طراحی یک معماری بلاک‌چین برای اینترنت اشیاء

سروه سعیدپور[1*]، سیروس فتحی‌منش[2]، محمد فتحی[3]
[1]کارشناس ارشد مهندسی برق_مخابرات، دانشگاه کردستان، serve.saeidpour@gmail.com
[2] دکتری آمار، دانشگاه کردستان، s.fathimanech@uok.ac.ir
[3] دکتری مهندسی برق_مخابرات، دانشگاه کردستان، mfathi@uok.ac.ir

چکیده :
در این مقاله به ارائه طرحی برای سرویس بلاک‌چین بر پایه اینترنت اشیاء پرداخته می‌شود. در این طرح یک مدل شبکه بر طبق قانون صف ارائه شده است که اطلاعات دریافت شده و ثبت شده در گره های شبکه اینترنت اشیاء در شبکه را با بیشترین بهره وری در اختیار سیستم بلاک‌چین قرار دهد. هدف اصلی این طرح بهینه سازی زمان رجوع سیستم بلاک‌چین به تراکنش‌های موجود در گره های شبکه، اندازه بافر گره ها، و تعداد گره‌های ذخیره کننده تراکنش‌ها می‌باشد. با توجه به غیرمحدب بودن مسئله، یک روش عددی برای حل آن ارائه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: اینترنت اشیاء، بلاک‌چین، قانون صف، بهینه .

1- مقدمه

اینترنت اشیاء *(IOT)* یک تکنولوژی است که در سال های اخیر توجه ویژه ای به آن شده است. این تکنولوژی با سرعت زیادی در حوزه های مختلف در حال رشد و توسعه می‌باشد و گامی جدید در پیشرفت فناوری است. اینترنت اشیاء به افراد و اشیاء اجازه می‌دهد تا با استفاده از انواع شبکه‌های ارتباطی در هر زمان و هر مکان به یکدیگر متصل شوند. پیش بینی شده است که بسیاری از خدمات *IOT* در سراسر جهان به میلیون‌ها دستگاه ساده و بعضاً ریز دسترسی داشته باشند. علاوه بر این، قابلیت‌های محدود بسیاری از دستگاه‌های *IOT* و همچنین سیستم‌های کنترل دسترسی فعلی مبتنی بر ساختارهای متمرکز و سلسله مراتبی، چالش‌های جدیدی را در حوزه *IOT* ایجاد می‌کند. دستگاه‌های *IOT* می‌توانند توسط چندین مدیر به طور همزمان مدیریت شوند. علاوه بر این، بسیاری از دستگاه‌های *IOT* از نظر *CPU*، حافظه و منابع باتری بسیار محدود خواهند بود تا بتوانند با استفاده از سیستم‌های فعلی به درستی کار کنند. از این رو، روش‌های جدیدی برای دستیابی به حل مشکل مورد نیاز وجود دارند *[2]* . برای غلبه بر این مشکل، بلاک‌چین‌های زنجیره‌ای خصوصی که امکان مشارکت کاربران معتبر را فراهم می‌کنند پیشنهاد شده است . این پیاده سازی‌های بلاک‌چین از روش‌های اجماع استفاده می‌کنند که نیازی به قدرت محاسباتی بالایی برای حل مشکلات هش ندارند.

در طراحی سیستم‌های جدید، همچنان که تسهیل کنترل دسترسی منابع در سناریوهای مختلف مورد نظر می‌باشد، راه حل‌های ارائه شده باید یک سطح رضایت از امنیت را نیز فراهم کنند. با توجه به آینده پیش بینی شده برای اینترنت اشیاء، یکی از مهم‌ترین مسائلی که امروزه مورد بحث قرار می‌گیرد بحث بهره‌وری انرژی در اینترنت اشیاء است. یکی از راه‌های کاربردی برای تسهیل در رسیدن به هدف مورد نظر در اینترنت اشیاء استفاده از فناوری و اپلیکیشن‌های برپایه بلاک‌چین است. بلاک‌چین یا زنجیره بلوکی یک ساختار داده توزیع شده است که در میان اعضای یک شبکه تکرار شده و به اشتراک گذاشته شده است. هر بلوک در زنجیره شامل حمل لیستی از اطلاعات و هش بلوک قبلی است. اولین بلوک زنجیره به نام پیدایش فقط شامل هش خود بلوک و اطلاعات می‌باشد و بلوک‌های بعدی شامل هش خود، هش بلوک قبلی و اطلاعات می‌باشند. فنآوری بلاک‌چین مزایایی دارد همچون کنترل غیرمتمرکز، شفافیت داده ها و قابلیت اطمینان، توزیع اطلاعات، اجماع غیر متمرکز و امنیت بالا می‌باشد *[1]*.

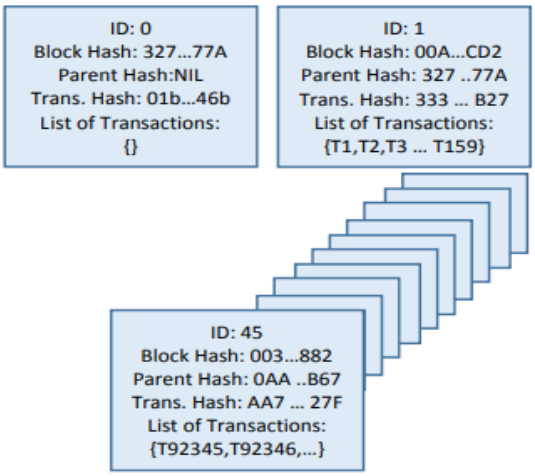
در این پژوهش ارائه طرحی از بلاک‌چین جهت اعمال و استفاده در اینترنت اشیاء مد نظر است. در این طرح نیازمندی‌ها و معماری بلاک‌چین استخراج می‌شود و عملکرد به صورت ساختاری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

2- تکنولوژی بلاک چین

بسیاری از خدماتی که امروزه در دنیا عرضه می‌شوند، همگی به صورت متمرکز و تحت کنترل یک نهاد نظارتی می‌باشند. این رویکرد ضمن داشتن مزیت‌هایی نظیر افزایش کیفیت و سرعت ارائه‌ی سرویس‌ها، مشکلاتی از جمله افزایش نابرابری و عدم شفافیت را به همراه دارد. سیستم‌های غیرمتمرکز می‌توانند با فراهم کردن بستری مناسب جهت نظارت بر نحوه‌ی ارائه‌ی سرویس‌ها، از به وجودآمدن این مشکلات جلوگیری کنند. در این بین، طراحی یک سیستم مالی غیرمتمرکز از ضرورت مضاعفی برخوردار است، زیرا سیستم‌های مالی، بخشی جدایی ناپذیر از هر سازمانی بوده و وجود شفافیت در نحوه‌ی عملکرد آنها در کنار امنیت از اهمیت بالایی برخوردار است به همین دلیل سیستم بلاک‌چین با ارز دیجیتالی به نام بیت‌کوین شناخته شد. بلاک‌چین در واقع یک پایگاه داده‌ی توزیع شده‌ی همگانی است که در آن اطلاعات با ترتیب خاصی وارد شده و در آینده قابل تغییر نیستند. مزیت اصلی این پایگاه داده‌ی همگانی این است که همه‌ی کاربران به آن دسترسی داشته و در صورت لزوم می‌توانند با تمهیداتی، اطلاعات جدیدی را به آن اضافه نمایند[2].

2-1-نحوه عملکرد بلاک چین

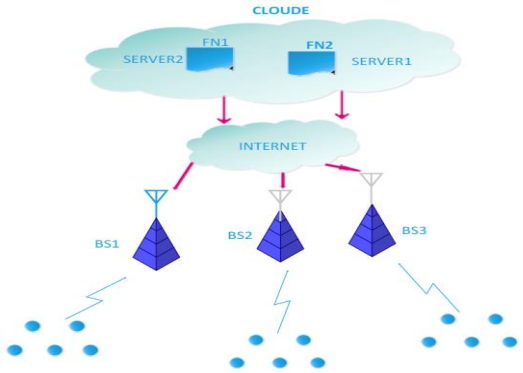
بلاک‌چین یک ساختار ذخیره سازی اطلاعات مبتنی بر زنجیره‌ای از بلوک‌های دادهای مرتبط به هم است که توسط گره‌های شرکت کننده در این سیستم به صورت گروهی تولید، خطایابی و نگهداری می‌شود. تغییر در هر یک از بلوک‌ها، موجب از اعتبار افتادن بلوک‌های بعدی می‌شود. هر بلوک جدید، در یک مکانیزم رقابتی به وسیله‌ی یکی از افراد شرکت کننده، از داده‌های جدیدِ تولید شده در این سیستم آماده و به زنجیره اضافه می‌شود. شکل 1 نحوه عملکرد تکنولوژی بلاک‌چین را به صورت ملموس‌تری بیان می‌کند. بلوک‌های جدید به وسیله‌ی بقیه‌ی افراد شرکت کننده در سیستم قابل دسترسی و صحت سنجی هستند. چنانچه یک بلوک شامل خطایی در ذخیره سازی باشد، به وسیله سایر گره‌های موجود در شبکه شناسایی شده و در زنجیره‌ی اصلی ثبت نمی‌شود. تا زمانی که بیش از 50 درصد گره‌های شبکه، روی زنجیره‌ی فعلی توافق داشته باشند، زنجیره معتبر خواهد بود. به دلیل ساختار زنجیره‌ای و ارتباط تنگاتنگ هر بلوک با بلوک‌های قبلی خود، تغییر داده‌های مورد توافق اکثریت شبکه نیازمند قدرت محاسباتی بسیار زیادی است که قابل تامین نیست. این هم به نوبه خود باعث مقاومت سیستم در برابر حمله‌های سایبری می‌گردد[3] .



شکل 1- نحوه عملکرد تکنولوژی بلاک‌چین

3- نحوه ذخیره سازی اطلاعات

روش‌های ذخیره سازی اطلاعات را می‌توان به دو دسته "ذخیره سازی کامل" و "ذخیره سازی محلی" تقسیم کرد. با توجه به موانع ذکر شده در سیستم‌های مبتنی بر *IOT*، بهترین پیشنهاد در این حوزه ذخیره سازی محلی خواهد بود، ولی باز هم نیازمند الگوریتمی هستیم که بتوانیم به راحتی و با سرعت بالا از طریق هر کدام از نودهای شبکه به تمام اطلاعات موجود در شبکه دسترسی داشته باشیم. لذا استفاده از حداقل حافظه ی مشترک بین تمام نودها اجتناب ناپذیر خواهد بود. در کنار ذخیره سازی محلی تراکنش‌ها، به بانک‌های اطلاعاتی جهت ذخیره سراسری و دائمی تراکنش‌ها نیاز است، لذا استفاده از فضای ابری پیشنهاد می‌شود. مطابق شکل 2 فضای ابری را در نظر می‌گیریم که بتوانیم اطلاعات کامل شبکه را در آن ذخیره کنیم و برای دسترسی به تمامی اطلاعات به عنوان مرجع ذخیره اطلاعات عمل کند و تمامی نودها به صورت مستقیم به آن دسترسی داشته و در تعامل باشند. بدیهی است تمامی این سرورهای پیش‌بینی شده دائما به شبکه اینترنت متصل خواهند بود*[4]*.

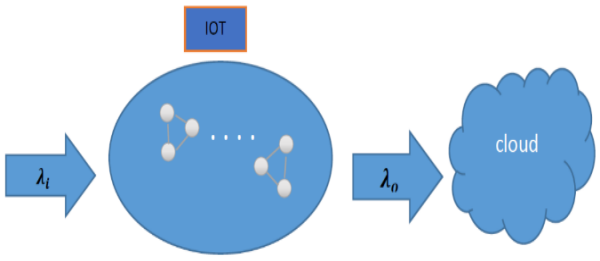


شکل2- فضای ابری ثبت اطلاعات اینترنت اشیاء

4- طرح بهینه سازی الگوریتم بلاک‌چین

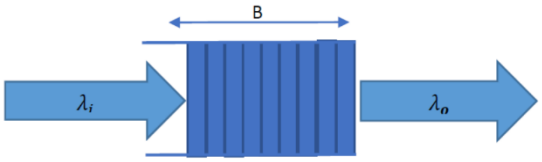
4-1 مدل شبکه

مطابق شکل 3 یک شبکه اینترنت اشیاء شامل n گره در نظر بگیرید که به فضای ابری متصل است. این شبکه یک بستر برای سرویس بلاک‌چین است. فرض کنید تراکنش‌ها توسط یک سرویس بلاک‌چین بر بستر شبکه *IOT* با نرخ λ_i تراکنش در ثانیه تولید شوند. این تراکنش‌ها در ابتدا در حافظه گره‌های *IOT* ذخیره می‌شوند و در صورت نیاز توسط سرویس بلاک‌چین مورد استفاده قرار می‌گیرند. این بلاک‌ها یا تراکنش‌ها برای مدت محدودی در شبکه *IoT* باقی مانده و سپس با نرخ λ_o برای شبکه فضای ابری ارسال می‌شوند.



شکل3- مدل شبکه

در بازیابی *تراکنش‌ها* توسط سرویس بلاک‌چین خیلی مهم است که زمان بازیابی کوتاه باشد و هر تراکنش در اسرع وقت در اختیار سرویس بلاک‌چین قرار بگیرد. اما با در نظر گرفتن حافظه محدود گره‌های *IOT*، این گره‌ها مجبور هستند که برای جلوگیری از پرشدن حافظه، تعدادی از تراکنش‌ها را به شبکه *cloud* ارسال نمایند. این ارسال که به صورت هدایت *(forward)* به سرورهای شبکه ابری است از دیدگاه سرویس بلاک‌چین مطلوب نیست چون زمان دسترسی به تراکنش ها را افزایش می‌دهد. برای مدلسازی فرایند ورود و خروج تراکنش از شبکه *IOT*، مدل هر گره را به شکل4 در نظر می‌گیریم. به صورتی که λ_i نرخ ورود، λ_o نرخ خروج و ظرفیت حافظه در این نود را با B مشخص خواهیم کرد. B تعداد تراکنش‌هایی هست که این نود می‌تواند در خود ذخیره کند.



شکل 4- مدل صف

این مدل به شکل یک صف $m/m/1/B$ می باشد که یک سرور با اندازه بافر B است. روند ورود اطلاعات به صف با نرخ λi تراکنش در ثانیه می‌باشد و زمان سرویس به صورت توزیع نمایی با میانگین زمان سرویس $\frac{1}{\lambda o}$ می‌باشد. تراکنش‌ها با نرخ متوسط λo از حافظه خارج شده و به شبکه *cloud* ارسال می‌شوند. شبکه *IOT* سعی دارد احتمال در دسترس بودن یک تراکنش در شبکه *IOT* را افزایش دهد. برای بهینه سازی مدل فوق، پارامترهای زیر را تعریف می‌کنیم*[6]*.

Pb : احتمال بلاک کردن یک تراکنش

زمانی که یک تراکنش وارد حافظه یک گره می‌گردد اگر حافظه فضای خالی داشته باشد تراکنش ذخیره می گردد و اگر حافظه پر باشد تراکنش ورودی ذخیره نشده و اصطلاحاً تراکنش بلوکه می گردد. البته بدیهی است که این تراکنش ممکن است در گره‌های دیگر شبکه بلوکه نشده باشد و در حافظه تعدادی از گره‌های شبکه *IOT* ذخیره شود. مطابق محاسبات انجام شده در تئوری صف، احتمال بلوکه شدن یک تراکنش در یک گره به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_b = \frac{1-\rho}{1-\rho^{B+1}}\rho^B \qquad (1)$$

که $\rho = \frac{\lambda i}{\lambda o}$ است و بیانگر شدت ترافیک ورودی در واکنش‌ها به صف است.

Pf : احتمال ارسال کردن یک تراکنش به *cloud*

مطابق قانون *Little* که در تئوری صف معروف است اگر شدت ترافیک ورودی λi باشد و حجم حافظه B باشد متوسط زمان ماندن یک تراکنش در حافظه $T = \frac{B}{\lambda_i}$ می‌باشد[7][8]. همچنین چون نرخ خروج تراکنش‌ها از حافظه با نرخ λ_o صورت می‌گیرد زمان سرویس هر تراکنش دارای توزیع نمایی با متوسط $\frac{1}{\lambda_0}$ می‌باشد با در نظر گرفتن زمان توقف یک تراکنش در حافظه و زمان سرویس کل، زمان ماندگاری یک تراکنش در گره به صورت $w= T+t$ می‌باشد که t یک متغیر تصادفی با تابع توزیع نمایی $f_t(X) = \lambda_0 e^{-\lambda_0 x}$است. وقتی یک تراکنش توسط سرویس بلاک‌چین در حافظه یک گره ذخیره می‌گردد بعد از مدتی سرویس بلاک‌چین به آن تراکنش رجوع کرده و آن را برای ایجاد تراکنش‌های جدید بازیابی می‌کند. چون نرخ ورود تراکنش‌ها را λ_i در نظر گرفته‌ایم مدت زمان مذکور را ضریبی از $\frac{1}{\lambda_i}$ در نظر گرفته و آن را با $\frac{m}{\lambda_i}$ نشان می‌دهیم. بدیهی است هرچه m بیشتر باشد از دید سرویس بلاک‌چین بهتر است.

$$\begin{aligned} P_f &= P\left(W < \frac{m}{\lambda_i}\right) \\ &= P\left(T + t < \frac{m}{\lambda_i}\right) \\ &= P\left(t < \frac{m}{\lambda_i} - \frac{B}{\lambda_i}\right) \\ &= P\left(t < \frac{m-B}{\lambda_i}\right) \\ &= 1 - e^{-\lambda_o \frac{m-B}{\lambda_i}} \end{aligned} \quad (2)$$

همچنان که ذکر شد $\frac{m}{\lambda_i}$ زمان مراجعه مجدد سرویس بلاک‌چین به گره *IOT* جهت بازیابی تراکنش است.

P_{av} : احتمال دسترس پذیری تراکنش

برای کاهش زمان بازیابی یک تراکنش، باید تراکنش در شبکه *IOT* موجود باشد و به شبکه کلود ارسال نشده باشد. برای این منظور احتمال در دسترس بودن یک تراکنش *(P_{av})*را تعریف می‌کنیم.

یک تراکنش زمانی در دسترس است که دو شرط زیر برقرار باشد.

الف) تراکنش در شبکه *IOT* بلوکه نشده باشد یعنی حداقل باید در حافظه یکی از گره‌ها شبکه موجود باشد.

ب)تراکنش باید به طور کلی به کلود منتقل نشده باشد و با گذر زمان هنوز یکی از گره‌های اینترنت اشیاء آن را در حافظه داشته باشد. حالت هایی را که نمی‌تواند دو شرط فوق را برآورده کند به صورت زیر در نظر می‌گیریم.

الف)تراکنش ورودی در همه گره‌ها بلوکه شده باشد و در نتیجه در هیچ گره‌ای ذخیره نشده باشد. احتمال این پیشامد برابر است با P_b^n که n بیانگر تعداد گره‌های شبکه *IOT* است.

ب)تراکنش ورودی به طور کلی بلوکه نشده یعنی حداقل در حافظه یک گره موجود است، اما در همه گره‌هایی که موجود بوده به شبکه کلود ارسال شده است. احتمال اینکه تراکنش در تعداد i گره ذخیره شده باشد و در همگی آنها به *cloud* ارسال شده باشد برابر است با:

$$(1 - P_b)^i P_n^{n-i} P_f^i \quad (3)$$

با در نظر گرفتن n گره در شبکه *IOT*، احتمال قسمت ب برابر است با:

$$\sum_{i=1}^{n} \binom{n}{i} (1 - P_b)^i P_b^{n-i} P_f^i \quad (4)$$

با در نظر گرفتن احتمالات در قسمت‌های الف و ب، در دسترس بودن یک تراکنش در شبکه *IOT* از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} P_{av} &= 1 - P_n^n - \sum_{i=1}^{n} \binom{n}{i} (1 \\ &\quad - P_b)^i P_b^{n-i} P_f^i \\ &= \sum_{i=0}^{n} \binom{n}{i} (1 \\ &\quad - P_b)^i P_b^{n-i} P_f^i \end{aligned} \quad (5)$$

4-2- طرح مسئله بهینه‌سازی

با در نظر گرفتن پارامترهای تعریف شده دربخش‌های قبل، یک مسئله بهینه سازی به فرم زیر تشکیل می‌شود.

$$Max \quad \frac{m}{B} \quad (6)$$

$$Subject\ to \quad P_{av} \geq L_{av} \quad (7)$$

$$P_b \leq u_b \quad (8)$$

$$nB \leq B_{total} \quad (9)$$

$$B \leq B_{max} \quad (10)$$

تابع هدف این مسئله به صورت $\frac{m}{B}$ در نظر گرفته می‌شود. همچنان که پیشتر ذکر شد $m/\lambda i$ بیانگر فاصله‌های زمانی بازیابی یک تراکنش توسط سرویس بلاک‌چین است. اگر m زیاد باشد سرویس می‌تواند در فاصله‌های زمانی طولانی تری به تراکنش‌ها رجوع کند در واقع زمان ماندگاری یک تراکنش در شبکه *IOT* بیشتر است. همچنین B حجم حافظه گره‌های *IOT* است. به دلیل محدودیت های سخت افزاری در گره های *IOT* حجم حافظه نمی‌تواند بزرگ باشد و ایده آل آن است حجم کم باشد. بنابراین ماکزیمم کردن

تـابع هدف m/B به طور ضـــمنی هم ماکزیمم کردن m و هم مینیمم کردن B را دنبال می‌کند.

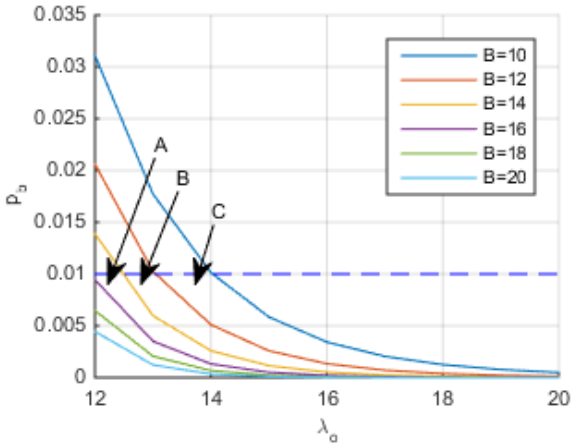
محدودیت (7) یک حد آسـتانه پایینی را برای احتمال دسترسی P_{av} به صـــورت L_{av} در نظر می‌گیرد. محدودیت (8) برای این است که احتمال بلوکه کردن تراکنشها در حافظه ها از حد آستانه بالای u_b بیشتر نگردد. محدودیت‌های 9 و 10 برای حافظه گره‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

با درنظر گرفتن پارامتر ها و توابع تعریف شده در مسئله فوق، این مسـئله غیر خطی است و حل آن از روشهای تحلیل بهینه سازی مقدور نیســـت، لذا در این پایان نامه از روش‌های عددی برای دستیابی به یک جواب *suboptimal* استفاده می‌کنیم[5].

چون از روش‌های عددی اســتفاده می‌کنیم بنابراین ابتدا مقادیر عددی پارامترهای مســئله را به صـورت زیر در نظر می گیریم و پارامترهای m, λ_o, B, n را به عنوان مجهول‌های مســئله در نظر می‌گیریم.

$$L_{av} = 0.09$$
$$U_b = 0.01$$
$$B_{total} = 300$$
$$B_{max} = 20$$
$$\lambda_i = 10$$

ابتدا با در نظر گرفتن فرمول محاسـبه P_b در فرمول 1 و همچنین مشـــخص بودن λ_i ، منحنی P_b برحســـب λ_0 را برای مقـادیر متفاوتی از میزان فضای حافظه B ترسیم می‌کنیم.



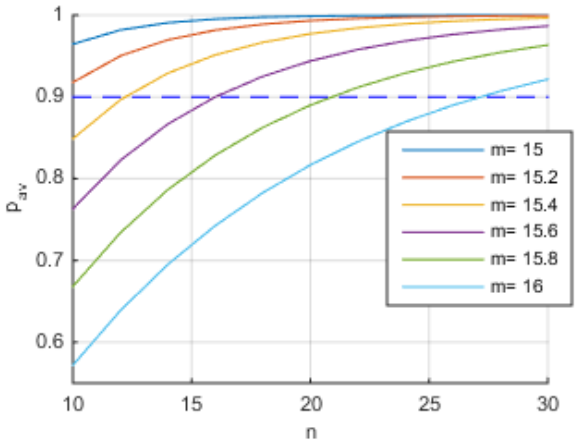
شـکل 5- احتمال بلوکه کردن تراکنش ها بر حسـب نرخ ارسـال تراکنش به شبکه ابری

همچنان که ملاحظه می‌شـود در این شکل، با افزایش λ_0 احتمال بلوکه شـــدن کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش اندازه حافظه گره، منحنی به مقادیر پایینی رسـیده است. با توجه به تابع هدف که ما دنبال کاهش B هسـتیم مقادیر بالای B لزوما جواب مسئله نیسـتند. لذا خط $P_b \leq u_b$ را ترسـیم می‌کنیم و محل تلاقی این خط با نمودارهای مقادیر مختلف B به دسـت می‌آوریم. همچنان که ملاحظه می‌شـود در شـکل 5 سـه نقطه A، B و C به دسـت آمده اند. لذا مشـخصـات سـه نقطه به دسـت آمده به صـورت جدول1 نقاط کاندید بهینه مسئله هستند. در واقع نقاط به دست آمده در جدول 1 نقاط کاندید بهینه مسئله هستند.

	λ_0	B	n
A	12.5	14	21
B	13	12	25
C	14	10	30

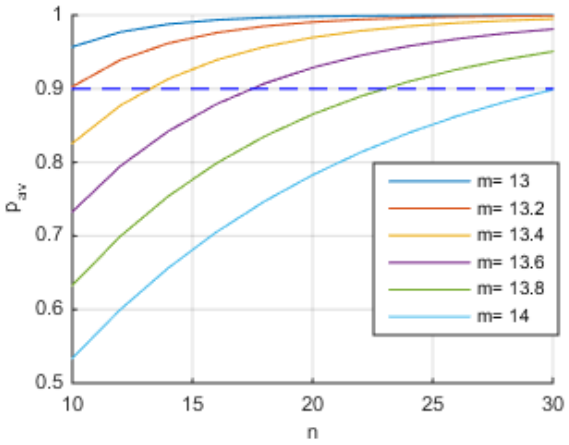
جدول1- نقاط کاندید

حال برای به دسـت آوردن جواب بهینه، محدودیت 7 را در نظر می‌گیریم. برای این منظور برای هر کدام از نقاط فوق، منحنی‌های P_{av} بر حسـب n را به ازای مقادیر مختلف m ترسـیم می‌کنیم. برای نقطه A، منحنی P_{av} بر حسـب n در شـکل6 نمایش داده می‌شود. همچنان که ملاحظه می‌شود برای این نقطه m بهینه به صورت $m_A=15.8$ می باشد.



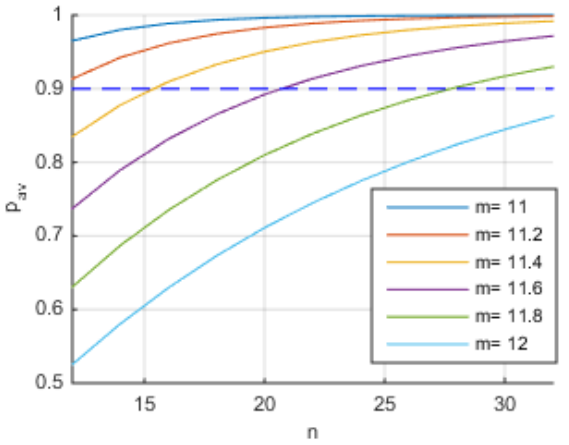
شکل6-احتمال در دسترس بودن تراکنش بر حسب n درنقطهA

برای نقطه B، منحنی P_{av} بر حسـب nدر شـکل7 نمایش داده می‌شود. هم چنان که ملاحظه می‌شود برای این نقطه mبهینه به صورت $m_B=13.8$ می‌باشد.



شکل 7-احتمال در دسترس بودن تراکنش بر حسب n درنقطهB

همچنین برای نقطه C، هم چنان که ملاحظه می شود برای این نقطهm بهینه به صورت $m_c=11.8$ می‌باشد. با توجه به اینکه همه نقاط فوق محدودیت‌های مسئله بهینه سازی را برآورده می‌کند لذا باید جواب بهینه را از بین m_A، m_B و m_C انتخاب کنیم.



شکل8- احتمال در دسترس بودن تراکنش بر حسب n درنقطه C

با توجه به اینکه همه نقاط فوق محدودیت‌های مسئله بهینه سازی را برآورده می‌کند لذا باید جواب بهینه را از بین m_A، m_B و m_C انتخاب کنیم. مقدار بیشتر m را نقطه A دارد. پس جواب مسئله بهینه سازی به صورت زیر خواهد بود.

	λ_0	B	n	m
A	12.5	14	21	15.8

جدول2- نقطه بهینه

نتیجه گیری

از آنجایی که هدف از انجام این پژوهش، ارائه یک چارچوب جدید برای بلاک‌چین است که در سیستم‌های مبتنی بر IOT کاربردی باشد. پس در این مقاله تمرکز اصلی بر روی طرح الگوریتم و الگویی جهت ارتباط بهینه و ذخیره سازی مفید اطلاعات می‌باشد که دو ویژگی مهم در سیستم‌های IOT هستند. در این راستا، الگوریتم ارتباطی اولیه و همچنین الگوی کلی ذخیره اطلاعات تعریف شده و به عنوان مرجعی برای یافت اطلاعات پرکاربرد شبکه، جدولی پیشنهاد شده که انتظار می‌رود باعث بهبود عملکرد سیستم و افزایش ضریب کیفیت مشخصه‌های سیستم گردد. از طرفی با به کارگیری هوشمندانه از قوانین تئوری صف و انتخاب یک مدل مناسب از تئوری صف، راهکاری برای ارسال بهینه اطلاعات از هر نود به فضای ذخیره سازی و فضای ابری ارائه شده است.

مراجع

[1] A. Strielkina, D. Uzun, and V. Kharchenko, "Modelling of healthcare IoT using the queueing theory," in 2017 9th IEEE international conference on intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications (IDAACS), 2017, pp. 849-852.
[2] M. Pilkington, "Blockchain technology: principles and applications," in Research handbook on digital transformations, ed: Edward Elgar Publishing, 2016.
[3] S. Kim and G. C. Deka, Advanced applications of blockchain technology: Springer, 2020.
[4] X. A. Wang, Y. Liu, J. Zhang, X. Yang, and M. Zhang, "Improved group-oriented proofs of cloud storage in IoT setting," Concurrency and Computation: Practice and Experience, vol. 30, p. e4781, 2018.
[5] M. Fathi and H. Bevrani, Optimization in electrical engineering: Springer, 2019.
[6] https://web2.uwindsor.ca/math/hlynka/qhist.html
[7] R. E. Ahmed, "Recursive computation of steady state probabilities in M/M/1/B queues," in 2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA), 2017, pp. 1-4.
[8] R .Nelson, Probability, stochastic processes, and queueing theory: the mathematics of computer performance modeling: Springer Science & Business Media, 2013.