




Paper Type: Original Article



# Tasks Scheduling with Different Structures in Cloud Manufacturing According to the Time and Cost of Transportation and the Task Arrival Time

Zohre Kiapasha<sup>1,\*</sup> , Ali Salmasnia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Engineering and IT, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran; ze.kiapasha@yahoo.com.

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran; a.salmasnia@qom.ac.ir.

## Citation:



Kiapasha, Z., & Salmasnia, A. (2024). Tasks scheduling with different structures in cloud manufacturing according to the time and cost of transportation and the task arrival time. *Journal of decisions and operations research*, 9(1), 64-79.

Received: 19/06/2023

Reviewed: 20/07/2023

Revised: 19/08/2023

Accepted: 11/09/2023

## Abstract

**Purpose:** Cloud manufacturing is a service-oriented production model that centralizes production resources to respond to specific customer needs in different locations. One of the main issues in cloud manufacturing systems is the proper allocation of sub-tasks to enterprises and their optimal scheduling. Most studies assume that all tasks have only one type of structure, although it is possible to have tasks with different structures in one order set. Furthermore, existing scheduling models in the cloud manufacturing literature tend to assume that all tasks are available at time zero and that the logistics time/cost among enterprises is negligible. Therefore, in this study, an optimization model with three objective functions of task completion time, the cost imposed on the cloud manufacturing system, and the quality of the selected services are developed to get closer to the real world; three features are included in it: 1) the possibility of tasks with two structures, series and parallel, 2) different arrival times of tasks in the cloud manufacturing system, and 3) time/cost of logistics between different enterprises.

**Methodology:** First, six examples with different numbers of tasks and subtasks are designed with both sequential and parallel structures. To solve the proposed model accurately and achieve the global optimum, the CPLEX solver is used in the GAMS software.

**Findings:** To verify the importance of the characteristics of the developed model, two comparative studies are carried out. In the first comparative study, the presented model is compared with a similar model in which it is assumed that all tasks are available at time zero. The second comparative study examines the effect of considering logistics time/costs between enterprises when allocating subtasks to services. The results of the comparative studies show the misleading level of the cloud manufacturing manager in the face of the reduced models.

**Originality/Value:** This research aims to present a model for the simultaneous scheduling of tasks with sequential and parallel structures, considering the different task arrival times and logistics in the cloud manufacturing system.

**Keywords:** Cloud manufacturing, Scheduling, Tasks structure, Different task arrival times, logistics time/cost.



Corresponding Author: ze.kiapasha@yahoo.com



Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## زمان بندی وظایف با ساختارهای مختلف در ساخت ابری با توجه به زمان و هزینه جابه جایی و زمان رسیدن وظایف

زهره کیپاشا<sup>۱</sup>، علی سلماس نیا<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.  
<sup>۲</sup>گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.

### چکیده

**هدف:** ساخت ابری یک الگوی تولید سرویس کار است که از منابع تولیدی موجود در مکان‌های مختلف جغرافیایی به صورت متمرکز جهت پاسخ‌گویی به نیازهای اختصاصی مشتریان بهره می‌برد. یکی از مسایل اصلی در سیستم‌های ساخت ابری تخصیص مناسب زیروظایف به سازمان‌ها و زمان بندی بهینه آن‌ها است. بیش تر مطالعات موجود در ادبیات، علی‌رغم محتمل بودن وجود وظایف با ساختارهای متفاوت در یک مجموعه سفارش، فرض می‌کنند که همه وظایف صرفاً از یک نوع ساختار برخوردار هستند. به‌علاوه مدل‌های زمان بندی موجود در ادبیات ساخت ابری معمولاً بر این اصل بنا نهاده شده‌اند که تمام وظایف در لحظه صفر در دسترس هستند و زمان/هزینه لجستیک بین سازمان‌ها ناچیز است، بنابراین در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی با سه تابع هدف زمان تکمیل وظایف، هزینه تحمیل شده به سیستم ساخت ابری و کیفیت سرویس‌های انتخاب شده توسعه داده می‌شود که به منظور نزدیک شدن به دنیای واقعی سه ویژگی در آن لحاظ شده است: ۱- امکان وجود وظایف با دو ساختار سری و موازی، ۲- زمان ورود متفاوت وظایف به سیستم ساخت ابری و ۳- زمان/هزینه جابجایی بین سازمان‌های مختلف. **روش‌شناسی پژوهش:** ابتدا شش مثال با تعداد وظایف و زیروظایف مختلف با هر دو دسته ساختارهای سری و موازی طراحی می‌شود، سپس به منظور حل دقیق مدل پیشنهادی و دست‌یابی به بهینه جهانی، از ابزار *CPLEX* در نرم‌افزار *GAMS* استفاده می‌شود.

**یافته‌ها:** جهت بررسی اهمیت ویژگی‌های مدل توسعه داده شده دو مطالعه مقایسه‌ای ارائه می‌شود. در مطالعه مقایسه‌ای اول، مدل ارائه شده با یک مدل مشابه که در آن فرض شده همه وظایف در لحظه صفر در دسترس هستند مقایسه می‌شود. درحالی‌که در مطالعه مقایسه‌ای دوم اثر در نظر گرفتن زمان/هزینه لجستیک بین سازمان‌ها در تخصیص زیروظایف به سرویس‌های موجود در هر سازمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده از مطالعات مقایسه‌ای میزان گمراه شدن مدیر ساخت ابری در مواجهه با مدل‌های کاهش داده شده را به خوبی نمایش می‌دهند.

**اصالت/ارزش افزوده علمی:** برون‌داد این پژوهش، ارائه مدلی برای زمان بندی هم‌زمان وظایف با ساختارهای سری و موازی با در نظر گرفتن زمان ورود متفاوت وظایف و لجستیک در سیستم ساخت ابری است.

کلیدواژه‌ها: ساخت ابری، زمان بندی، ساختار وظایف، زمان متفاوت رسیدن وظایف، زمان/هزینه لجستیک.

### ۱- مقدمه

صنعت تولید به علت افزایش انتظارات مشتری دست‌خوش تحولات عمده‌ای شده است، به طوری که در محیط مشتری محور امروزی مشتریان انتظار دارند که گزینه‌های سفارشی‌سازی را به منظور دست‌یابی به آیت‌های شخصی‌سازی شده برای برآوردن نیازهای منحصر به فرد خود ببینند [1].

علاوه بر این سیستم‌های تولید کنونی به دلیل پیدایش انقلاب چهارم صنعتی، اصطلاحاً صنعت ۴/۰<sup>۱</sup>، در حال تغییر هستند. این انقلاب از آخرین تحولات فناوری مانند محاسبات ابری<sup>۲</sup>، کلان داده<sup>۳</sup>، سیستم‌های فیزیکی سایبری<sup>۴</sup>، ربات‌های هوشمند<sup>۵</sup> و اینترنت اشیا<sup>۶</sup> برخوردار است [8]-[2]. از این رو، ساخت ابری<sup>۷</sup> به عنوان یک روند نوظهور محبوب، از فناوری‌های ذکر شده برای دست‌یابی به اشتراک منابع در بین سازمان‌های کوچک و متوسط<sup>۸</sup> سود می‌برد تا مفهوم سفارشی‌سازی را محقق کند.

ساخت ابری را می‌توان به عنوان مدلی راحت و بر اساس تقاضا به یک مجموعه مشترک از منابع تولید قابل تنظیم (مانند ابزارهای نرم‌افزاری ساخت، تجهیزات ساخت و قابلیت‌های تولید) تعریف کرد که می‌تواند به سرعت با حداقل امکانات تهیه و منتشر شود [9]. مسایل بهینه‌سازی حوزه ساخت ابری به سه دسته ترکیب سرویس، مدیریت پروژه و زمان بندی تقسیم می‌شوند. از مطالعات مرتبط با ترکیب سرویس در ساخت ابری می‌توان به لی و همکاران [10]، کرامت نژاد و همکاران [11]، عصاروی و همکاران [12]، فاضلی و همکاران [13]، لیانگ و همکاران [14] و در نهایت کردگاری و همکاران [15] اشاره کرد. از مقالات موجود در زمینه مدیریت پروژه می‌توان مقاله‌ی دلارام و فتاحی و لیلانی [16] را نام برد که در آن مدلی تحت عنوان اشتراک عملیات و لجستیک را ارائه دادند که با استفاده از یک مثال اعتبارسنجی و تایید شد. در مطالعه‌ای دیگر یانگ و همکاران [17] با ارائه یک مدل چند هدفه با رویکرد لجستیک به مساله مدیریت پروژه در ساخت ابری از دیدگاه اقتصاد و محیط زیست از جمله انتشار کربن و منابع آب پرداختند. با توجه به مساله زمان بندی در ساخت ابری، مقالاتی مانند مقاله‌های جعفر نژاد قمی و همکاران [18]، [19] ارائه شدند که در آن‌ها با ارائه مدلی چند هدفه، با استفاده از تئوری صف<sup>۹</sup>، بهینه‌سازی انتخاب سرویس و زمان بندی توازن بار<sup>۱۰</sup> را با در نظر گرفتن لجستیک بررسی کردند.

پلتفرم ساخت ابری الگوی جستجوی انواع سرویس‌های تولیدی است تا نیازهای مشتری برای وظایف تولید متشکل از زیروظایف را برآورده کند. با این حال، در نظر گرفتن جنبه حمل و نقل برای انتخاب بهینه این سرویس‌ها در مکان‌های جغرافیایی مختلف هم‌چنان چالش برانگیز است. از همین رو، ژو و همکاران [20] با تمرکز بر لجستیک در ساخت ابری به مساله سرویس چاپ سه بعدی در این پلت فرم پرداختند که در آن استراتژی‌هایی مانند اندازه مدل، مواد چاپ، دقت چاپ، هزینه وظیفه و زمان وظیفه نیز در نظر گرفته شد تا زمان تکمیل وظیفه را به حداقل برسانند. هم‌چنین در همان سال ژو و همکاران [21] آن‌ها یک مساله مدیریت پروژه را برای بهینه‌سازی زمان، هزینه و کیفیت با در نظر گرفتن پارامترهای لجستیک مدل‌سازی کردند. از مطالعات مشابه می‌توان به مقاله هی و همکاران [22] و وو و همکاران [23] اشاره کرد که برای ایجاد زمان بندی متمرکز در پلتفرم ساخت ابری، یک راه حل ترکیبی از تخصیص سفارش‌های تامین‌کنندگان و به کارگیری شخص ثالث برای لجستیک ارائه دادند. علاوه بر این در مقاله‌ای که توسط یوان و همکاران [24] ارائه شد، نویسندگان یک مدل زمان بندی در محیط ساخت ابری با هدف زمان، هزینه، کیفیت و قابلیت ایجاد کردند که عواملی مانند زمان لجستیک و هزینه لجستیک در آن لحاظ شده است. هم‌چنین مقالاتی هم‌چون ژانگ و همکاران [25]، وانگ و همکاران [26]، آهن و هور [27] و ژو و همکاران [28] از دیگر مقالات مشابهی هستند که به بررسی مسایل زمان بندی و مدیریت پروژه پرداخته‌اند و جنبه‌های لجستیکی را در مدل ارائه شده خود در نظر گرفته‌اند.

در پلتفرم ساخت ابر، اکثر وظایف ارسالی دارای چند زیروظیفه هستند که توسط یک سرویس قابل انجام نیستند؛ بنابراین، در گام اول، وظیفه دریافتی بر روی این پلتفرم به زیروظایف متعدد در ساختارهای ترکیبی مختلف تجزیه می‌شود. علی‌رغم این موضوع مقالاتی که تاکنون بررسی شدند فرض می‌کنند که تمامی وظایف صرفاً از یک نوع ساختار پیروی می‌کنند. در این رابطه اکبری پور و همکاران [29] مدل‌های برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط را برای تخصیص بهینه زیروظایف صرفاً یک وظیفه به ماشین‌ها با ساختار ترکیبی در محیط ساخت ابری فرمول بندی کردند. برخلاف اکبری پور و همکاران [29] که ساختارهای متفاوتی را برای وظیفه در نظر گرفتند، شیانگ و همکاران [30] یک مدل چند هدفه را برای ارزیابی کیفیت سرویس و مصرف انرژی با ساختارهای متعدد برای سرویس‌ها ایجاد کردند. هم‌چنین در یک مطالعه مشابه، شیانگ و همکاران [31] با استفاده از دو ساختار سری و موازی برای سرویس‌ها، مدلی را برای انتخاب بهینه‌ای از سرویس‌ها در مقیاس بزرگ ارائه کردند. لاریتگاو و همکاران [32] مساله انتخاب و ترکیب سرویس ابری را با در نظر گرفتن زنجیره‌ای از سرویس‌ها با ساختار ترکیبی متفاوت بررسی کردند. یکی از ویژگی‌های مشترک بین

<sup>1</sup> Industry 4.0

<sup>2</sup> Cloud computing

<sup>3</sup> Big data

<sup>4</sup> Cyber-physical system

<sup>5</sup> Smart robots

<sup>6</sup> Internet of things

<sup>7</sup> Cloud manufacturing

<sup>8</sup> Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs)

<sup>9</sup> Queuing theory

<sup>10</sup> Load balancing

مطالعات اشاره شده این است که آن‌ها فرض می‌کنند که در یک مثال تمام وظایف یک نوع ساختار دارند. به عنوان مثال، تمام وظایف از ساختار موازی پیروی می‌کنند در حالی که در دنیای واقعی احتمال مواجهه با مساله‌ای که وظایف مختلف هر کدام ساختارهای متفاوتی داشته باشند محتمل است.

یکی از عوامل تاثیرگذار بر زمان بندی در ساخت ابری زمان رسیدن وظایف به این سیستم می‌باشد. تاکنون مطالعات اندکی در این زمینه صورت گرفته است که در آن‌ها زمان‌های مختلف رسیدن وظایف به سیستم ساخت ابری را پوشش می‌دهند. از میان این مقالات می‌توان به ژو و همکاران [33] اشاره کرد که یک مدل ریاضی مبتنی بر شبیه‌سازی مبتنی بر داده‌های پویا برای وظایفی که در زمان‌های تصادفی به محیط ساخت ابری وارد می‌شوند ارائه کردند. آهن و هور [27] با ارائه یک مدل ریاضی با در نظر گرفتن زمان دسترسی برای هر وظیفه، تاثیر هزینه، کیفیت، تاخیر و قابلیت اطمینان را بر رضایت مشتری بررسی کردند. سلماس نیا و کیاپاشا [34] نیز در مطالعه خود با ارائه یک مدل زمان بندی، این فرض غیر واقعی که تمام وظایف هم‌زمان وارد سیستم ساخت ابری می‌شوند را در نظر نگرفتند [17]، [37]-[35]. مطالعات مشابه دیگری هستند که زمان‌های مختلف رسیدن وظایف یکی از ویژگی‌های اصلی مدل پیشنهادی آن‌ها است. از میان مطالعات ذکر شده، همه مسایل مرتبط با مدیریت پروژه و تنها دو تا از آن‌ها مساله زمان بندی را پوشش داده‌اند.

با بهره‌گیری از مطالعات و شکاف‌های تحقیقاتی بیان شده، این مقاله با ارائه یک مدل ریاضی به مساله زمان بندی زیروظایف در ساخت ابری می‌پردازد به طوری که سه عامل حیاتی برای نزدیک تر شدن این مدل به واقعیت را در نظر می‌گیرد: ۱- زمان بندی وظایف با ساختارهای مختلف وظیفه مانند سری و موازی به طور هم‌زمان، ۲- زمان‌های مختلف رسیدن وظایف به پلتفرم ساخت ابری و ۳- زمان و هزینه جابه‌جایی زیروظایف بین سرویس‌های سازمان‌های متفاوت در مکان‌های مختلف جغرافیایی. این مدل با هدف بهینه‌سازی هم‌گام سه تابع زمان تکمیل وظایف، هزینه تحمیل شده به سیستم ساخت ابری و کیفیت سرویس‌های انتخاب شده برای اجرای زیروظایف ارائه شده است. در نهایت دو مطالعه تطبیقی نیز برای نشان دادن اهمیت ویژگی‌های ذکر شده به طور مفصل بیان می‌شود. جدول ۱ نمای کلی از تحقیقات انجام شده در مورد مسایل بهینه‌سازی در سیستم‌های ساخت ابری را ارائه می‌دهد.

ادامه این مقاله به شرح زیر است. بخش ۲ به بیان مساله و یک مدل بهینه‌سازی برای زمان بندی زیروظایف در ساخت ابری اختصاص دارد. در بخش ۳ نمونه‌های آزمایشی و نتایج ارائه شده است و در نهایت در بخش ۴ به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

جدول ۱ - مروری بر ادبیات بهینه‌سازی در ساخت ابری.

Table 1- An overview of optimization literature in cloud construction.

زمینه	نویسندگان	ساختار ترکیبی		
		سری	موازی	به وظیفه
زمان/هزینه لجستیک	یوان و همکاران [24]	√		
	وو و همکاران [23]	√		
	زو و همکاران [37]	√		√
	سلماس نیا و کیاپاشا [34]	√		√
	جعفرنژاد قمی و همکاران [18]	√		
	جعفرنژاد قمی و همکاران [19]	√		
مدیریت پروژه	هی و همکاران [22]	√		
	تانگ و ژو [35]	√		√
	تانگ و ژو [36]	√		√
	زنگ و همکاران [25]	√		√
	لی و همکاران [38]	√	√	√
	یانگ و همکاران [17]	√	√	√
	ژو و همکاران [33]	√		√
	ژو و همکاران [28]	√		√
	آهن و هور [27]	√	√	√
	لیو و همکاران [39]	√		√
	ونگ و همکاران [26]	√		√

جدول ۱ - ادامه.

Table 1- Continued.

زمینه	نویسندگان	ساختار ترکیبی		دسترسی		زمان/هزینه لجستیک
		سری	موازی	به	وظیفه	
مدیریت پروژه	ژو و همکاران [20]	√				√
	ژو و همکاران [21]	√	√			√
	دلارام و فتاحی و لیلانی [16]	√				√
	اکبرپور و همکاران [29]	√	√			√
ترکیب سرویس	عصاری و همکاران [12]					√
	لیانگ و همکاران [14]	√				√
	کردگاری و همکاران [15]	√				√
	کرامت نژاد و همکاران [11]					
	فاضلی و همکاران [13]	√				√
	شیانگ و همکاران [30]	√	√			
	شیانگ و همکاران [31]	√	√			
	لازیگاو [32]	√	√			√
زمان بندی	این مقاله	√	√	√		√

## ۲- بیان و مدل ریاضی مساله

در این مطالعه زمان بندی به نحوه تخصیص زیروظایف به توالی موقعیت های سرویس اطلاق می شود. به همین منظور شکل ۱ نمایی شماتیک از مساله را نشان می دهد به طوری که کاربران درخواست های خود را به سیستم ساخت ابری ارسال می کنند که در آن هر درخواست یا سفارش به عنوان یک وظیفه در نظر گرفته می شود. سپس، وظیفه  $T_k; k=1, \dots, K$  به حداکثر  $U$  زیروظایف تجزیه می شود، به گونه ای که این زیروظایف با ساختارهای سری و موازی با هم ترکیب می گردند. زیروظایف وظایف سری و موازی به ترتیب توسط مجموعه های  $TS$  و  $TP$  و به طور کلی با مجموعه  $U_k$  نمایش داده می شوند. به عنوان مثال در جدول ۲، وظیفه  $T_5 \in \{1, 2, 3, 4\}$  و انواع آن به ترتیب  $h_1^5, h_2^5, h_3^5, h_4^5$  می باشد که هر کدام نشان دهنده نوع  $uth$  زیروظیفه و وظیفه  $k=5$  است. دو نکته حایز اهمیت که باید مورد توجه قرار گیرد این است که ۱- زمان رسیدن این وظایف به سیستم ساخت ابری با یکدیگر متفاوت است و ۲- وظایف با ساختارهای مختلف به صورت هم زمان زمان بندی می شوند. لازم به ذکر است که در وظایف با ساختار سری تا زمانی زیروظیفه فعلی انجام نشده زیروظیفه بعدی مجاز به شروع برای اجرا نیست. زیروظایف به یکی از سرویس های کاندید اختصاص داده می شوند، به بیان دیگر تنها در صورتی که آن سرویس قادر به انجام آن زیروظیفه باشد، این تخصیص صورت می گیرد. همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، هر سازمان  $E_i; i=1, \dots, I$  شامل تعدادی سرویس است که در مجموعه  $S_i$  مشخص می شود؛ به عنوان مثال، سازمان  $E_4$  شامل سرویس های  $\{1, 2, 3\}$  می باشد که هر کدام نشان دهنده  $sth$  سرویس سازمان  $i=4$  است. از آنجایی که این سازمان ها در مناطق مختلف جغرافیایی پراکنده هستند، بنابراین زمان و هزینه صرف شده جهت جابه جایی بین این سازمان ها برای اجرای زیروظایف وظایف دارای ساختار سری غیر قابل چشم پوشی می باشد.

از آنجایی که کاربران سیستم ساخت ابری ممکن است ترجیحات مختلفی داشته باشند، سه معیار مهم بهینه سازی زمان، هزینه و کیفیت در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده اند. از این رو متغیرهای تصمیم به گونه ای تعیین می شوند که زمان تکمیل وظایف حداقل مقدار ممکن باشد و هزینه های تحمیل شده بر سیستم ابری به کم ترین مقدار خود برسد در حالی که کیفیت مطلوب سرویس های انتخاب شده برای رضایت مشتریان حاصل شود.

جدول ۲- مجموعه زیروظایف هر وظیفه.

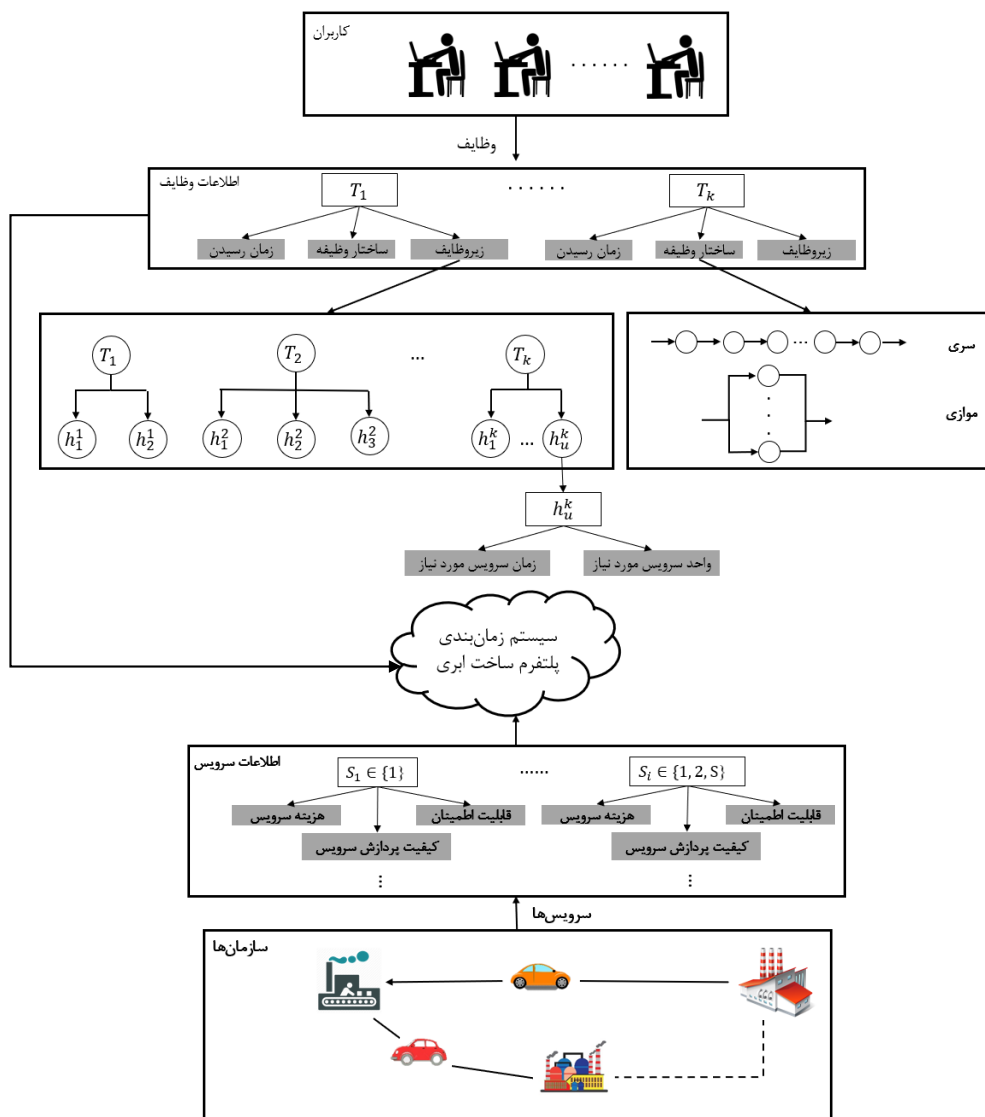
Table 2- Set of sub-tasks of each task.

زیروظایف	سری (TS)			موازی (TP)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>
u = 1	√	√	√	√	√	√	√
u = 2	√	√	√	√	√	√	√
u = 3		√	√		√	√	
u = 4			√				

جدول ۳- مجموعه سرویس‌های هر سازمان.

Table 3- The set of services of each organization.

s	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>
1	√	√	√	√	√	√
2	√	√	√	√	√	√
3	√			√	√	



شکل ۱- چارچوب مساله ارایه‌شده.

Figure 1- The presented problem framework.

برای درک بهتر مدل ریاضی ارایه‌شده، شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در جدول ۴ لیست شده‌اند.

جدول ۴- نمادها.

Table 4- Symbols.

نمادها	شرح
$i, i'$	شاخص‌های سازمان‌ها $i, i' = 1, 2, \dots, I$
$s, s'$	شاخص‌های سرویس‌های هر سازمان $s, s' \in S_i$
$k, k'$	شاخص‌های هر وظیفه $k, k' = 1, 2, \dots, K$
$u, u'$	شاخص‌های ترتیب زیروظایف هر وظیفه $u, u' \in U_k$
$\rho, \rho'$	شاخص‌های موقعیت‌های هر سرویس $\rho, \rho' = 1, 2, \dots$
<b>مجموعه‌ها</b>	
$U_k$	مجموعه‌ای از ترتیب زیروظایف وظیفه $k$
TS	مجموعه‌ای از وظایف با ساختارهای سری
TP	مجموعه‌ای از وظایف با ساختار موازی
$S_i$	مجموعه سرویس‌های سازمان $i$
<b>پارامترها</b>	
$T_k$	وظیفه $k$
$h_u^k$	زیروظیفه نوع $k, u$ وظیفه
$E_i$	سازمان $i$
$d_{i,i'}$	فاصله جغرافیایی بین دو سازمان $i, i'$
$V_{s,u}^{i,k}$	۱ اگر سرویس $s$ از $i$ th سازمان توانایی انجام زیروظیفه $u$ از $k$ th وظیفه را داشته باشد، در غیر این صورت صفر
$M$	عدد مثبت بسیار بزرگ
$w_T$	وزن ترجیحی زمانی
$w_C$	وزن ترجیحی هزینه
$w_Q$	وزن ترجیحی کیفیت
$C_{max}$	حداکثر هزینه کل قابل قبول تحمیل شده بر سیستم ابری
$T_{max}$	حداکثر زمان قابل قبول برای تکمیل وظایف
$Q_{min}$	حداقل کیفیت کل قابل قبول
<b>پارامترهای زمان</b>	
$ar^k$	زمان رسیدن $k$ th وظیفه به پلتفرم ساخت ابری
$t_{s,u}^{i,k}$	زمان اجرای زیروظیفه $u$ از $k$ th وظیفه توسط سرویس $s$ از $i$ th سازمان
$lt_{i,i'}$	زمان لجستیک واحد فاصله، زمانی که دو زیروظیفه متوالی از یک وظیفه با ساختار سری در دو سازمان متفاوت $i$ و $i'$ انجام شود
$lt_{i,i'}$	زمان لجستیک بین دو سازمان متفاوت $i$ و $i'$
<b>پارامترهای هزینه</b>	
$a_u^k$	واحد سرویس برای اجرای $u$ th زیروظیفه وظیفه $k$
$c_s^i$	هزینه واحد $sth$ سرویس سازمان $i$
$lco_{i,i'}$	هزینه لجستیک واحد فاصله، زمانی که دو زیروظیفه متوالی از یک وظیفه با ساختار سری در دو سازمان متفاوت $i$ و $i'$ انجام شود
$lc_{i,i'}$	هزینه لجستیک بین دو سازمان متفاوت $i$ و $i'$
<b>پارامترهای کیفیت</b>	
$qp_s^i$	کیفیت پردازش $sth$ سرویس سازمان $i$
$M_s^i$	قابلیت نگهداری $sth$ سرویس سازمان $i$
$TL_s^i$	سطح اعتماد $sth$ سرویس سازمان $i$
$R_s^i$	قابلیت اطمینان $sth$ سرویس سازمان $i$
$\alpha_s^i$	بهره‌وری $sth$ سرویس سازمان $i$

جدول ۴- ادامه.

Table 4- Continued.

متغیرهای تصمیم	باینری
اگر $u$ th زیروظیفه $k$ th وظیفه در موقعیت $s$ th، $p$ سرویس سازمان $i$ اجرا شود، در غیر این صورت صفر	$X_{s,\rho,u}^{i,k}$
اگر دو زیروظیفه متوالی $u+1$ و $u$ از یک وظیفه با ساختار سری در دو سازمان متفاوت $i'$ و $i$ اجرا شوند، در غیر این صورت صفر	$Z_{u,u+1}^{k,i,i'}$
پیوسته	
زمان تکمیل وظیفه $k$	$CT^k$
زمان سرویس $u$ th زیروظیفه وظیفه $k$	$St_u^k$
زمان شروع $u$ th زیروظیفه وظیفه $k$	$Stt_u^k$
زمان پایان $u$ th زیروظیفه وظیفه $k$	$Tt_u^k$

همان‌طور که بیان شد، سیستم ساخت ابری  $I$  سازمان را در مکان‌های مختلف جغرافیایی شامل می‌شود، بنابراین معادلات زیر برای محاسبه زمان و هزینه حمل‌ونقل واحد فاصله به کار گرفته می‌شوند به طوری که در آن  $d_{i,i'}$  فاصله جغرافیایی بین دو سازمان  $i$  و  $i'$  و  $l_{i,i'}$  و  $lt_{i,i'}$  به ترتیب زمان و هزینه جابه‌جایی واحد فاصله می‌باشند.

$$lt_{i,i'} = d_{i,i'} \times l_{i,i'} \quad (1)$$

$$lc_{i,i'} = d_{i,i'} \times lc_{i,i'} \quad (2)$$

طبق تعریف زمان‌بندی، مساله اصلی در این مطالعه نحوه تخصیص زیروظایف به توالی موقعیت‌های سرویس‌ها به گونه‌ای است که اهداف به حداقل رساندن زمان تکمیل وظایف و هزینه و به حداکثر رساندن کیفیت سرویس‌های انتخاب‌شده برآورده گردد. از این رو معادله (۳) به صورت یک عملگر  $min-max$  ارائه شده است تا زمان تکمیل وظایف را کمینه کند، به عبارت دیگر زمان تکمیل وظایف معادل با زمان پایان آخرین زیروظیفه وظیفه با ساختار سری و حداکثر زمان پایان زیروظایف وظیفه با ساختار موازی است. معادله (۴) حداقل هزینه تحمیل‌شده به سیستم ساخت ابری را محاسبه می‌کند که شامل دو بخش هزینه سرویس و هزینه لجستیک می‌باشد. لازم به ذکر است که هزینه سرویس برحسب واحد سرویس  $a_u^k$  و هزینه واحد سرویس  $c_s^i$  به دست می‌آید و هزینه لجستیک برای وظایف با ساختار سری به واحد فاصله  $d_{i,i'}$  و  $l_{i,i'}$  وابسته می‌باشد. به همین ترتیب معادله (۵) تابع کیفیت را به حداکثر می‌رساند که بر اساس پنج فاکتور کیفیت پردازش  $qp_s^i$ ، قابلیت نگهداری  $M_s^i$ ، سطح اعتماد  $TL_s^i$ ، قابلیت اطمینان  $R_s^i$  و کارایی  $\alpha_s^i$  سرویس‌های انتخاب شده است.

$$Min T = \max_k \{CT^k\} \quad (3)$$

$$Min C = \sum_{k=1}^K \sum_{u \in U_k} \sum_{i=1}^I \sum_{s \in S_i} \sum_{\rho=1}^P (c_s^i \times a_u^k) \times X_{s,\rho,u}^{i,k} + \sum_{k \in TS} \sum_{i,i'=1}^I \sum_{u \in TS} lc_{i,i'} \times Z_{[u],[u+1]}^{k,i,i'} \quad (4)$$

$$Max Q = \sum_{k=1}^K \sum_{u \in U_k} \sum_{i=1}^I \sum_{s \in S_i} \sum_{\rho=1}^P (qp_s^i + M_s^i + TL_s^i + R_s^i + \alpha_s^i) \times X_{s,\rho,u}^{i,k} \quad (5)$$

قیود مطرح‌شده در مساله ارائه‌شده بدین شرح است. معادله (۶) تا معادله (۹)، محدودیت‌های مرتبط با متغیر تصمیم  $X_{s,\rho,u}^{i,k}$  هستند؛ که به ترتیب، معادله (۶) بیان می‌کند که تنها باید یک سرویس برای اجرای زیروظیفه  $u$  وظیفه  $k$  انتخاب شود. معادله (۷) نشان می‌دهد که حداکثر یک زیروظیفه به هر موقعیت سرویس  $s$  اختصاص داده می‌شود. معادله (۸) اطمینان حاصل می‌کند که تا زمانی که زیروظیفه‌ای به موقعیت  $\rho$  سرویس  $s$  اختصاص داده نشود زیروظیفه‌ای دیگر نمی‌تواند در موقعیت  $\rho+1$  آن سرویس اجرا شود. معادله (۹) نیز تضمین می‌کند که تنها سرویس‌هایی که قابلیت اجرای زیروظیفه‌ی  $u$  را دارند انتخاب شوند.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{s \in S_i} \sum_{\rho=1}^P X_{s,\rho,u}^{i,k} = 1, \quad \text{for all } k \text{ \& for all } u \in U_k. \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{u \in U_k} X_{s,\rho,u}^{i,k} \leq 1, \quad \text{for all } i, \rho \text{ \& for all } s \in S_i. \quad (7)$$



$$\sum_{k=1}^K \sum_{u \in U_k} X_{s,\rho+1,u}^{i,k} \leq \sum_{k=1}^K \sum_{u \in U_k} X_{s,\rho,u}^{i,k}, \quad \text{for all } i, \rho \text{ \& for all } s \in S_i. \quad (8)$$

$$\sum_{\rho=1} X_{s,\rho,u}^{i,k} \leq V_{s,u}^{i,k}, \quad \text{for all } i, k \text{ \& } s \in S_i \text{ \& } u \in U_k. \quad (9)$$

معادله (۱۰)، زمان سرویس انتخاب شده برای اجرای زیروظیفه  $u$  وظیفه  $k$  را محاسبه می کند. معادله (۱۱) نشان دهنده ضرورت محاسبه زمان و هزینه لجستیک زمانی که دو زیروظیفه متوالی از یک وظیفه با ساختار سری به سرویس های موجود در دو سازمان مختلف اختصاص داده شوند، است. معادله (۱۲) نیز زمان لجستیک زیروظیفه  $u$  وظیفه  $k$  با ساختار سری را محاسبه می کند.

$$St_u^k = \sum_{i=1}^I \sum_{s \in S_i} \sum_{\rho=1} X_{s,\rho,u}^{i,k} \times X_{s,\rho,u}^{i,k}, \quad \text{for all } k, u \in U_k. \quad (10)$$

$$X_{s,\rho,[u]}^{i,k} + X_{s',\rho',[u+1]}^{i',k} - 1 \leq Z_{[u],[u+1]}^{k,i,i'}, \quad \text{for all } \rho, \rho', i, i' \text{ \& } i \neq i' \text{ \& for all } s, s' \in S_i \text{ \& } k, u \in TS. \quad (11)$$

$$Lt_u^k = \sum_{i,i'=1}^I lt_{i,i'} \times Z_{[u],[u+1]}^{k,i,i'}, \quad \text{for all } k, u \in TS \text{ \& } i \neq i'. \quad (12)$$

معادله (۱۳) زمان پایان زیروظیفه  $u$  وظیفه  $k$  را بر اساس مجموع زمان شروع  $Stt_u^k$  و زمان سرویس  $St_u^k$  به دست می آورد. با توجه به معادله (۱۴)، زمان شروع زیروظیفه  $u$  وظیفه  $k$  با ساختار سری بزرگتر یا برابر با مجموع زمان پایان  $TT_{[u-1]}^k$  و زمان لجستیک  $Lt_{[u-1]}^k$  است. هم چنین معادله (۱۵) نشان می دهد که زمان شروع زیروظیفه اختصاص داده شده به موقعیت  $\rho+1$  سرویس  $s$  باید بزرگتر یا مساوی با زمان پایان زیروظیفه اختصاص داده شده به موقعیت  $\rho$  همان سرویس باشد. معادله (۱۶) نیز تضمین می کند که زمان شروع هر یک از زیروظایف وظیفه با ساختار موازی و زمان شروع اولین زیروظیفه وظیفه دارای ساختار سری بزرگتر و یا مساوی زمان رسیدن این وظایف به سیستم ساخت ابری می باشد. به همین ترتیب معادله (۱۷) تعیین می کند که زمان تکمیل وظیفه با ساختاری سری بزرگتر یا مساوی زمان پایان آخرین زیروظیفه آن و زمان تکمیل وظیفه با ساختار موازی بزرگتر یا مساوی حداکثر زمان پایان زیروظایف آن است.

$$TT_u^k = Stt_u^k + St_u^k, \quad \text{for all } k, u \in U_k. \quad (13)$$

$$TT_{[u-1]}^k + Lt_{[u-1]}^k \leq Stt_u^k, \quad \text{for all } k, u \in TS. \quad (14)$$

$$Stt_{u'}^{k'} \geq TT_u^k - M \times (2 - X_{s,\rho,u}^{i,k} - X_{s,\rho+1,u'}^{i',k'}), \quad \text{for all } \rho \text{ \& for all } i, s \in S_i \text{ \& for all } k, u \in (TS \parallel TP) \text{ \& for all } k', u' \in (TS \parallel TP). \quad (15)$$

$$ar^k \leq Stt_u^k, \quad \text{for all } k, u \in (TS \text{ \& } u = \text{first sub-task}) \parallel k, u \in TP. \quad (16)$$

$$CT^k \geq TT_u^k, \quad \text{for all } k, u \in (TS \text{ \& } u = \text{last sub-task}) \parallel k, u \in TP. \quad (17)$$

همان طور که مشاهده می شود معادله های (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) مربوط به محدودیت های مرتبط با ترجیحات کاربران از نظر زمان، هزینه و کیفیت می باشند. علاوه بر این، معادله (۲۱)، محدوده قابل قبول متغیرهای تصمیم را نشان می دهد.

$$T \leq T_{max}. \quad (18)$$

$$C \leq C_{max}. \quad (19)$$

$$Q \geq Q_{min}. \quad (20)$$

$$Z_{u,u'}^{k,i,i'}, X_{s,\rho,u}^{i,k} \in \{0,1\}, \text{ \& } CT^k, Stt_u^k, St_u^k, TT_u^k, Lot_u^k, TCT \geq 0, \text{ for all } \rho, k, i, i' \text{ \& } s \in S_i \text{ \& } u, u' \in U_k. \quad (21)$$

به دلیل تعریف تابع زمان تکمیل وظایف به صورت  $min-max$ ، این تابع ماهیتی غیرخطی دارد، از این جهت متغیر  $TCT$  معرفی شده است تا با استفاده از آن، این تابع به یک تابع خطی تبدیل گردد. همان طور که در معادله (۲۲) مشخص است، مقدار این متغیر بیش یا برابر با حداکثر مقدار تکمیل وظایف می باشد؛ بنابراین می توان معادله (۲۳) را جایگزین معادله (۳) کرد.

$$TCT \geq CT^k, \quad \text{for all } k. \quad (22)$$

$$Min T = TCT. \quad (23)$$

همان‌طور که در مدل ریاضی ارایه شده است توابع هدف مطرح‌شده در این مدل متضاد یکدیگر هستند؛ بنابراین مطابق با معادله (۲۴) رویکرد  $LP-metric$  به‌کار گرفته شده است تا این سه تابع در یک تابع تجمیع شوند.

$$Total = w_1 \left( \frac{T^* - T}{T^*} \right) + w_2 \left( \frac{C^* - C}{C^*} \right) + w_3 \left( \frac{Q^* - Q}{Q^*} \right). \quad (24)$$

### ۳- نمونه‌های آزمایشی و نتایج

مدل پیشنهادی در این مطالعه را می‌توان در الگوهای تولید مشتری مدار ساخت ابری، اعمال کرد. مشتریان برای این الگو مهم هستند، به‌طوری‌که هدف تولید در آن برآوردن نیازهای اختصاصی هر مشتری است. در مقایسه با سایر مسایل زمان‌بندی، در ساخت ابری، زمان ورود وظایف به سیستم ساخت ابری نه تنها بر زمان تکمیل وظایف تاثیر می‌گذارد، بلکه به‌طورکلی بر کیفیت سرویس انتخاب‌شده و تابع تجمیع نیز موثر است. علاوه بر این به دلیل ماهیت توزیعی سازمان‌های حاضر در این پلتفرم در مناطق جغرافیایی مختلف تعیین متغیر تصمیم برای تخصیص زیروظایف به سرویس‌ها یکی از چالش‌های اساسی است. از این‌رو در این بخش آزمایش‌های محاسباتی به‌عنوان راهنمایی برای مدیر ابر ارایه شده است.

آزمایش‌های محاسباتی بر روی شش نمونه تصادفی انجام شده است. برای درک بهتر، پارامترهای نمونه شماره ۵ با جزئیات در جدول‌های ضمیمه قابل مشاهده هستند. لازم به ذکر است که مساله برای رسیدن به بهینه جهانی در نرم‌افزار *GAMS 25.1.2* روی رایانه‌ای با پردازنده *Core i5*،  $2/5$  گیگاهرتز و رم ۸ گیگ پیاده‌سازی شده است که نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- نتایج حل مدل به روش دقیق.

Table 5- The results of solving the model in an exact way.

شماره نمونه	تعداد وظایف با ساختار سری	تعداد وظایف با ساختار موازی	تعداد زیروظایف	تعداد سازمان‌ها	تعداد سرویس‌ها	بهترین راه حل
1	1	1	4	2	4	0.0544
2	2	1	6	3	6	0.0177
3	2	2	10	3	7	0.0179
4	3	2	14	4	10	0.0397
5	3	3	17	5	13	0.0558
6	3	4	19	6	15	0.0622

در این بخش برای این‌که اهمیت و میزان تاثیرگذاری زمان ورود وظایف به پلتفرم ساخت ابری و لجستیک به‌طور واضح نشان داده شود، مدل ارایه‌شده در این مقاله که از این‌پس با عنوان مدل (۱) نام‌گذاری می‌شود با دو مدل مشابه مقایسه می‌شود. اولین مدل رقیب که از آن تحت عنوان مدل (۲) یاد می‌شود، مدلی است که در آن فرض می‌شود که تمامی وظایف در زمان صفر به پلتفرم ساخت ابری می‌رسند که این مورد مشابه دیدگاه مقالات ارایه‌شده توسط لی و همکاران [38] و یانگ و همکاران [17] می‌باشد؛ درحالی‌که در مدل رقیب دوم که پس‌از این بانام مدل (۳) خطاب می‌شود هم‌چون مقاله آهن و هور [27] مقدار زمان و هزینه لجستیک ناچیز در نظر گرفته شده است.

برای بررسی دو مطالعه مقایسه‌ای از نمونه ۵ استفاده شده است. جدول ۶ نتایج به‌دست آمده مرتبط با توابع هدف مدل‌های (۱) و (۲) را مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر به‌دست‌آمده در مدل (۱) از نظر زمان تکمیل وظایف، هزینه تحمیل‌شده به سیستم ساخت ابری، کیفیت سرویس‌های انتخاب‌شده و تابع تجمیع شده به روش  $LP-metric$  به ترتیب برابر است با  $۱۹/۲۷۳$ ،  $۶۰۴/۴۱۶$ ،  $۵۳۹/۶۴۴$  و  $۰/۰۵۵۸$  و هم‌چنین مقادیر توابع مذکور برای مدل (۲) به ترتیب  $۱/۸۶۹$ ،  $۵۸۹/۹۲۳$ ،  $۵۱۹/۶۸۰$  و  $۰/۰۵۹۸$  به‌دست آمده‌اند. همان‌طور که قابل پیش‌بینی بود با فرض این‌که تمام وظایف در ابتدای افق زمانی در دسترس هستند، از بین توابع هدف، زمان تکمیل وظایف کاهش محسوسی را نشان داده است. این به دو دلیل است، اول این‌که در مقایسه با مدل اصلی بعضی از زیروظایف در زمان صفر شروع به اجرا شده‌اند و دومین مورد این است که متغیر تصمیم به‌گونه‌ای به‌دست آمده که پراکندگی زیروظایف روی سرویس‌های مختلف بیش‌تر شده است تا وظایف در سریع‌ترین زمان ممکن اجرا شوند. در مقابل توابع هدف هزینه و کیفیت اندکی کاهش یافته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که این امر به دلیل تغییر در نحوه تخصیص زیروظایف به دیگر سرویس‌های کاندید رخ داده است. علاوه بر این مقدار تابع هدف تجمیع شده افزایش کمی داشته که البته با توجه به مقادیر دیگر توابع هدف، دور از انتظار نبوده است. با جایگذاری متغیر تصمیم به‌دست آمده از مدلی که زمان متفاوت رسیدن وظایف به سیستم ساخت ابری را نادیده گرفته

در مدل پیشنهادی، مقادیر توابع هدف زمان تکمیل وظایف، کیفیت سرویس و تجمیع شده به ترتیب به میزان ۵/۱۸٪، ۳/۶۹٪ و ۳۸/۷۰٪ بهبود داشته‌اند. اگرچه با توجه به مقادیر، بهبودی در تابع هزینه حاصل نشده است اما به‌طورکلی این یافته‌ها تاثیر چشم‌گیری در عملکرد بهتر برای تصمیم‌گیری جهت تخصیص زیروظایف به سرویس‌ها نشان می‌دهند. از این رو، این نتایج، اثر نامطلوب اطلاعات نادرست مربوط به زمان رسیدن وظایف را نشان می‌دهد که باعث گمراهی مدیر سیستم ابر و در نتیجه اتخاذ تصمیمات نادرست در امر زمان‌بندی زیروظایف می‌شود.

جدول ۶- نتایج مقایسه مورد اول و دوم.

Table 6- The results of the comparison of the first and second case.

تابع تجمیع شده	کیفیت سرویس	هزینه (\$)	زمان تکمیل وظایف (m)
مورد ۱	539.644	604.416	19.273
مورد ۲	519.680	589.923	1.869
نتیجه مورد انتظار بر اساس مورد ۲	519.680	589.923	20.273
درصد بهبود	3.69%	-2.39%	5.18%

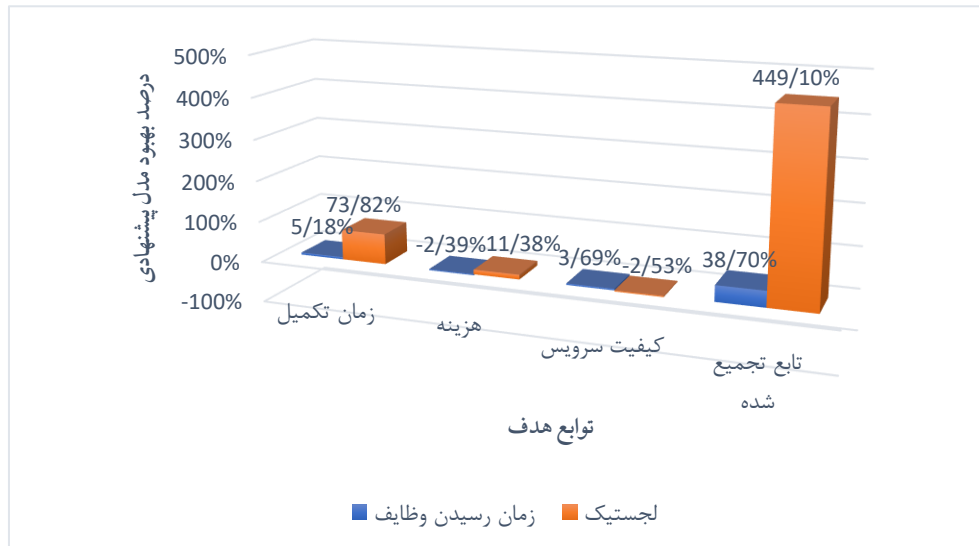
نتایج حاصل از مدل‌های (۱) و (۳) در جدول ۷ ارائه شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که خروجی‌های مدلی که زمان و هزینه لجستیک را نادیده می‌گیرد برای توابع هدف زمان تکمیل وظایف، هزینه، کیفیت سرویس و تابع تجمیع حاصل از روش *LP-metric* به ترتیب برابر با ۱۹/۲۷۳، ۶۰۴/۴۱۶، ۵۳۹/۶۴۴ و ۰/۰۵۵۸ است. نتایج نشان می‌دهند که حذف جنبه‌های لجستیکی از مدل منجر به کاهش هزینه می‌شود زیرا هزینه حمل‌ونقل در نظر گرفته نشده تقریباً برابر با هزینه لجستیک در مدل پیشنهادی است. در حالی که زمان تکمیل وظایف ثابت باقی مانده است، زیرا به نظر می‌رسد که گرچه زمان لجستیک محاسبه نشده است اما تخصیص زیروظایف به سرویس‌ها به‌گونه‌ای بوده است که این زمان تغییری نکرده است. علاوه بر این، می‌توان استدلال بیان‌شده را این‌طور بیان کرد که زیروظایف بر اساس کیفیت سرویس‌ها به آن‌ها تخصیص داده شده‌اند که این امر منجر به افزایش تابع کیفیت شده است. یافته‌های حاصل از جایگذاری متغیر تصمیم مدل (۳) در مدل (۱) نشان می‌دهد که تمامی توابع هدف به جز تابع کیفیت بهبود قابل توجهی داشته‌اند به طوری که مدل پیشنهادی به ترتیب تاثیر مثبت ۷۳/۸۲٪ و ۱۱/۳۸٪ را بر توابع هدف زمان تکمیل وظایف و هزینه داشته است و بر تابع تجمیع شده بیش از ۱۰۰٪ موثر بوده است. علت این رخداد را می‌توان این‌گونه بیان کرد که متغیر تصمیم جایگذاری شده صرف‌نظر از زمان و هزینه لجستیک، تخصیص زیروظایف به سرویس‌ها را انجام داده است؛ بنابراین بدیهی است که نتایج حاصل از این جایگزینی در مدل اصلی با توجه به در نظر گرفتن این پارامترهای حیاتی، زمان تکمیل وظایف و هزینه به مقدار ۳۳/۵۰۱ و ۶۷۳/۲۴۳ افزایش می‌یابند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که حمل‌ونقل بین سازمان‌ها یکی از ویژگی‌های اساسی در سیستم ساخت ابری می‌باشد که نادیده گرفتن آن باعث اثرات نامطلوب و غیرقابل جبرانی می‌شود.

جدول ۷- نتایج مقایسه مورد اول و دوم.

Table 7- Comparison results of the first and second case.

تابع تجمیع شده	کیفیت سرویس	هزینه (\$)	زمان تکمیل وظایف (m)
مورد ۱	539.644	604.416	19.273
مورد ۳	553.321	575.654	19.273
نتیجه مورد انتظار بر اساس مورد ۳	553.321	673.243	33.501
درصد بهبود	-2.53%	11.38%	73.82%

نتایج ارائه شده تاکنون تاثیر غیرقابل انکار زمان متفاوت رسیدن وظایف و زمان و هزینه لجستیک را تایید کرده‌اند. همان‌طور که از شکل ۲ می‌توان استنباط کرد، گرچه نمی‌توان از اثرات هر دو پارامتر چشم‌پوشی کرد اما در مدل پیشنهادی و مثال‌های مطرح‌شده، لجستیک بیش‌ترین تاثیر را بر توابع هدف زمان تکمیل وظایف، هزینه و تابع تجمیع شده داشته است در حالی که هر دوی این ویژگی‌ها در تغییر مقدار تابع کیفیت اثر کم‌تری داشته‌اند.



شکل ۲- مقایسه تأثیرات پارامترهای زمان رسیدن وظایف و لجستیک بر توابع هدف.

Figure 2- Comparing the effects of task arrival time parameters and logistics on objective functions.

#### ۴- نتیجه‌گیری

ساخت ابری یک مدل تولیدی جدید است که یک محیط قابل همکاری و مشارکتی برای صنعت تولید توزیع شده فراهم می‌کند. اگرچه در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در زمینه توصیف و توسعه مدل‌های ساخت ابری صورت گرفته است، اما محدوده و عناصر واقعی این سیستم‌ها پیچیده هستند و به مطالعات بیشتری نیاز دارند. از این رو در این مطالعه یک مدل ریاضی چند هدفه برای زمان‌بندی در ساخت ابری توسعه داده شد که در آن زمان تکمیل وظایف، هزینه تحمیل شده بر سیستم ساخت ابری و کیفیت سرویس‌های انتخاب شده به صورت هم‌زمان بهینه شدند. به دلیل وجود سه تابع هدف متضاد در مدل زمان‌بندی پیشنهادی، از رویکرد *LP-metric* برای تجمیع این توابع استفاده شد. در مدل پیشنهادی دو عامل مهم زمان متفاوت رسیدن وظایف به پلتفرم ساخت ابری و لجستیک در نظر گرفته شد به گونه‌ای که زیر وظایف وظایف با ساختارهای سری و موازی به طور هم‌زمان زمان‌بندی شدند. در نهایت نرم‌افزار بهینه‌سازی *GAMS* نیز برای حل مدل ارائه داده شده به روش دقیق به کار گرفته شد.

دو مطالعه مقایسه‌ای برای نشان دادن اهمیت ویژگی‌های مطرح شده در مدل پیشنهادی ارائه شد. در اولین مطالعه، مدل پیشنهادی با مدلی که در آن تمام وظایف در ابتدای افق زمانی در دسترس هستند مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان داد که گرچه با این فرض غلط زمان تکمیل وظایف به طور بسیار محسوسی کمتر شده است اما با جایگذاری متغیر تصمیم این مدل در مدل اصلی می‌توان دریافت که مدل پیشنهادی منجر به بهبود قابل توجه در زمان تکمیل وظایف، هزینه تحمیل شده به سیستم ساخت ابری و تابع تجمیعی شده است بنابراین نمی‌توان زمان متفاوت رسیدن وظایف به سیستم ساخت ابری را نادیده گرفت. در دومین مطالعه، مقایسه بین مدل ارائه شده با مدلی که در آن پارامترهای لجستیک حذف شده‌اند، انجام شد. همان‌طور که انتظار می‌رفت یافته‌های به دست آمده تأثیر پارامترهای زمان و هزینه لجستیک را بر تابع هزینه تأیید کردند در حالی که با توجه به نمونه مطرح شده زمان تکمیل وظایف ثابت باقی ماند. با این حال با جایگذاری متغیر تصمیم مدل بدون لجستیک در مدل پیشنهادی پیامدهای نامطلوب جدی را نشان داد که منجر به گمراهی مدیر ساخت ابری می‌شود.

اگرچه مطالعاتی که تاکنون پیرامون زمان‌بندی در ساخت ابری بینش مناسبی را در این زمینه ایجاد کرده است اما این موضوع هم‌چنان یکی از مباحثی است که نیاز به تحقیق و بررسی بیشتر و عمیق‌تری دارد. در همین راستا دو جهت برای بسط مدل پیشنهادی به عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود: ۱- در نظر گرفتن جنبه‌های تعمیر و نگهداری در مدل پیشنهادی و ۲- به کارگیری مفهوم دسترسی به سرویس در کنار زمان متفاوت رسیدن وظایف در سیستم ساخت ابری.

## منابع

- [1] Hu, S. J., Ko, J., Weyand, L., Elmaraghy, H. A., Lien, T. K., Koren, Y., ... & Shpitalni, M. (2011). Assembly system design and operations for product variety. *CIRP annals-manufacturing technology*, 60(2), 715–733. DOI:10.1016/j.cirp.2011.05.004
- [2] Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). State of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941–2962. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1444806>
- [3] Hwang, G., Lee, J., Park, J., & Chang, T. W. (2017). Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. *International journal of production research*, 55(9), 2590–2602. DOI:10.1080/00207543.2016.1245883
- [4] Frazzon, E. M., Kück, M., & Freitag, M. (2018). Data-driven production control for complex and dynamic manufacturing systems. *CIRP annals*, 67(1), 515–518. DOI:10.1016/j.cirp.2018.04.033
- [5] Leusin, M. E., Frazzon, E. M., Uriona Maldonado, M., Kück, M., & Freitag, M. (2018). Solving the job-shop scheduling problem in the industry 4.0 era. *Technologies*, 6(4), 107. DOI:10.3390/technologies6040107
- [6] Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of manufacturing systems*, 48, 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- [7] Panetto, H., Iung, B., Ivanov, D., Weichhart, G., & Wang, X. (2019). Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future. *Annual reviews in control*, 47, 200–213. DOI:10.1016/j.arcontrol.2019.02.002
- [8] Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019). The internet of things for smart manufacturing: a review. *IIE transactions*, 51(11), 1190–1216. DOI:10.1080/24725854.2018.1555383
- [9] Salierno, G., Leonardi, L., & Cabri, G. (2021). The future of factories: different trends. *Applied sciences (Switzerland)*, 11(21), 9980. DOI:10.3390/app11219980
- [10] Li, F., Zhang, L., Liu, Y., Laili, Y., & Tao, F. (2017). A clustering network-based approach to service composition in cloud manufacturing. *International journal of computer integrated manufacturing*, 30(12), 1331–1342. DOI:10.1080/0951192X.2017.1314015
- [11] Keramatnezhad, N., Fatahi Valilai, O., & Jafarikia, A. (2020). A service decomposition and definition model in cloud manufacturing systems using game theory focusing on cost accounting perspectives. *Journal of industrial and systems engineering*, 13(special issue: 16th international industrial engineering conference), 41–51. [http://www.jise.ir/article\\_111695.html%0Ahttp://www.jise.ir/article\\_111695\\_74d1df1c8e200f0002f4fb5760673501.pdf](http://www.jise.ir/article_111695.html%0Ahttp://www.jise.ir/article_111695_74d1df1c8e200f0002f4fb5760673501.pdf)
- [12] Assari, M., Delaram, J., & Fatahi Valilai, O. (2018). Mutual manufacturing service selection and routing problem considering customer clustering in Cloud manufacturing. *Production and manufacturing research*, 6(1), 345–363. DOI:10.1080/21693277.2018.1517056
- [13] Fazeli, M. M., Farjami, Y., & Nickray, M. (2019). An ensemble optimisation approach to service composition in cloud manufacturing. *International journal of computer integrated manufacturing*, 32(1), 83–91. DOI:10.1080/0951192X.2018.1550679
- [14] Liang, H., Wen, X., Liu, Y., Zhang, H., Zhang, L., & Wang, L. (2020). Logistics-involved QoS-aware service composition in cloud manufacturing with deep reinforcement learning. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 67, 101991. DOI:10.1016/j.rcim.2020.101991
- [15] Kerdegari, A., Eshghi, K., & Akbaripour, H. (2018). Cloud manufacturing service composition: mathematical modeling and metaheuristic development based on landscape analysis. *Journal of industrial engineering research in production systems*, 6(12), 83–101. (In Persian). [https://ier.basu.ac.ir/article\\_2414.html?lang=en](https://ier.basu.ac.ir/article_2414.html?lang=en)
- [16] Delaram, J., & Valilai, O. F. (2018). A mathematical model for task scheduling in cloud manufacturing systems focusing on global logistics. *Procedia manufacturing*, 17, 387–394. DOI:10.1016/j.promfg.2018.10.061
- [17] Yang, D., Liu, Q., Li, J., & Jia, Y. (2020). Multi-objective optimization of service selection and scheduling in cloud manufacturing considering environmental sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18), 7733. DOI:10.3390/su12187733
- [18] Jafarnejad Ghomi, E., Rahmani, A. M., & Qader, N. N. (2019). Service load balancing, scheduling, and logistics optimization in cloud manufacturing by using genetic algorithm. *Concurrency and computation: practice and experience*, 31(20), e5329. DOI:10.1002/cpe.5329
- [19] Jafarnejad Ghomi, E., Masoud Rahmani, A., & Nasih Qader, N. (2019). Service load balancing, task scheduling and transportation optimisation in cloud manufacturing by applying queuing system. *Enterprise information systems*, 13(6), 865–894. <https://doi.org/10.1080/17517575.2019.1599448>
- [20] Zhou, L., Zhang, L., Zhao, C., Laili, Y., & Xu, L. (2018). Diverse task scheduling for individualized requirements in cloud manufacturing. *Enterprise information systems*, 12(3), 300–318. DOI:10.1080/17517575.2017.1364428
- [21] Zhou, L., Zhang, L., Laili, Y., Zhao, C., & Xiao, Y. (2018). Multi-task scheduling of distributed 3D printing services in cloud manufacturing. *International journal of advanced manufacturing technology*, 96(9–12), 3003–3017. DOI:10.1007/s00170-017-1543-z
- [22] He, W., Jia, G., Zong, H., & Kong, J. (2019). Multi-objective service selection and scheduling with linguistic preference in cloud manufacturing. *Sustainability*, 11(9), 2619.
- [23] Wu, Q., Xie, N., & Zheng, S. (2022). Integrated cross-supplier order and logistic scheduling in cloud manufacturing. *International journal of production research*, 60(5), 1633–1649. DOI:10.1080/00207543.2020.1867921

- [24] Yuan, M., Cai, X., Zhou, Z., Sun, C., Gu, W., & Huang, J. (2021). Dynamic service resources scheduling method in cloud manufacturing environment. *International journal of production research*, 59(2), 542–559. DOI:10.1080/00207543.2019.1697000
- [25] Zhang, W., Xiao, J., Liu, W., Sui, Y., Li, Y., & Zhang, S. (2023). Individualized requirement-driven multi-task scheduling in cloud manufacturing using an extended multifactorial evolutionary algorithm. *Computers and industrial engineering*, 179, 109178. DOI:10.1016/j.cie.2023.109178
- [26] Wang, T., Zhang, P., Liu, J., & Gao, L. (2022). Multi-user-oriented manufacturing service scheduling with an improved NSGA-II approach in the cloud manufacturing system. *International journal of production research*, 60(8), 2425–2442. DOI:10.1080/00207543.2021.1893851
- [27] Ahn, G., & Hur, S. (2021). Multiobjective real-time scheduling of tasks in cloud manufacturing with genetic algorithm. *Mathematical problems in engineering*, 2021, 1–10. DOI:10.1155/2021/1305849
- [28] Zhou, L., Zhang, L., & Horn, B. K. P. (2021). Collaborative optimization for logistics and processing services in cloud manufacturing. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 68, 102094. DOI:10.1016/j.rcim.2020.102094
- [29] Akbaripour, H., Houshmand, M., van Woensel, T., & Mutlu, N. (2018). Cloud manufacturing service selection optimization and scheduling with transportation considerations: mixed-integer programming models. *International journal of advanced manufacturing technology*, 95(1–4), 43–70. DOI:10.1007/s00170-017-1167-3
- [30] Xiang, F., Hu, Y., Yu, Y., & Wu, H. (2014). QoS and energy consumption aware service composition and optimal-selection based on Pareto group leader algorithm in cloud manufacturing system. *Central european journal of operations research*, 22(4), 663–685. DOI:10.1007/s10100-013-0293-8
- [31] Xiang, F., Jiang, G. Z., Xu, L. L., & Wang, N. X. (2016). The case-library method for service composition and optimal selection of big manufacturing data in cloud manufacturing system. *International journal of advanced manufacturing technology*, 84(1–4), 59–70. DOI:10.1007/s00170-015-7813-8
- [32] Lartigau, J., Xu, X., Nie, L., & Zhan, D. (2015). Cloud manufacturing service composition based on QoS with geoperspective transportation using an improved Artificial Bee Colony optimisation algorithm. *International journal of production research*, 53(14), 4380–4404. DOI:10.1080/00207543.2015.1005765
- [33] Zhou, L., Zhang, L., Ren, L., & Wang, J. (2019). Real-time scheduling of cloud manufacturing services based on dynamic data-driven simulation. *IEEE transactions on industrial informatics*, 15(9), 5042–5051. DOI:10.1109/TII.2019.2894111
- [34] Salmasnia, A., & Kiapasha, Z. (2023). Integration of sub-task scheduling and logistics in cloud manufacturing systems under setup time and different task arrival times. *International journal of computer integrated manufacturing*, 36(7), 985–1008. DOI:10.1080/0951192X.2022.2162595
- [35] Tong, H., & Zhu, J. (2022). A customer-oriented method to support multi-tasks scheduling under uncertain time in cloud manufacturing. *International journal of fuzzy systems*, 24(3), 1548–1569. DOI:10.1007/s40815-021-01210-x
- [36] Tong, H., & Zhu, J. (2022). A novel method for customer-oriented scheduling with available manufacturing time windows in Cloud Manufacturing. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 75, 102303. DOI:10.1016/j.rcim.2021.102303
- [37] Zhou, L., Zhang, L., Sarker, B. R., Laili, Y., & Ren, L. (2018). An event-triggered dynamic scheduling method for randomly arriving tasks in cloud manufacturing. *International journal of computer integrated manufacturing*, 31(3), 318–333. DOI:10.1080/0951192X.2017.1413252
- [38] Li, F., Zhang, L., Liao, T. W., & Liu, Y. (2019). Multi-objective optimisation of multi-task scheduling in cloud manufacturing. *International journal of production research*, 57(12), 3847–3863. DOI:10.1080/00207543.2018.1538579
- [39] Liu, Y., Wang, L., Wang, Y., Wang, X. V., & Zhang, L. (2018). Multi-agent-based scheduling in cloud manufacturing with dynamic task arrivals. *Procedia cirp*, 72, 953–960. DOI:10.1016/j.procir.2018.03.138

## پیوست الف

اطلاعات مرتبط با نمونه شماره ۵، شامل اطلاعات وظایف با ساختار سری و موازی، اطلاعات سرویس‌ها، فاصله جغرافیایی بین سازمان‌ها و سایر پارامترهای این نمونه به ترتیب در جدول الف-۸ تا جدول الف-۱۱ ارائه شده‌اند. در این مثال فرض شده است که دو متغیر تصادفی زمان سرویس و مقدار واحد سرویس به ترتیب از توزیع‌های یکنواخت پیوسته در بازه [۰/۷۵ و ۰/۲۵] و یکنواخت گسسته در بازه [۵ و ۱] پیروی می‌کنند که مقادیر به‌دست‌آمده برای آن‌ها در جدول الف-۸ ارائه شده است. همچنین در جدول الف-۹، هزینه واحد سرویس و کارایی به ترتیب با تولید عدد تصادفی از توزیع‌های یکنواخت پیوسته در بازه‌های [۲۰ و ۱۰] و [۱۰ و ۵] مقداردهی شده‌اند درحالی‌که پارامترهای کیفیت پردازش، قابلیت نگهداری، سطح اعتماد و قابلیت اطمینان دارای مقادیر تصادفی با توزیع یکنواخت گسسته در بازه [۱۰ و ۱] هستند. علاوه بر این، مقادیر ارائه شده در جدول الف-۱۰ فاصله جغرافیایی بین سازمان‌ها را نشان می‌دهند که همگی از توزیع یکنواخت پیوسته در بازه [۳ و ۱] تولید شده‌اند. نهایتاً، مقادیر و ویژگی‌های سایر پارامترهای مدل در جدول الف-۱۱ ارائه شده‌اند.



جدول الف-۸- اطلاعات وظایف.

Table A.8- Duties information.

مقدار واحد سرویس	زمان سرویس (h)	سرویس کاندید	زیروظیفه	زمان رسیدن (m)	وظیفه	ساختار وظیفه
3.000	0.375	$S_1 \in \{s = 2\}$	$h_1^1$	17.153	$T_1$	سری
3.000	0.628	$S_2 \in \{s = 1\}$				
3.000	0.337	$S_3 \in \{s = 1\}$				
3.000	0.330	$S_4 \in \{s = 2\}$				
3.000	0.348	$S_5 \in \{s = 2\}$				
3.000	0.536	$S_5 \in \{s = 3\}$				
4.000	0.672	$S_1 \in \{s = 1\}$	$h_2^1$			
4.000	0.584	$S_1 \in \{s = 2\}$				
4.000	0.393	$S_1 \in \{s = 3\}$				
4.000	0.301	$S_4 \in \{s = 1\}$				
4.000	0.343	$S_4 \in \{s = 3\}$				
5.000	0.396	$S_1 \in \{s = 1\}$	$h_1^3$	11.143	$T_3$	
5.000	0.426	$S_1 \in \{s = 2\}$				
5.000	0.564	$S_1 \in \{s = 3\}$				
5.000	0.346	$S_4 \in \{s = 1\}$				
5.000	0.327	$S_4 \in \{s = 3\}$				
4.000	0.571	$S_2 \in \{s = 1\}$	$h_2^3$			
4.000	0.717	$S_2 \in \{s = 2\}$				
4.000	0.388	$S_3 \in \{s = 2\}$				
4.000	0.306	$S_4 \in \{s = 1\}$				
4.000	0.522	$S_5 \in \{s = 1\}$				
4.000	0.570	$S_5 \in \{s = 2\}$				
1.000	0.425	$S_1 \in \{s = 1\}$	$h_3^3$			
1.000	0.325	$S_1 \in \{s = 2\}$				
1.000	0.457	$S_1 \in \{s = 3\}$				
1.000	0.548	$S_4 \in \{s = 1\}$				
1.000	0.598	$S_4 \in \{s = 3\}$				
2.000	0.583	$S_1 \in \{s = 2\}$	$h_1^5$	10.939	$T_5$	
2.000	0.338	$S_2 \in \{s = 1\}$				
2.000	0.707	$S_3 \in \{s = 1\}$				
2.000	0.399	$S_4 \in \{s = 2\}$				
2.000	0.520	$S_5 \in \{s = 2\}$				
2.000	0.706	$S_5 \in \{s = 3\}$				
4.000	0.539	$S_1 \in \{s = 1\}$	$h_2^5$			
4.000	0.638	$S_1 \in \{s = 2\}$				
4.000	0.341	$S_1 \in \{s = 3\}$				
4.000	0.548	$S_4 \in \{s = 1\}$				
4.000	0.344	$S_4 \in \{s = 3\}$				
4.000	0.625	$S_2 \in \{s = 1\}$	$h_3^5$			
4.000	0.351	$S_2 \in \{s = 2\}$				
4.000	0.384	$S_3 \in \{s = 2\}$				
4.000	0.554	$S_4 \in \{s = 1\}$				
4.000	0.281	$S_5 \in \{s = 1\}$				
4.000	0.529	$S_5 \in \{s = 2\}$				
3.000	0.305	$S_1 \in \{s = 2\}$	$h_4^5$			
3.000	0.339	$S_2 \in \{s = 1\}$				
3.000	0.278	$S_3 \in \{s = 1\}$				
3.000	0.573	$S_4 \in \{s = 2\}$				
3.000	0.716	$S_5 \in \{s = 2\}$				

مواری	$T_2$	18.777	$h_1^2$	$S_5 \in \{s = 3\}$	0.434	3.000		
				$S_2 \in \{s = 1\}$	0.392	4.000		
				$S_2 \in \{s = 2\}$	0.372	4.000		
				$S_3 \in \{s = 2\}$	0.564	4.000		
				$S_4 \in \{s = 1\}$	0.442	4.000		
			$h_2^2$	$S_5 \in \{s = 1\}$	0.496	4.000		
				$S_5 \in \{s = 2\}$	0.418	4.000		
				$S_1 \in \{s = 2\}$	0.430	1.000		
				$S_2 \in \{s = 1\}$	0.293	1.000		
				$S_3 \in \{s = 1\}$	0.411	1.000		
			$T_4$	7.393	$h_1^4$	$S_4 \in \{s = 2\}$	0.312	1.000
						$S_5 \in \{s = 2\}$	0.547	1.000
						$S_5 \in \{s = 3\}$	0.633	1.000
						$S_1 \in \{s = 1\}$	0.678	4.000
						$S_1 \in \{s = 2\}$	0.545	4.000
$h_2^4$	$S_1 \in \{s = 3\}$	0.309			4.000			
	$S_4 \in \{s = 1\}$	0.506			4.000			
	$S_4 \in \{s = 3\}$	0.673			4.000			
	$S_1 \in \{s = 2\}$	0.665			4.000			
	$S_2 \in \{s = 1\}$	0.646			4.000			
$h_3^4$	$S_3 \in \{s = 1\}$	0.636			4.000			
	$S_4 \in \{s = 2\}$	0.716			4.000			
	$S_5 \in \{s = 2\}$	0.447			4.000			
	$S_5 \in \{s = 3\}$	0.572			4.000			
	$S_2 \in \{s = 1\}$	0.286			1.000			
$T_6$	2.809	$h_1^6$	$S_2 \in \{s = 2\}$	0.313	1.000			
			$S_3 \in \{s = 2\}$	0.317	1.000			
			$S_4 \in \{s = 1\}$	0.642	1.000			
			$S_5 \in \{s = 1\}$	0.332	1.000			
			$S_5 \in \{s = 2\}$	0.653	1.000			
		$h_2^6$	$S_2 \in \{s = 1\}$	0.267	1.000			
			$S_2 \in \{s = 2\}$	0.385	1.000			
			$S_3 \in \{s = 2\}$	0.344	1.000			
			$S_4 \in \{s = 1\}$	0.547	1.000			
			$S_5 \in \{s = 1\}$	0.668	1.000			
		$h_3^6$	$S_5 \in \{s = 2\}$	0.424	1.000			
			$S_1 \in \{s = 2\}$	0.330	1.000			
			$S_2 \in \{s = 1\}$	0.543	1.000			
			$S_3 \in \{s = 1\}$	0.276	1.000			
			$S_4 \in \{s = 2\}$	0.293	1.000			
$h_6^6$	$S_5 \in \{s = 2\}$	0.254	1.000					
	$S_5 \in \{s = 3\}$	0.547	1.000					
	$S_1 \in \{s = 1\}$	0.330	1.000					
	$S_1 \in \{s = 2\}$	0.686	1.000					
	$S_1 \in \{s = 3\}$	0.581	1.000					
			$S_4 \in \{s = 1\}$	0.503	1.000			
			$S_4 \in \{s = 3\}$	0.307	1.000			



جدول الف-۹- اطلاعات سرویس ها.

Table A.9- Services information.

سازمان ها	سرویس ها	هزینه واحد سرویس (\$)	کیفیت پردازش	قابلیت نگهداری	سطح اعتماد	قابلیت اطمینان	کارایی
E <sub>1</sub>	s=1	16.021	10.000	4.000	3.000	4.000	6.415
	s=2	10.822	10.000	2.000	1.000	6.000	7.777
	s=3	15.778	10.000	6.000	4.000	3.000	7.070
E <sub>2</sub>	s=1	15.932	9.000	5.000	1.000	1.000	5.367
	s=2	16.839	2.000	5.000	9.000	7.000	9.030
E <sub>3</sub>	s=1	11.588	1.000	10.000	3.000	7.000	6.664
	s=2	13.318	6.000	3.000	5.000	4.000	5.423
E <sub>4</sub>	s=1	13.159	2.000	3.000	4.000	8.000	7.861
	s=2	15.199	10.000	6.000	5.000	2.000	5.110
	s=3	13.638	9.000	7.000	8.000	7.000	8.710
E <sub>5</sub>	s=1	11.678	4.000	4.000	6.000	7.000	9.525
	s=2	16.831	1.000	2.000	2.000	9.000	7.804
	s=3	15.054	5.000	10.000	2.000	6.000	7.364

جدول الف-۱۰- فاصله جغرافیایی بین سازمان ها (کیلومتر).

Table A.10- Geographical distance between organizations (kilometers).

سازمان ها	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
E <sub>1</sub>	0	2.066	2.494	2.440	2.263
E <sub>2</sub>	1.230	0	2.413	2.973	2.710
E <sub>3</sub>	2.243	2.403	0	2.581	2.220
E <sub>4</sub>	1.109	1.970	1.105	0	1.390
E <sub>5</sub>	1.452	2.627	2.983	2.501	0

جدول الف-۱۱- سایر پارامترها.

Table A.11- Other parameters.

پارامترها	مقدار	واحد	نوع
$l_{ti,i'}$	$U [2, 4]^*$	دقیقه	اعشاری
$l_{co,i,i'}$	$U [1, 10]$	\$	اعشاری
$T_{max}$	50		عدد صحیح
$C_{max}$	1000		عدد صحیح
$Q_{min}$	50		عدد صحیح
$M$	100000		عدد صحیح
$w_T$	0.3		اعشاری
$w_C$	0.3		اعشاری
$\tau_1$	0.4		اعشاری

$U[a,b]^*$  نشان دهنده تولید عدد تصادفی از توزیع یکنواخت پیوسته در بازه  $a$  تا  $b$  است.