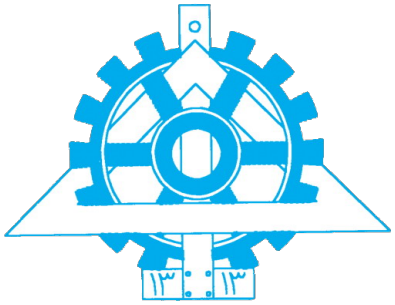


دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه نرم‌افزار

کاپو، پلتفرم ساخت و انتقال توکن‌های داده‌ای

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر
گرایش نرم‌افزار

امین بشیری

استاد راهنما

دکتر احسان خامس‌پناه

خرداد ۱۴۰۱


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه نرم‌افزار

کاپو، پلتفرم ساخت و انتقال توکن‌های داده‌ای

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر
گرایش نرم‌افزار

امین بشیری

استاد راهنما

دکتر احسان خامس‌پناه

خرداد ۱۴۰۱

دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گواهی دفاع از پایان‌نامه کارشناسی

هیأت داوران پایان‌نامهٔ کارشناسی آقای / خانم امین بشیری به شمارهٔ دانشجویی ۸۱۰۱۹۶۴۲۵ در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر - گرایش نرم‌افزار را در تاریخ ..... با عنوان «کاپو، پلتفرم ساخت و انتقال توکن‌های داده‌ای»

	به عدد	به حروف
با نمرهٔ نهایی		

و درجهٔ [ ] ارزیابی کرد.

ردیف	مشخصات هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبهٔ دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر احسان خامس‌پناه	استاد	دانشگاه تهران	
۲	استاد داور داخلی	دکتر داور داخلی	دانشیار	دانشگاه تهران	
۳	استاد مدعو	دکتر داور خارجی	دانشیار	دانشگاه داور خارجی	
۴	نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر نماینده	دانشیار	دانشگاه تهران	

نام و نام خانوادگی معاون تحصیلات تکمیلی و پژوهشی دانشکده / گروه:

تاریخ و امضا:

نام و نام خانوادگی معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی پردیس دانشکده‌های فنی:

تاریخ و امضا:

تعهدنامهٔ اصالت اثر

باسمه تعالی

اینجانب امین بشیری تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتری ارائه نشده است.

نام و نام خانوادگی دانشجو: امین بشیری

تاریخ و امضای دانشجو:

چکیده

اینترنت غیرمتمرکز[1] یا Web3 به عنوان مهمترین تغییر بعد از به وجود آمدن اینترنت[2] در نظر گرفته می‌شود. با به وجود آمدن رمزارزها[3] و الگوریتم‌های اجماع[4] کارآمد، و فراهم شدن زمینه اجرای برنامه‌ها و انجام تراکنش‌های مالی به صورت غیر متمرکز، عصر اینترنت غیرمتمرکز فرا رسیده است.

در این میان یکی از اصلی‌ترین مزایای برنامه‌های غیرمتمرکز[5] مالکیت واقعی دارایی است. به این معنی که یک شخص یا یک نهاد نمی‌تواند دارایی‌های کس دیگری را مسدود یا مصادره کند. از طرفی مالیکت‌های معنوی هم به صورت واضح و شفاف می‌توانند مشخص شوند. برای مثال یک هنرمند به وضوح صاحب اثرش است و هرچند که دیگر افراد می‌توانند اثر او را کپی کنند اما همیشه مشخص است که صاحب اصلی اثر کیست.

به این ترتیب توکن‌های تعویض ناپذیر[6] با قابلیت‌های مالکیت بسیار زیادی که فراهم می‌کنند مورد استقبال فراوان مردم واقع شدند. قابلیت‌هایی مانند ساخت، نگهداری، فروش و انتقال فوق‌العاده راحت و سریع نیز در این سرعت فراگیری تاثیر بسزایی داشته‌اند. برای بازاری به این تازگی و وسعت، تکنولوژی‌ها، استانداردها و پلتفرم‌های زیادی ساخته شده‌اند و همچنان نیز در حال توسعه هستند.

در این پروژه سعی بر ساخت پلتفرمی داریم که هر شخص یا شرکتی بتواند با عضویت در آن، به آسان‌ترین روش ممکن توکن‌های تعویض ناپذیر بسازد و به دیگران انتقال دهد. کاربردهای این پلتفرم ساده بی‌شمار است. دارایی‌هایی مانند بلیت سینما، ژتون‌های غذا، وقت گرفتن از دکتر، قراردادها و ... همه می‌توانند به آسانی در این پلتفرم به توکن تعویض‌ناپذیر تبدیل شوند، به دیگران انتقال یابند و در بازار خرید و فروش شوند.

گرچه کاربردهای فراوانی را برای این پلتفرم می‌توان در نظر داشت اما همچنان یکی از اهداف انجام این پروژه آشنایی با نحوه ساخت، تست و بارگذاری یک قرارداد هوشمند، ساخت واسط کاربری، اتصال آن به قرارداد هوشمند و همچنین شناخت استانداردهای معروف قراردادهای توکن‌های تعویض ناپذیر مانند ERC721 و ERC1155 است.

لازم به ذکر است که تمامی کدهای کاپو به صورت متن‌باز[7] در گیت‌هاب [8] قابل دسترس برای عموم هستند.

[1] Decentralized Web
[2] Word Wide Web
[3] CryptoCurrencies
[4] Consensus Algorithms
[5] Dapps
[6] Non-fungible tokens
[7] Open Source
[8] `https://github.com/bshramin/cappu`

واژگان کلیدی کاپو، توکن، داده، سالیدیتی، قرارداد هوشمند، توکن غیرقابل تعویض، ترافل

فهرست مطالب

[9] Development Flow

[10] Ropsten
[11] Mnemonics

[12] Community
[13] Drizzle

فصل ۱

مقدمه و بیان مسئله

۱.۱ مقدمه

در یک دهه اخیر محبوبیت رمزارزها در میان مردم به شدت افزایش یافته است. رمزارزها توکن هایی تعویض‌پذیر هستند، به این معنی که تفاوتی میان دو توکن یک رمزارز وجود ندارد، مانند پول فیزیکی[1] که ارزش یک هزار تومانی با یک هزار تومانی دیگر تفاوتی ندارد.

اما در دنیای واقعی تنها مالکیت پول نیست که اهمیت دارد، بلکه یک فرد می‌تواند خودرو، خانه، بلیت هواپیما و دیگر دارایی‌هایی داشته باشد که یکتا هستند و با هیچ دارایی دیگری دقیقا یکسان نیستند. مثلا یک بلیت هواپیما برای تاریخ و ساعتی خاص برای شماره پروازی خاص از یک مبدا مشخص به یک مقصد مشخص است و شماره صندلی یکتایی نیز دارد. پس هیچ دو بلیت هواپیمایی دقیقا یکسان نیستند، بر خلاف دو بیتکوین که کاملا یکسان هستند، ارزش برابری دارند، و تعویض‌پذیر هستند.

کاربردهای توکن‌های تعویض ناپذیر بیشمار است و در حال حاضر فقط قسمت اندکی از کاربردهایی که می‌توانند داشته باشند را پاسخ گفته‌اند. در این پروژه یک پلتفرم[2] ساخته می‌شود که ساخت[3] و انتقال توکن‌های تعویض ناپذیر را برای عموم در دسترس‌تر و آسان‌تر می‌کند. همچنین یکی از اهداف انجام این پروژه آشنایی با تکنولوژی‌ها، استانداردها و فرایندهای توسعه این توکن‌هاست.

[1] Fiat Money
[2] Platforms
[3] Mint

۲.۱ شرح مسئله و روش انجام آن

پروژه تعریف شده توسعه یک پلتفرم برای ساخت و انتقال توکن‌های تعویض ناپذیر به آسان‌ترین روش ممکن است. به نحوی که برای هر کسی به راحتی در دسترس باشد. نکته‌ی قابل توجه این است که در مسیر انجام این پروژه با تکنولوژی‌های موجود در این زمینه، چارچوب‌ها[۴] ،استانداردها و فرایند تست و بارگذاری آشنا شویم.

برای انجام این مراحل در قدم اول نحوه توسعه اپلیکیشن‌های غیرمتمرکز و برتری‌های نوشتن پروژه به صورت متن‌باز ذکر می‌شود، سپس چارچوب‌ها و ابزارهایی که برای ساخت یک اپلیکیشن غیرمتمرکز به توسعه دهنده کمک می‌کنند معرفی شده و نحوه استفاده از آن‌ها شرح داده می‌شود.

سپس فرایند توسعه آغاز می‌شود، استانداردهای موجود برای نوشتن یک قرارداد برای توکن‌های تعویض ناپذیر شرح داده می‌شود و کاپو تا جای ممکن مطابق آن‌ها توسعه می‌یابد. برای قرارداد هوشمند نوشته شده تست می‌نویسیم و آن را روی شبکه تستی[۵] انتشار می‌دهیم. در گام بعد برای پلتفرم، واسط کاربری ساده‌ای نوشته می‌شود که با قرارداد هوشمند و همچنین کیف پول دیجیتال کاربر ارتباط برقرار می‌کند و سپس به کمک صفحات گیت‌هاب[۶] بارگذاری می‌شود تا در دسترس عموم کاربرها قرار بگیرد.

برای داکرایز[۷] کردن تست‌های قرارداد هوشمند[۸] یک ایمیج داکر[۹] ترافل[۱۰] نوشته می‌شود. در قدم بعد هر دو بخش واسط کاربری و قرارداد هوشمند داکرایز می‌شوند و فرایند اجرای تست‌های قرارداد هوشمند و بارگذاری شدن واسط کاربری به صورت خودکار به کمک پایپلاین‌های گیت‌هاب پیاده‌سازی می‌شود.

[4] Frameworks
[5] Testnets
[6] Github Pages
[7] Dockerize
[8] Smart Contracts
[9] Docker Images
[10] Truffle

۳.۱ اهداف کلی تحقیق

۱.۳.۱ گسترش کاربردهای توکن‌های تعویض ناپذیر

این توکن‌ها در همین مدت کوتاهی که به وجود آمده‌اند کاربردهای فراوانی را پوشش داده‌اند. اما همچنان قسمت بزرگی از این کاربردها صرفا ثبت مالکیت آثار هنری دیجیتال است. درحالی که توکن‌های داده‌ای می‌توانند وسعت بسیار عظیم‌تری از کاربردها را پوشش دهند. از کاربردهای روزانه مانند بلیت سینما و هواپیما، تا مالکیت هر نوع دارایی واقعی یا مجازی.

با توجه به نحوه کار اکثر قراردادهای توکن‌های تعویض ناپذیر، معمولا فقط مالک قرارداد می‌تواند توکن ایجاد کند، یا در قرارداد برای ایجاد توکن شرط‌هایی مانند حداکثر تعداد ممکن گذاشته می‌شود. این موضوع به این معنی است که اگر شخصی بخواهد خودش توکن‌هایی ایجاد کند و به دیگران انتقال دهد احتمالا مجبور است که قرارداد هوشمند خودش را بنویسد و بارگذاری کند. این فرآیند نیاز به دانش فنی، آشنایی کامل با این زمینه و پرداخت هزینه‌های بارگذاری قرارداد روی شبکه بلاکچین دارد.

کاپو به هر آدرسی اجازه می‌دهد که به راحت‌ترین حالت ممکن و به هر تعداد که مورد نیاز است توکن تعویض ناپذیر روی این قرارداد ایجاد کند. به این ترتیب استفاده از کاپو برای عموم مردم آسان‌تر، ارزان‌تر و در دسترس‌تر است.

۲.۳.۱ ساخت روند توسعه قرارداد هوشمند

یکی از اهداف انجام این پروژه این است که پس از آشنایی با ابزارهای موجود، یک ساختار برای روند توسعه قرارداد هوشمند ایجاد شود. این ساختار به نحوی خواهد بود که توسعه قرارداد سریع‌تر و با اطمینان خاطر بیشتری انجام شود. در ساخت روند توسعه بیشتر تاکید بر راحتی اضافه کردن تست‌ها و اجرای خودکار تست‌ها، آسان و خودکار بودن روند دیپلوی و اتصال بی دردسر فرانت‌اند به قرارداد هوشمند است.

۳.۳.۱ یادگیری

هدف دیگر انجام این پروژه یادگیری است. با توجه به رشد سریع و تازگی استفاده از تکنولوژی‌های بلاک‌چین و توکن‌های تعویض ناپذیر، با وجود تلاش برای ایجاد منابع یادگیری مناسب همچنان فضاهای خالی، کمبودها و نیازمندی‌هایی وجود دارد که باید پاسخ گفته شوند. در طی انجام این پروژه با ابزارها، کتابخانه‌ها، چارچوب‌ها و استانداردهای نوشتن قراردادهای هوشمند آشنا می‌شویم، می‌آموزیم که هر یک چطور کار میکنند و چگونه می‌توانند به توسعه دهنده کمک کنند.

۴.۱ ساختار پایان‌نامه

پس از این مقدمه، در فصل ۲ مفاهیم اولیه توسعه اپلیکیشن بر بستر بلاک‌چین، کاربردها، مفاهیم و استانداردها توضیح داده می‌شود. در فصل ۳ ابزارهای توسعه قراردادهای هوشمند معرفی می‌شوند، مزایا و معایب هر یک بیان می‌شود و نحوه استفاده از آن‌ها توضیح داده می‌شود. در فصل ۴ روند پیاده‌سازی شرح داده می‌شود. بررسی می‌شود که در هر مرحله از پیاده‌سازی چه کارهایی به چه ترتیبی انجام شده است. در فصل پنجم نیز نتایج توضیح داده می‌شوند و جمع‌بندی صورت میگیرد.

فصل ۲

مفاهیم اولیه و پیش‌زمینه

۱.۲ دلایل و برتری‌های متن‌باز بودن قراردادهای هوشمند

دلایل زیادی برای متن‌باز نوشتن قراردادهای هوشمند وجود دارد، در ادامه تعدادی از این دلایل توضیح داده می‌شود.

دلیل اول، بلاک‌چین‌ها محرمانگی[1] ندارند، همه‌ی نودهای شبکه برای اجرای کد قرارداد هوشمند باید حداقل به بایت‌کدها[2] قرارداد هوشمند دسترسی داشته باشند و این بایت‌کدها در کاوشگرهای بلاکچین نیز وجود دارند، همچنین دیکامپایلر[3]هایی وجود دارند که از بایت‌کدهای قرارداد هوشمند کد سالیدیتی آن را به دست می‌آورند. پس در نتیجه تلاش برای مخفی کردن کدهای قرارداد هوشمند بیهوده خواهد بود.

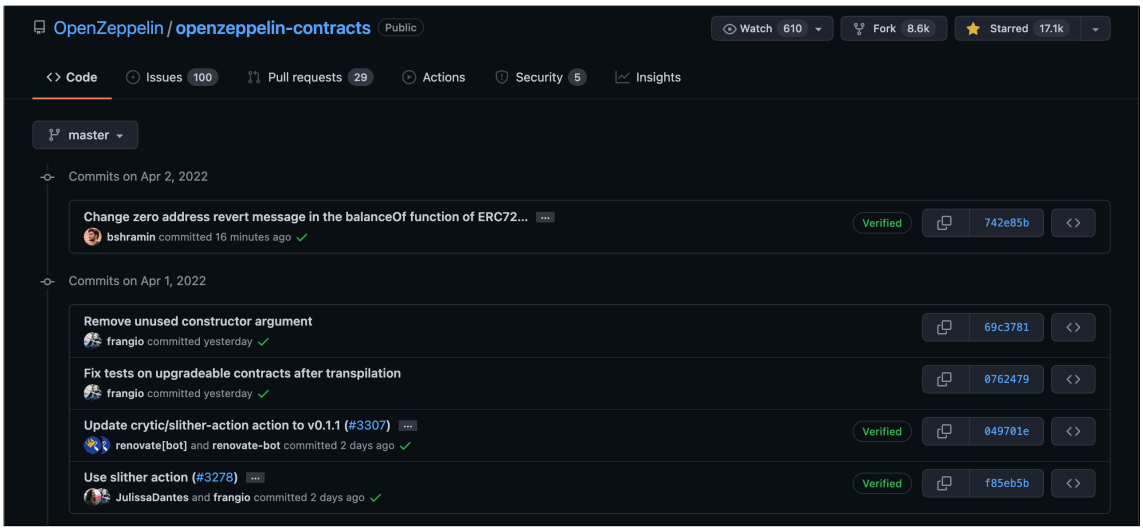
دلیل دوم، اصلی‌ترین مزیت اپلیکیشن‌های غیرمتمرکز نسبت به اپلیکیشن‌های متمرکز عدم نیاز به اعتماد است، کاربرها می‌توانند کدهای قرارداد هوشمند را بخوانند و به کد نوشته شده اعتماد کنند،در حالی که اگر کد برنامه برای همه کاربران قابل مشاهده نباشد کاربرها باید به سازندگان آن برنامه اعتماد کنند.

دلیل سوم، بارگذاری کردن قراردادهای هوشمند معمولا آسان نیست و سرعت تغییرات پایین‌تر از اپلیکیشن‌های متمرکز هست، پس امکان این که با پیدا شدن هر مشکل بتوان به سرعت آن را درست کرد کمتر وجود دارد و مسئله امنیت بسیار اهمیت دارد. متن‌باز نوشتن قرارداد هوشمند باعث می‌شود چشم‌های بیشتری کدهای قرارداد را

[1] Confidentiality
[2] bytecodes
[3] Decompiler

بخوانند و مشکلات احتمالی سریعتر مشخص و رفع شوند. تعداد زیادی از این پروژه‌ها از همان روز اول قرارداد هوشمند را به صورت متن‌باز توسعه می‌دهند، بعضی نیز ترجیح میدهند که پروژه به مرحله‌ای از توسعه برسد و سپس آن را متن‌باز میکنند.

در این حوضه سرعت پیشرفت و توسعه به دلیل متن باز بودن به شدت بالاست به نحوی که در طی اجرای این پروژه مرج ریکوئستی روی کتابخانه اپن‌زپلین[۴] زده شد که در همان روز مرج شد. این موضوع علاوه بر این که نشان‌دهنده سرعت پیشرفت بسیار بالاست، این موضوع را نیز نشان میدهد که در یک جامعه متن‌باز هر توسعه دهنده می‌تواند به پیشرفت جامعه به هر شکلی که می‌تواند کمک کند، اشکالاتی که مشاهده می‌کند را گزارش دهد یا تصحیح کند. برای مثال همکاری [۵] نویسنده‌ی این پایان‌نامه در پروژه اپن‌زپلین را می‌توان در تصویر ۱.۲ مشاهده کرد. این مثال نشان‌دهنده این است که حتی در پروژه بسیار بزرگی مانند اپن‌زپلین نیز از کمک عموم توسعه‌دهندگان به راحتی پذیرش می شود.



شکل ۱.۲: در طی انجام پروژه مرج ریکوئستی روی اپن‌زپلین باز شد که در همان روز مرج گردید.

[4] OpenZeppelin
[5] https://github.com/OpenZeppelin/openzeppelin-contracts/pull/3314

۲.۲ آشنایی با مفهوم توکن تعویض ناپذیر

شروع رمزارزها با توکن‌های تعویض‌پذیر بود، مفهوم تعویض‌پذیری به این معنی است که یک توکن با توکن دیگر تفاوتی ندارد و با جابه‌جا شدن آن‌ها تغییری ایجاد نمی‌شود. برای مثال یک بیت‌کوین با یک بیت‌کوین دیگر هیچ تفاوتی ندارد.

اما توکن‌های تعویض ناپذیر اینگونه نیستند، هر یک منحصر به فرد است و جابه‌جا کردن آن‌ها با یکدیگر تغییر ایجاد می‌کند، در دنیای واقعی خانه می‌تواند مثال خوبی از یک دارایی تعویض ناپذیر باشد، هیچ دو خانه‌ای دقیقا شبیه به هم، در یک مکان، در طبقه یکسان و دارای پلاک مشترک نیستند.

پس مثلا به عنوان یک کاربرد، شهرداری می‌تواند یک قرارداد هوشمند ایجاد کند و به هر خانه یک توکن NFT اختصاص دهد. به این صورت صاحب خانه به جای سند یک توکن NFT دارد که مشخص می‌کند که دارایی متعلق به اوست، و فروش خانه به راحتی انتقال آن NFT به شخص دیگری است.

از نظر فنی هر توکن به این صورت یکتاست که یک Token ID یکتا در قراردادش دارد و هر قرارداد هم دارای یک آدرس یکتا در شبکه بلاکچین است. پس ترکیب Address Contract و Token ID باعث می‌شود که هر توکن یکتا باشد.

۳.۲ کاربردها، حال و آینده

کاربرد هاNFT تا به حال در دو دسته خلاصه می‌شود. دسته اول به عنوان صاحب یک اثر دیجیتال، مانند یک تصویر یا یک موسیقی. دسته دوم به عنوان یک جواز یا بلیت برای ورود به جایی یا دریافت چیزی، برای مثال همایشی برگزار می‌شود که فقط دارندگان هایNFT یک قرارداد هوشمند می‌توانند به آن وارد شوند.

معروف‌ترین پلتفرم معاملاتی این توکن‌ها OpenSea است که می‌توان در آن توکن‌های موجود را مشاهده کرد و یک توکن را توسط مزایده خرید یا به فروش گذاشت. OpenSea در حال حاضر از قراردادهای شبکه‌های اتریوم و سولانا پشتیبانی می‌کند. دیگر شبکه‌ها نیز معمولا پلتفرم‌های خود را دارند، مانند شبکه Atom که در آن از پلتفرم Stargaze برای معامله هاNFT استفاده می‌شود.

کاربردهای NFT ها در آینده می‌تواند بسیار وسیع باشد. دارایی‌های فیزیکی دنیای واقعی، بلیت‌های ورود

به یک مکان یا یک همایش، دارایی‌های دنیای مجازی مانند یک موسیقی یا آیتمی در یک بازی و حتی دامنه‌های اینترنتی همه می‌توانند به NFT تبدیل شوند. مزایای تبدیل این موارد به NFT قابلیت نگهداری آسان‌تر، قابلیت فروش و انتقال راحت‌تر، امنیت بیشتر، آزادی در تراکنش‌ها و آشکار بودن مالکیت دارایی بر همگان است.

۴.۲ قراردادهای هوشمند و استانداردسازی

اکثر قراردادهای هوشمند قابلیت‌هایی مشابه با یکدیگر دارند، برای مثال گروهی از قراردادهای هوشمند توکن‌های تعویض‌پذیر دارند و گروه توکن‌های تعویض ناپذیر. از طرفی اپلیکیشن‌هایی مانند کیف‌پول‌های دیجیتال، پلتفرم‌های معاملاتی و صرافی‌های نیاز دارند که بتوانند دارایی‌های کاربر اعم از توکن‌های تعویض‌پذیر و تعویض ناپذیر را ببینند، به همین دلیل باید نحوه صحبت کردن با قراردادهای هوشمند را بدانند.

برای ساده‌تر کردن این فرایند و همسان‌سازی اینترفیس این قراردادهای هوشمند استانداردهایی تعریف شده است که با استفاده از این استانداردها هم فرایند توسعه قرارداد هوشمند آسان‌تر خواهد شد و هم ارتباط میان قرارداد هوشمند و اپلیکیشن‌های دیگر مانند کیف‌پول‌ها، پلتفرم‌های معاملاتی و ... آسان‌تر خواهد شد.

از نمونه‌های معروف این استانداردها ERC20 برای قراردادهایی با توکن‌های تعویض‌پذیر و ERC721 برای قراردادهایی با توکن‌های تعویض ناپذیر است. در این پروژه از استاندارد ERC721 استفاده می‌شود اما در مورد ERC1155 هم مطالعه شده و توضیح داده می‌شود، به طور خلاصه ERC1155 قابلیت‌های بیشتری از ERC721 دارد و یک قرارداد با این استاندارد می‌تواند هم توکن‌های تعویض‌پذیر و هم تعویض ناپذیر داشته باشد. جزئیات بیشتر هر یک از این قراردادها را می‌توان در مستندات اتریوم [۱] مطالعه کرد.

برای استفاده از این استانداردها از پکیج‌های متن بازی استفاده می‌شود که این استانداردها را پیاده‌سازی کرده‌اند و از آن‌ها در قراردادی که نوشته می‌شود ارث‌بری می‌شود، یکی از بهترین پیاده‌سازی‌های این استانداردهای توسط اپن‌زپلین [۲] انجام شده است که در این پروژه نیز از همین پیاده‌سازی استفاده می‌شود.

۱.۴.۲ استاندارد ERC20

این استاندارد مناسب توکن‌های تعویض‌پذیر است. اینترفیسی تعریف می‌کند که نیازهای قراردادهایی با توکن‌های تعویض‌پذیر را برطرف کند و نحوه تعامل برقرار کردن با آن‌ها را یکسان گرداند. در این استاندارد فقط

می‌توان یک نوع توکن تعویض‌پذیر به تعداد دلخواه داشت. این استاندارد متدهایی برای تعریف حداکثر تعداد توکن‌های موجود، گرفتن موجودی یک آدرس، و انتقال توکن‌ها دارد. توضیحات دقیق‌تر در مورد این استاندارد را می‌توان در وبسایت اتریوم [۶] یا اپن‌زپلین [۷] مشاهده کرد.

۲.۴.۲ استاندارد ERC721

استفاده از استاندارد ERC721 برای توکن‌های تعویض ناپذیر بسیار مرسوم است. در این استاندارد متدها و ایونت‌هایی برای یکسان سازی اینترفیس قراردادهای دارای توکن‌های تعویض ناپذیر تعریف شده است. در این نوع قراردادها می‌توان به تعداد دلخواه توکن‌های متفاوت با یکدیگر داشت، هر توکن یک شناسه یکتا دارد که می‌تواند به صورت ترتیبی یا غیر ترتیبی ایجاد شود.

همچنین متدی وجود دارد که می‌تواند شناسه یک توکن را به آدرسی تبدیل کند که اطلاعات آن توکن در آنجا موجود است. کاربرها می‌توانند توکن‌هایی که دارند را مشاهده کنند، به یکدیگر ارسال کنند یا به آدرس دیگری وکالت بدهند که توکن‌ها را به شخص دیگری ارسال کند.

تنها قابلیتی که به طور مشخص در این قرارداد معین نشده است که چگونه باید انجام شود قابلیت ساخت توکن‌ها است. اکثر قراردادهای هوشمندی که توکن‌های تعویض ناپذیر دارند به کاربران اجازه ساخت توکن‌ها را نمی‌دهند و ساخت توکن‌ها فقط به آدرس صاحب قرارداد محدود می‌شود. اما در کاپو اینگونه نیست و هرکسی می‌تواند برای خودش توکن بسازد.

اطلاعات دقیق‌تر در مورد این استاندارد را نیز می‌توان در وبسایت اتریوم [۸] یا اپن‌زپلین [۹] مشاهده کرد.

۳.۴.۲ استاندارد ERC1155

تا اینجا با معروف‌ترین استانداردهای موجود برای قراردادهایی که توکن‌های تعویض‌پذیر یا تعویض ناپذیر دارند آشنا شدیم. اما همچنان نیازمندی‌هایی وجود دارند که توسط هیچ‌یک از این استانداردها برطرف نمی‌شوند. نیازمندی‌هایی مانند:

[6] https://ethereum.org/en/developers/docs/standards/tokens/erc-20
[7] https://docs.openzeppelin.com/contracts/4.x/api/token/erc20
[8] https://ethereum.org/en/developers/docs/standards/tokens/erc-721
[9] https://docs.openzeppelin.com/contracts/4.x/api/token/erc721

- داشتن توکن‌های NFT با تعداد محدود به جای فقط یکی.
- داشتن همزمان چندین نوع توکن مختلف در یک قرارداد.
- انتقال همزمان چند توکن از انواع مختلف از کاربری به کاربر دیگر.

یک مثال از کاربردی که به این قابلیت‌ها نیاز دارد می‌تواند یک بازی مثل مونوپولی باشد که در آن هر کاربر مقداری پول دارد که در واقع یک توکن تعویض‌پذیر هست، به عنوان دارایی چند خانه دارد که به عنوان توکن‌های تعویض ناپذیری هستند که از هرکدام فقط یکی وجود دارد و ممکن است چند کارت خروج از زندان داشته باشد که یکتا نیستند اما تعداد محدودی در بازی وجود دارد. استاندارد ERC1155 همه‌ی این نیازها را برطرف می‌کند. همه‌ی این چند نوع توکن می‌توانند همزمان در یک قرارداد هوشمند وجود داشته باشند.

در این استاندارد متدهایی برای تعریف نوعی توکن با تعداد مشخص وجود دارد. اگر نیاز به توکنی تعویض ناپذیر باشد تعداد آن یک قرارداده می‌شود. همچنین متدهایی برای ارسال تعداد مشخص از چند نوع توکن مختلف در یک تراکنش، دادن وکالت توکن‌ها به آدرس دیگر و گرفتن موجودی یک آدرس در این استاندارد وجود دارد.

اطلاعات دقیق‌تر در مورد این استاندارد را نیز می‌توان در وبسایت اتریوم [۱۰] یا اپن‌زپلین [۱۱] مشاهده کرد.

[10] https://ethereum.org/en/developers/docs/standards/tokens/erc-1155
[11] https://docs.openzeppelin.com/contracts/4.x/api/token/erc1155

فصل ۳

آشنایی با ابزارهای توسعه

در تمام ابزارهای ذکر شده در ادامه این متن حتما باید به ورژن هر کدام دقت شود، ورژن‌ها باید با یکدیگر همخوانی داشته باشند در غیر این صورت مشکلاتی در کامپایل و اجرای برنامه به وجود می‌آید که به راحتی قابل رفع کردن نیستند. در انجام این پروژه عدم همخوانی ورژن‌های مختلف ابزارها با یکدیگر باعث ایجاد مشکلات فراوانی شد، به همین دلیل ورژن مورد نیاز هر ابزار در توضیحات پروژه ذکر شده است.

۱.۳ ابزارهای ساده

- **ویرایشگر**

برای برنامه نویسی این قرارداد هوشمند از ویرایشگر VSCode با نصب پلاگین مربوط به Solidity [۱] استفاده شده است. این پلاگین با یافتن اشتباه‌ها پیش از کامپایل و راهنمایی در نوشتن کد قرارداد کمک شایانی به افزایش سرعت توسعه می‌کند.

- **ورژن‌کنترل**

این پروژه از روز نخست به صورت متن‌باز توسعه یافته، برای توسعه یک پروژه به صورت متن‌باز اولین ابزار مورد نیاز یک برنامه ورژن کنترل است که نسخه‌های متفاوت و تغییر یافته کدها را به صورت مرتب

[1] https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=JuanBlanco.solidity

نگهداری کند. برای این منظور از گیت‌هاب استفاده شده.

- **پکیج‌های Node و NPM**

از آنجایی که کدهای سالیدیتی در واقع جاوااسکریپت هستند، به ابزارهای توسعه اپلیکیشن‌های جاوااسکریپت برای توسعه سالیدیتی نیاز است. ابزارهایی مانند Node برای کامپایل کردن برنامه‌های جاوااسکریپت و npm که مدیریت پکیج‌های جاوااسکریپتی که نصب می‌شود را به عهده دارد.

۲.۳ کیف پول متامسک

کیف پول دیجیتال متامسک از پرکاربردترین کیف پول‌ها برای ارتباط برقرار کردن با اپلیکیشن‌های غیرمتمرکز و Web3 است. کاپو نیز برای امضای تراکنش‌ها و ایجاد ارتباط با شبکه بلاکچین از کیف پول متامسک استفاده می‌کند. برای انجام صحیح این عملیات کاربر باید از پیش کیف پول متامسک را نصب کرده باشد و سپس با انتخاب گزینه Connect Wallet، کاپو درخواست اتصال به کیف پول و دریافت آدرس کاربر را به متامسک ارسال می‌کند، متامسک نیز پس از دریافت درخواست کاپو از کاربر اجازه اتصال به اپلیکیشن را میگیرد و در صورت تایید کاربر آدرس کیف پول را به کاپو می‌دهد.

از این پس هرگاه که کاربر بخواهد در کاپو تراکنشی از جمله ساخت توکن جدید یا انتقال یک توکن به آدرس دیگر را انجام دهد کاپو از متامسک درخواست می‌کند که با کلید خصوصی[۲] کاربر آن تراکنش را امضا کند، متامسک از کاربر تایید تراکنش را میگیرد و امضا را انجام می‌دهد و تراکنش به شبکه بلاکچین ارسال می‌شود.

۳.۳ چارچوب‌ها و کتابخانه‌ها

به دلیل تازگی بحث توسعه اپلیکیشن‌های غیرمتمرکز ابزارهای کمی در این زمینه وجود دارند و همین ابزارها هم معمولا مشکلاتی دارند و به بلوغ کامل نرسیده‌اند. اما با توجه به این که اکثر ابزارها و چارچوب‌ها و کتابخانه‌های توسعه اپلیکیشن‌های غیرمتمرکز متن‌باز هستند، سرعت رشد و تکامل بالایی دارند و به کمک توسعه‌دهندگان[۳] این

[2] Private key
[3] Developers

حوزه، هر روز نسبت به روز گذشته پیشرفت می‌کنند.

برای توسعه این پروژه از چارچوب ترافل [۴]، کتابخانه‌ی اپن‌زپلین [۵] و کتابخانه‌ی Web3JS [۶] استفاده شده است. در این قسمت به توضیح هر یک از این موارد پرداخته می‌شود.

۱.۳.۳ چارچوب ترافل

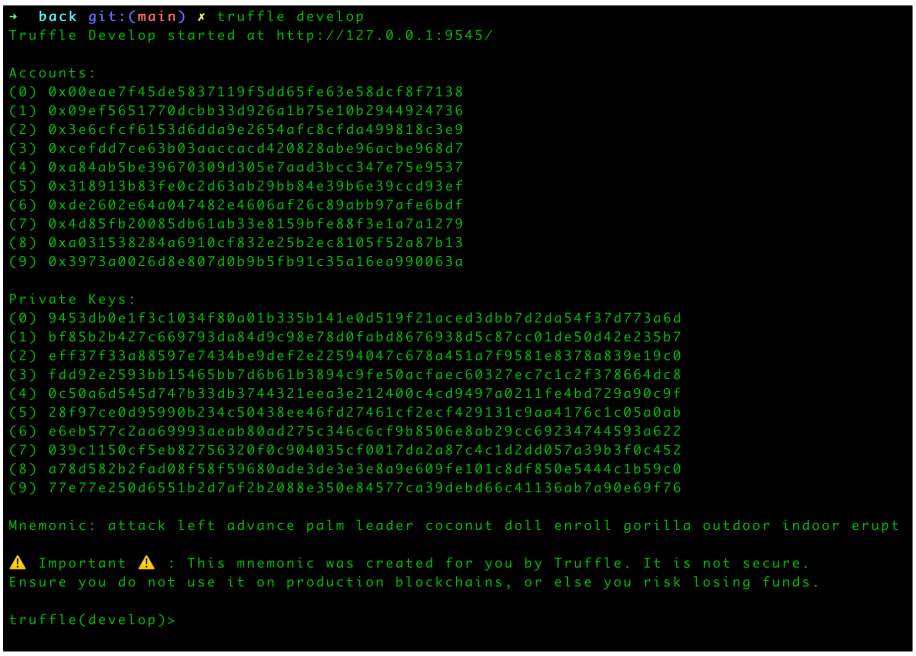
این چارچوب ابزارهای اولیه برای ساخت، کامپایل، تست، بارگذاری و مایگریشن قراردادهای هوشمند به زبان سالیدیتی را فراهم می‌کند. پس از نصب این ابزار با اجرای دستور truffle init می‌توان یک پروژه جدید ترافل ساخت ۱.۳ ، همچنین می‌توان با استفاده از دستور truffle unbox از یکی از تمپلیت‌های آماده ترافل استفاده کرد.

```
→  new-project truffle init

Starting init...
================

> Copying project files to /Users/AminBSHR/Desktop/Thesis/new-project

Init successful, sweet!

Try our scaffold commands to get started:
  $ truffle create contract YourContractName # scaffold a contract
  $ truffle create test YourTestName         # scaffold a test

http://trufflesuite.com/docs
```

شکل ۱.۳: اجرای دستور truffle init

پس از ساخت پروژه با اجرای دستور truffle develop ۲.۳ و یا truffle console می‌توان وارد خط فرمان ترافل شد.

[4] https://trufflesuite.com
[5] https://openzeppelin.com/contracts
[6] https://github.com/ChainSafe/web3.js



شکل ۲.۳: اجرای دستور truffle develop

دستورات لازم برای اجرای تست‌ها، کامپایل کردن قرارداد هوشمند یا بارگذاری آن روی شبکه مورد نظر از طریق این خط فرمان قابل اجرا هستند. این پلتفرم ابزارهای فراوانی را در اختیار توسعه دهنده قرار می‌دهد که با تعداد بیشتری از آن‌ها در بخش پیاده‌سازی و بارگذاری کاپو آشنا می‌شویم. همچنین از بزرگترین مزایای استفاده از این چارچوب برقراری ارتباط بسیار آسان با ابزارهای دیگر مانند گاناچه[۷] و دریزل است.

۲.۳.۳ کتابخانه اپن‌زپلین

یکی از معروف‌ترین کتابخانه‌های قراردادهای هوشمند و استانداردهایشان است. قراردادها و استانداردهای موجود در این کتابخانه کاملا تست شده، داکیومنت شده، ایمن و پایه بسیاری از قراردادهای هوشمند بر بستر بلاکچین هستند. استانداردهای ذکر شده در این متن مانند، ERC20، ERC721، ERC1155 به همراه تعداد زیادی استانداردهای دیگر در این کتابخانه پیاده‌سازی شده‌اند.

در کاپو نیز از استاندارد ERC721 پیاده‌سازی شده در این کتابخانه استفاده شده است. برای استفاده از قراردادهای اپن‌زپلین در قدم اول باید این کتابخانه به کمک دستور npm install @openzeppelin/contracts

[7] Ganache

نصب شود. پس از نصب کتابخانه، می‌توان از قراردادهای آن ارث‌بری کرد، در تصویر ۳.۳ مشاهده می‌شود که کاپو چگونه از قرارداد ERC721 موجود در اپن‌زپلین و همچنین یک قرارداد هوشمند به اسم Helper که در همین پروژه نوشته شده ارث‌بری کرده است.

```
2  pragma solidity >=0.4.22 <0.9.0;
3  import "@openzeppelin/contracts/token/ERC721/ERC721.sol";
4  import "./Helper.sol";
5
6  contract Cappu is ERC721, Helper {
7      constructor() ERC721("Cappu", "CAPU") {}
8  }
```

شکل ۳.۳: ارث‌بری از استاندارد ERC721 پیاده‌سازی شده توسط اپن‌زپلین

۳.۳.۳ کتابخانه Web3JS

تراکنش‌های با یک قرارداد هوشمند می‌تواند به ۲ حالت باشد. در حالت اول فقط اطلاعات شبکه بلاکچین خوانده می‌شود و حالت[۸] آن تغییری داده نمی‌شود، متدهای از این جنس از نوع view یا pure هستند. حالت دوم تراکنش‌هایی هستند که باعث تغییر اطلاعات شبکه بلاکچین می‌شوند.

واسط کاربری یک اپلیکیشن غیرمتمرکز برای انجام نوع اول تراکنش‌های نهایتا فقط به آدرس کاربر نیاز دارد که اطلاعات مربوط به او را از قرار داد بگیرد. در حالت دوم نیاز است که تراکنشی بر روی شبکه ثبت شود که نیازمند امضا شدن تراکنش توسط کلید خصوصی کاربر، پرداخت کارمزد تراکنش و ارسال آن به نودهای شبکه است.

کتابخانه‌ی Web3JS به توسعه دهنده کمک می‌کند که واسط کاربری اپلیکیشن را به کیف پول دیجیتال کاربر و شبکه بلاکچین متصل کند. با ایجاد این اتصال آدرس کاربر توسط کیف پول دیجیتال در اختیار واسط کاربری قرار می‌گیرد و هرگاه که واسط کاربری بخواهد تراکنشی را روی شبکه ارسال کند نیز از کیف پول کاربر می‌خواهد که با داشتن کلید خصوصی کاربر آن تراکنش را امضا و روی شبکه ارسال کند. طبیعتا کیف پول کاربر برای انجام هر یک از این مراحل از کاربر درخواست تاییدیه می کند.

[8] State

۴.۳ شبکه محلی برای توسعه

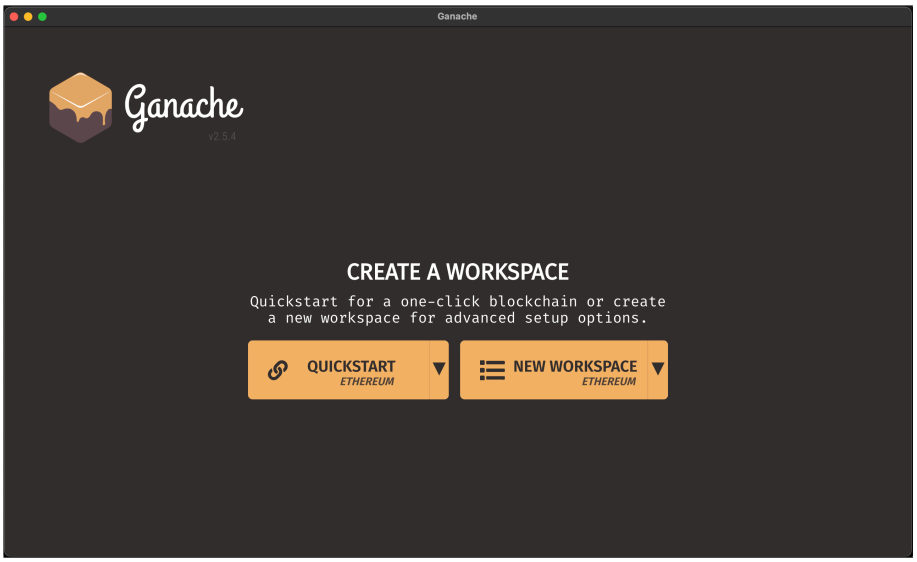
برای توسعه یک قرارداد هوشمند نیاز است که پس از هر تغییر کامپایل و روی یک شبکه بلاکچین بارگذاری شود، به نحوی که واسط کاربری اپلیکیشن و همچنین کیف پول متامسک بتوانند به آن متصل شوند. از شبکه اصلی نمی‌توان استفاده کرد زیرا هر بارگذاری روی شبکه اصلی هزینه‌ای خواهد داشت و بارگذاری‌های پیاپی روی شبکه امکان پذیر نخواهد بود. اگر بخواهیم برای توسعه از شبکه تستی هم استفاده کنیم گرچه هزینه‌ای نخواهد داشت اما بسیار زمان‌بر خواهد بود، گرچه انجام تراکنش‌ها روی شبکه تستی معمولا سریعتر از شبکه اصلی انجام می‌شود اما همچنان توسعه دهنده زمان زیادی را برای هر بارگذاری صرف خواهد کرد.

راه حل این مشکل این است که توسعه دهنده روی ماشین خودش یک شبکه محلی داشته باشد که بتواند بلافاصله پس از ایجاد یک تغییر روی قرارداد هوشمند آن را کامپایل و بارگذاری کند. ترافل باید بتواند به این شبکه محلی متصل شود و قرارداد را روی آن بارگذاری کند. واسط کاربری ومتامسک نیز باید بتوانند به این شبکه متصل شوندکه با قرارداد هوشمند ارتباط برقرار کنند.

اگرچه ابزارهای زیادی برای ساخت این شبکه محلی وجود دارند، اما یکی از بهترین و راحت‌ترین ابزارها برای این منظور برنامه‌ی گاناچه هست. این ابزار با توجه به این که متعلق به اکوسیستم ترافل هست به آسانی به آن متصل می‌شود و با اضافه کردن آدرس آن به شبکه‌های متامسک، این کیف پول هم به شبکه محلی متصل می‌شود. جزئیات ساخت شبکه محلی و اتصال ترافل و متامسک به آن به ترتیب زیر است.

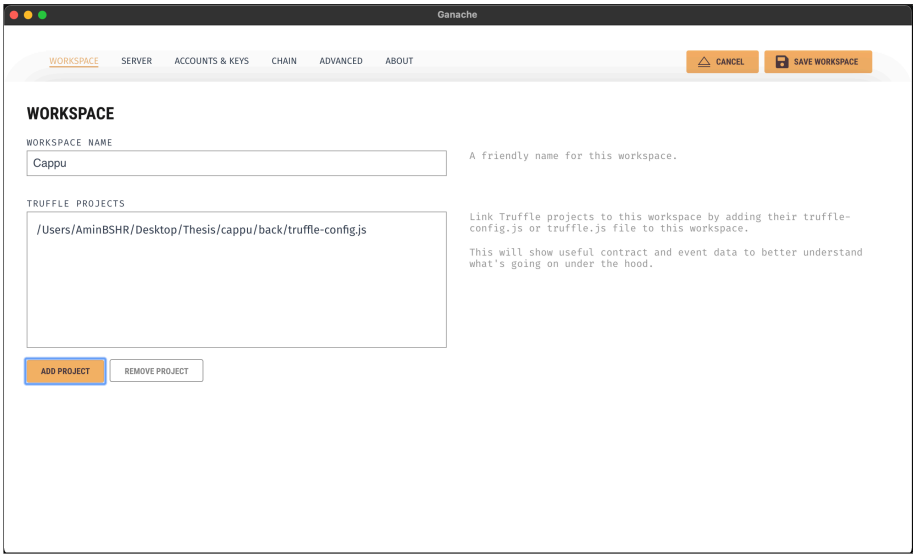
پس از نصب برنامه گاناچه باید یک محیط کار[9] اتریوم[10] ساخته شود. برای انجام این کار گزینه New workspace (Ethereum) انتخاب می‌شود. این دکمه در تصویر ۴.۳ قابل مشاهده است.

[9] Workspace
[10] Ethereum



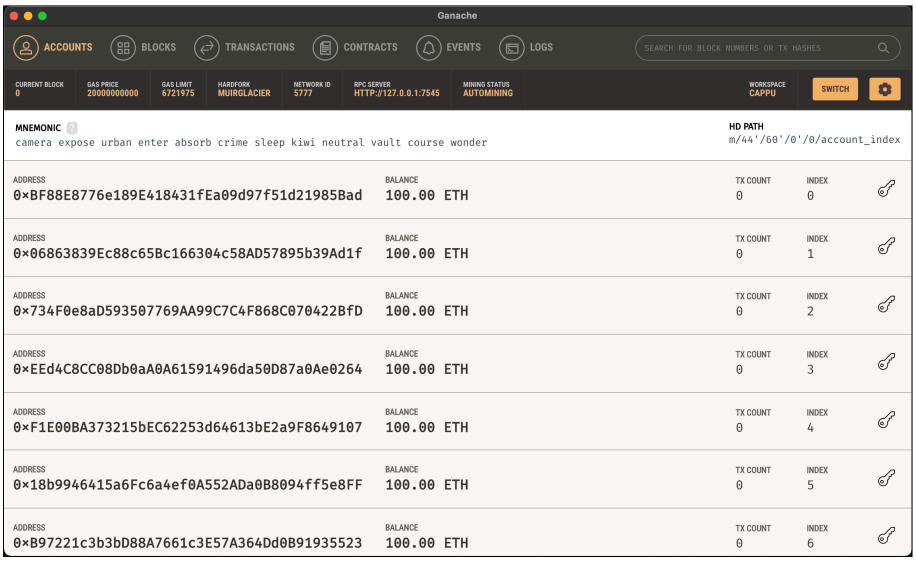
شکل ۴.۳: صفحه اول گاناچه

سپس در صفحه باز شده نام محیط توسعه وارد، فایل truffle-config.js مربوط به پروژه مورد نظر انتخاب و دکمه save workspace زده می‌شود. انجام این مرحله در تصویر ۵.۳ قابل مشاهده است.



شکل ۵.۳: ساخت شبکه جدید در گاناچه

پس از انجام این مراحل محیط توسعه ساخته شده است و می‌توان جزئیات شبکه محلی را مشاهده کرد.

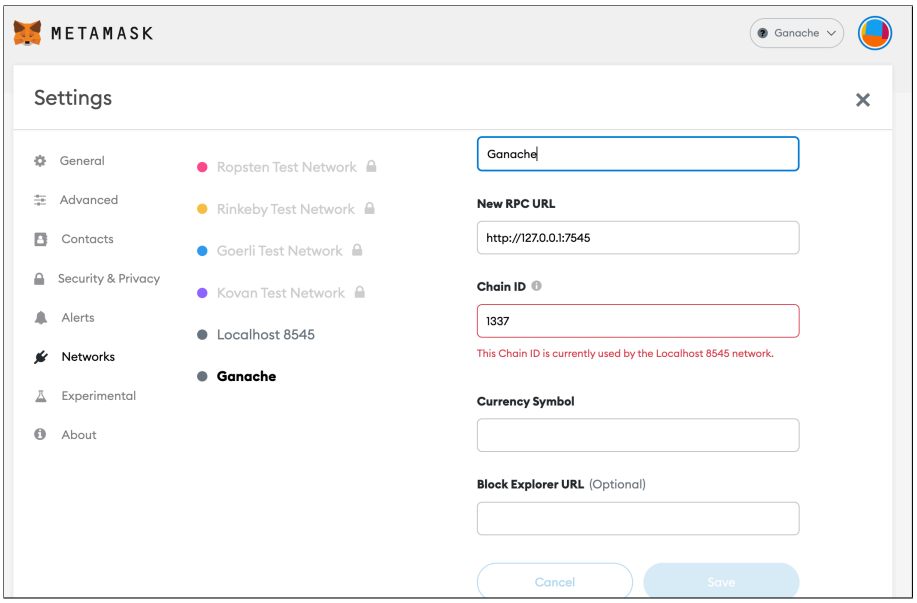


شکل ۶.۳: مشاهده جزئیات شبکه ساخته شده

از آنجایی که در مرحله قبل برای ساخت این محیط توسعه فایل truffle-config.js پروژه انتخاب شد، حال اگر دستورات truffle console یا هر دستور دیگری مانند migrate بدون انتخاب شبکه بلاکچین خاصی اجرا شود به صورت پیش‌فرض روی این شبکه محلی انجام می‌شود.

حال فقط باید متامسک نیز به این شبکه محلی متصل شود. برای انجام این کار پس از نصب افزونه‌ی متامسک روی مرورگر کروم، در قسمت تنظیمات[11] و سپس شبکه‌ها[12] یک شبکه جدید مطابق تصویر ۷.۳ ساخته می شود، همانطور که در تصویر ۶.۳ مشخص است اطلاعات شبکه محلی در صفحه اصلی گاناچه قابل مشاهده هستند.

[11] Settings
[12] Networks



شکل ۳.۷: تنظیمات شبکه‌های متامسک

پس از ذخیره شبکه جدید کافیست که برای توسعه شبکه گاناچه انتخاب شود. همچنین باید یکی از آدرس‌هایی که در صفحه اصلی گاناچه نمایش داده می‌شوند به عنوان کیف پول در متامسک وارد شود. برای انجام این کار علامت کلید کنار یکی از آدرس‌های نمایش داده شده در صفحه اصلی گاناچه انتخاب می‌شود و به کمک کلید اختصاصی نمایش داده شده کیف پول در متامسک وارد می شود.

فصل ۴

پیاده‌سازی

۱.۴ نوشتن کد قرارداد

در این بخش به بررسی مراحل و نحوه نوشتن کد قرارداد هوشمند پرداخته می‌شود.

۱.۱.۴ نیازمندی‌های قرارداد هوشمند

نیازمندی‌های اصلی کاپو به ترتیب زیر است.

- هر آدرس در شبکه بتواند یک داده‌ی متنی را به آسان‌ترین و کم هزینه‌ترین روش ممکن به یک توکن NFT تبدیل کند.
- هر آدرس بتواند توکن‌های خود را به اشخاص دیگر انتقال دهد یا در بازارهای معاملات NFT بفروشد.
- در صفحه اول وبسایت تعداد کل توکن‌های ساخته شده تا به حال و تعداد کل دارندگان توکن نمایش داده شود.
- قابلیت‌های قرارداد هوشمند تست شده باشد.

۲.۱.۴ ارث‌بری

با توجه به مزایای ذکر شده در مورد استانداردسازی قراردادهای هوشمند، انتخاب درستی است که برای پیاده‌سازی این کاربری از یکی از استانداردها استفاده شود. ارثبری از استانداردهای یک کتابخانه متن‌باز مزایای زیر را فراهم می‌کند.

- به دلیل وجود کدهای پایه به صورت آماده سرعت توسعه پروژه افزایش می‌یابد.
- ارتباط دیگر پروژه‌ها با پروژه کاپو به راحتی انجام می‌شود.
- امنیت قرارداد و درستی آن حداقل در سطوح پایه‌ای تا حد خوبی تضمین شده است.

قرارداد هوشمند کاپو از استاندارد ERC721 پیاده‌سازی شده در کتابخانه اپن‌زپلین [1] ارث‌بری می‌کند که یکی از معروف ترین کتابخانه‌های پیاده کننده استانداردهای قرارداد هوشمند است.

۳.۱.۴ توجه به هزینه تراکنش و نوع توابع

در نوشتن یک قرارداد هوشمند باید به نکات زیر توجه کنیم.

- میزان حافظه‌ای که اشغال می‌کنیم.
- حجم بایت‌کد.
- میزان عملیات هر متد، به خصوص متدهایی که مکررا مورد استفاده کاربر قرار می‌گیرند.
- نوع هر متد، که مشخص می‌کند هر متد تا چه حد روی شبکه بلاکچین تغییر ایجاد می‌کند.

توجه نکردن به هریک از این موضوعات باعث می‌شود که قرارداد هوشمند به اندازه کافی بهینه عمل نکند و کاربر وادار به پرداخت هزینه تراکنش [2] یا هزینه تراکنش بیشتر شود. یکی از مهمترین نکاتی که برای بهینه‌تر رفتار کردن قرارداد هوشمند باید به آن توجه کنیم نوع هر متد است.

[1] `https://github.com/OpenZeppelin/openzeppelin-contracts`
[2] Gas fee

اگر متدی از نوع pure تعریف شود به این معنی است که به هیچ اطلاعاتی از شبکه بلاک‌چین نیاز ندارد و همه‌ی اطلاعاتی که لازم دارد را در اسکوپ [۳] خودش دارد. اگر متدی از نوع view باشد به این معنی است که به اطلاعاتش روی شبکه بلاکچین نیاز دارد اما فقط می‌خواهد که آن‌ها را بخواند و نمیخواهد تغییری در آن‌ها ایجاد کند. این دو نوع متد نیازی به پرداخت کارمزد تراکنش توسط کاربر ندارند، اما اگر در تعریف متدی ذکر نشود که یکی از این دو نوع است، اینطور در نظر گرفته می‌شود که نیاز به بروزرسانی اطلاعاتش در شبکه بلاکچین دارد و از کاربری که آن را فراخوانی کرده است هزینه تراکنش دریافت می‌شود.

۴.۱.۴ جزئیات فنی پیاده‌سازی

مینت کردن در این قرارداد به آدرس‌های مشخص محدود نیست و همه می‌توانند توکن بسازند. بسیاری از قراردادها برای صرفه‌جویی در هزینه تراکنش کاربران اکثر اطلاعات مربوط به توکن‌ها را در قرارداد نگه نمیدارند و فقط داده‌های بسیار مهم توکن را در شبکه بلاکچین نگهداری می کنند. از آنجایی که کاپو یک قرارداد همه منظوره است و ممکن است استفاده‌های فراوانی داشته باشد، تصمیم‌گیری این مورد به عهده کاربر قرارداد گذاشته می‌شود.

در کاپو شناسه هر توکن از هش [۴] داده‌های توکن به دست می‌آید. این نحوه عملکرد چند مزیت ایجاد می‌کند. به این ترتیب هیچ دو توکنی نمی‌توانند داده‌های یکسان داشته باشند، زیرا در این صورت شناسه آن‌ها باید یکسان باشد و این امکان پذیر نیست زیرا شناسه توکن‌ها یکتاست. همچنین شناسه توکن‌ها دیگر ترتیبی نخواهند بود و ترتیب ساخت توکن‌ها مشخص نخواهد بود.

در یک قرارداد ERC721 استاندارد فقط شناسه توکن‌ها ذخیره می‌شود. در کاپو علاوه بر شناسه توکن‌ها یک نگاشت [۵] از شناسه توکن‌ها به داده‌ی آن‌ها با نام tokenDatas نیز نگهداری می‌شود. همچنین در کاپو نگاشت دیگری نیز از آدرس به لیست توکن‌های آن آدرس با نام ownerTokens نگهداری می‌شود. متغیر اول کمک می‌کند که با داشتن شناسه یک توکن به راحتی داده‌های آن توکن به دست آورده شوند. متغیر دوم نیز کمک می‌کند که به راحتی بتوان توکن‌های یک آدرس را به دست آورد. دو متغیر دیگر با نام‌های numberOfTokenHolders و numberOfMintedTokens نیز در کاپو نگه‌داشته می‌شوند که برای نمایش آمار استفاده از قرارداد در صفحه

[3] Scope
[4] Hash
[5] Mapping

اصلی اپلیکیشن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

متد mint به نحوی نوشته شده است که برای عموم قابل استفاده باشد. پس از محاسبه هش داده‌ی توکن از آن به عنوان شناسه توکن استفاده می‌کند، توکن را می‌سازد و متغیرهای tokenDatas و numberOfMintedTokens را بروزرسانی می‌کند. پیاده‌سازی این متد را می‌توان در تصویر ۱.۴ مشاهده کرد.

```
14      function mint(string memory data) public {
15          uint256 theHash = uint256(keccak256(abi.encode(data)));
16          _safeMint(msg.sender, theHash);
17          _tokenDatas[theHash] = data;
18          _numberOfMintedTokens++;
19      }
```

شکل ۱.۴: پیاده‌سازی تابع mint

متد afterTokenTransfer از استاندارد ERC721 به نحوی بازنویسی [۶] شده است که پس از هر انتقال توکن با بررسی آدرس‌های مبدا و مقصد، متغیرهای numberOfTokenHolders و numberOfMintedTokens و ownerTokens را بروزرسانی کند. نحوه عملکرد این متد در تصویر ۲.۴ مشخص است.

[6] Overwrite

```
21      function _afterTokenTransfer(
22          address from,
23          address to,
24          uint256 tokenId
25      ) internal virtual override {
26          if (from != address(0)) {
27              _ownerTokens[from] = removeItemFromArray(
28                  tokenId,
29                  _ownerTokens[from]
30              );
31              if (_ownerTokens[from].length == 0) {
32                  _numberOfTokenHolders--;
33              }
34          }
35          if (to != address(0)) {
36              _ownerTokens[to].push(tokenId);
37              if (_ownerTokens[to].length == 1) {
38                  _numberOfTokenHolders++;
39              }
40          }
41      }
```

شکل ۲.۴: پیاده‌سازی تابع afterTokenTransfer

متد جدیدی با نام getUserTokens نیز نوشته شده است که در استاندارد ERC721 به صورت پیش‌فرض وجود ندارد. این متد با گرفتن یک آدرس و استفاده از ownerTokens و tokenDatas دو خروجی برمی‌گرداند، لیستی از شناسه توکن‌های آدرس و لیستی از داده‌های توکن‌های آدرس. محتوای این متد در تصویر ۳.۴ قابل مشاهده است.

```
43      function getUserTokens(address user)
44          public
45          view
46          returns (uint256[] memory, string[] memory)
47      {
48          uint256[] memory tokens = _ownerTokens[user];
49          string[] memory datas = new string[](tokens.length);
50          for (uint256 i = 0; i < tokens.length; i++) {
51              datas[i] = _tokenDatas[tokens[i]];
52          }
53          return (tokens, datas);
54      }
```

شکل ۳.۴: پیاده‌سازی تابع getUserTokens

همچنین از آنجایی که سالیدیتی به طور پیش‌فرض امکان حذف یک داده از یک آرایه با داشتن مقدار آن را ندارد، عدم وجود این قابلیت هزینه‌بر بودن آن است، در سالیدیتی توسعه دهندگان به استفاده از نگاشت و دوری از آرایه‌ها تشویق می‌شوند. اما برای نمایش نحوه ارث‌بری از دو یا چند قرارداد پدر، برای کاپو یک قرارداد به نام Helper نوشته شد که این قابلیت را فراهم می‌کند. این قرارداد در تصویر ۴.۴ قابل مشاهده است. کاپو علاوه بر ERC721 از قرارداد Helper نیز ارث‌بری می‌کند.

```
4   contract Helper {
5       function removeItemFromArray(
6           uint256 valueToFindAndRemove,
7           uint256[] memory array
8       ) internal pure returns (uint256[] memory) {
9           uint256[] memory auxArray = new uint256[](array.length - 1);
10          uint8 found = 0;
11          for (uint256 i = 0; i < array.length; i++) {
12              if (array[i] != valueToFindAndRemove) {
13                  auxArray[i - found] = array[i];
14              } else {
15                  found = 1;
16              }
17          }
18          if (found == 0) {
19              return array;
20          }
21          return auxArray;
22      }
23  }
```

شکل ۴.۴: پیاده‌سازی قرارداد Helper

۲.۴ نوشتن و اجرای تست‌ها

پیش‌تر اشاره شد که از مزیت‌های ارث‌بری از کتابخانه‌های متن‌باز معروف این است که احتمال وجود خطا و مشکل امنیتی به شدت کمتر می‌شود. یکی از دلایل این مسئله این است که این کتابخانه‌ها پوشش تستی به شدت بالایی دارند. به همین دلیل می‌توان تا حدی به عملکرد قرارداد پدر اطمینان خاطر داشت و بیشتر روی تست کردن قابلیت‌های اضافه شده در قرارداد هوشمند فرزند تمرکز داشت.

در کاپو برای هر عملکرد قرارداد تست نوشته شده است. یکی از ساده‌ترین تست‌های نوشته شده تست فرآیند ساخت یک توکن است که در آن پس از بارگذاری قرارداد با فراخوانی متد mint یک توکن ساخته می‌شود و سپس

با فراخوانی متد balanceOf دارایی آدرس سازنده توکن بررسی می‌شود و انتظار می‌رود که پس از ساخت یک توکن، دارایی آدرس سازنده توکن یک باشد. این تست را می‌توان در تصویر ۵.۴ مشاهده کرد.

```
3   contract("Cappu", (accounts) => {
4     it("should mint a token", async () => {
5       const cappu = await Cappu.deployed();
6
7       await cappu.mint("Hey there!", { from: accounts[0] });
8
9       const balance = await cappu.balanceOf(accounts[0], {
10        from: accounts[0],
11      });
12
13      assert.equal(balance, 1);
14    });
15  });
```

شکل ۵.۴: نمونه یکی از تست‌های قرارداد کاپو

پس از نوشته شدن تست‌ها می‌توان آن‌ها را با اجرای دستور truffle test اجرا کرد. این دستور پس از اجرای تست‌ها نتیجه و زمان اجرای هر تست را به عنوان خروجی نمایش می‌دهد. نمونه اجرای این دستور را می‌توان در تصویر ۶.۴ مشاهده کرد.

```
→  back git:(main) ✗ truffle test
Using network 'test'.


Compiling your contracts...
===========================
> Compiling ./contracts/Cappu.sol
> Artifacts written to /var/folders/rp/gbmd1rwd0p1325ck73ckz_rc0000gn/T/test--15817-mpJlgp9Ttlws
> Compiled successfully using:
   - solc: 0.8.10+commit.fc410830.Emscripten.clang



  Contract: Cappu
    ✓ should return correct homepage info (6505ms)

  Contract: Cappu
    ✓ should mint a token (1980ms)

  Contract: Cappu
    ✓ should transfer a token (2301ms)


  3 passing (13s)
```

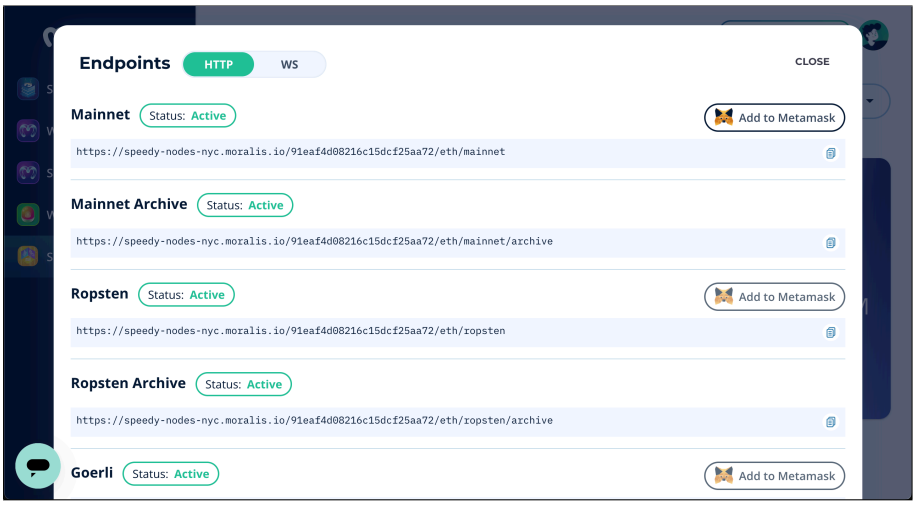
شکل ۶.۴: نمونه خروجی اجرای تست‌های قرارداد

۳.۴ بارگذاری قرارداد روی شبکه تستی راپستن

تا اینجا قرارداد هوشمند نوشته و تست شده است، در این مرحله روی شبکه تستی راپستن بارگذاری می‌شود. فرآیند بارگذاری شدن کاپو به کمک چارچوب ترافل قدم به قدم شرح داده می‌شود.

۱.۳.۴ یافتن آدرس یکی از نودهای شبکه برای ارسال تراکنش بارگذاری قرارداد به آن

آدرس نودهای یک شبکه بلاکچین همه به صورت عمومی در دسترس هستند زیرا نودها باید بتوانند یکدیگر را ببینند. راه‌های زیادی برای به دست آوردن آدرس یک نود وجود دارد. یکی از آسان‌ترین راه‌های به دست آوردن آدرس یکی از نودهای شبکه مراجعه به وبسایت ماینر است. برای این پروژه مشابه تصویر ۷.۴ از وبسایت مورالیس [۷] برای پیدا کردن آدرس نود شبکه استفاده شد.



شکل ۷.۴: دریافت آدرس یکی از نودهای شبکه از وبسایت مورالیس

۲.۳.۴ اضافه شدن اطلاعات شبکه مورد نظر به تنظیمات ترافل

هنگامی که به کمک دستور truffle init یک پروژه ترافل ساخته می‌شود، فایلی با نام truffle-config.js ساخته می‌شود. تنظیمات مربوط به ترافل در این فایل نوشته شده‌است. برای این که ترافل شبکه مورد نظر را

[7] https://moralis.io

بشناسد باید اطلاعات آن شبکه در این فایل نوشته و شبکه‌ی جدیدی تعریف شود. برای تعریف شبکه از آدرسی که در گام قبل به دست آمد استفاده می‌شود و مانند تصویر ۸.۴ شبکه‌ی جدیدی تعریف می‌شود.

```
networks: {
  ropsten: {
    provider: () =>
      new HDWalletProvider(
        mnemonic,
        `https://speedy-nodes-nyc.moralis.io/91eaf4d08216c15dcf25aa72/eth/ropsten`
      ),
    network_id: 3, // Ropsten's id
    gas: 8000000, // Ropsten has a lower block limit than mainnet
    gasPrice: 100000000000,
    confirmations: 2, // # of confs to wait between deployments. (default: 0)
    timeoutBlocks: 200, // # of blocks before a deployment times out  (minimum/default: 50)
    skipDryRun: true, // Skip dry run before migrations? (default: false for public nets )
  }
},
```

شکل ۸.۴: اضافه کردن شبکه راپستن به شبکه‌های ترافل

۳.۳.۴ آماده شدن نمونیکز

برای انجام این پروژه به کمک دستور npm mnemonics مطابق تصویر ۹.۴ یک آدرس تستی ساخته می‌شود. این دستور، نمونیکز متناسب با این آدرس را به عنوان خروجی می‌دهد. دقت کنید که برای بارگذاری روی شبکه اصلی[۸] حتما باید از نمونیکز مربوط به یک کیف پول واقعی استفاده شود و اطلاعات ان در اختیار کسی قرار نگیرد.

```
→  cappu git:(main) ✗ npx mnemonics
flavor bleak joy tired bid habit regret prison nasty acoustic amount thought
```

شکل ۹.۴: ایجاد نمونیکز تستی

۴.۳.۴ استفاده از کیف پول ایجاد شده در تنظیمات ترافل

ترافل برای این که بتواند از کیف‌پول برای انجام تراکنش‌ها استفاده کند باید به نمونیکز یا کلید خصوصی آن دسترسی داشته باشد. به این منظور فایلی با نام secrets.json در دایرکتوری اصلی برنامه ساخته می‌شود و مطابق تصویر ۱۰.۴ نمونیکز کیف پول به شکل زیر در آن قرار داده می‌شود.

[8] Mainnets

```
{
  "mnemonic": "sun seat live wealth pistol bubble ...",
}
```

شکل ۱۰.۴: قراردادن نمونیکز در فایل secrets.json

سپس در تنظیمات ترافل باید مطابق تصویر ۱۱.۴ ذکر شود که می‌تواند آدرس کیف‌پول را در این آدرس پیدا کند.

```
const mnemonic = require("./secrets.json").mnemonic;
```

شکل ۱۱.۴: معرفی فایل secrets.json در تنظیمات ترافل

۵.۳.۴ نصب کیف‌پول hdwallet

ترافل برای استفاده از نمونیکز کیف پول ما نیاز به نصب پکیج hdwallet-provider دارد، این پکیج کاربری‌های یک کیف پول دیجیتال از جمله امضا و ارسال تراکنش بر روی شبکه بلاکچین را در اختیار ترافل قرار می‌دهد. این پکیج با اجرای دستور npm install –save-dev @truffle/hdwallet-provider نصب می‌شود. پس از نصب کیف پول در تنظیمات ترافل در فایل truffle-config.js مطابق با تصویر ۱۲.۴ ذکر می‌شود که از این کیف‌پول استفاده شود.

```
const HDWalletProvider = require("@truffle/hdwallet-provider");
```

شکل ۱۲.۴: استفاده از کیف‌پول hdwallet در تنظیمات ترافل

۶.۳.۴ انتخاب شبکه اضافه شده

حال هنگام ورود به خط فرمان ترافل مانند تصویر ۱۳.۴ شبکه مورد نظر انتخاب می‌شود.

```
→  back git:(main) ✗ truffle console --network ropsten
truffle(ropsten)>
```

شکل ۱۳.۴: ورود به خط فرمان ترافل با انتخاب شبکه راپستن

۷.۳.۴ بررسی آدرس کیف‌پول و موجودی آن

برای بارگذاری یک قرارداد هوشمند باید آدرس بارگذاری کننده آن بتواند هزینه تراکنش بارگذاری را پرداخت کند. در صورتی که بارگذاری بر روی یک شبکه تستی انجام می‌شود باید با استفاده از یک faucet روی شبکه تستی به میزان کافی پول تستی دریافت شود.

برای دریافت آدرس‌های کیف‌پول مانند تصویر ۱۴.۴ از دستور getAccounts در خط فرمان ترافل استفاده می شود.

```
truffle(ropsten)> await web3.eth.getAccounts()
[
  '0xF51f5f41BfA8ADa57a43862cBc18dA4750AecB4c',
  '0x909ebC92395FC4335c35894C7DDc8bfFFDCeEF06',
  '0x48156708DF687C7a8F97C951b5E734E132e891D1',
  '0xF1C6c91D80032528e2C01F73DAd588D11DA0f17d',
  '0xA6f899d10B4E1c1195AFD1C6f29E4e539C828450',
  '0xB63191Dd13637c024C7F1F339F254F0F13d4bB34',
  '0x1699Ba468F7E5af64f510B323537bbcd107373F9',
  '0x6eDd855A6D2d3De5D96749e1bD3E9580c33468E7',
  '0x8A97C0bfC3086DFcd9E1B25D69A1A238A1290BE6',
  '0xc4838dF4d46862d1226BDC409EbE8395cA6fE703'
]
```

شکل ۱۴.۴: دریافت آدرس‌های کیف‌پول در خط فرمان ترافل

برای دریافت مانده حساب آدرس، مانند تصویر ۱۵.۴ از دستور getBalance در خط فرمان ترافل استفاده می‌شود.

```
truffle(ropsten)> await web3.eth.getBalance("0xF51f5f41BfA8ADa57a43862cBc18dA4750AecB4c")
'790887817599784390'
truffle(ropsten)>
```

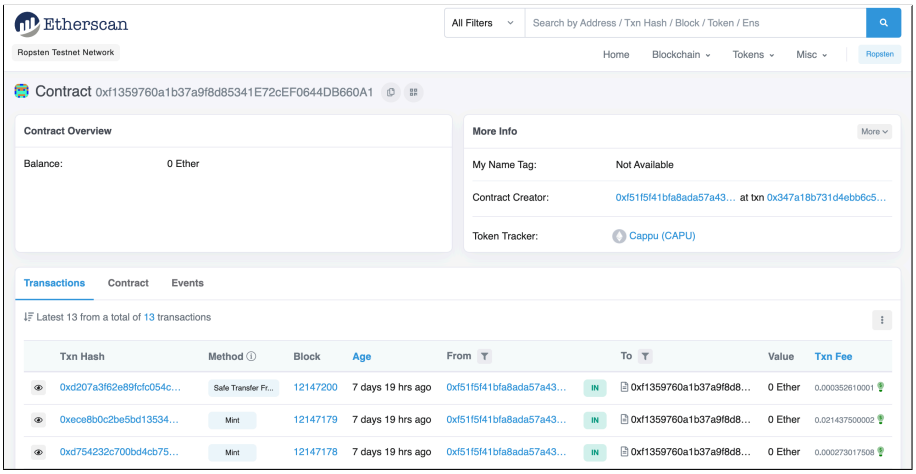
شکل ۱۵.۴: دریافت موجودی کیف‌پول در خط فرمان ترافل

۸.۳.۴ بارگذاری قرارداد هوشمند روی شبکه بلاکچین

پس از اطمینان از توانایی پرداخت کارمزد تراکنش با استفاده از دستور migrate در خط فرمان ترافل قرارداد هوشمند روی شبکه بلاکچین بارگذاری می‌شود.

۹.۳.۴ اطمینان از صحت بارگذاری قرارداد هوشمند

س از اتمام بارگذاری قرارداد هوشمند برای اطمینان از به درستی انجام شدن فرآیند بارگذاری قرارداد، می‌توان از جستجوگرهای شبکه[9] بلاکچین استفاده کرد. برای مثال قرارداد هوشمند کاپو بر روی شبکه راپستن بارگذاری شده است، که با رفتن به وبسایت اتراسکن [10] و قراردادن آن روی شبکه راپستن، مانند تصویر ۱۶.۴ می‌توان قرارداد بارگذاری شده و تراکنش‌های آن را مشاهده کرد.



شکل ۱۶.۴: مشاهده قراداد کاپو در اتراسکن روی شبکه راپستن

۴.۴ توسعه واسط کاربری، اتصال به قرارداد هوشمند و فرآیند بارگذاری

برای توسعه واسط کاربری اپلیکیشن، React به عنوان چارچوب مورد استفاده انتخاب شد. ترکیب این چارچوب با استفاده از کتابخانه material-ui که کمک می‌کند در زمان کوتاه بتوان ظاهری زیبا و یکدست در

[9] Block Explorers
[10] `https://etherscan.io`

اپلیکیشن ایجاد کرد و کتابخانه Web3JS که واسط کاربری را به کیف پول کاربر و شبکه بلاکچین متصل می‌کند، همه‌ی قابلیت‌های مورد نیاز برای توسعه یک واسط کاربری زیبا و کارآمد را در اختیار توسعه دهنده قرار می‌دهد.

در پوشه اصلی واسط کاربری فایلی با عنوان config.js وجود دارد. در این فایل علاوه بر ABI قرارداد هوشمند سایر اطلاعات مورد نیاز مانند آدرس شبکه، آدرس قرارداد در شبکه و نام شبکه مورد نظر نیز ذخیره می‌شود. هنگام توسعه باید دقت شود که این فایل به قرارداد روی شبکه محلی متصل شود.

برای استفاده از Web3JS و اتصال به کیف‌پول کاربر یک فایل به نام connect.js ساخته شد، تمامی اعمال ارتباطی با کیف پول کاربر به عنوان چند تابع در این فایل جمع آوری شده‌اند، این فایل به صورت یک آداپتور میان Web3JS و کد کاپو عمل می‌کند. تمامی قابلیت‌های مورد نیاز مانند اتصال به کیف‌پول و ورود[11] کاربر، خروج[12] کاربر، گرفتن آدرس و شبکه‌ی کیف پول و ... در این فایل انجام می‌شود.

واسط کاربری کاپو پس از تایید کاربر و دریافت آدرس کیف‌پول او، آن را در sessionStorage ذخیره می‌کند، از این طریق متوجه می شود که آیا کاربر وارد شده است یا خیر و با چه آدرسی. کاپو پیش از اتصال به کیف پول کاربر چک می‌کند که کیف پول روی شبکه یکسانی با شبکه فعلی کاپو باشد و در غیر این صورت به کاربر هشدار می‌دهد. همچنین در واسط کاربری کاپو برای داشتن تجربه کاربری بهتر تلاش شده است. نکاتی مانند عدم نمایش قابلیت‌هایی مانند ساخت و ارسال توکن هنگامی که کیف پول کاربر به اپلیکیشن متصل نیست، جابه‌جایی آسان میان صفحات به کمک ،react-router طراحی responsive برای رایانه و گوشی موبایل، نمایش alert ها و error های مناسب به کاربر، نمایش loading هنگامی که تراکنش‌ها در حالت pending هستند و نمایش پیام‌های مناسب با توجه به نتیجه تراکنش‌های کاربر.

برای این که کاربرها بتوانند با قرارداد هوشمند ارتباط برقرار کنند نیاز است که واسط کاربری اپلیکیشن در سروری بارگذاری شود. خوشبختانه گیت‌هاب قابلیت به نام Github Pages در اختیار کاربرانش قرار می‌دهد که به کمک آن می‌توان واسط کاربری اپلیکیشن را در آدرسی متناسب با آدرس مخزن کد در گیت‌هاب بارگذاری کرد و کاربران با رجوع به آن آدرس می‌توانند واسط کاربری اپلیکیشن را ببینند و از آن استفاده کنند.

این قابلیت گیت‌هاب در واقع به این صورت عمل می‌کند که یک برنچ به نام gh-pages در repository پروژه می‌سازد و هربار که دستور بارگذاری پروژه توسط گیت‌هاب اجرا می‌شود، یک بیلد از پروژه می‌گیرد و فایل‌های خروجی بیلد روی این برنچ پوش می‌شوند. سپس این فایل‌ها روی آدرسی متناسب با آدرس repository

[11] Login
[12] Logout

بارگذاری می‌شوند. برای مثال آدرس ریپازیتوری و واسط کاربری اپلیکیشن کاپو به صورت زیر است:

- آدرس ریپازیتوری: `https://github.com/bshramin/cappu`
- آدرس واسط کاربری: `https://bshramin.github.io/cappu`

البته بارگذاری شدن واسط کاربری روی Github Pages با ایجاد مشکلاتی در routing همراه بود که رفع شدند.

۵.۴ داکرایز شدن، پایپلاین‌ها وگیت

اقدامات زیر به منظور سرعت بخشیدن و تسهیل فرآیندهای توسعه و بارگذاری انجام شدند.

۱.۵.۴ داکرایز شدن تست‌های قرارداد هوشمند

برای سرعت بخشیدن به توسعه قرارداد هوشمند، این نیازمندی به وجود آمد که بعد از پوش شدن هر تغییر روی گیت‌هاب تست‌های قرارداد به صورت خودکار اجرا شوند. به این منظور پیش از هر چیز تست‌های قرارداد هوشمند باید بتوانند به صورت داکرایز اجرا شوند.

برای داکرایز کردن اجرای تست‌های قرارداد هوشمند، اول سعی در این بود که یک ایمیج داکر پایه که ترافل روی آن نصب شده باشد پیدا شود، اما نسخه ترافل نمونه‌هایی که یافت شد با نسخه مورد نظر همخوانی نداشت. در نتیجه یک ایمیج پایه داکر نوشته شد که داکرفایل آن را می‌توان در گیت‌هاب [۱۳] مشاهده کرد، همچنین این ایمیج داکر در داکرهاب [۱۴] نیز پوش شد.

سپس داکرفایل دیگری نوشته شد که با استفاده از این ایمیج پایه تست‌های قرارداد را اجرا کند. تست‌های قرارداد در این ایمیج که ترافل بر روی آن نصب شده است با اجرای دستور truffle test اجرا می‌شود.

[13] `https://github.com/bshramin/truffle-docker`
[14] `https://hub.docker.com/r/aminbshr/truffle`

۲.۵.۴ اجرای خودکار تست‌های قرارداد

با داشتن داکرفایلی که با بیلد و اجرای آن تست‌های قرارداد هوشمند اجرا می‌شوند، تست‌های قرارداد هوشمند می‌توانند به عنوان یکی از مراحل پایپلاین پروژه در گیت‌هاب نیز اجرا گردند. به این صورت در هر مرج ریکوئست به برنچ master و با پوش شدن یک کامیت در برنچ master تست‌ها به صورت خودکار در پایپلاین گیت‌هاب اجرا می‌شوند. به این ترتیب سرعت توسعه و اطمینان از کدهای قرارداد بیشتر می‌شود.

۳.۵.۴ بارگذاری خودکار واسط کاربری

برای ساده‌سازی بیشتر فرآیند بارگذاری واسط کاربری و سرعت بخشیدن به توسعه آن، این قابلیت پیاده سازی می‌شود که پس از هربار ایجاد تغییر در واسط کاربری، به جای این که توسعه‌دهنده با اجرای دستوراتی واسط کاربری را به کمک صفحات گیت‌هاب بارگذاری کند، واسط کاربری پس از پوش شدن تغییرات جدید روی برنچ اصلی ریپازیتوری بارگذاری می‌شود.

برای پیاده‌سازی این قابلیت از Github Actions که در واقع پایپلاین‌های گیت‌هاب برای یک پروژه هستند استفاده می‌شود. تنها نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که این استیج از پایپلاین یک تفاوت اصلی با استیج‌های دیگر دارد. استیج‌های دیگر فقط می‌خواهند که کدهای ریپازیتوری را بخوانند و نمی‌خواهند چیزی را در ریپازیتوری تغییر دهند، اما این استیج می‌خواهد که کدهای واسط کاربری را بیلد کند و سپس فایل‌های بیلد شده را روی برنچ دیگری به نام gh-pages پوش کند. پس این استیج پایپلاین نیاز به دسترسی پوش کردن کد روی ریپازیتوری دارد.

برای پیاده‌سازی این قابلیت به این صورت عمل می‌شود که نخست یک داکرفایل نوشته می‌شود که در آن کدهای واسط کاربری بیلد و سپس به کمک صفحات گیت‌هاب روی برنچ gh-pages پوش و بارگذاری می‌شوند. اما این کانتینر برای این که بتواند کدها را روی ریپازیتوری پوش کند نیاز به یک توکن از گیت‌هاب دارد، به همین دلیل برای این داکرفایل یک ENV تعریف می‌شود و هنگامی که در استیج بارگذاری واسط کاربری این داکرفایل بیلد و اجرا می‌شود توکنی که از گیت‌هاب گرفته شده است به عنوان env به این کانتینر داده می‌شود. به این ترتیب این توکن درون کانتینر داکر وجود خواهد داشت و Github Pages از آن استفاده خواهد کرد.

فصل ۵

دست‌آوردها، پیشنهادها، محدودیت‌ها

۱.۵ دست‌آوردها

۱.۱.۵ پلتفرم ایجاد شده

قرارداد هوشمند نوشته شده در این پروژه، کاپو، با عملکرد کامل بر بروی شبکه تستی راپستن بارگذاری شد و امکانات لازم برای دسترسی عموم مردم به روشی آسان و ارزان به توکن‌های تعویض ناپذیر را فراهم می‌کند. کاربران می‌توانند در صفحه اصلی این اپلکیشن تعداد توکن‌های ساخته شده و تعداد آدرس‌های دارای توکن را مشاهده کنند. سپس با متصل کردن کیف‌پولشان به اپلیکیشن می‌توانند توکن بسازند، دارایی‌هایشان را مشاهده کنند و توکن‌هایشان رو به دیگران ارسال کنند.

۲.۱.۵ ساخت محیط توسعه سریع و خودکار

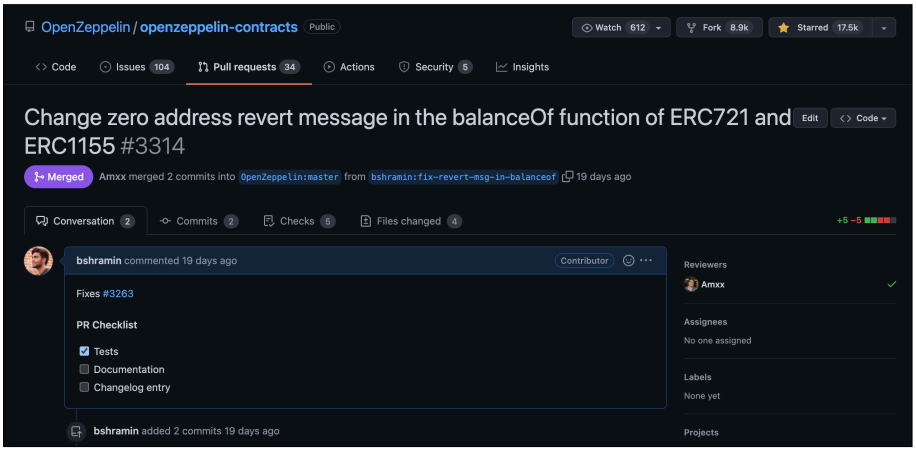
سپس آموختیم که چگونه اجرای تست‌های قرارداد هوشمند را داکرایز و به صورت خودکار در پایپ‌لاین پروژه اجرا کنیم. برای انجام این کار یک داکر ایمیج ترافل نوشته شد، کد آن به صورت متن‌باز بر روی گیت‌هاب بارگزاری و ایمیج آن به داکرهاب اضافه شد. سپس واسط کاربری اپلیکیشن داکرایز شد و از env های داکر برای فرستادن توکن گیت‌هاب از پایپلاین به کانتینر استفاده شد و در نتیجه واسط کاربری اپلیکیشن به صورت خودکار در پایپلاین

پروژه روی صفحات گیت‌هاب بارگزاری می شود.

در نتیجه انجام این کارها یک مسیر راحت و سریع برای توسعه یک قرارداد هوشمند به همراه واسط کاربری ایجاد شد که تست‌ها و فرایند بارگذاری همه به صورت خودکار در آن اجرا می‌شوند.

۳.۱.۵ ورود به جامعه توسعه‌دهندگان

برای انجام این پروژه از قراردادهای هوشمند اپن‌زپلین استفاده شد. اپن‌زپلین یکی از پر استفاده‌ترین مخزن استانداردهای قراردادهای هوشمند است که در زمان نوشته شدن این متن در گیت‌هاب بیش از هفده هزار و پانصد ستاره و نزدیک به نه هزار فورک دارد. در حین توسعه کاپو تغییراتی در پروژه اپن‌زپلین نیز اعمال گردید. سپس یک مرج ریکوئست[1] شامل این تغییرات ساخته شد که در همان روز توسط تیم اپن‌زپلین به مخزن کد اصلی اضافه شد. این مرج ریکوئست در تصویر ۱.۵ قابل مشاهده است. این موضوع برتری‌های توسعه متن‌باز را نشان می‌دهد. تیم‌های توسعه بزرگ، حتی به بزرگی پروژه‌ای مانند اپن‌زپلین، از کمک همه توسعه دهندگان استقبال می‌کنند، حتی کسانی که برای اولین بار می‌خواهند روی یک پروژه تغییری ایجاد کنند.



شکل ۱.۵: مرج ریکوئست باز شده بر روی اپن‌زپلین

[1] Merge Requests

۴.۱.۵ یادگیری

در طی انجام این پروژه با ابزارها، چارچوب‌ها، کتابخانه‌ها و استانداردهای توسعه قراردادهای هوشمند آشنا شدیم. آموختیم که چارچوب ترافل چه ابزارهایی را در اختیار توسعه دهنده قرار می‌دهد. چگونه می‌توان یک شبکه محلی برای توسعه ایجاد کرد، قرارداد هوشمند را بر روی آن بارگذاری کرد و واسط کاربری و کیف پول را به آن متصل کرد.

آموختیم که چگونه می‌توانیم برای پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند از استانداردهای موجود استفاده کنیم، برای آن‌ها تست بنویسیم و به کمک چارچوب ترافل این تست‌ها را اجرا کنیم. آموختیم که چگونه پس از اتمام فرآیند توسعه قرارداد هوشمند را بر روی شبکه تستی بارگذاری کنیم. همچنین واسط کاربری اپلیکیشن به کمک صفحات گیت‌هاب بارگذاری و به قرارداد هوشمند روی شبکه تست متصل شد.

۲.۵ پیشنهادها

در این قسمت با توجه به آموخته‌هایی که در طی انجام این پروژه به دست آمد، پیشنهادهایی برای توسعه پروژه‌های مشابه ذکر می شود. امید است که استفاده از این پیشنهادها مسیر توسعه را هموارتر کرده و سرعت ببخشد.

۱.۲.۵ استفاده از استانداردها

خوشبختانه در این پروژه از ابتدا به استفاده از استانداردهای موجود اهمیت داده شد. در صورتی که توسعه دهنده بخواهد از استانداردهای موجود استفاده نکند مزیت سازگاری قرارداد هوشمند نوشته شده با پلتفرم‌هایی که از پیش وجود دارند را از دست می‌دهد.

همچنین در صورتی که توسعه دهنده تصمیم بگیرد که از یکی از استانداردها پیروی کند بهتر است که از پیاده‌سازی‌های موجود به صورت متن‌باز استفاده کند، این تصمیم باعث رشد چشمگیر سرعت توسعه قرارداد هوشمند می‌شود، امکان وجود خطا و مشکل امنیتی در قرارداد را کم و امکان دریافت آپدیت‌های جدید را تسهیل می‌کند.

۲.۲.۵ استفاده از ERC1155 به جای ERC721

استاندارد ERC1155 برتری‌های فراوانی نسبت به استاندارد ERC721 دارد. از جمله این برتری‌ها می‌توان به قابلیت ارسال چند توکن در یک تراکنش، توانایی ساخت انواع مختلف توکن با تعداد متفاوت و پشتیبانی از توکن‌های تعویض‌پذیر و تعویض‌ناپذیر به صورت همزمان اشاره کرد. با توجه به قابلیت ارسال هم‌زمان چند توکن و یا ساخت هم‌زمان چندین توکن در یک تراکنش، هزینه‌ی پرداختی کاربرها نیز برای استفاده از قرارداد هوشمند به نحو شایانی کاهش می‌یابد و به این نحو قرارداد در دسترس جامعه بزرگتری قرار می‌گیرد.

۳.۲.۵ ساخت محیط توسعه از شروع کار

انجام مواردی مانند خودکار سازی اجرا شدن تست‌ها، بارگذاری رابط کاربری و استفاده از ابزارهای کنترل ورژن مانند گیت‌هاب گرچه در شروع کار ممکن است خسته‌کننده باشند و به توسعه‌دهنده حس پیشرفت در انجام پروژه را ندهند، اما این کارها هرچه زودتر و در شروع پروژه انجام شوند سرعت پیشرفت پروژه را دو چندان می‌کنند. در نتیجه پیشنهاد می‌شود که در نقطه شروع پروژه به روند توسعه توجه شود و زمانی به بهینه‌سازی این روند اختصاص داده شود.

۳.۵ محدودیت‌ها

۱.۳.۵ استفاده از دریزل

در ابتدای انجام پروژه سعی شد که برای برقراری ارتباط رابط کاربری با قرارداد هوشمند از دریزل استفاده شود. اما استفاده از این ابزار مشکلات فراوانی را به همراه داشت. با توجه به تازگی و بالغ نبودن ابزارهای موجود برای توسعه قراردادهای هوشمند، باید سعی شود که تا جای ممکن از ابزارهای پراستفاده و با جامعه توسعه‌دهندگان بزرگ استفاده شود. در این پروژه پس از مواجهه با محدودیت‌های فراوان دریزل، از کتابخانه Web3JS استفاده شد که دست توسعه دهنده را به میزان خوبی باز می‌گذارد.

۲.۳.۵ ورژن‌های مختلف ابزارها

عدم همخوانی نسخه‌های مختلف ابزارهای مورد استفاده با یکدیگر مشکلات زیادی در توسعه پروژه ایجاد کرد. در هنگام توسعه پروژه باید حتما دقت شود که برای هر ابزار در حال استفاده از چه نسخه‌ای هستیم. همچنین برای محدود کردن این مشکل پیشنهاد می‌شود از ابزارهای کانتینر کننده مانند داکر استفاده شود.

۳.۳.۵ هزینه تراکنش‌های شبکه اصلی اتریوم

در زمان نوشته شدن این متن، هزینه انجام تراکنش روی شبکه اصلی اتریوم به شدت بالاست. این هزینه‌ی بالا باعث می‌شود که بارگذاری کردن روی شبکه اصلی برای یک پروژه آزمایش از دسترس دور باشد. اگرچه ممکن است در آینده با بروزرسانی اتریوم ۲ این هزینه به شدت کاهش یابد.

۴.۳.۵ عدم وجود راهنما و مستندات کافی

تازگی این زمینه باعث عدم وجود راهنما و مستندات کافی شده است. این موضوع از دیگر دلایل پیشنهاد به استفاده از ابزارهای با جامعه توسعه‌دهندگان بزرگ است.

مراجع

[1] Foundation, Ethereum. Ethereum documentation. . Accessed: 2010-09-30.

[2] Foundation, Zeppelin. Ethereum documentation. . Accessed: 2010-09-30.

Abstract

Web3 is the next step in the evolution of the internet, the most critical innovation after the word wide web. Increasingly, applications and financial transactions will be able to be decentralized with the advent of cryptocurrencies, consensus algorithms, and smart contracts.

Absolute ownership of assets is one of the main advantages of a decentralized internet. It is so that no one person or organization can control another's assets or prevent them from being transferred. The blockchain will also protect the copyright of digital assets. Even if someone copies an artist's digital art, it is still evident to everyone that the artist owns the image.

With the benefits of ownership they provide, non-fungible tokens became very popular. The ease and convenience of minting, keeping, selling, and transferring NFTs have also encouraged the widespread use of these tokens. Many technologies and platforms have been introduced and are still being developed for this new and huge market.

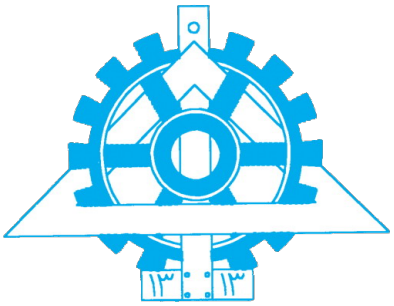
With this project, we are developing an easy-to-use platform so that any person or organization can mint and transfer NFTs. The use cases for such a platform are endless. In Cappu, assets such as cars, houses, movie tickets, and doctor appointments can be minted, sold, and transferred to others as an NFT.

Even though this platform may have a wide variety of uses, the primary objective of this project is to become familiar with the process and tools of developing and deploying a smart contract, development and connections of the front end of the smart contract, and learn about the standards of building a smart-contract, such as ERC721 and ERC1155.

Moreover, Cappu is open-source, and the code can be found on Github[2].

Keywords Cappu, NFT, smart-contract, solidity, ERC721

[2]https://github.com/bshramin/cappu



University of Tehran
College of Engineering
Faculty of Electrical and Computer Engineering
Software Department

Cappu, a platform to mint and transfer data NFTs.

A Thesis submitted to the Undergraduate Studies Office
In partial fulfillment of the requirements for
The degree of Bachelor of Science
in Computer Engineering - Software Engineering

By:

Amin Bashiri

Supervisor:

Dr. Ehsan Khamespanah

June 2022