KNO-1102-4405

بهینه‌سازی تخصیص اجزا و VM در ذخیره‌سازی داده‌های ابری با استفاده از الگوریتم ترکیبی GWO-HHO

موسی مجرد musa.mojarad@iau.ac.ir
مهراب محبی m.mohebi@iau.ac.ir
[۱]گروه کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

چکیده: این مقاله یک سیستم ذخیره‌سازی داده ابری قابل‌اعتماد جدید را ارائه می‌نماید که از یک الگوریتم فرابتکاری GWO-HHO ترکیبی استفاده می‌کند. الگوریتم‌های موجود اغلب محدودیت‌های عمومی و خاص مرتبط با تخصیص اجزا و VM را برای ذخیره سازی داده‌ها در نظر نمی‌گیرند. این محدودیت‌ها شامل موارد، تعاملات بین اجزا، قوانین تخصیص و ظرفیت دستگاه است. این الگوریتم فرابتکاری ترکیبی تخصیص مؤلفه‌ها را بهینه می‌کند و به طور مؤثر مسائل مربوط به ذخیره داده‌های ابری را در مؤلفه‌ها حل می‌کند. عملکرد سیستم پیشنهادی اعتبارسنجی و با مدل‌های دیگر مقایسه شد. تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای و ارزیابی آماری برای ارزیابی اثربخشی سیستم انجام شد. برای ارزیابی عملکرد سیستم پیشرفته، آن را با سایر رویکردهای موجود مقایسه شد. هدف از این مقایسه نشان‌دادن برتری رویکرد پیشنهادی از نظر عملکرد و کارایی آن است. روش پیشنهادی عملکرد بهتری را در مدل ذخیره‌سازی داده‌های ابری ارائه می‌دهد؛ بنابراین، می‌توان ثابت کرد که می‌تواند پیچیدگی زمانی را کاهش و عملکرد را افزایش دهد. در مقایسه با سایر رویکردها، مدل پیشنهادی نیاز کمتری را برای سرورهای فعال نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در استفاده از منابع سرور کارآمدتر است که به نوبه خود منجر به صرفه جویی در انرژی در فرایند ذخیره داده‌های ابری می شود. با نیاز به سرورهای فعال کمتر، مدل پیشنهادی عملکرد قابلیت اطمینان سیستم را بهبود می‌بخشد. مصرف انرژی مرتبط با عملیات سرور را به حداقل می‌رساند و منجر به افزایش کارایی و مقرون‌به‌صرفه در ذخیره‌سازی داده‌های ابری می‌شود. همچنین نتایج روش پیشنهادی به‌وضوح نشان می‌دهد که مدل توصیه شده به زمان پردازش کمتری برای ذخیره کارآمد داده‌های ابری نیاز دارد. کاهش مقدار makepan نشان‌دهنده اثربخشی مدل در بهینه سازی فرایند ذخیره سازی و به‌حداقل‌رساندن زمان موردنیاز برای پردازش است. در نتیجه، مدل پیشنهادی کارآمدتر و قادر به دستیابی به ذخیره‌سازی داده‌های ابری کارآمد است.

کلید واژه‌ها: ذخیره‌سازی کارآمد داده‌های ابری، الگوریتم فرابتکاری ترکیبی، بهینه‌سازی، الگوریتم فرابتکاری HHO، الگوریتم فرابتکاری GWO.

۱. مقدمه

امروزه رشد خدمات اینترنت اشیا (IoT) و حجم قابل‌توجهی از داده‌های تولید شده توسط حسگرهای مختلف، اهمیت افزایش‌یافته خدمات رایانش ابری، به‌ویژه ذخیره‌سازی به‌عنوان یک سرویس را برجسته می‌نماید. ترافیک اینترنت اشیا نیازمندی‌های اضافی را برای سرویس‌های ذخیره‌سازی ابری، از جمله قابلیت‌های پیش‌پردازش داده‌های حسگر و تعادل بار بین مراکز داده و سرورهای هر مرکز داده، معرفی می‌کند. علاوه بر این، تخصیص خدمات نیاز به اولویت‌بندی کیفیت خدمات (QoS) برای اطمینان از عملکرد قابل‌اعتماد و سازگار دارد [۱]. یکی از رویکردهای بهبود تخصیص فضای ذخیره‌سازی در اینترنت اشیا، پیاده‌سازی الگوریتم‌های مدیریت ذخیره‌سازی هوشمند می‌باشد. این الگوریتم‌ها می‌توانند منابع ذخیره‌سازی را بر اساس ویژگی‌های داده، قابلیت‌های دستگاه و نیازهای سیستم به‌صورت پویا تخصیص دهند. با تجزیه‌وتحلیل الگوهای داده، فرکانس دسترسی و در دسترس بودن ذخیره‌سازی، این الگوریتم‌ها می‌توانند منابع ذخیره‌سازی را به طور موثرتری تخصیص دهند، هدر رفت را کاهش دهند و استفاده کلی از ذخیره‌سازی را بهبود بخشند. یکی دیگر از جنبه‌های بهبود تخصیص فضای ذخیره‌سازی، استفاده از خدمات ذخیره‌سازی ابری می‌باشد. امروزه استفاده از یک رویکرد فرابتکاری می‌تواند به طور قابل توجهی بهینه‌سازی زمان‌بندی گردش کار در ابر را بهبود بخشد [۲]. بااین‌حال، هر الگوریتم فرابتکاری نقاط قوت و ضعف خود را دارد. در نتیجه، رویکردهای ترکیبی که قوانین اکتشافی را با الگوریتم‌های فرابتکاری ترکیب می‌کنند، ثابت شده‌اند که

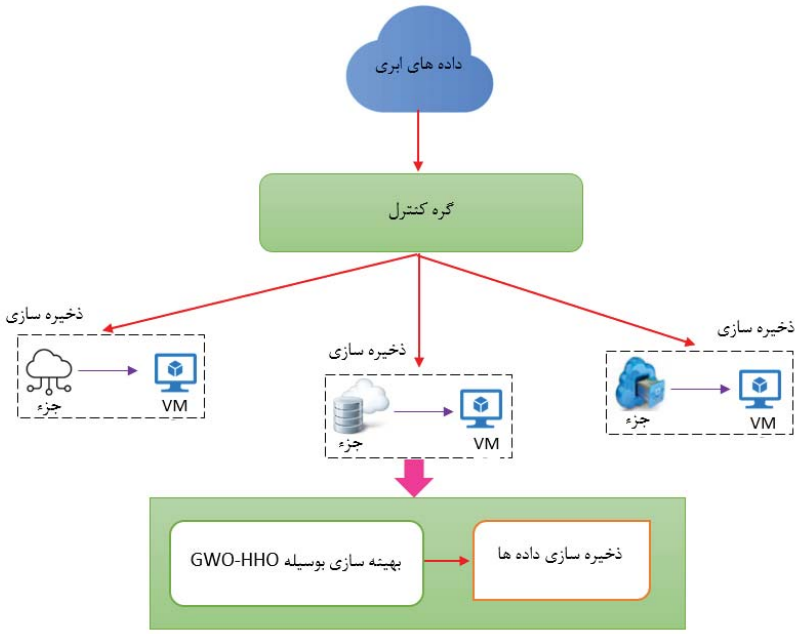
نتایج برتری را به همراه دارند [۳]. این رویکردهای ترکیبی در سال‌های اخیر توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده‌اند، زیرا به مشکلات زمان‌بندی گردش کار چندهدفه در ابر می‌پردازند. لذا در این تحقیق سعی داریم تخصیص ذخیره‌سازی کارآمد داده‌های ابری همراه با بهینه‌سازی مولفه‌ها را با کمک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی بهبود ببخشیم.

۲. کارهای گذشته

در [۴] به بهینه‌سازی مصرف انرژی در مکانیابی کانتینرها در مراکز داده ابری با استفاده از روش‌های متاهوریستی پرداخته شده است. در مراکز داده ابری، به دلیل رشد روزافزون نیازهای محاسباتی، مصرف انرژی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. استفاده از روش‌های متاهوریستی می‌تواند به طراحی الگوریتم‌های مؤثر برای قرارگیری بهینه کانتینرها و بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک نماید. در [۵] بر تامین منابع برای ریزسرویس‌های اینترنت اشیا (IoT) با مدیریت تحرک با استفاده از روش‌های فراابتکاری متمرکز می‌باشد. با افزایش تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیا و تحرک آنها، تخصیص کارآمد منابع برای ارائه خدمات یکپارچه بسیار مهم می‌شود. در [۶] یک سیستم ذخیره‌سازی شی ابری مبتنی بر فراابتکاری ترکیبی جدید را معرفی می‌کند که برای رسیدگی به الزامات حساس به تأخیر برنامه‌های ابری مدرن طراحی شده است. در [۷] به موضوع مهاجرت ماشین مجازی و مدیریت منابع در خدمات محاسبات ابری با استفاده از روش‌های متاهوریستی پرداخته شده است. در خدمات محاسبات ابری، مهاجرت ماشین مجازی و مدیریت منابع از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. استفاده از روش‌های متاهوریستی می‌تواند به طراحی الگوریتم‌های مؤثر برای مهاجرت ماشین مجازی و مدیریت منابع کمک نماید. در [۸] یک چارچوب بهینه‌سازی برای تخصیص و مدیریت مؤثر منابع در مراکز داده ابری با استفاده از رویکردهای فراابتکاری ارائه شده است. مراکز داده ابری با چالش استفاده مؤثر از منابع خود برای برآورده کردن تقاضاهای رو به رشد برنامه‌ها و خدمات مختلف روبرو هستند.

۳. مدل سیستم

هدف اصلی این چارچوب نوآورانه، ذخیره کارآمد داده‌های ابری با پرداختن به محدودیت‌های کلی و ساختاری است. چارچوب با درنظرگرفتن اجزا و ماشین‌های مجازی (VM) درگیر در فرایند ذخیره‌سازی آغاز می‌شود. باتوجه‌به محدودیت‌های متنوع ایجاد شده توسط این اجزا، یک مدل جدید و قابل‌اعتماد معرفی شده است.



شکل ۱. نمایش معماری ذخیره‌سازی داده ابری قابل‌اعتماد پیشنهادی با استفاده از HHO-GWO.

هر بخش از داده‌های ابری دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است که بیشتر توسط اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مشخص می‌شود. در نتیجه، یک تابع هدف جدید برای رسیدگی مؤثر به هر دو محدودیت فرموله شده است. محدودیت ساختاری توسط تعاملات و نمونه‌های داده در سیستم ذخیره‌سازی داده‌های ابری تعریف می‌شود. به طور مشابه، محدودیت‌های عمومی قوانین تخصیص و ملاحظات ظرفیت دستگاه را در بر می‌گیرد. برای غلبه بر این چالش‌های محدودیت، یک رویکرد جدید به نام HHO-GWO پیشنهاد شده است. این رویکرد تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی را برای بهینه‌سازی تخصیص اجزای ذخیره‌سازی داده‌های ابری ترکیب می‌کند. در مرحله نهایی چارچوب، عملکرد رویکرد پیشنهادی با استفاده از معیارهای مناسب ارزیابی شده و نتایج شبیه‌سازی به دست می‌آید. این نتایج گسترده، اثربخشی چارچوب پیشنهادی را در ذخیره‌سازی کارآمد داده‌های ابری با استفاده از مؤلفه‌های اختصاص‌یافته نشان می‌دهد.

۱-۳. فرمول مسأله

ذخیره‌سازی داده‌های ابری سیستمی است که ذخیره‌سازی و دسترسی را برای مشاغل بهینه می‌کند. این شامل سازماندهی تعداد زیادی و انواع مختلف دستگاه‌ها یا ماشین‌های ذخیره‌سازی با درنظرگرفتن اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. مکانیسم ذخیره‌سازی ابر شامل فایل‌های داده (D)، ماشین‌های مجازی (M) و اجزا (C) است. افزایش امنیت و یکپارچگی نیز بخش جدایی‌ناپذیر مکانیزم ذخیره‌سازی است. بااین‌حال، هنگام برون‌سپاری داده‌های ابری، چندین مسئله و مشکلات چالش‌برانگیز ایجاد می‌شود که می‌تواند کیفیت خدمات را کاهش دهد. این مسائل در زیر شرح داده شده است:

۱. استقرار فضای ذخیره‌سازی ابری: استقرار فضای ذخیره‌سازی ابری به نیازها و فناوری‌ها بستگی دارد که اغلب مستلزم درنظرگرفتن مکان‌های جغرافیایی است. این می‌تواند منجر به هزینه‌های ذخیره‌سازی بالاتر شود.

۲. مجازی سازی داده‌ها: مجازی سازی داده‌ها شامل نگاشت ذخیره‌سازی محلی داده‌ها به فضای ذخیره‌سازی فیزیکی شامل سرورها، سیستم‌های ذخیره‌سازی، سیستم عامل‌ها و غیره است. این فرایند می‌تواند زمان اجرا را برای ذخیره‌سازی داده‌ها افزایش دهد.

۳. سازماندهی داده‌ها: سازماندهی داده‌ها در تکه‌ها، فایل‌ها یا بلوک‌ها می‌تواند چالش‌برانگیز باشد و به دلیل فرمت ضعیف منجر به ذخیره‌سازی ناکارآمد شود.

۴. متعادل کردن بار با انتقال داده‌ها: هنگامی که ماشینی با حجم کاری سنگین روبرو می‌شود، ممکن است نیاز باشد برخی از داده‌ها به ماشین دیگری منتقل شوند. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند پهنای باند محدود یا افزایش مصرف انرژی می‌تواند در طول انتقال داده‌ها ایجاد شود.

۵. محدودیت‌های ماشین: محدودیت‌های درون ماشین‌ها یا سرورها می‌تواند مشکلات قابل توجهی برای ذخیره‌سازی داده‌ها ایجاد کند. عواملی مانند ویژگی‌های ساختاری یا کلی می‌توانند بر فرایند ذخیره‌سازی تأثیر بگذارند.

در نتیجه، شبکه ابری ممکن است توانایی کنترل مؤثر داده‌های ذخیره شده در ماشین‌های مربوطه خود را نداشته باشد. این می‌تواند منجر به مشکلاتی مانند تخریب داده‌ها، کپی غیرمجاز، تغییر و موارد دیگر شود. علاوه بر این، عدم کنترل می‌تواند منجر به نتایج نادقیق شود. باتوجه‌به این چالش‌ها، توسعه یک سیستم ذخیره‌سازی داده‌های ابری مؤثر و قابل‌اعتماد با رویکردهای اکتشافی بسیار مهم می‌شود. مشکل مشخص شده و تابع چندهدفه برای ذخیره‌سازی ابری قابل‌اعتماد به‌دست‌آمده است.

علاوه بر مسائل ذکر شده، فرایند ذخیره‌سازی قابل‌اعتماد در ذخیره‌سازی داده های ابری بر پرداختن به محدودیت های عمومی و خاص در مؤلفه هایی که داده های ابری به طور مؤثر ذخیره می شوند، تمرکز دارد [۹]. برای درک بهتر چالش‌های موجود در فرایند ذخیره‌سازی، اجازه دهید در مورد اجزا و ماشین‌های مجازی (VM) در شبکه ابری بحث کنیم. مؤلفه ها به‌صورت $N=\{N_1,N_2,\ldots,N_C\}$ و ماشین های مجازی به‌صورت $R=\{R_1,R_2,\ldots,R_V\}$ نشان داده می شوند.

هر جزء با مجموعه نیازهای خاص و ویژگی‌های سخت‌افزاری خود تعریف می‌شود، درحالی‌که هر VM از ویژگی‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری تشکیل شده است. این ملاحظات به محدودیت‌های ساختاری در بین اجزا کمک می‌کند. در نتیجه، مشکلات را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

۱. ساخت یک ماتریس انتساب: یک ماتریس انتساب برای ایجاد رابطه بین اجزا و ماشین‌های مجازی ایجاد می‌شود که در آن موجودیت‌های موجود در ماتریس می‌توانند مقادیر ۰ یا ۱ داشته باشند. این با استفاده از رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$A_{xy} = \begin{cases} 1, & if \quad N_x \ is\ given\ to\ R_y \\ 0, & if \quad N_x \ is\ not\ given\ to\ R_y \end{cases} \quad (۱)$$

۲. بردار انتخاب vy نوع هر ماشین را نشان می دهد که در آن y از ۱ تا M متغیر است.

به طور خلاصه، محدودیت‌های موجود در فرایند ذخیره‌سازی عبارت‌اند از:

(i) محدودیت‌های ساختاری: این محدودیت‌ها به سازمان و روابط بین اجزای درون سیستم ذخیره‌سازی مربوط می‌شود.

(ii) الزامات سخت‌افزاری (محدودیت‌های ظرفیت): این محدودیت‌ها تضمین می‌کند که سیستم ذخیره‌سازی الزامات سخت‌افزاری و محدودیت‌های ظرفیت همه اجزا را برآورده می‌کند.

(iii) به‌حداقل‌رساندن هزینه خرید/اجاره: هدف به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های مربوط به خرید یا اجاره اجزای موردنیاز برای سیستم ذخیره‌سازی است. ماتریس اختصاص‌داده‌شده و انتخاب نوع با معادلات (۲) و (۳) توضیح داده شده است.

(۲)

ماتریس اختصاص‌داده‌شده با $assigned(i, j)$، نشان داده می شود، جایی که اگر جزء i به VM j اختصاص داده شود، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می گیرد.

$$v = [12.12.13.13.15.0] \quad (۳)$$

انتخاب نوع با vy نشان داده می شود که نشان دهنده نوع ماشین y است. محدوده y از ۱ تا M است. به طور خلاصه، محدودیت ها سازمان ساختاری، الزامات سخت‌افزاری و ملاحظات هزینه را در بر می گیرند، درحالی‌که ماتریس اختصاص داده شده و انتخاب نوع برای تسهیل اجرای این محدودیت ها تعریف شده اند.

۲-۳. تعریف تابع هدف

تابع هدف (OF) مدل پیشنهادی در این بخش ارائه شده است. این بر اساس دو پارامتر، یعنی تأخیر و جریمه فرموله شده است. عملکرد اجزا از طریق بهینه‌سازی با استفاده از HP-BOA بهبود یافت. رویکرد پیشنهادی با بهره‌مندی از اجزای بهینه شده، نتایج برتر را به همراه داشت؛ بنابراین تابع هدف با استفاده از رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(۴)

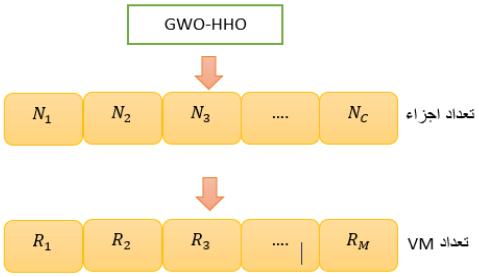
$$OF = \arg_{\{N_C\}} \cdot \min \left\{ \sum^{M} u_y \cdot r_y \right\}$$

در این زمینه، NC تعداد مؤلفه‌های بهینه‌شده مورداستفاده برای ذخیره داده‌های ابری را نشان می‌دهد. علاوه بر این، عبارت uy به "بردار اشغال دودویی" اشاره دارد که در صورت استفاده از ماشین، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می گیرد. علاوه بر این، ry پیشنهادهای VM یا انواع پیوند را نشان می دهد. با کمک این تابع هدف می توان محدودیت های مرتبط با اجزا را کاهش داد.

۳-۳. الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی برای سیستم ذخیره‌سازی ابری

راه‌حل پیشنهادی از HP-BOA برای مقداردهی اولیه و بهینه‌سازی فرایند ذخیره‌سازی استفاده می‌کند. داده‌های اولیه به‌عنوان راه‌حل عمل می‌کنند و از طریق بهینه‌سازی، با انتخاب بهترین اجزا، راه‌حل بهینه به دست می‌آید. در این زمینه، فرایند ذخیره‌سازی در درجه اول ویژگی‌ها و ماشین‌های مجازی (VMs) را در نظر می‌گیرد، جایی که جزء به‌صورت داده، سخت‌افزار یا نرم‌افزار نمایش داده می‌شود. برای اجرای فرایند ذخیره‌سازی، رویکرد پیشنهادی طیفی از مؤلفه‌ها را در نظر می‌گیرد که با C مشخص می‌شوند و تعداد متفاوتی از ماشین‌های مجازی با علامت M نشان داده می‌شوند. در میان این مقادیر فرضی، مؤلفه‌ها بهینه شده‌اند. فرایند بهینه‌سازی بر تخصیص اجزای موردنیاز به ماشین‌های مجازی مناسب با استفاده از HP-BOA پیشنهادی متمرکز است.

در نتیجه، راه‌حل بر اساس تعداد کل ماشین‌های مجازی تعریف می‌شود که امکان حل محدودیت‌ها و به حداکثر رساندن نرخ عملکرد را فراهم می‌کند. نموداری که رمزگذاری محلول را نشان می‌دهد در شکل ۲ نشان‌داده‌شده است.



شکل ۲. رمزگذاری راه‌حل با استفاده از HP-BOA.

Inputs:
- MaxIterations: Maximum number of iterations

```
- PopulationSize: Number of grey wolves in the population
- SearchSpace: Range of possible solutions for each variable
- ObjectiveFunction: Function to be optimized
Initialize a population of grey wolves randomly within the search space
Initialize alpha, beta, and delta as the best, second best, and third best grey wolves in the population, respectively
for iter = 1 to MaxIterations do
   for each grey wolf in the population do
      Update the position of the current grey wolf using the following equations:
      a = 2 - iter * ((2) / MaxIterations)  // Alpha parameter
      r1 = random number between 0 and 1
      r2 = random number between 0 and 1
      Update the position of the grey wolf:
      if r1 < 0.5 then
         if |a * alpha.Position - greyWolf.Position| > = 1 then
            new_position = (alpha.Position - a * abs(r2 * alpha.Position - greyWolf.Position))
         else
            new_position = (alpha.Position - a * abs(r2 * alpha.Position - greyWolf.Position))
      else
         if |a * beta.Position - greyWolf.Position| > = 1 then
            new_position = (beta.Position - a * abs(r2 * beta.Position - greyWolf.Position))
         else
            new_position = (beta.Position - a * abs(r2 * beta.Position - greyWolf.Position))
            Apply boundary constraints to the new_position within the search space
      Evaluate the fitness of the new_position using the ObjectiveFunction
      if the new_position is better than the current position of the grey wolf then
         Update the position and fitness of the grey wolf with the new_position and its fitness
      Update alpha, beta, and delta if necessary based on the updated positions and fitness values
   end for
end for
Output the best solution found (alpha.Position) and its fitness value
```

شکل ۳. شبه کد الگوریتم بهینه‌سازی GWO

```
Inputs:
- MaxIterations: Maximum number of iterations
- PopulationSize: Number of hawks in the population
- SearchSpace: Range of possible solutions for each variable
- ObjectiveFunction: Function to be optimized
Initialize a population of hawks randomly within the search space
Initialize the position and fitness of the global best hawk (Gbest) to null and infinity, respectively
for iter = 1 to MaxIterations do
   for each hawk in the population do
      Update the position of the current hawk based on hunting behaviors:
      Randomly select three hawks (X1, X2, X3) different from the current hawk
            Exploration Behavior:
      if random number between 0 and 1 < 0.5 then
         new_position = X1.Position - random number between 0 and 1 * (X2.Position - X3.Position)
      else
         new_position = Gbest.Position - random number between 0 and 1 * (X2.Position - X3.Position)
            Exploitation Behavior:
      if random number between 0 and 1 < 0.5 then
         new_position = (X1.Position + X2.Position + X3.Position) / 3
      else
         new_position = Gbest.Position
            Apply boundary constraints to the new_position within the search space
            Evaluate the fitness of the new_position using the ObjectiveFunction
            if the fitness of the new_position is better than the current hawk's fitness then
         Update the position and fitness of the hawk with the new_position and its fitness
         if the fitness of the new_position is better than Gbest's fitness then
            Update Gbest's position and fitness with the new_position and its fitness
      end for
end for
Output the best solution found (Gbest.Position) and its fitness value
```

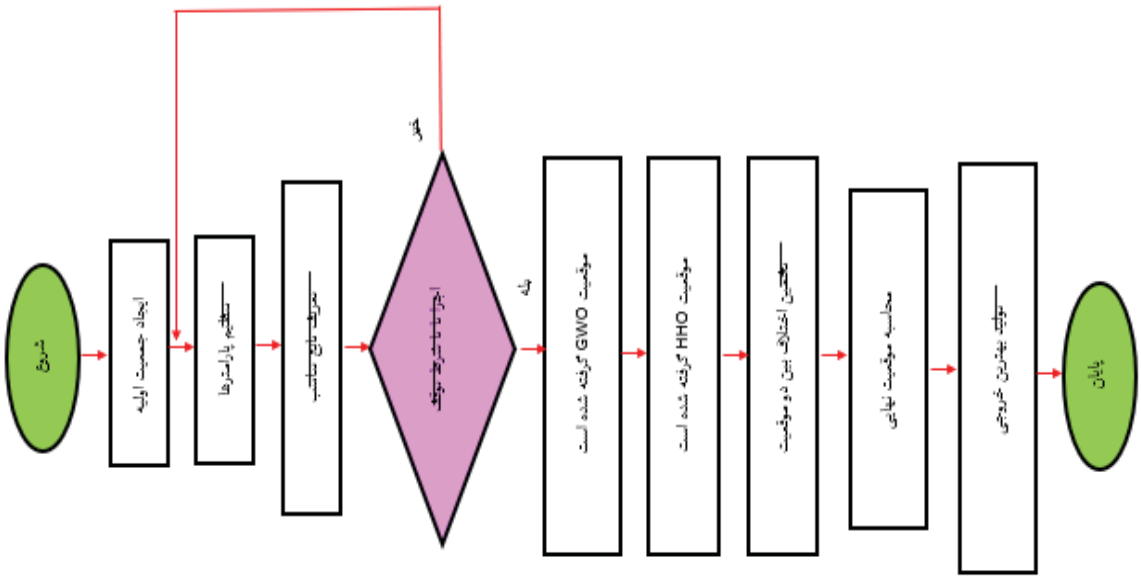
شکل ۴. شبه کد الگوریتم بهینه‌سازی HHO

```
Inputs:
- MaxIterations: Maximum number of iterations
- PopulationSize: Number of solutions in the population
- SearchSpace: Range of possible solutions for each variable
- ObjectiveFunction: Function to be optimized
Initialize a population of solutions randomly within the search space
Initialize the position and fitness of the global best solution (Gbest) to null and infinity, respectively
for iter = 1 to MaxIterations do
   for each solution in the population do
      Update the position of the current solution using a combined approach:
      Randomly select a meta-heuristic algorithm (GWO or HHO) for each component of the solution
          for each component in the solution do
        if selected algorithm is GWO then
           Implement GWO steps:
           - Calculate the positions of grey wolves based on hunting behaviors
           - Update the position of the current component based on GWO
        else
           Implement HHO steps:
           - Calculate the positions of hawks based on hunting behaviors
           - Update the position of the current component based on HHO
        Apply boundary constraints to the new position within the search space
                Evaluate the fitness of the new position using the ObjectiveFunction
                if the fitness of the new position is better than the current component's fitness then
           Update the position and fitness of the component with the new position and its fitness
           Evaluate the fitness of the updated solution as a whole using the ObjectiveFunction


      if the fitness of the updated solution is better than the current solution's fitness then
        Update the position and fitness of the solution with the updated positions and its fitness
        if the fitness of the updated solution is better than Gbest's fitness then
           Update Gbest's position and fitness with the updated positions and its fitness
         end for
end for
Output the best solution found (Gbest) and its fitness value
```

شکل۵. شبه کد بهبود تخصیص ذخیره‌سازی کارآمد داده‌های ابری همراه با بهینه‌سازی مولفه‌ها با کمک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی GWO و Harris hawks

این شبه کد بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO) و بهینه‌سازی هریس هاکس (HHO) را در یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی برای بهبود تخصیص کارآمد ذخیره‌سازی داده‌های ابری و بهینه‌سازی اجزاء ترکیب می‌کند. مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها را مقداردهی اولیه می‌کند، موقعیت‌های هر جزء را با استفاده از GWO یا HHO بر اساس یک انتخاب تصادفی به‌روز می‌کند، تناسب آنها را با استفاده از تابع هدف ارزیابی می‌کند، موقعیت و تناسب اجزا و راه‌حل کلی را به‌روز می‌کند، و بهترین‌های جهانی را به‌روز می‌کند. راه‌حل (Gbest). این فرایند برای تعداد مشخصی از تکرارها ادامه می‌یابد و در نهایت بهترین راه‌حل یافت شده (Gbest) و مقدار تناسب آن خروجی می‌شود. این الگوریتم قابلیت‌های اکتشاف و بهره‌برداری GWO و HHO را برای جستجوی تخصیص کارآمد ذخیره‌سازی داده‌های ابری و بهینه‌سازی اجزا ترکیب می‌کند. با به‌روزرسانی موقعیت اجزا با استفاده از GWO و HHO و ارزیابی تناسب آنها، الگوریتم به‌تدریج راه‌حل کلی را بهبود می‌بخشد. بهترین راه‌حل یافت شده در انتهای الگوریتم ردیابی و خروجی می‌شود. نمودار فلوچارت الگوریتم فراابتکاری ترکیبی روش پیشنهادی در شکل ۶ نشان‌داده‌شده است.



شکل ۶. نمودار فلوچارت الگوریتم فرااابتکاری ترکیبی روش پیشنهادی

۴. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

روش پیشنهادی با استفاده از MATLAB 2022 شبیه‌سازی شد و تجزیه‌وتحلیل جامعی از نتایج شبیه‌سازی انجام شد. ارزیابی سیستم چندین معیار کلیدی، از جمله سرورهای فعال، زمان محاسباتی و طول عمر را در نظر گرفت. اندازه جمعیت ۱۰ و حداکثر تعداد تکرارها ۱۰۰ تنظیم شد. برای ارزیابی عملکرد سیستم پیشرفته، آن را با سایر رویکردهای موجود، از جمله GIZA [10]،LO [11]، WOA [12] و RDA [13] مقایسه شد. هدف از این مقایسه نشان دادن برتری رویکرد پیشنهادی از نظر عملکرد و کارایی آن می‌باشد.

۴-۱. معیارهای عملکرد

سه معیار اصلی مورداستفاده در ارزیابی سیستم ذخیره‌سازی داده قابل‌اعتماد به شرح زیر است:

۱. سرور فعال: این معیار به تعداد سرورهای مورداستفاده برای ذخیره داده‌ها در محیط ابری اشاره دارد. این نشان دهنده تعداد سرورهایی است که به طور فعال در فرایند ذخیره‌سازی درگیر هستند.

۲. زمان محاسبه: این اندازه گیری نشان دهنده زمان سپری شده مورد نیاز برای ذخیره داده‌های ابری در ماشین‌های مربوطه با درنظرگرفتن اجزای اختصاص داده شده است. این نشان دهنده زمان صرف شده برای تکمیل فرایند ذخیره‌سازی است.

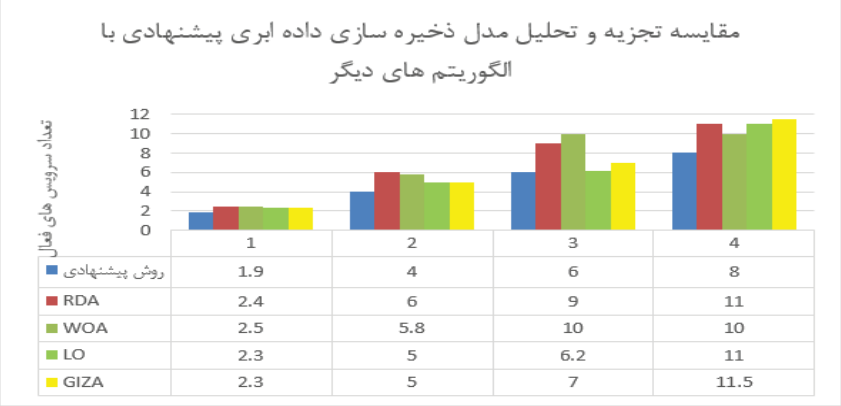
۳. Makespan: Makespan به مدت زمانی گفته می‌شود که از شروع کار تا اتمام آن می‌گذرد. در زمینه سیستم ذخیره‌سازی داده‌ها، makepan از مرحله اولیه ذخیره‌سازی داده‌ها تا بارگذاری کامل داده‌ها در اجزاء محاسبه می‌شود.

۴-۲. تنظیمات پیکربندی

سیستم ذخیره‌سازی داده قابل‌اعتماد پیشنهادی شامل چهار پیکربندی است که اجزا و ماشین‌های مجازی (VMs) را در بر می‌گیرد. جدول ۱ تصویری از تنظیمات پیکربندی مورداستفاده برای ذخیره داده‌های ابری را ارائه می‌دهد. این تنظیمات چیدمان و تخصیص خاص کامپوننت‌ها و ماشین‌های مجازی را در داخل سیستم تعریف می‌کنند. شکل۷ تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای سرورهای فعال در مدل ذخیره‌سازی داده قابل‌اعتماد ما را نشان می‌دهد.

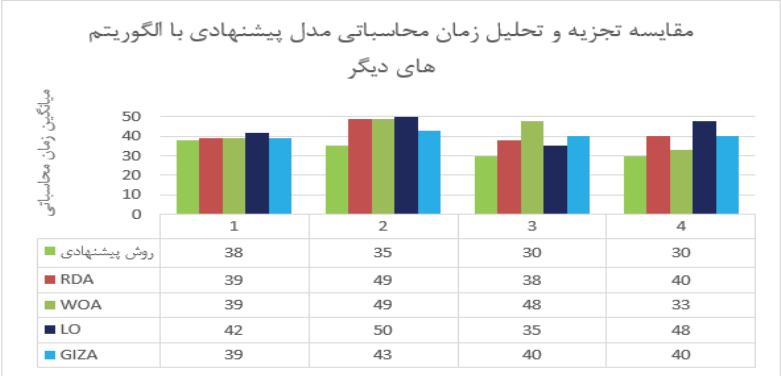
جدول ۱. تنظیمات پیکربندی ذخیره‌سازی داده ابری پیشنهادی

مورد پیکربندی	تعداد اجزا	تعداد ماشین مجازی
1	6	5
2	12	10
3	18	15
4	24	20



شکل ۷. مقایسه تجزیه‌وتحلیل مدل ذخیره‌سازی داده ابری پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر

در مقایسه تجزیه‌وتحلیل مدل ذخیره سازی داده ابری پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر، تعداد سرویس‌های فعال در روش پیشنهادی به طور میانگین برابر ۴,۹ می‌باشد. بطور خلاصه تعداد سرویس‌های فعال روش پیشنهای در برابر روش RDA ۰,۰۲ درصد، در برابر روش WOA ۰,۰۲ درصد، در برابر روش LO ۰,۰۱ درصد، در برابر روش GIZA ۰,۰۱ درصد بهتر می‌باشد. شکل ۸تحلیل زمان محاسباتی را در مقایسه با سایر الگوریتم‌های اکتشافی نشان می‌دهد.



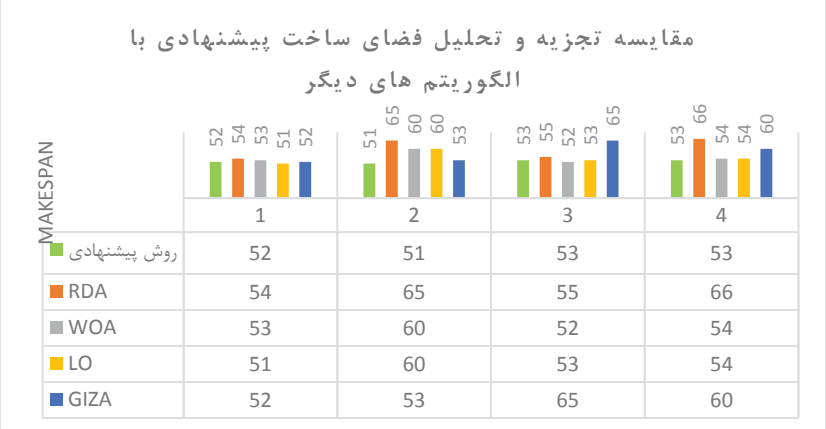
شکل ۸. مقایسه تجزیه‌وتحلیل زمان محاسباتی مدل پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر.

در مقایسه تجزیه‌وتحلیل زمان محاسباتی مدل پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر، زمان محاسباتی در روش پیشنهادی به طور میانگین برابر ۳۳,۲۵ می‌باشد. بطور خلاصه تعداد سرویس‌های فعال روش پیشنهای در برابر روش RDA ۰,۰۸ درصد، در برابر روش WOA ۰,۰۹ درصد، در برابر روش LO ۰,۱ درصد، در برابر روش GIZA ۰,۰۷ درصد بهتر می‌باشد. از این رو، روش پیشنهادی عملکرد بهتری را در مدل ذخیره‌سازی داده‌های ابری ارائه می‌دهد. بنابراین، می‌توان ثابت کرد که می‌تواند پیچیدگی زمانی را کاهش و عملکرد را افزایش دهد. در مقایسه با سایر رویکردها، مدل پیشنهادی نیاز کمتری را برای سرورهای فعال نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در استفاده از منابع سرور کارآمدتر است که به نوبه خود منجر به صرفه جویی در انرژی در فرایند ذخیره داده‌های ابری می‌شود. با نیاز

به سرورهای فعال کمتر، مدل پیشنهادی عملکرد قابلیت اطمینان سیستم را بهبود می‌بخشد. مصرف انرژی مرتبط با عملیات سرور را به حداقل می‌رساند و منجر به افزایش کارایی و مقرون به صرفه در ذخیره‌سازی داده‌های ابری می‌شود.

۴-۳. تجزیه‌وتحلیل Makespan

شکل ۹ تجزیه و تحلیل makepan کار توصیه شده را ارائه می‌دهد و مقایسه‌ای از مقادیر makepan ارائه می‌دهد.



شکل ۹ مقایسه تجزیه‌وتحلیل فضای ساخت پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر.

در مقایسه تجزیه‌وتحلیل فضای ساخت پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر، فضای ساخت پیشنهادی در روش پیشنهادی به طور میانگین برابر ۵۲,۲۵ می‌باشد. بطور خلاصه تعداد سرویس‌های فعال روش پیشنهای در برابر روش RDA ۰,۰۷ درصد، در برابر روش WOA ۰,۰۲ درصد، در برابر روش LO ۰,۰۲ درصد، در برابر روش GIZA ۰,۰۵ درصد بهتر می‌باشد. این نتیجه به وضوح نشان می‌دهد که مدل توصیه شده به زمان پردازش کمتری برای ذخیره کارآمد داده‌های ابری نیاز دارد. کاهش مقدار makepan نشان‌دهنده اثربخشی مدل در بهینه‌سازی فرایند ذخیره‌سازی و به حداقل رساندن زمان مورد نیاز برای پردازش است. در نتیجه، مدل پیشنهادی کارآمدتر و قادر به دستیابی به ذخیره‌سازی داده‌های ابری کارآمد است.

۴-۴. ارزیابی آماری سیستم ذخیره‌سازی داده‌های ابری

تحلیل آماری مدل پیشنهادی در جدول ۲ ارائه شده است. این تحلیل با استفاده از عوامل مختلفی از جمله "بهترین، بدترین، میانه، میانگین و انحراف معیار" انجام شده است.

جدول ۲. مقایسه ارزیابی آماری مقدار درصد ذخیره‌سازی داده‌های ابری قابل‌اعتماد در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر.

متریک	GIZA	LO	WOA	RDA	روش پیشنهادی
	پیکربندی Case1				
بهترین	۳۹۵	۳۹۷	۳۹۲	۳۹۱	۳۸۷
بدترین	۹۳۹۵	۷۵۶۵	۱۵۱۶	۶۵۰۷	۵۵۶۰
میانگین	۱۳۱۸	۱۵۷۰,۱	۱۲۱۱,۹	۱۲۸۸,۹	۱۱۰۱,۷
میانه	۱۰۲۵	۱۰۰۵	۱۵۱۶	۱۰۵۴	۱۲۵۶
انحراف استاندارد	۹۹۵,۳۱	۱۰۰۶,۹	۵۱۰,۳۲	۱۲۳۵,۵	۹۳۰,۸۱
	پیکربندی Case2				
بهترین	۳۹۹	۳۹۱	۳۹۱	۳۹۸	۳۷۰
بدترین	۶۳۹۵	۳۲۵۶	۶۶۵۳	۴۷۹۷	۴۴۳۱
میانگین	۱۳۹۹,۸	۱۳۲۶	۱۱۳۸,۶	۱۴۴۷,۶	۱۲۸۱,۲
میانه	۱۲۰۵	۱۲۱۱	۱۰۶۳	۱۳۱۷	۱۲۴۷
انحراف استاندارد	۹۸۳,۳۹	۶۲۵,۸۱	۷۸۰,۰۱	۱۰۱۵,۳	۷۰۱,۴
	پیکربندی Case3				
بهترین	۳۸۰	۳۵۱	۳۶۰	۳۸۰	۳۰۰
بدترین	۵۸۵۶	۳۵۳۵	۲۶۱۸	۳۶۹۳	۸۶۲۱
میانگین	۱۵۵۵,۵	۱۳۹۷,۷	۱۰۹۱,۵	۱۲۲۹,۹	۱۰۲۴,۶
میانه	۱۰۳۲	۱۳۱۹	۱۱۲۰	۱۱۵۰	۱۰۰۹
انحراف استاندارد	۱۰۳۱,۸	۶۰۶,۹۸	۵۱۵,۵۲	۸۱۸,۳۹	۱۱۶۴,۹
	پیکربندی Case4				
بهترین	۳۹۶	۳۹۵	۳۹۹	۳۹۸	۳۸۰
بدترین	۲۷۰۱	۵۴۰۹	۵۴۵۶	۸۳۷۲	۱۳۹۵
میانگین	۱۱۵۶,۱	۱۳۹۸,۵	۱۲۱۳,۶	۱۱۲۹,۱	۹۴۱,۰۱
میانه	۱۰۵۰	۱۱۳۱	۱۲۵۲	۱۱۱۱	۱۱۲۱
انحراف استاندارد	۴۵۵,۳۴	۷۵۹,۳۱	۹۷۶,۶۷	۱۰۵۳,۲	۵۰۱,۶۲

این معیارهای آماری بینش‌های ارزشمندی را در مورد عملکرد و تنوع مدل پیشنهادی ارائه می‌دهند.

- بهترین: این نشان‌دهنده بهترین نتیجه به‌دست‌آمده از اجرای چندگانه مدل پیشنهادی است.
- بدترین: این نشان‌دهنده بدترین نتیجه مشاهده شده در بین اجرای مدل پیشنهادی است.
- میانه: مقدار میانه نشان‌دهنده نقطه وسط بین بهترین و بدترین نتایج است.
- میانگین: میانگین به‌عنوان مقدار متوسط بین بهترین و بدترین نتایج محاسبه می‌شود.
- انحراف استاندارد: این درجه انحراف یا تغییرپذیری مشاهده شده در چندین اجرای مدل پیشنهادی را اندازه‌گیری می‌کند.

بر اساس تجزیه‌وتحلیل آماری، مدل پیشنهادی به نتایج چشمگیری دست‌یافت که الزامات را برآورده می‌کند. یافته‌ها اثربخشی و سازگاری مدل پیشنهادی را در ارائه راه‌حل‌های ذخیره‌سازی داده‌های ابری قابل‌اعتماد و کارآمد نشان می‌دهد.

۵. نتیجه‌گیری

این مقاله یک سیستم ذخیره‌سازی داده ابری قابل‌اعتماد جدید را ارائه کرد که از یک الگوریتم ابتکاریGWO- HHO ترکیبی استفاده می‌کند. الگوریتم‌های موجود اغلب محدودیت‌های عمومی و خاص مرتبط با تخصیص اجزا و VM را برای ذخیره‌سازی داده‌ها در نظر نمی‌گیرند. این محدودیت‌ها شامل موارد، تعاملات بین اجزا، قوانین تخصیص و ظرفیت دستگاه است. این الگوریتم فراابتکاری ترکیبی

تخصیص مؤلفه‌ها را بهینه می‌کند و به طور مؤثر مسائل مربوط به ذخیره داده‌های ابری را در مؤلفه‌ها حل می‌کند. عملکرد سیستم پیشنهادی اعتبارسنجی و با مدل‌های دیگر مقایسه شد. تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای و ارزیابی آماری برای ارزیابی اثربخشی سیستم انجام شد. برای ارزیابی عملکرد سیستم پیشرفته، آن را با سایر رویکردهای موجود، از جمله GIZA [10]،LO [11]، WOA [12] و RDA [13] مقایسه شد. هدف از این مقایسه نشان‌دادن برتری رویکرد پیشنهادی از نظر عملکرد و کارایی آن است. در مقایسه تجزیه‌وتحلیل مدل ذخیره‌سازی داده ابری پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر، تعداد سرویس‌های فعال در روش پیشنهادی به طور میانگین برابر ۴,۹ می‌باشد. بطور خلاصه تعداد سرویس‌های فعال روش پیشنهای در برابر روش RDA ۰,۰۲ درصد، در برابر روش WOA ۰,۰۲ درصد، در برابر روش LO ۰,۰۱ درصد، در برابر روش GIZA ۰,۰۱ درصد بهتر می‌باشد. در مقایسه تجزیه‌وتحلیل زمان محاسباتی مدل پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر، زمان محاسباتی در روش پیشنهادی بطور میانگین برابر ۳۳,۲۵ می‌باشد. بطور خلاصه تعداد سرویس‌های فعال روش پیشنهای در برابر روش RDA ۰,۰۸ درصد، در برابر روش WOA ۰,۰۹ درصد، در برابر روش LO ۰,۱ درصد، در برابر روش GIZA ۰,۰۷ درصد بهتر می‌باشد. از این رو، روش پیشنهادی عملکرد بهتری را در مدل ذخیره‌سازی داده‌های ابری ارائه می‌دهد. بنابراین، می‌توان ثابت کرد که می‌تواند پیچیدگی زمانی را کاهش و عملکرد را افزایش دهد. در مقایسه با سایر رویکردها، مدل پیشنهادی نیاز کمتری را برای سرورهای فعال نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در استفاده از منابع سرور کارآمدتر است که به نوبه خود منجر به صرفه جویی در انرژی در فرایند ذخیره داده‌های ابری می‌شود. با نیاز به سرورهای فعال کمتر، مدل پیشنهادی عملکرد قابلیت اطمینان سیستم را بهبود می‌بخشد. مصرف انرژی مرتبط با عملیات سرور را به حداقل می‌رساند و منجر به افزایش کارایی و مقرون به صرفه در ذخیره‌سازی داده‌های ابری می‌شود. در مقایسه تجزیه‌وتحلیل فضای ساخت پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر، فضای ساخت پیشنهادی در روش پیشنهادی بطور میانگین برابر ۵۲,۲۵ می‌باشد. بطور خلاصه تعداد سرویس‌های فعال روش پیشنهای در برابر روش RDA ۰,۰۷ درصد، در برابر روش WOA ۰,۰۲ درصد، در برابر روش LO ۰,۰۲ درصد، در برابر روش GIZA ۰,۰۵ درصد بهتر می‌باشد. این نتیجه به وضوح نشان می‌دهد که مدل توصیه شده به زمان پردازش کمتری برای ذخیره کارآمد داده‌های ابری نیاز دارد. کاهش مقدار makepan نشان‌دهنده اثربخشی مدل در بهینه‌سازی فرایند ذخیره‌سازی و به حداقل رساندن زمان مورد نیاز برای پردازش است. در نتیجه، مدل پیشنهادی کارآمدتر و قادر به دستیابی به ذخیره‌سازی داده‌های ابری کارآمد است. در کارهای آینده قصد داریم ذخیره‌سازی کارآمد را روی مدل‌های دیگر تست و پیاده سازی نماییم همچنین از الگوریتم‌های فراابتکاری دیگری بهره ببریم.

منابع

[۱]Milani OH, Motamedi SA, Sharifian S, Nazari-Heris M. Intelligent Service Selection in a Multi-Dimensional Environment of Cloud Providers for Internet of Things Stream Data through Cloudlets. Energies. 2021; 14(24):8601. https://doi.org/10.3390/en14248601

[۲]Dirin A, Oliver I, Laine TH. A Security Framework for Increasing Data and Device Integrity in Internet of Things Systems. Sensors. 2023; 23(17):7532. https://doi.org/10.3390/s23177532

[۳]Song, Y.; Jiang, J.; Wang, X.; Yang, D.; Bai, C. Prospect and Application of Internet of Things Technology for Prevention of SARIs. Clin. eHealth 2020, 3, 1–4. [Google Scholar] [CrossRef]

[۴]Khan, N.R.; Rabbi, M.; Al Zabir, K.; Dewri, K.; Sultana, S.A.; Lippert, K.J. Internet of Things-Based Educational Paradigm for Best Learning Outcomes. In Proceedings of the 2022 International Conference on Advances in Computing, Communication and Applied Informatics (ACCAI), Chennai, India, 28–29 January 2022; pp. 1–8. [Google Scholar]

[۵]Thapliyal, H. Internet of Things-Based Consumer Electronics: Reviewing Existing Consumer Electronic Devices Systems, Platforms Exploring New Research Paradigms. IEEE Consumer Electron. Mag. 2018, 7, 66–67. [Google Scholar] [CrossRef]

[۶]Sangaiah AK, Javadpour A, Pinto P, Chiroma H, Gabralla LA. Cost-Effective Resources for Computing Approximation Queries in Mobile Cloud Computing Infrastructure. Sensors. 2023; 23(17):7416. https://doi.org/10.3390/s23177416

[۷]Tang W, Yang S. Enterprise Digital Management Efficiency under Cloud Computing and Big Data. Sustainability. 2023; 15(17):13063. https://doi.org/10.3390/su151713063

[۸]Rasina Begum, B., & Chitra, P. (2023). SEEDDUP: a three-tier SEcurE data DedUPlication architecture-based storage and retrieval for cross-domains over cloud. IETE Journal of Research, 69(4), 2224-2241.
[۹]Tang, B.; Fedak, G. WukaStore: Scalable, Configurable and Reliable Data Storage on Hybrid Volunteered Cloud and Desktop Systems. IEEE Trans. Big Data 2017, 8, 85–98. [CrossRef]

[۱۰]Sookhak, M.; Richard Yu, F.; Zomaya, A.Y. Auditing Big Data Storage in Cloud Computing Using Divide and Conquer Tables. IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. 2018, 29, 999–1012. [CrossRef]
[۱۱]Ghaffar, Z.; Ahmed, S.; Mahmood, K.; Islam, S.H.; Hassan, M.M.; Fortino, G. An improved authentication scheme for remote data access and sharing over cloud storage in cyber-physical-social-systems. IEEE Access 2020, 8, 47144–47160. [CrossRef]
[۱۲]Yuan, Y.; Zhang, J.; Xu, W. Dynamic Multiple-Replica Provable Data Possession in Cloud Storage System. IEEE Access 2020, 8, 120778–120784. [CrossRef]
[۱۳]Mendes, R.; Oliveira, T.; Cogo, V.; Neves, N.; Bessani, A. Charon: A Secure Cloud-of-Clouds System for Storing and Sharing Big Data. IEEE Trans. Cloud Comput. 2021, 9, 1349–1361.