیریت یکپارچه مالکیت فکری، ردیابی نسخه‌ها و تضمین اصالت داده‌ها و فراداده‌های علمی در کتابخانه‌های رقمی، این پژوهش یک الگوی مفهومی نوآورانه مبتنی بر زنجیره بلوکی ارائه می‌کند. نبود یک سازوکار تغییرناپذیر، شفاف و قابل‌ممیزی برای اثبات مالکیت، مدیریت نسخه‌های متعدد و راستی‌آزمایی محتوای علمی در محیط‌های رقمی، چالش اصلی الگوی‌های پیشین بود. الگوی پیشنهادی با جداسازی ذخیره‌سازی محتوای حجیم داده‌ها و ثبت هش داده‌ها و رویدادهای کلیدی (مانند ثبت، ویرایش، یا حذف) در قالب تراکنش‌های زنجیره‌ای امن، و نیز اجرای سیاست‌های دسترسی ازطریق قراردادهای هوشمند، راهکاری جامع ارائه می‌دهد. این رویکرد، ضمن فراهم آوردن قابلیت ردیابی دقیق نسخه‌ها و تشخیص سریع دست‌کاری، امکان نظارت خودکار و قابل اعتماد حقوق دسترسی به منابع علمی، بدون نیاز به مداخله انسانی یا اعتماد به نهاد مرکزی را میسر می‌سازد.

- by using blockchain technologies. 1 (10) Varadarajan, M. N., Viji, C., Jagannathan, J., Mohanraj, A., Moorthi, I., & Rajkumar, N. (2025). Blockchain in Academic Libraries. *In Leveraging Blockchain for Future-Ready Libraries* (pp. 1-32). IGI Global Scientific Publishing.
- Xiao, Y., Xiao, R., Zhu, C., Wei, S. J. J. o. C. M., & Computing, C. (2024). *Digital copyright management strategy of digital library based on blockchain technology*. 119, 153-162
- Xu, P. J. J. C. M. C. C. (2025). Research on Copyright Protection and Data Security Based on Blockchain Technology in *Digital Library*. 127, 3375-3395.
- Xu, Y., Chong, H.-Y., & Chi, M. J. A. i. C. E. (2021). *A review of smart contracts applications in various industries: a procurement perspective*. 2021 (1), 553-755.
- Ye, X., Zeng, N., & König, M. J. F. o. e. m. (2022). *Systematic literature review on smart contracts in the construction industry: Potentials, benefits ,and challenges*. 9 (2), 196-213.

نوآوری الگو در ارائه چرخه عملیاتی یکپارچه برای «مالکیت-نسخه-اصالت» و حداقل سازی داده بر روی زنجیره در کنار اجرای سیاست‌های دسترسی است که می‌تواند شفافیت و اعتماد را در مدیریت دارایی‌های علمی تقویت کند. در حوزه کشاورزی نیز باتوجه به اهمیت داده‌های میدانی و آزمایشگاهی و نقش آموزش و ترویج، چنین سازوکاری می‌تواند از انتشار داده‌ها و دستورالعمل‌های غیرمعتبر جلوگیری کرده و استنادپذیری پژوهش‌های کشاورزی را بهبود بخشد. پیشنهادهای پژوهشی آینده عبارتند از:

- پیاده‌سازی نمونه اولیه در یک کتابخانه رقمی دانشگاهی، کشاورزی و ارزیابی کارایی الگو؛
- تعریف سیاست‌های دسترسی و الگوی مجوزدهی متناسب با داده‌های حساس کشاورزی؛
- بررسی یکپارچه‌سازی با استانداردهای فراداده و شناسه‌های پایا مانند DOI/ORCID؛
- تحلیل ملاحظات حقوقی و حریم خصوصی در شبکه‌های مجوزدار بین‌سازمانی.

منابع

- Cabello, J., Janßen, G., & Mühle, A. J. A. I. c. (2017). *Distributed library management system based on the blockchain technology*.
- Jha, S. K. J. L. H. T. N. (2023). Application of blockchain technology in libraries and information centers services.
- Qian ,C. (2021). Digital copyright management model of university library based on blockchain technology. 2021 *International Conference on Computer, Blockchain and Financial Development (CBFD)*,
- Safdar, M., Qutab, S., Ullah, F. S., Siddique, N., Khan, M. A. J. J. o. L., & Science, I. (2023). *A mapping review of literature on Blockchain usage by libraries: Challenges and opportunities*. 55(3), 848-858.
- Tamilselvan, N. J. I. J. o. B. T. (2024). *Blockchain-based digital rights management for enhanced content security in digital libraries*. 2(1), 1-8.
- Trček, D. J. H. s. (2022). *Cultural heritage preservation*

Blockchain Technology for Preserving Intellectual Property and Recording Changes in Scientific Data in Digital Libraries

Zohreh Davarzani¹, Fahimeh Dabaghi²

1.Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran (Corresponding Author).
Email: zohreh.davarzani@pnu.ac.ir
2.Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran, **Email:** f.dabaghi@vru.ac.ir

Abstract

By increasing volume of scientific data in digital environments, the protection of intellectual property and the assurance of data integrity have become major challenges for information systems. Digital libraries require more effective solutions to prevent unauthorized modifications, identity forgery, and the loss of version traceability. The aim of this study is to propose a blockchain-based conceptual model for recording, tracking, and proving the ownership of scientific data in digital libraries. In the proposed model, data and metadata are processed using cryptographic hash algorithms, and all transactions related to registration, modification, or deletion are stored in a secure and decentralized blockchain. Smart contracts, as executable programs deployed on the blockchain, automatically enforce ownership rules and access policies. By presenting a conceptual framework, this study provides a foundation for preserving intellectual property, maintaining a persistent record of version changes, and verifying the authenticity of scientific data and metadata in digital libraries. The proposed model can also serve as a basis for the design and development of blockchain-based systems in this field.

Keywords: Blockchain, Intellectual Property, Digital Library, Smart Contract, Scientific Data Security.