



<https://icaics.ir>
info@icaics.ir

اولین کنفرانس بین‌المللی هوش مصنوعی
و علوم کامپیوتری نوظهور: از الگوریتم تا آینده‌نگری
First International Conference on Artificial Intelligence
and Emerging Computer Science: From Algorithm to Foresight

March 17, 2026-GEORGIA

۲۶ اسفند ماه ۱۴۰۴ - گرجستان

مروری تحلیلی بر روش‌های تخصیص منابع و زمان‌بندی وظایف با هدف بهینه‌سازی
مصرف انرژی در محیط‌های رایانش مه و ابر مبتنی بر اینترنت اشیا

نویسنده مسئول: دکتر فرهنگ پدیداران مقدم

استادیار گروه کامپیوتر مجتمع آموزش عالی فنی مهندسی اسفراین، اسفراین، ایران
padidaran@esfarayen.ac.ir

نویسنده: ملیحه شیرمحمدزاده

دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر موسسه آموزش عالی اشراق، بجنورد، ایران
shirmohammadzadehm@gmail.com

چکیده

رشد سریع دستگاه‌های اینترنت اشیا، مدیریت هم‌زمان تأخیر، مصرف انرژی و پایداری صف‌های وظایف را در محیط‌های مه-ابر به چالشی جدی تبدیل کرده است. این پژوهش با رویکرد مروری-تحلیلی، ۹ مقاله کلیدی منتشرشده بین ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ را بررسی و تحلیل کرده است تا عملکرد الگوریتم‌های تخصیص منابع و زمان‌بندی وظایف از نظر کاهش تأخیر، بهینه‌سازی مصرف انرژی و امنیت مقایسه شود. نتایج نشان می‌دهد الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه و چارچوب‌های هوشمند چندمعیاره، نسبت به روش‌های تحلیلی ساده، عملکرد متعادل‌تری ارائه می‌کنند، در حالی که روش‌های کنترل پایداری و حریم‌ساز سرعت پردازش بالاتری دارند اما محدودیت‌هایی در بهینگی هم‌زمان دارند. چارچوب ترکیبی پیشنهادی با ادغام کنترل پایداری و بهینه‌سازی چندهدفه، توازن مناسبی میان پایداری، کیفیت بهینگی و کارایی محاسباتی ایجاد می‌کند و می‌تواند مبنای طراحی سامانه‌های کاربردی آینده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: رایانش مه، اینترنت اشیا، تخصیص منابع، زمان‌بندی وظایف، بهینه‌سازی مصرف انرژی.

مقدمه

رشد بی‌سابقه دستگاه‌های اینترنت اشیا و تولید حجم عظیم داده‌های زمان واقعی، مدیریت بهینه منابع محاسباتی و مصرف انرژی در محیط‌های توزیع‌شده را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های فناوری‌های رایانش مدرن بدل کرده است. افزایش تعداد گره‌ها و نیاز به پاسخ‌گویی بلادرنگ، فشار قابل‌توجهی بر مکانیزم‌های تخصیص منابع و زمان‌بندی وظایف وارد می‌کند و در صورت فقدان راهکارهای هوشمند، علاوه بر افزایش مصرف انرژی، می‌تواند منجر به کاهش کیفیت خدمات و ناپایداری عملکرد سیستم شود. این مسئله در سامانه‌های حیاتی صنعتی، پزشکی، حمل‌ونقل و زیرساخت‌های شهری که به پاسخ سریع و مصرف انرژی بهینه نیاز دارند، اهمیت بیشتری می‌یابد.

مطالعات پیشین مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و مدل‌های مختلف را برای تخصیص منابع و زمان‌بندی ارائه کرده‌اند، از جمله مدل‌های تحلیلی مبتنی بر کنترل پایداری لیاپانوف، الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه، و روش‌های یادگیری توزیع‌شده و فدرال. هر یک از این رویکردها مزایا و محدودیت‌های خود را دارند: روش‌های تحلیلی ساده، سبکی محاسباتی و تئوریک قابل‌اتکایی دارند اما در مواجهه با بارهای پویا و پیچیدگی‌های محیط‌های مه‌ابر، انعطاف محدودی از خود نشان می‌دهند؛ الگوریتم‌های فراابتکاری توانایی جستجوی گسترده در فضای راه‌حل‌ها و مدیریت هم‌زمان چند معیار مانند تأخیر و انرژی را دارند، ولی سربار محاسباتی بیشتری به سیستم تحمیل می‌کنند؛ روش‌های یادگیری توزیع‌شده ضمن کاهش مصرف انرژی ارتباطی و حفظ حریم خصوصی، هنوز در عمل کمتر در چارچوب‌های ترکیبی و چندهدفه پیاده‌سازی شده‌اند.

با وجود پیشرفت‌های موجود، ادبیات پژوهشی نشان می‌دهد که تاکنون هیچ چارچوب یکپارچه و چندمعیاره‌ای که بتواند به‌طور هم‌زمان شاخص‌های کلیدی انرژی، تأخیر و امنیت را پوشش دهد، توسعه نیافته است. این خلا، ضرورت طراحی روش‌هایی را برجسته می‌کند که بتوانند بین بهره‌وری انرژی، کیفیت پاسخ‌دهی و پایداری سیستم تعادل برقرار کنند.

روش تحقیق

این پژوهش با رویکرد مروری-تحلیلی نظام‌مند انجام شده است تا وضعیت پژوهش‌های اخیر در حوزه تخصیص منابع و زمان‌بندی وظایف در محیط‌های مه‌ابر را با تمرکز بر شاخص‌های انرژی، تأخیر و امنیت بررسی کند. جامعه آماری شامل کلیه مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ در پایگاه‌های علمی معتبر در حوزه اینترنت اشیا و رایانش مه است. از میان آن‌ها، ۹ مقاله کلیدی براساس دو معیار «تعداد استناد علمی» و «تناسب با هدف پژوهش» به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شد. برای گردآوری داده‌ها، از یک چک‌لیست تحلیل محتوای ساختاریافته استفاده گردید که ابعاد زیر را پوشش می‌دهد: (۱) نوع الگوریتم و اهداف بهینه‌سازی، (۲) ساختار شبکه و ویژگی منابع، (۳) شاخص‌های تأخیر و مصرف انرژی، و (۴) وجود یا فقدان ملاحظات امنیتی. داده‌ها پس از استخراج، با روش تحلیل کیفی-تطبیقی پردازش شدند تا شباهت‌ها و تفاوت‌های میان الگوریتم‌ها و نقاط ضعف و قوت آن‌ها مشخص شود.

در مقاله (Periasamy و همکاران ۲۰۲۱) از الگوریتم نیمه‌حریصانه برای زمان‌بندی وظایف، ترکیبی از استراتژی‌های حریصانه و غیرحریصانه به کار می‌گیرد. این روش مصرف انرژی را بهینه کرده و محدودیت‌های زمانی را رعایت می‌کند، اما در بارهای کاری پیچیده یا محیط‌های با منابع نامتوازن ممکن است نتایج کمتر بهینه‌ای داشته باشد. به عبارت دیگر، الگوریتم برای سناریوهای نسبتاً ساده مناسب است، اما توانایی مدیریت هم‌زمان چند شاخص عملکردی محدود است.

در مقاله (Shi و همکاران ۲۰۲۱) مدل پیش‌بینی مبتنی بر رگرسیون خطی چندگانه برای تخصیص منابع انرژی-کارآمد ارائه شده است. این روش دقت بالایی در پیش‌بینی مصرف انرژی دارد، اما وابسته به داده‌های گذشته است و در شرایط پویا و بار کاری متغیر

ممکن است عملکرد آن کاهش یابد. به عبارت دیگر، الگوریتم از نظر سادگی و سربار محاسباتی سبک است، اما انعطاف‌پذیری محدودی برای محیط‌های ناهمگن دارد.

در مقاله (Nguyen و همکاران ۲۰۲۱) روش یادگیری فدرال برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش سربار ارتباطی ارائه شده است. مزیت اصلی این روش حفظ حریم خصوصی و مقیاس‌پذیری است، اما هنوز به عنوان چارچوب عملی یکپارچه در کنار زمان‌بندی و کاهش تأخیر استفاده نشده است و بیشتر در سطح شبیه‌سازی باقی مانده است.

در مقاله (Sindhu و همکاران ۲۰۲۲) رویکرد انرژی-کارآمد برای جدول‌بندی و تخصیص منابع ارائه شده که با بهبود استفاده از منابع، عملکرد کلی سیستم را افزایش می‌دهد. مزیت اصلی آن افزایش بهره‌وری منابع و کاهش مصرف انرژی است، اما محدودیت آن در محیط‌های پراکنده یا با منابع محدود است، به طوری که در چنین شرایطی ممکن است نتایج بهینه حاصل نشود.

در مقاله (Tran و همکاران ۲۰۲۲) روش مبتنی بر کنترل لیاپانوف برای زمان‌بندی منابع طراحی شده است. این رویکرد تضمین پایداری سیستم را فراهم می‌کند و مصرف انرژی را بهینه می‌کند. مزیت آن ثبات سیستم حتی در شرایط تغییر بار است، اما پیچیدگی محاسباتی بالای آن و دشواری پیاده‌سازی روی گره‌های کم‌منابع، محدودیت اصلی محسوب می‌شود.

در مقاله (Zhang و همکاران ۲۰۲۳) الگوریتم چندهدفه برای تخصیص منابع ارائه شده که هم زمان پردازش و هم مصرف انرژی را بهینه می‌کند. مزیت آن توانایی مدیریت همزمان چند شاخص عملکردی است، اما پیچیدگی الگوریتم بالا و نیاز به منابع محاسباتی قوی، محدودیت آن را نشان می‌دهد. این روش برای محیط‌های پویا و مقیاس‌پذیر مناسب است اما در گره‌های با توان پردازشی پایین محدودیت دارد.

در مقاله (Wang و همکاران ۲۰۲۴) الگوریتم تکاملی بهبود یافته برای زمان‌بندی وظایف استفاده شده است که زمان تحویل را کاهش داده و هزینه محاسباتی را بهینه می‌کند. این روش در بهبود کارایی و تعادل انرژی و تأخیر قوی است، اما زمان پردازش آن نسبت به روش‌های ساده‌تر بیشتر است و ممکن است برای سناریوهای با مقیاس بزرگ محدودیت ایجاد کند.

در مقاله (Xie و همکاران ۲۰۲۴) مدل ERAM-EE برای مدیریت منابع و بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه شده است. مزیت اصلی این روش بهبود تخصیص منابع و کاهش مصرف انرژی است، اما وابستگی آن به اتصال شبکه و پیچیدگی محاسباتی نسبتاً بالا، محدودیت‌های بالقوه‌ای ایجاد می‌کند. به طور ضمنی، این روش در محیط‌های با اتصال ضعیف یا نامطمئن ممکن است کمتر کارآمد باشد.

در مقاله (Zhao و همکاران ۲۰۲۵) چارچوب تطبیقی یکپارچه ارائه شده که هم انرژی، هم تأخیر و هم امنیت را مدیریت می‌کند. مزیت آن نزدیک‌ترین رویکرد به چارچوب چندمعیاره ایده‌آل است و توانایی مدیریت همزمان چند هدف و امنیت فرآیندها را دارد. محدودیت‌های بالقوه شامل پیچیدگی طراحی و نیاز به منابع بالا برای پیاده‌سازی است.

یافته‌ها

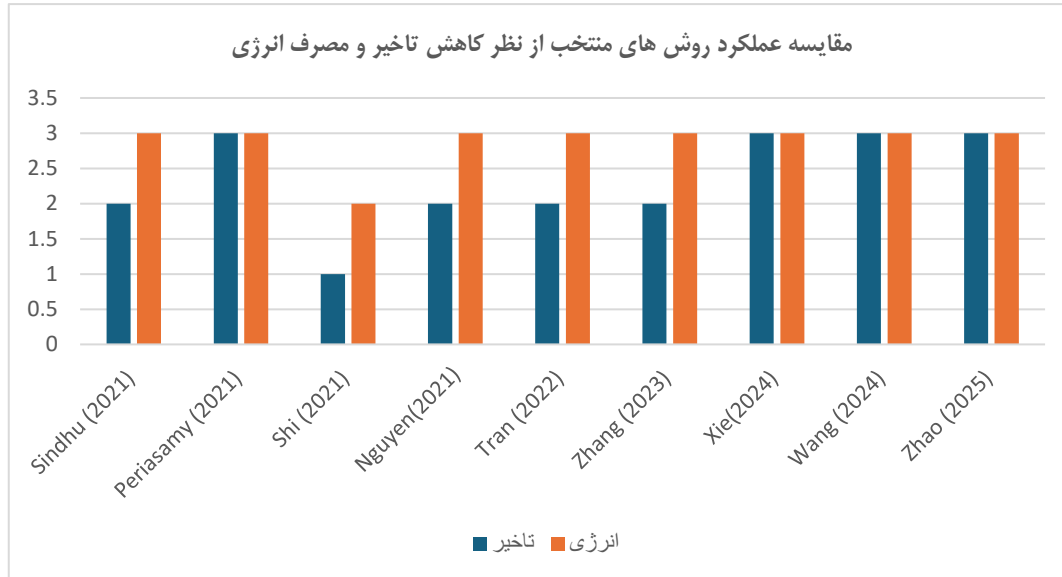
تحلیل تطبیقی مقالات منتخب نشان می‌دهد که رویکردهای ارائه‌شده تمرکزهای متفاوتی در بهینه‌سازی شاخص‌های عملکردی دارند. برخی مطالعات کاهش تأخیر کل سیستم را هدف اصلی خود قرار داده‌اند، در حالی که برخی دیگر به طور غالب بر بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهره‌وری منابع تمرکز داشته‌اند (Sindhu و همکاران ۲۰۲۲، Periasamy و همکاران ۲۰۲۱).

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه و چارچوب‌های تطبیقی، در مقایسه با مدل‌های تحلیلی ساده‌تر، عملکرد متوازن‌تری در هر دو شاخص کاهش تأخیر و بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه می‌کنند (Wang و همکاران ۲۰۲۴). در مقابل، روش‌های مبتنی بر پیش‌بینی خطی، اگرچه از نظر سربار محاسباتی سبک‌تر هستند، اما در مواجهه با شرایط پویا و اهداف چندمعیاره، کارایی محدودتری از خود نشان می‌دهند (Shi و همکاران ۲۰۲۱).

جدول ۱- خلاصه ویژگی‌ها و عملکرد و تحلیل مقالات منتخب

تحلیل و جمع بندی	ملاحظات امنیتی	بهینه‌سازی مصرف انرژی	کاهش تأخیر کل سیستم	معیارهای بهینه‌سازی	روش پیشنهادی	سال	مقاله
مناسب برای سناریوهای ایستا، اما فاقد امنیت و انعطاف پذیری	بررسی نشده	بالا	متوسط	مصرف انرژی، زمان پاسخ، بهره‌وری منابع	پیش بینی محور (رگرسیون خطی)	2021	Sindhu و همکاران
عملکرد نامتوازن، اما تک بعدی از نظر معیارها	بررسی نشده	بالا	بالا	مصرف انرژی، زمان اجرا، هزینه پردازش	نیمه حریصانه	2021	Periasamy و همکاران
پیچیدگی کم، اما ناکارآمد در شرایط پویا	بررسی نشده	متوسط	کم	پیش بینی مصرف انرژی	مدل تحلیلی	2021	Shi و همکاران
عملکرد قوی ولی بدون در نظر گرفتن امنیت	بررسی نشده	بالا	بالا	تأخیر، انرژی	یادگیری توزیع شده	2021	Nguyen و همکاران
تضمین پایداری، ولی بدون در نظر گرفتن امنیت	بررسی نشده	بالا	متوسط	پایداری انرژی	کنترل لیاپانوف	2022	Tran و همکاران
بهبود پایداری سیستم، بدون طراحی امنیت محور	ضمنی	متوسط	متوسط	انرژی، تعادل بار	بهینه سازی چندهدفه	2023	Zhang و همکاران
عملکرد قوی اما فاقد پوشش امنیتی	بررسی نشده	بالا	متوسط	انرژی، تأخیر	تکامل تفاضلی بهبود یافته	2024	Wang و همکاران
مناسب برای محیط‌های بزرگ، با امنیت جانبی	محدود	بالا	بالا	انرژی، بهره‌وری منابع	مدیریت هوشمند منابع	2024	Xie و همکاران
نزدیکترین رویکرد به چارچوب چندمعیاره ایده آل	صریح	بالا	بسیار بالا	انرژی، تأخیر، امنیت	چارچوب تطبیقی یکپارچه	2025	Zhao و همکاران

این نمودار میله‌ای، سطح عملکرد ۹ مقاله منتخب را از نظر دو شاخص کلیدی کاهش تأخیر کل سیستم و بهینه‌سازی مصرف انرژی در مقیاس سه‌سطحی نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری و چارچوب‌های چندمعیاره تطبیقی، عمدتاً در سطح عملکرد بالا در هر دو شاخص قرار گرفته‌اند، در حالی که رویکردهای تحلیلی ساده‌تر نظیر مدل‌های پیش‌بینی کلاسیک، در سطوح کم تا متوسط ارزیابی شده‌اند. این نتایج بیانگر آن است که استفاده از رویکردهای هوشمند چندهدفه نقش مؤثری در ایجاد توازن هم‌زمان میان کاهش تأخیر و مدیریت مصرف انرژی در محیط‌های توزیع شده دارد.



شکل ۱- نمودار میله‌ای عملکرد روش‌های منتخب در دو شاخص تأخیر و مصرف انرژی

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج جدول ۱ مقالات منتخب نشان می‌دهد که روش‌های مختلف تخصیص منابع و زمان‌بندی در محیط‌های رایانش مه‌ابر، از نظر اهداف بهینه‌سازی و تعداد شاخص‌های پوشش داده‌شده یکسان عمل نمی‌کنند؛ بعضی رویکردها فقط روی کاهش تأخیر تمرکز کرده‌اند و بعضی دیگر تلاش کرده‌اند هم‌زمان چند معیار را مدیریت کنند. بررسی تطبیقی این مطالعات نشان می‌دهد روش‌های مبتنی بر مدل‌های تحلیلی و پیش‌بینی‌محور، مانند رگرسیون خطی چندگانه و کنترل مبتنی بر پایداری لیاپانوف، از نظر پیاده‌سازی ساده‌تر و از نظر سربار محاسباتی سبک‌تر هستند، اما در سناریوهای پویا و چندهدفه، به سختی می‌توانند هم‌زمان تأخیر کل سیستم را پایین نگه دارند و مصرف انرژی را نیز به‌صورت مؤثر بهینه کنند. به عبارت دیگر، این دسته از روش‌ها بیشتر برای محیط‌های نسبتاً ایستا و با بار کاری قابل پیش‌بینی مناسب‌اند و در کاربردهای پرنوسان اینترنت اشیا، محدودیت‌های آن‌ها آشکار می‌شود. در مقابل، الگوریتم‌های فراابتکاری و چارچوب‌های هوشمند چندمعیاره، مخصوصاً روش‌های مبتنی بر تکامل تفاضلی بهبودیافته و مدیریت هوشمند منابع، در این مطالعه رفتار متعادل‌تری بین تأخیر و انرژی نشان داده‌اند. این دسته از رویکردها با جستجوی گسترده‌تر فضای پاسخ و امکان سازگاری با تغییرات بار کاری، برای محیط‌های ناهمگن و مقیاس‌پذیر مه‌ابر انتخاب مناسب‌تری به نظر می‌رسند. با این حال، هزینه این بهبود عملکرد، افزایش سربار محاسباتی و پیچیدگی طراحی است؛ موضوعی که در پیاده‌سازی روی گره‌های لبه با توان پردازشی محدود باید به‌طور جدی در نظر گرفته شود. تحلیل ستون «وضعیت ملاحظات امنیتی» در جدول مقایسه‌ای نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از مطالعات مرورشده، تمرکز اصلی خود را بر شاخص‌های انرژی و تأخیر قرار داده‌اند و یا امنیت را نادیده گرفته‌اند یا فقط اشاره‌ای گذرا به آن داشته‌اند. تنها در کارهای جدیدتر، به‌ویژه در چارچوب‌های تطبیقی یکپارچه، تلاش‌های اولیه برای ادغام هم‌زمان معیارهای انرژی، تأخیر و امنیت دیده می‌شود که هنوز به مرحله یک چارچوب جامع و پخته نرسیده است. از دید این مقاله، همین فاصله میان نیازهای واقعی سامانه‌های اینترنت اشیا و توجه محدود مطالعات موجود به امنیت، یک خلأ پژوهشی جدی در طراحی چارچوب‌های مه‌ابر امنیت‌محور ایجاد کرده است.

در این مقاله، با تکیه بر جدول و نمودار مقایسه‌ای، نشان داده شد که روش‌های مختلف تخصیص منابع و زمان‌بندی در مه‌ابر، از نظر تعداد شاخص‌های پوشش‌داده‌شده و نوع هدف بهینه‌سازی، رفتار یکسانی ندارند و همین تفاوت‌ها می‌تواند در انتخاب روش مناسب برای هر سناریو تعیین‌کننده باشد. در پایان نیز پیشنهاد شد که در کارهای آینده، یک چارچوب ترکیبی طراحی شود که در آن، یک الگوریتم فراابتکاری چندهدفه مسئول پیدا کردن راه‌حل‌های بهینه باشد و یک سازوکار یادگیری توزیع‌شده در لایه مه، به‌صورت دوره‌ای این راه‌حل‌ها را با توجه به تغییر بار کاری تنظیم کند؛ در حالی که امنیت هم به‌صورت یک معیار مستقل در مدل در نظر گرفته می‌شود.

منابع

- Periasamy, P., Sundaram, M., & Balamurugan, K. (2021). Deadline-aware and energy-efficient task scheduling in cloud-fog computing environment using semi-greedy approach. *Journal of Systems Architecture*, 118, 102202. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2021.102202>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2021). Multiple linear regression-based energy consumption prediction for resource allocation in fog computing. *Computer Networks*, 196, 108254. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108254>
- Sindhu, S. V., Prakash, M., & Mohan Kumar, P. (2022). Energy-efficient task scheduling and resource allocation for improving the performance of a cloud-fog environment. *Symmetry*, 14(11), 2340. <https://doi.org/10.3390/sym14112340>
- Tran, T. X., Hajisami, A., & Pompili, D. (2022). Lyapunov-based energy-efficient resource scheduling for fog computing systems. *Sensors*, 22(9), 3527. <https://doi.org/10.3390/s22093527>
- Wang, Y., Liu, X., Zhang, H., & Chen, J. (2024). Time- and cost-constrained task scheduling in cloud-fog computing using improved differential evolution algorithm. *The Journal of Supercomputing*. <https://doi.org/10.1007/s11227-024-06550-7>
- Xie, Y., Zhou, Z., Li, Y., & Wang, S. (2024). ERAM-EE: Efficient resource allocation and management for fog-IoT environments. *Behaviour & Information Technology*. <https://doi.org/10.1080/09540091.2024.2350755>
- Zhang, L., Zhao, Y., Wang, K., & Liu, M. (2023). Intelligent energy-efficient resource allocation for fog computing based on multi-objective optimization. *International Journal of Intelligent Engineering Systems*, 16(3), 1–12. <https://doi.org/10.22266/ijies2025.0630.01>
- Zhao, F., Yang, S., & Liu, Q. (2025). Energy and security-aware task scheduling in fog computing environments. *Procedia Computer Science*, 230, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.002>
- Nguyen, D. C., Ding, M., Pathirana, P. N., & Seneviratne, A. (2021). Federated learning for energy-efficient fog-cloud IoT networks. *arXiv preprint arXiv:2107.03520*. <https://arxiv.org/abs/2107.03520>