https://doi.org/10.30495/jce.2025.1993480.1334

Vol. 14/ No. 56/2025

Review Article

Software Project Scheduling Problem: A Review

Javad Pashaei Barbin^{1*} 🕩 | Mahdi Jalali² 🕩

¹Department of Computer Engineering, Nag.C., Islamic Azad University, Naghadeh, Iran Javad.pashaei@iau.ac.ir ²Department of Electrical Engineering, Nag.C., Islamic Azad University, Naghadeh, Iran Mahdi.jalali@iau.ac.ir **Correspondence** Javad Pashaei Barbin, Assistant Professor of Computer Engineering, Nag.C., Islamic Azad University, Naghadeh, Iran. Javad.pashaei@iau.ac.ir

Paper History: Received: 23 April 2024 Revised: 24 June 2024 Accepted: 26 June 2024

Abstract

The software project scheduling problem (SPSP) is one of the most important activities in software project development. One of the main reasons for unsuccessful software project completion is non-compliance with cost and schedule plans, often due to inefficient scheduling methods. The key factor for delivering software projects within planned cost and schedule is employing accurate and correct scheduling. SPSP is the most critical issue in project development and management, requiring more attention than any other aspect. Software project development should be fundamentally based on it. SPSP encompasses resource planning, cost estimation, manpower allocation, and cost control. Therefore, adopting an algorithm for software project scheduling that optimizes project completion time while considering cost and resource constraints is essential. Simultaneously reducing both cost and time in software project development is crucial for software production companies. Achieving a balance between project time and cost is necessary to minimize the asymmetry between these two factors. In SPSP, the most important element is the Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP). RCPSP involves assigning multiple tasks to limited-capacity resources under time constraints to optimize task scheduling with minimal time while satisfying and optimizing resource limitations. This article reviews SPSP using classical models and artificial intelligence algorithms.

(cc

Keywords: Software project scheduling problem, Project scheduling problem with limited resources, Heuristic algorithms.

Highlights

- A comprehensive and structured classification of software project scheduling methods.
- A detailed comparative analysis of algorithm performance across various scenarios.
- Identification of research gaps and future directions.

Citation: J. Pashaei Barbin, and M.Jalali, "Software Project Scheduling Problem: A Review," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol. 14, no. 56, pp. 89-117, 2025, doi:10.30495/jce.2025.1993480.1334 [in Persian].

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by the Islamic Azad University Bushehr Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0

1. Introduction

The Software Project Scheduling Problem (SPSP) represents a fundamental challenge in software project management. Research indicates that inefficient scheduling constitutes one of the primary causes of software project failure [1]. Consequently, implementing effective models and algorithms for task and resource scheduling proves critical for project success.

Software project scheduling encompasses planning, organization, team supervision, and executive leadership activities, aiming to deliver specified outcomes within agreed costs and timelines through optimal resource utilization [2]. While initial estimates may appear optimistic for technically advanced projects with comprehensive planning, scheduling essentially decomposes the project into discrete activities with time estimates. Given that many activities execute concurrently, schedulers must coordinate these parallel tasks to optimize manpower and resource allocation [3].

Proper scheduling serves as a cornerstone for successful software project management. Current scheduling methodologies include:

- Critical Path Method (CPM)
- Program Evaluation and Review Technique (PERT)
- Graphical Evaluation and Review Technique (GERT) [3]

However, these traditional methods face limitations in activity duration estimation, leading to challenges in modeling real-world projects. Artificial intelligence approaches offer promising solutions to address these inherent limitations.

2. Objective

The main objective of this review paper is to present a comprehensive classification and comparative analysis of the methods and algorithms used to address SPSP. The focus is on classical models, metaheuristic algorithms, and machine learning techniques. We have organized the overall structure of the article as follows:

- In the second section, we will address the software project-scheduling problem
- In the third section, we will discuss different models of the software project-scheduling problem
- In the fourth section, we will discuss conclusions and future work.

3. Methodology

First, classical models such as CPM, PERT, GERT, and PDM are reviewed [4]. Then, a wide range of metaheuristic algorithms, including Genetic Algorithm [5], Ant Colony Optimization [6], Particle Swarm Optimization [7], Firefly Algorithm [8], and hybrid approaches [9] are analyzed. Additionally, the role of machine learning, particularly Artificial Neural Networks (ANNs), in time and cost estimation is discussed [10].

4. Key Findings

The results demonstrate that metaheuristic algorithms, especially hybrid approaches, outperform classical models in managing the uncertainty and complexity of real-world software projects [11],[12]. Machine learning methods further enhance scheduling accuracy by leveraging historical data patterns [10]. Our analysis confirms that artificial intelligence techniques exhibit superior performance compared to classical scheduling approaches. The complete classification of algorithms addressing software project scheduling is presented in Figure I.

5. Conclusion

This study demonstrates that intelligent algorithms, particularly hybrid metaheuristics, offer superior effectiveness for solving SPSP in practical implementations. Furthermore, incorporating machine learning techniques enhances decision-making capabilities for resource allocation and timeline estimation. We propose a hybrid algorithm for software project scheduling optimization that integrates genetic algorithms with neighborhood search. This combined approach achieves faster convergence while minimizing the risk of local optima. Comparative analysis reveals the algorithm's competitive efficiency against standard genetic and tabu search methods. Table I presents an evaluation of various metaheuristic and hybrid algorithms against software project scheduling criteria, using benchmark data from the PSPLIB database and j30 sample set.

6. Acknowledgement

The author would like to express sincere appreciation to the Islamic Azad University, Naqhadeh Branch, for providing the academic environment and support necessary for the completion of this research. Special thanks are also extended to the faculty members and students of the Computer Engineering Department for their constructive feedback and encouragement throughout the study.



Maximum computation time (seconds)	Average computation time (seconds)	Mean of the standard deviation from the critical path	Mean percentage deviations from the desired limit	Algorithm
5.5	1.17	11.45	0.15	Genetic Algorithm
4.17	1.15	12.75	0.35	Bee colony
NR	NR	11.73	0.27	Scatter search
3.2	NR	11.71	0.46	Tabu search
NR	0.76	11.94	0.22	Hybrid

References

- W. Herroelen, E. Demeulemeester, and B.D. Reyck, "Resource Constrained Project Scheduling: A Survey of Recent Developments," *Computers & Operations Research*, vol. 25, no. 4, pp. 279-302, 1998, doi: 10.1016/S0305-0548(97)00055-5.
- [2] E. Demeulemeester, "Minimizing Resource Availability Costs in Time-limited Project Networks," *Management Science*, vol. 41, pp. 1590-1598, 1995, doi: 10.1287/mnsc.41.10.1590.
- [3] J. Zhang, X. Shen, and C. Yao, "Evolutionary Algorithm for Software Project Scheduling Considering Team Relationships," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 43690-43706, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3270163.
- [4] L.D. Long and A. Ohsato, "Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty," *International Journal of Project Management*, vol. 26, no. 6, pp. 688-698, 2008, doi: 10.1016/j.ijproman.2007.09.012.
- [5] J. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems," University of Michigan, Michigan, USA, April 29, 1992.

- [6] M. Dorigo and L. M.Gambardella, "The Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 1, no.1, April 1997, doi: 10.1109/4235.585892.
- [7] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle Swarm Optimization," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995, pp. 1942-1948, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
- [8] X.S. Yang, Nature-Inspired Meta-heuristic Algorithms. Luniver Press, 2008.
- [9] J. Lin, L. Zhu and K. Gao, "A genetic programming hyper-heuristic approach for the multi-skill resource constrained project scheduling problem," *Expert Systems with Applications*, vol. 140, p. 112915, 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2019.112915.
- [10] A. Agarwal, V.S. Jacob, and H. Pirkul, "Augmented Neural Networks for Task Scheduling," *European Journal of Operational Research*, vol. 151, no. 3, pp. 481-502, 2003, doi: 10.1016/S0377-2217(02)00605-7.
- [11] Y. j. Shi, F.Z. Qu, W. Chen, and B. Li, "An Artificial Bee Colony with Random Key for Resource-Constrained Project Scheduling," *Life System Modeling and Intelligent Computing. ICSEE LSMS 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6329, 2010, pp. 148-157, doi: 10.1007/978-3-642-15597-0_17.
- [12] M. Dam and M. Zachariasen, "Tabu Search on the Geometric Traveling Salesman Problem," *Meta-Heuristics: Theory and Applications*, pp. 571-587, 1995, doi: 10.1007/978-1-4613-1361-8_34.

Declaration of Competing Interest: Authors do not have conflict of interest. The content of the paper is approved by the authors.

Author Contributions:

Javad Pashaei Barbin: literature review, data analysis, and manuscript writing; Mahdi Jalali: methodology, manuscript editing.

Open Access: Journal of Southern Communication Engineering is an open access journal. All papers are immediately available to read and reuse upon publication.

https://doi.org/10.30495/jce.2025.1993480.1334

مقاله مروری

مروری بر مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری

جواد پاشائی باربین * 🔍 | مهدی جلالی ២

^۱ گروه کامپیوتر، واحد نقده، دانشگاه آزاد اسلامی، نقده، ایران javad.pashaci@iau.ac.ir ^۲ گروه برق، واحد نقده، دانشگاه آزاد اسلامی، نقده، ایران Mahdi.jalali@iau.ac.ir

نويسنده مسئول

* جواد پاشائی باربین ، استادیار، گروه کامپیوتر ، واحد نقده، دانشگاه آزاد اسلامی، نقده، ایران

javad.pashaei@iau.ac.ir

چکیدہ:

موضوع اصلی: زمانبندی پروژههای نرمافزاری

تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۴ اردیبهشت ۱۴۰۳ تاریخ بازنگری: ۴ تیر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۶ تیر ۱۴۰۳

مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری یکی از مهمترین فعالیتها در توسعه یروژههای نرمافزاری بهشمار میآید. یکی از اصلی ترین دلایل عدم اتمام موفقیتآمیز پروژههای نرمافزاری، مطابقت نداشتن هزینه و زمانبندی برنامهریزی شده و استفاده نکردن از روشهای زمانبندی کارا است. عامل اصلی برای بهاتمام رساندن پروژههای نرمافزاری مطابق با هزینه و زمانبندی برنامهریزی شده، بکارگیری زمانبندی دقیق و درست است. موضوع زمانبندی پروژههای نرمافزاری، مهمترین مبحثی است که در توسعه و مدیریت پروژه میبایست بیش از هر موضوع دیگری به آن توجه کرد. این مساله شامل برنامهریزی منابع، برآورد هزینهها، نیروی انسانی و کنترل هزینه است. بنابراین، لازم است برای زمانبندی پروژههای نرمافزاری الگوریتمی اتخاذ شود که با در نظر گرفتن هزینه و محدودیتهای منابع، بهینهترین زمان برای انجام پروژهها پیشبینی گردد. کاهش همزمان هزینه و زمان در توسعه پروژههای نرمافزاری برای شر کتهای تولید نرمافزار بسیار لازم و ضروری است. بنابراین، بهدلیل کاهش عدم تقارن دو عامل ذکر شده در پروژهها لازم است که بین زمان پروژه و هزینه موازنهای صورت پذیرد. در این مقاله به بررسی و مرور مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری با استفاده از مدلهای کلاسیک و الگوریتمهای هوش مصنوعی پرداخته شده است. بررسیهای به دست آمده نشان میدهد که روشهای هوش مصنوعی کارایی بهتری در مقایسه با مدلهای کلاسیک دارند.

کلید واژهها: مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری، مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود، الگوریتمهای فرااکتشافی

تازه های تحقیق:

- طبقهبندی جامع و ساختیافته از روشهای زمانبندی پروژههای نرمافزاری.
 - تحلیل تطبیقی دقیق عملکرد الگوریتمها در سناریوهای مختلف.
 - شناسایی خلاهای تحقیقاتی و جهت گیریهای آینده.



COPYRIGHTS

۱–مقدمه

مسئلهی زمانبندی پروژههای نرمافزاری^۱ از مسائل غیر چند جملهای سخت^۲ است که به تعیین زمانبندی مناسب برای تخصیص منابع به وظایف میپردازد [۱]. در SPSP هدف اصلی یافتن راه حلی برای تخصیص منابع به وظایف است به گونهای که هزینه و زمان پروژههای نرمافزاری حداقل گردند. بنابراین، هدف SPSP، این است که پروژهها در قالب هزینه و زمانی معین و از پیش تعیین شده به اتمام برسند [۲]. هدف SPSP مشخص نمودن محدوده پروژه، تخمین حجم کاری مورد نیاز و در نتیجه تهیه یک برنامه زمانبندی جهت اجرای پروژه است.

زمانبندی پروژه با شناسایی نیازمندیهای پروژه آغاز می شود. نظارت بر پروژه و کنترل آن بر اساس معیارهای مهندسی نرم افزار تضمین می کند که روند اجرای وظایف در تیمها و تخصیص منابع به آنها بر اساس طرح اجرایی پروژه انجام پذیرد و مدیر پروژه در صورت مشاهده عدم تطابق در روند اجرا، اقدامات اصلاحی را به عمل آورد. با مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری، مدیر پروژه در طول چرخه توسعه نرمافزار، از پشتوانه قدرتمندی جهت اتخاذ تصمیمات مختلف برخوردار است. همچنین مدیر پروژه، تحلیل گر، طراح، برنامهنویس و سایر افراد توسعه نرمافزار باید بدانند که برای تولید یک پروژه نرمافزاری به چه میزان هزینه و زمان نیاز دارند. بدون داشتن یک برنامه زمانبندی مناسب از هزینه و زمان مورد نیاز برای توسعه پروژههای نرمافزاری، مدیر پروژه نمی تواند تشخیص دهد که به چه میزان زمان و چه مقدار هزینه جهت انجام پروژه نیاز دارد و در صورت اشتباه، پروژه در مسیر شکست حتمی یا با ریسک شکست مواجه می شود [۳].

مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری شامل فعالیتهای برنامهریزی، سازماندهی، نظارت بر تیم و هدایت اجرایی تیم را در بر میگیرد و سعی دارد تا با استفاده درست از منابع، نتایج مشخص و مورد انتظار را با هزینه توافق شده در موعد دقیق تحویل دهد [۴].مدیر پروژههای نرمافزاری باید زمان و منابع مورد نیاز برای انجام فعالیتها را برآورد نماید و آنها را به ترتیب منسجمی سازماندهی نماید. در زمانبندی پروژههای نرمافزاری حتی اگر پروژههای جدید شـبیه به پروژههای قبلی باشـند، زمانبندی پروژههای قبلی نمیتواند مبنای درستی برای پروژههای جدید باشند. با توجه به اینکه پروژههای نرمافزاری مختلف ممکن است

اگر پروژهها از نظر تکنیکی پیشرفته باشد و مدیران تمام جنبهها را در نظر گرفته باشند، برآوردهای اولیه میتواند خوشبینانه باشد. زمانبندی، کل پروژه را به فعالیتهای جداگانهای تقسیم میکند و زمان مورد نیاز برای کامل کردن این فعالیتها را برآورد میکند. معمولاً بعضی از فعالیتها به صورت موازی انجام میشوند. لذا زمانبندی باید این فعالیتهای موازی را هماهنگ کنند و کار را طوری سازماندهی کند که نیروی انسانی و منابع به طور بهینه مورد استفاده قرار گیرند [۵]. در پروژههای نرمافزاری نباید وضعیتی به وجود آید که کل پروژه به خاطر عدم اتمام منابع، به تاخیر بیافتد. در زمانبندی، مدیران پروژههای نرمافزاری نباید فرض کنند که هر مرحله از پروژه فاقد هر گونه مشکلی است. اگر پروژهها جدید باشند و از نظر تکنیکی پیشرفته باشند، بعضی از بخشهای آن ممکن است دشوار باشند و ممکن است زمان بیشتری از زمان تخمین زده را به خود اختصاص دهند.

زمانبندی صحیح یکی از ارکان اصلی و لازمه موفقیت در مدیریت پروژههای نرمافزاری است. روشهای متعددی برای زمانبندی پروژهها وجود دارند که ازجمله آنها میتوان به روش مسیر بحرانی^۳، روش ارزیابی و بررسی برنامه^۴ و روش ارزیابی و بررسی گرافیکی^۵اشاره کرد [۵]. این روشها، به علت ضعفهای موجود در نحوه تخمین مدت زمان فعالیتها، برای مدل کردن پروژههای واقعی با مشکلات متعددی مواجه میشوند. یکی از راهکارهای اساسی در برخورد با چنین مشکلاتی استفاده از روشهای هوش مصنوعی است.

ساختار کلی مقاله را به شرح زیر سازماندهی کردهایم: در بخش دوم، به مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری خواهیم پرداخت؛ در بخش ســوم، مدلهای مختلف مســلله زمانبندی پروژههای نرمافزاری را بحث خواهیم کرد و در نهایت در بخش چهارم به نتیجه گیری و کارهای آینده میپردازیم.

¹ Software Project Scheduling Problem (SPSP)

² Non-Deterministic Polynomial (NP-Hard)

³ Critical Path Method (CPM)

⁴ Program Evaluation and Review Technique (PERT)

⁵ Graphical Evaluation & Review Technique (GERT)

۹۵

۲ مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری
(مانبندی عبارت است از تعیین یک توالی زمانی جهت انجام یک سری فعالیتهای وابسته که تشکیل دهنده پروژه هستند
[8]. وابستگی فعالیتها از نظر تقدم و تاخر بسیار مهم است. یعنی ممکن است انجام یک فعالیت به انجام چند فعالیت دیگر وابسته که در این صورت گفته میشود که پروژه دارای محدودیتهای تقدمی است. تعیین این برنامه زمانبندی با در نظر گرفتن هدف یا اهداف خاصی صورت میگیرد. تقریبا در تمامی پروژه ها محدودیتهای تقدمی است. تعیین این برنامه زمانبندی با در نظر گرفتن هدف یا اهداف خاصی صورت گفته میشود که پروژه دارای محدودیتهای تقدمی است. تعیین این برنامه زمانبندی با در نظر گرفتن هدف یا اهداف خاصی صورت میگیرد. تقریبا در تمامی پروژه ها محدودیتهای تقدمی است. تعیین این برنامه زمانبندی با در نظر استه باشد که در این محدودیتهای معایت دیگر معاوج دارند اما علاوه بر این محدودیتهای محدودیتهای تقدمی است. تعیین این برنامه زمانبندی با در نظر گرفتن هدف یا اهداف خاصی صورت میگیرد. تقریبا در تمامی پروژه ها محدودیتهای تقدمی بین فعالیتها وجود دارند اما علاوه بر این محدودیتهای ممکن است نوع دیگری از محدودیتها تحت عنوان محدودیتهای منابع نیز در پروژه وجود داشته باشد. بنابراین در زمانبندی پروژه علاوه بر اینکه باید به محدودیتهای تقدمی توجه داشت، برنامهریزی باید به گونهای انجام شود که با محدودیتهای مانج نیز سازگار باشد. در SPS در نظر گرفتن مجموعهای از اعمال برای هر فعالیت الزامی است. مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار در SPS در جدول ۱ نمایش داده شده است.

Effective parameters	Discriptions	
$SK = \{s_1, s_2, \dots, s_{ SK }\}$	A set of skills required in project management	
$TK = \{t_1, t_2,, t_{ TK }\}$	Task set	
$EM = \{e_1, e_2,, e_{ EM }\}$	Employee set	
V = TK	A set of vertices (tasks) in project scheduling	
$A = \{(t_1, t_2), (t_3, t_4), \dots (t_m, t_n)\}$	A set of arcs (priority relationships between tasks)	
G(V,A)	Task precedence graph	
$t_j^{e\!f\!fort}$	Amount of time for task tj (in people per month)	
$t_{j}^{skills} \subseteq SK$	A set of skills required for task t _j	
$e_i^{skills} \subseteq SK$	A set of skills for employee e _i	
e_i^{salary}	A monthly salary for employee e_i	
e_i^{Maxed}	Maximum time allocated by employee ei to task $t_{\rm j}$	
t_j^{start}	Task start time t _j	
t_j^{end}	Task end time t _j	
$t_j^{\cos t}$	Task cost amount t _j	
$t_j^{duration}$	Task duration t _j	
$p^{\scriptscriptstyle duration}$	Total duration of software project	
p^{Cost}	Total cost of software project	
p^{Over}	Total overtime of software project	
e_i^{Over}	Employee overtime ei	
$M = (m_{ij})_{E \times T}$	Solution matrix for software project scheduling problem	

جدول ۱: پارامترهای تاثیرگذار در SPSP Table 1. Effective parameters in SPSP

مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری یک گام مهم در فرایند توسعه نرمافزار است و از آن برای تحلیل در مورد منابع زمان و هدایت کلی پروژه استفاده میشود. هدف اصلی تخصیص منابع به فعالیتها و زیر فعالیتهای پروژه است که این منابع میتوانند منابع نرمافزاری سختافزاری و انسانی باشند. هدف تخصیص بهینه این منابع است رعایت بهطوریکه با رعایت روابط تقدمی در بین فعالیتها زمان تکمیل پروژه و هزینه کاهش یابد. زمان شروع و پایان هر وظیفه با استفاده از رابطه ۱و۲ انجام میگیرد.

$$t_{j}^{start} = \begin{cases} 0 & if \forall k \neq j, (t_{k}, t_{j}) \notin A \\ \max\{t_{k}^{end} | (t_{k}, t_{j}) \in A\} & else \end{cases}$$

$$t_j^{end} = t_j^{start} + t_j^{duration}$$
(Y)

محاسبه مدت زمان اجرای هر task با استفاده از رابطه ۳ انجام می گیرد.

(1)

$$t_{j}^{duration} = \frac{t_{j}^{effort}}{\sum_{i=1}^{E} m_{ij}}$$
(٣)

محاسبه مدت زمان اجرای پروژه با استفاده از رابطه ۴ انجام می گیرد.

$$p^{duration} = \max\{t_j^{end} | \forall k \neq j(t_j, t_k) \notin A$$
(f)

محاسبه هزینه برای هر وظیفه با استفاده از رابطه ۵ انجام می گیرد.

$$t_j^{\text{cost}} = \sum_{i=1}^{E} e_i^{\text{salary}} . m_{ij} . t_j^{\text{duration}}$$
(δ)

محاسبه هزینه تمام وظیفه های پروژه با استفاده از رابطه ۶ انجام میگیرد.

$$p^{\cos t} = \sum_{j=1}^{r} t_{j}^{\cos t}$$
 (۶)
کارآیی کارکنان با استفاده از روابط ۸،۷ و۹ انجام میگیرد.

$$e_i^{over} = \int_{t=0}^{t=p^{duration}} ramp(e_i^{work}(t) - e_i^{\max \, ded}) dt$$
(V)

where,
$$ramp(x) = \begin{cases} x & ifx > 0 \\ 0 & ifx \le 0 \end{cases}$$
 (A)

$$e_i^{work}(t) = \sum_{\{j \mid t_j^{start} \le t \le t_j^{end}} m_{ij}$$
(9)

محاسبه کار کلی برای پروژههای نرمافزار با استفاده از رابطه ۱۰ انجام می گیرد.

$$p^{over} = \sum_{i=1}^{E} e_i^{over} \tag{(1.)}$$

منابع انسانی و بودجه باید بصورت بهینه مدیریت شوند تا پروژه با موفقیت پایان پذیرد. در چند سال اخیر تحقیقات زیادی، در زمینه زمانبندی پروژههای نرمافزاری با استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی صورت گرفته است. اما هنوز با قطعیت کامل نمی توان گفت که روشهای هوش مصنوعی ۱۰۰٪ مشکلات هزینه و زمان را پروژههای نرمافزاری برطرف خواهند کرد. اما طبق بررسیهایی که ما انجام دادیم، به این نتیجه رسیدیم که تکنیکهای هوش مصنوعی کارایی بهتری در مقابل تکنیکهای کلاسیک زمانبندی از خود نشان دادهاند. در شکل ۱۰۰ دستهبندی الگوریتمهایی که به حل زمانبندی پروژههای نرمافزاری پرداختهاند نشان داده شده است.



SPSP شکل ۱: دستهبندی مدل های مختلف در Figure 1. Classification of different models in SPSP

۲-۱- مدلهای کلاسیک

مدل PERT: این روش در مواردی که اطلاعاتی از تجربیات گذشته برای تخمین پروژه وجود ندارد، بهکار میرود [۷]. از این روش در برنامهریزی و کنترل تولید محصولات جدید و پروژههای تحقیقاتی که عوامل نامشخص در خصوص هزینه و زمانبندی باید ارزیابی گردند، استفاده میشود. مدل PERT بر این اصل متکی است که باید پروژههای نرمافزاری در زمانهای تعیین شده به اتمام برسند. سیستم تخمین برای مدت زمان وظایف در مدل PERT به صورت رابطه ۱۱ است.

$$T = \frac{(T_o + 4T_m + T_p)}{6} \tag{11}$$

To: عبارت است از مطلوبترین زمان که یک فعالیت در شرایط یکسان صرف خواهد نمود. Tm: عبارت است از محتملترین زمان که از حداکثر فراوانی در تابع توزیع زمان برخوردار است. Tp: عبارت است از نامطلوبترین زمان که یک فعالیت در شرایط یکسان صرف خواهد نمود. بنابراین، با استفاده از مدل PERT، تحلیلگر قادر است، مطلوبترین مدت را برای پروژه، احتمال زمان ترسیم کل پروژه و یا بخشی از آن را تخمین نماید. مدل GERT: در صورتی که در روش GERT، ترکیب انجام وظایف احتمالی بوده و فاقد قاطعیت است [۸]. مدل CPM: در مدل CPM مدت زمان می دهد. مدیر یروژه، تحلیلگران، برنامهنویسان و افراد سیم در اجرای یروژه، با در اختیار یروژه و روابط میان آنها را نشان می دهد. مدیر یروژه، تحلیلگران، برنامهنویسان و افراد سیمیم در اجرای یروژه، با در اختیار

¹ Optimistic Time

² Most Likely Time

³ Pessimistic Time

داشتن شبکه، می توانند تصورات و فرضیات قبلی خود درباره فعالیتهای پروژه و روابط میان آنها را به طور عینی بررسی کرده و آنها را تغییر دهند.با مدلهای PERT و PERT، می توان مسائلی نظیر تخصیص منابع و کاهش هزینه و نیروی انسانی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. روش PERT در خصوص آن دسته از وظایف کاربرد دارد که مدت زمان لازم برای انجام آنها قطعی ناست.پس از عنوان مقاله باید نام نویسندگان نوشته شوند. از ذکر عناوینی مثل استاد، دکتر، مهندس، و غیره خودداری کنید. نام دانشگاه یا محل اشتغال نویسنده به همراه نشانی و آدرس پست الکترونیکی می توانند ذکر شوند. نام نویسندگان به زبان انگلیسی نیز باید نوشته شود.

مدل PDM ^۱: مدل PDM به منظور برطرف کردن مشکلات مدل CPM لبداع گردید [۹]. در این مدل میتوان شبکه را با کمترین تعداد ارتباط بین وظایف طراحی کرد. مدل PDM توانایی بیشتری برای گسترده کردن پروژهها دارد و براحتی بروزرسانی میشود. در جدول ۲ مزایا و معایب مدلهای کلاسیک بحث شده است.

مدلهای کلاسیک				
رويكرد	ایدہ اصلی	مزايا	معايب	توضيحات
	در این روش زمان انجام	۱. شناسایی منابع مورد نیاز در ابتدای	۱. عدم تشخیص دقیق	با استفاده از مدل PERT،
	وظايف احتمالي است.	اجرای پروژهها	روابط بين وظايف	مىتوان محتملترين مدت زمان
		۲. تجزیه و تحلیل هزینه برای هر یک از	۲. عدم امکان تعیین اثرات	پروژه و احتمال زمان ترسیم کل
		وظايف.	تاخیرات در پروژههای	پروژه و یا بخشی از آن را برآورد
PERT		۳. تجزیه و تحلیل هزینه مرتبط با	نرمافزاری	کرد.
		تأخيرها و تغييرات		
		۴. مشخص شدن میزان کارآیی کارکنان		
		و سرعت پیشرفت پروژه		
	زمان انجام وظایف و وقوع	۱. ترسیم روابط بین وظایف و شناسایی	۱. تحلیل زمانبندی دشوار	روش GERT برای پروژههایی
	وظايف احتمالي است	رابطه ميان وظايف	است.	بکار میرود که اجرا یا عدم
GERT		۲. محاسبه تخمین زمان برای هرکدام از	۲. افزایش هزینه	اجرای آنها به شکل احتمالی
		وظايف		است و در شروع پروژه قابل
				پیشبینی نیستند.
	در این روش زمان انجام	۱. برآورد زمان و هزینه برای هر کدام از	۱. زمانبر بودن	در مدل CPM با استفاده و توجه
	وظايف قطعي است.	وظايف	۲. افزایش پیچیدگی روش	کامل به مدت زمان، ارتباطات،
		۲. مشخص کردن مراحل اصلی و بحرانی	با افزايش تعداد وظايف	وابستگیها و توالی فعالیتها،
CPM		و نقاط تحویل در پروژهها		زودترین و دیرترین زمان شروع
		۳. دستیابی به نتایج قابل اطمینان		و خاتمه هر فعاليت، به طور
				قطعي، تعيين و مشخص
				مىشود.
	در این روش زمان انجام	۱. ارتباطات کمتری در مقایسه با CPM	۱. به دلیل وجود فرمولهای	در مدل PDM زمان، توالی و
	وظايف قطعي است.	بين وظايف وجود دارد.	بیشتر نسبت به روش	ارتباط فعالیتها، شروع و پایان
PDM		۲. در مدل CPM هیچگونه روابط	CPM پیچیدہتر است.	هر فعالیت نشان داده میشود.
1 1 1011		Dummy بين وظايف وجود ندارد.	۲. افزایش پیچیدگی	
		۳. امکان تعریف روابط جدید بین		
		فعاليتها		

جدول ۲: مزایا و معایب مدل های کلاسیک Table 2. Advantages and disadvantages of classic models

¹ Precedence Diagram Method

۲-۲- الگوریتمهای فرااکتشافی

تلاشها و تحقیقات صورت گرفته توسط محققین در سالهای اخیر منجر به ابداع الگوریتمهایی با الهام از پدیدههای طبیعت شد. پدیدههایی که به بررسی تکامل و رفتار موجودات طبیعت می پردازد و منجر به الگوریتمهای فرااکتشافی شدند. الگوریتمهای فرااکتشافی که بر مبنای جمعیت به حل مسائل بهینهسازی میپردازند، ابزارهایی برای یافتن راه حلهای نزدیک به بهینه هســتند. این الگوریتمها با بهره بردن از دو مفهوم تنوع و همکاری، فضـای مسـائل بهینهسـازی را تا رسـیدن به بهینهترین حالت، جستجو میکنند. به دلیل افزایش پیچیدگی مسائل بهینهسازی و ناتوانی مدل های الگوریتمی برای ارائه راه حل بهینه، الگوریتمهای فرااکتشافی راهکار مناسبی برای مسائل بهینهسازی هستند. مدلهای الگوریتمی در حل بسیاری از مسائل علمی و مهندسی مورد استفاده قرار گرفتهاند و دامنه بسیار وسیعی از مسائل مختلف را پوشش میدهند اما مدلهای الگوریتمی با وجود کارایی دقیق، هنوز هم در حل بسیاری از مسائل بهینهسازی با مشکلات زیادی مواجه هستند.

۲-۲-۱- الگوريتم ژنتيک

الگوریتم ژنتیک اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط جان هلند معرفی شد [۱۰]. الگوریتم ژنتیک، با در نظر گرفتن مجموعهای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی، به نحو مؤثری، نواحی مختلف فضای جواب را جستجو میکند. این الگوریتم با ایجاد جمعیت اولیه به حل مسائل می پردازد. هر یک از افراد ۲ جمعیت که کروموزوم ٔ نامیده می شوند یک جواب برای مساله مورد نظر محسوب میشود و هر یک از اجزای کروموزومها که ژن نامیده میشوند بیانگر متغیر خاصی از مساله بهینهسازی مورد نظر هستند. نسل جدید با در نظر گرفتن تابع برازش افراد و با به کارگیری عملگرهای الگوریتم ژنتیک (ادغام و جهش) تولید می شود و تابع برازش افراد در طول تکرار الگوریتم بهبود می یابد.

در [۱۱] یک الگوریتم ژنتیک برای مسئله زمانبندی پروژه نرمافزاری با محدودیت منابع⁶ ارائه شدهاست. الگوریتم پیشنهادی چندین تغییر را در الگوی الگوریتم ژنتیک، مانند یک ایراتور انتخاب جدید برای انتخاب وللدین، یک عملگر تقاطع دو نقطهای اصلاح شده با مرتبه تقاطع خاص و یک عملگر جهش مبتنی بر احتمال کاهش خطی معرفی می کند. الگوریتم پیشنهادی با استفاده از مسایل معیار استاندارد اندازه J30، J60 و J12 از کتابخانه مساله زمانبندی پروژه مورد آزمون قرار گرفته و مقایسه شده است. در [۱۲] مسأله زمانبندی پروژه چند هدفه ژنتیک با محدودیت منابع بررسی شده است. به منظور نزدیکی هر چه بیشتر مدل به شرایط واقعی زمان انجام هر فعالیت به صورت چند هدفه در نظر گرفته شده است. اهدافی که در این مدل در نظر گرفته شدهاند عبارتند از حداقل کردن زمان و هزینه کل پروژه. با توجه به چند هدفه بودن و پیچیدگی محاسباتی مدل بدست آمده، از الگوریتم تکاملی چند هدفه معروف بنام الگوریتم ژنتیک ٔ NSGA-II استفاده شده است. برای ارزیابی روش پیشنهادی، ۳۶ مساله زمانبندی پروژه انتخاب شده و کارایی NSGA-II بر پایه شاخصهای طراحی شده، با الگوریتمهای PAES ^۷و SPEA2 ^ مورد مقایسه قرار گرفته شده است. و در نهایت نتایج بررسیها نشان می دهد الگوریتم NSGA-II کاراتر است.

الگوریتم ژنتیک فوق اکتشافی ٔ برای مسئله زمانبندی پروژه در [۱۳]پیشنهاد شده است. این پژوهش در طی سه مرحله به حل این مسئله می پردازد. در مرحله اول، یک بردار توالی کار برای رمزگذاری راه حل استفاده می شود و یک طرح رمزگشایی مبتنی بر تعمیر برای تولید زمان بندی های امکان پذیر پیشنهاد شده است. در مرحله بعدی ده قانون اکتشافی ساده برای ساخت مجموعه ای از اکتشافیهای سطح پایین طراحی شدهاند. سپس، برنامهریزی ژنتیکی بهعنوان یک استراتژی سطح بالا استفاده می شود که می تواند اکتشافی های سطح پایین در حوزه اکتشافی را به طور انعطاف پذیر مدیریت کند. علاوه بر این، از روش

⁴ Chromosome

¹ Diversity

² Genetic Algorithm

³ Individuals

⁵ Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)

⁶ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

⁷ Pareto Archived Evolution Strategy

³ Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2

⁹ Genetic Programming Hyper-Heuristic (GP-HH)

طراحی آزمایش[،] برای بررسی تأثیر تنظیم پارامترها استفاده میشود. در نهایت، عملکرد GP-HH بر روی مجموعه دادههای معیار چند هدفه پروژه متشکل از ۳۶ مورد ارزیابی میشود. مقایسه محاسباتی بین GP-HH و الگوریتم های پیشرفته نشان دهنده برتری GP-HH پیشنهادی در محاسبه راه حل های امکان پذیر برای مشکل است.

۲-۲-۲ الگوريتم ممتيک

الگوریتم ممتیک^۲ برای رفع مشکلات الگوریتم ژنتیک ارائه گردید [۱۴]. الگوریتم ژنتیک در حل بسیاری از مسائل میتواند کارایی خوبی داشته باشد. ولی در مواقعی که فضای جستجو بسیار بزرگ است، سرعت همگرائی این الگوریتم برای رسیدن به راه حل بهینه بسیار آهسته است. الگوریتم ممتیک یک الگوریتم تکاملی با جستجوی محلی می باشد. الگوریتم ممتیک در واقع حاصل ترکیب الگوریتم ژنتیک و جستجوی محلی می باشد. به عبارتی در این الگوریتم جستجوی محلی برای هر فرزند تولید شده در الگوریتم ژنتیک استفاده می شود تا فرزندان را به سوی جواب بهینه محلی هدایت نماید. محققین در مرجع [۱۵] رویکردی جدید بر مبنای الگوریتم ممتیک به نام الگوریتم ممتیک بدون مقیاس^۳ برای RCPSP ارائه دادهاند. الگوریتم پیشنهادی بر روی دیتاستهای 30 و 60 مورد تست و آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان میدهند که مدل SFMS

یک الگوریتم ممتیک مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل RCPSP در [۱۶] ارائه شده است. این الگوریتم شامل عملیات تقاطع کلاسیک و یک جستجوی محلی مبتنی بر درج متغیر است. یک طرح راه اندازی مجدد خودکار نیز ارائه شده است که به الگوریتم کمک می کند تا از بهینه محلی خارج گردد. بعلاوه، یک روش طراحی آزمایش برای تعیین مجموعه پارامترهای مناسب برای الگوریتم ممتیک پیشنهادی استفاده می شود. نتایج عددی، تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه با الگوریتمهای پیشرفته، اثربخشی رویکرد پیشنهادی را نشان می دهد.

۲-۲-۳- بهینهسازی کلونی مورچگان

الگوریتم کلونی مورچگان[†] از شناخته شده ترین الگوریتمهای فرااکتشافی است. الگوریتم کلونی مورچگان در سال ۱۹۹۶ ارائه شد [۱۷]. این الگوریتم برگرفته از زندگی مورچههای طبیعی است. مورچهها هنگام راه رفتن در مسیر خود ماده بوداری به نام فرومون^۵ بجای میگذارند. البته این ماده بزودی تبخیر میشود ولی در کوتاه مدت به عنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می اند. مورچهها این قابلیت را دارند که می توانند با تولید فرومون، کوتاه ترین مسیر به غذا را پیدا کنند. مورچههای که کوتاه ترین مسیر را انتخاب می کنند، نسبت به آنهایی که مسیر طولانی تری را انتخاب می کنند، فرومون بیشتری، ایجاد می کنند. از آنجاکه فرومون بیشتر، مورچهها را بهتر جذب می کند، مورچههای بیشتر و بیشتری، مسیر کوتاه تر را انتخاب می کنند تا آنجاکه فرومون بیشتر، مورچهها را بهتر جذب می کند، مورچههای بیشتر و بیشتری، مسیر کوتاه را انتخاب می کنند تا آنجاکه فرومون بیشتر، مورچهها را بهتر جذب می کند، مورچههای بیشتر و بیشتری، مسیر کوتاه را انتخاب می کنند داز آنجاکه فرومون بیشتر، مورچهها را بهتر جذب می کند، مورچههای بیشتر و بیشتری، مسیر کوتاه تر را انتخاب می کنند داز آنجاکه مومون بیشتر، مورچهها را بهتر حرف می کند، مورچههای بیشتر و بیشتری، مسیر کوتاه را انتخاب می کنیم که به عنوان مثال، دو مسیر به منبع غذا وجود دارند که دارای طول متفاوتی هستند. مورچهها، هر دو مسیر را با احتمالات یکسان، انتخاب می کنند. مورچههایی که مسیر کوتاه تر را رفته و برگشتهاند، بیشترین فرومون را زودتر از بقیه تولید می کنید. در نتیجه، مورچههای دیگر این مسیر را زودتر انتخاب کرده و فرومون این مسیر را بیشتر تقویت می کنند. در نهایت

در [۱۸] از الگوریتم بهینهسازی کلونی مورچهها که از الگوریتمهای فرااکتشافی است، برای حل SPSP استفاده شده است. ارزیابی از جهات مختلفی مانند زمان شروع و پایان هر پروژه، زمان کلی پروژه و هزینه کلی پروژه انجام گرفته است. برای اینکه کارایی الگوریتم کلونی مورچگان به خوبی نشان داده شود از الگوریتم ژنتیک برای مقایسه کارایی استفاده شده است. در بخش نتایج، فاکتورهای نحوه بروزرسانی فرومون بر روند بهینهسازی الگوریتم، تعداد کارکنان، تعداد وظایف و مهارتهای کارکنان در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که کارایی الگوریتم کلونی مورچگان در تخمین هزینه و زمان در مقایسه با

¹ Design of Experiments

² Memetic Algorithm

³ Scale-Free Based Memetic Algorithm (SFMS)

⁴ Ant Colony Optimization

⁵ Pheromone

الگوریتم ژنتیک بهتر است. برخی از محققین [۱۹] برای زمانبندی پروژههای نرمافزاری از الگوریتم کلونی مورچگان استفاده کردهاند.

یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت پروژههای نرمافزاری، انتخاب بهترین راه حل برای انجام هر کدام از فعالیتهای تشکیل دهنده پروژه است، به نحوی که هزینه و زمان پایانی پروژه دارای کمترین مقدار ممکن باشد. با توجه به تعداد زیاد فعالیتها و راه حلهای انتخابی برای هر فعالیت، معمولاً این انتخاب دارای یک جواب منحصر به فرد ناست بلکه مجموعهای از جوابها را تشکیل میدهد، که این مجموعه جوابها هیچکدام بر دیگری ترجیحی ندارند. از سوی دیگر در پروژههای واقعی معمولاً هزینههای پیشبینی شده برای انجام فعالیتها همراه با عدم قطعیتهایی هستند که منجر به تغییرات زیادی در هزینه تمام شده پروژه میشوند. در روشهای کلاسیک جهت زمانبندی پروژهها، کاهش زمان پروژه نسبت به هزینه در اولویت بالاتری قرار میگیرد، در حالی که در بسیاری موارد کاهش زمان پروژه سبب افزایش هزینه میگردد. آنها با ارائه الگوریتم کلونی مورچگان روند زمانبندی، فضای جستجوی زمانبندی را گستردهتر کردهاند و همچنین برای اینکه کارایی الگوریتم کلونی مورچگان به خوبی نشان داده شود نتایج آن را با الگوریتم ژنتیک مقایسه کردهاند و در بسیاری موارد الگوریتم کلونی مورچگان حالت بهینه یا نزدیک به بهینه را پیدا می کند.

در الگوریتم پیشنهادی[۲۰] مسئله بهینهسازی به چندین مشکل فرعی و مورچههای موجود در جمعیت به مورچههای نخبه و مورچههای معمولی تقسیم میشوند تا نرخ همگرایی بهبود یابد و از قرار گرفتن در مقدار بهینه محلی جلوگیری شود. استراتژی بهروزرسانی فرمون برای ساختن فرمون آزاد شده توسط مورچهها در یک نقطه خاص استفاده میشود میشود. مکانیسم انتشار فرمون برای ساختن فرمون آزاد شده توسط مورچهها در یک نقطه خاص استفاده میشود که به تدریج محدوده خاصی از مناطق مجاور را تحت تاثیر قرار می دهد. مکانیسم مورچهها در یک نقطه خاص استفاده میشود که به تدریج محدوده خاصی از مناطق مجاور را تحت تاثیر قرار می دهد. مکانیسم مورچهها در یک نقطه خاص استفاده می شود که به تدریج محدوده خاصی از مناطق مجاور را تحت تاثیر قرار می دهد. مکانیسم تکامل مشترک برای تبادل اطلاعات بین جمعیتهای فرعی مختلف به منظور اجرای اشتراکگذاری اطلاعات استفاده می شود. به میشود. به منظور اجرای اشتراکگذاری اطلاعات استفاده می شود. به میشود. به منظور اجرای اشتراکگذاری اطلاعات استفاده می شود. به می شود. به منظور تأیید عملکرد بهینه سازی الگوریتم مورد بحث، مسئله فروشندگان دوره گرد و مسئله تخصیص گیت واقعی در اینجا انتخاب شدهاند. نتایج آزمایش نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی می تواند به طور موثر به ترین مقدار بهینه سازی را در اینجا انتخاب شده اند. نتایج آزمایش نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی می تواند به طور موثر بهترین مقدار بهینه سازی را در اینجا انتخاب شده اند. نتایج آزمایش نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی می تواند به طور موثر بهترین مقدار به دست آورد و به طور موثر مسئله انتساب گیت را حل کند، نتیجه تخصیص بهتر را به دست آورد و توانایی بهینه سازی و پایداری بهتری را به دست آورد.

۲-۲-۴ بهینهسازی اجتماع ذرات

الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات ^۱در سال ۱۹۹۵ با الهام از رفتار اجتماعی پرندگان که در گروههای کوچک و بزرگ زندگی می کنند، معرفی شد [11]. بهینهسازی ازدحام ذرات، یک شبیهسازی از رفتار اجتماعی گروهی از پرندگان است، که در محیطی به دنبال غذا می گردند. هیچ یک از پرندگان در مورد محل غذا اطلاعاتی ندارند ولی در هر مرحله می دانند که چقدر از بهینهسازی ازدحام ذرات یک الگوریتم جمعیتی است که در آن تعدادی ذره که راه حلهای یک تابع یا یک مسئله هستند، یک ازدحام (جمعیت) را تشکیل می دهند. جمعیتی است که در آن تعدادی ذره که راه حلهای یک تابع یا یک مسئله هستند، یک تجربیات جمعی سعی می کنند تا راه حل بهینه در فضای جستجو را بیابند. الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات به عنوان یک الگوریتم بهینهسازی از دطم ذرات یک الکوریتم جمعیتی است که در آن تعدادی ذره که در آن هر ذره با گذشت زمان موقعیت فردی خود و تجربیات جمعی سعی می کنند تا راه حل بهینه در فضای جستجو را بیابند. الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات به عنوان یک می دهد. در الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات به جمعیت را فراهم می کند که در آن هر ذره با گذشت زمان موقعیت خود را تغییر می دهد. در الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات به عنوان در یک فضای جستجوی چند بعدی از راه حلهای ممکن مساله، حرکت می کنند. در این فضا یک معیار ارزیابی تعریف می شود و سنجش کیفیت راه حلهای مساله از طریق آن صورت می پذیرد. تغییر حالت هر ذره در یک گروه تحت تاثیر تجربههای خود و یا دانش همسایگانش بوده و رفتار جستجوی یک ذره در گروه تحت می کنند. در این فضا یک معیار ارزیابی تعریف می شود و سنجش کیفیت راه حلهای مساله از طریق آن صورت می پذیرد. تغییر مرالت هر ذرات دیگر است. همین رفتار ساده باعث پیدا شدن ناحیههای بهینه از فضای جستجوی می گرد. بنابراین در الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات هر ذره به محض پیدا کردن موقعیت بهینه آن را به نحو مناسبی به اطلاع سایر ذرات می ساند و هر

¹ Particle Swarm Optimization

در فضای مساله با استفاده از دانش قبلی ذرات انجام گیرد. این عمل باعث می شود تمام ذرات بیش از حد به یکدیگر نزدیک نشوند و به طور موثری از عهده حل مسائل بهینهسازی برآیند. شکل ۲ نمودار استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات را برای حل مساله زمانبندی را نشان میدهد.



[۲۲] شکل ۲: فلوچارت عمومی بهینهسازی اجتماع ذرات برای مساله زمان بندی Figure 2. General flowchart of particle swarm optimization for scheduling problem [22]

مرجع [۲۳] محققين از الگوريتم بهبود يافته بهينهسازي ازدحام ذرات براي حل RCPSP استفاده كرده اند. با تغيير در نحوه بروزرسانی و موقعیت ذرات سعی شده است نقاط بهتری از فضای جستجو پیدا شوند. الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات بهبود یافته بر روی دادههای 30ز، 160، 190زو j120مورد تست و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که مدل بهینهسازی ازدحام ذرات بهبود یافته در مقایسه با الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات توانسته است مقدار انحراف میانگین را از ۱.۳۳ به ۴۹.۰ کاهش دهد. در [۲۴]، یک الگوریتم فرااکتشافی بر اساس الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات جهت تولید جوابهای مناسب برای مساله زمانبندی RCPSP با در نظر گرفتن محدودیت منابع و فعالیتهایی با زمانهای اجرای قطعی و احتمالي توسعه داده شده است. اين الگوريتم از ذرات و دانش ذرات و جوابهاي اوليه مختلف بعنوان راهكاري براي ايجاد تنوع در فضای جستجو استفاده مینماید. در طی مثالهای مختلف مشخص می شود که الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بعنوان الگوریتمی کارا در ایجاد جوابهای مناسب برای زمانهای قطعی و احتمالی کاربرد دارد. الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات بر روى دادههاى 30ز، j60، j60 و j120 مورد تست قرار گرفته است. نتايج آزمايشات نشان مىدهد كه الگوريتم بهينهسازى ازدحام ذرات در مقایسه با الگوریتم جستجوی ممنوعه رالگوریتم ژنتیک و شبیه سازی حرارت دقت بهتری در زمانبندی وظایف دارد. مدیران پروژه همواره با چالش تخصــیص بهینه منابع به پروژهها مواجه بودهاند تا بدین وســیله بین اهداف مختلف و اغلب در تضاد پروژها توازن برقرار سازند. زمان، هزینه و کیفیت تحویل پروژهها جزء اهداف مهم هر پروژهای میباشند. در مرجع [۲۵] یک روش حل مبتنی بر الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات برای RCPSP پیشنهاد شده است. در این مرجع به منظور کارایی بهتر، الگوریتم به +PSO بهبود داده شده است. ارزیابی و نتایج بر روی دادههای 30ز، 60ز، 90زو j120زاز دیتاست PSPLIB انجام گرفته است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که الگوریتم +PSO کارایی بهتری در مقایسه با الگوریتمهای بهینهسازی ازدحام ذراتو کلونی مورچگان دارد. منطق فازی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای تصــمیمگیری و اســتفاده از مدلهای انتزاعی، رویکردی فازی جهت نزدیک کردن مدلهای زمانبندی پروژههای نرمافزاری به واقعیت است.

در [۲۶] یک الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات مبتنی بر الگوریتم فوق ابتکاری برای حل مساله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع پیشنهاد شدهاست. روش فوق ابتکاری به عنوان یک الگوریتم سطح بالا عمل می کند که چندین روش ابتکاری سطح پایین را کنترل می کند که در فضای راهحل عمل مینمایند. نمایش راهحل براساس کلیدهای تصادفی است. برنامههای زمانبندی فعال با استفاده از برنامه زمانبندی سریال با استفاده از اولویتهای فعالیتهایی که با ابتکارات سطح پایین الگوریتم اصلاح می شوند، ساخته می شوند. همچنین، عملگر توجیه دو گانه، یعنی یک روش بهبود رو به جلو، برای همه راهحل ها اعمال می شود. روش پیشنهادی بر روی مجموعهای از نمونههای مساله استاندارد کتابخانه Wellknown مورد آزمایش قرار گرفت و با روشهای دیگر مقایسه شد. نتایج محاسباتی نویدبخش کارایی روش پیشنهادی را تایید می کند.

در مقاله [۲۷] به مساله زمانبندی معکوس چند حالته کارگاه مونتاژ توربین در یک شرکت تولید تجهیزات نیروگاه برق چین با در نظر گرفتن برخی اختلالات غیر منتظره در فرآیند مونتاژ، مانند تاخیر مواد، شکست تجهیزات و غیره می پردازد. در روش پیشنهادی، کدگذاری دو بردار برای نشان دادن حالتهای اجرایی فعالیتها و زمان بندی اضافه کاری پروژهها که به ترتیب توسط الگوریتم بهینه سازی از دحام ذرات و جستجوی ممنوعه بهینه می شوند، ارائه شده است.یک الگوریتم کدگشایی اکتشافی ترکیبی^۱ شامل قوانین انتخاب سفارش پروژه، قوانین زمان بندی جر ثقیل، مکانیزم رزرو منابع و قواعد تعیین زمان اضافه پیشنهاد شده است. در نهایت با استفاده از دادههای آزمایش تجربی و یک مورد مهندسی دنیای واقعی امکان پذیر بودن و موثر بودن

۲-۲-۵- بهینهسازی زنبور مصنوعی

الگوریتم بهینهسازی زنبور مصنوعی ^۲[۲۸] یکی از الگوریتمهای فرااکتشافی است که از رفتار کاوشی کلونی زنبورها برای حل مسائل بهینهسازی با فضاهای بزرگ الهام گرفته شده است. الگوریتم ABC با ایجاد جمعیت اولیه ای از بردارهای تصادفی شروع به کار می کند. نحوه کار بدین صورت است که در هر تکرار از الگوریتم، زنبورهای مصنوعی با انجام جستجوهای تصادفی در اطراف جوابهای بدست آمده در تکرار قبل به یافتن جوابهای جدید می پردازند. بدیهی است که این جوابهای جدید لزوما همگی بهتر از جوابهای بدست آمده در تکرار قبل به یافتن جوابهای جدید می پردازند. بدیهی است که این جوابهای جدید لزوما همگی جدید پیدا کردند همه آنها دوباره به کندو باز می گردند و برای انتخاب مسیر حرکتشان در تکرار بعدی تصمیم گیری می کنند. بنابراین، میزان بهینگی جوابهای بدست آمده توسط زنبورها محاسبه شده و سپس جوابی که برازندگی بیشتری دارد به عنوان مسیر جستجو در تکرار بعدی انتخاب می شود. بنابراین نواحی اطراف جوابهای بهینهتر توسط تعداد زنبورهای بیشتری در تکرار بعدی مورد جستجو قرار می گیرد. فرایند جستجو تا زمان تامین شرط مورد نیاز برای خاتمه اجرای برنامه انجام می گیرد. در [۲۹] یک مدل ریاضی مساله و توصیف رفتار ABC ارائه شدهاست. همچنین مدلی را ارائه شده است که مساله را به که مساله را با ABC

در ۲۰۱۱ یک مدل ریاضی مساله و توصیف رفتار ABC ارائه شده است. همچنین مدلی را ارائه شده است که مساله را با ABC د. حل کند. از طریق این الگوریتم میتوان راه حلهایی برای رقابت با سایر راه حلهای ارائه شده توسط سایر نویسندگان ایجاد کرد. در [۳۰] با استفاده از الگوریتم فرااکتشافی کلونی زنبورهای مصنوعی گسسته به حل مساله RCPSP پرداخته شده است. از الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل توزیع شده در جهت رسیدن به نتایج مطلوبتر نسبت به الگوریتمهای ژنتیک، بهینه سازی ازد حام ذرات، شبیه سازی حرارت و جستجوی ممنوعه که تاکنون برای حل این مساله توسعه یافته اند تلاش شده است. الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل توزیع شده بر روی داده های 30 من و و 100 مورد تست قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان می دهد که الگوریتم کرم شبتاب در مقایسه با الگوریتمهای بهینه سازی از دحام ذرات، جستجوی ممنوعه، الگوریتم ژنتیک و شبیه سازی حرارت دقت بهتری در زمانبندی وظایف دارد.

در [۳۱] سه الگوریتم زنبور عسل، کلونی زنبور عسل مصنوعی و بهینهسازی اجتماع زنبور از خانواده کلونی زنبورها برای مساله RCPSP ارائه شــده اســت. از این الگوریتمها در جهت رســیدن به نتایج مطلوبتر نســبت به الگوریتمهای الگوریتم ژنتیک،

¹ hybrid heuristic decoding algorithm

² Artificial Bee Colony (ABC)

³ Discrete Artificial Bee Colony

بهینهسازی ازدحام ذرات، شبیهسازی حرارت و جستجوی ممنوعه که تاکنون برای حل این مساله توسعه یافتهاند تلاش شده است. ارزیابی و نتایج بر روی دادههای 30ز, 60ز و 90زو 120 صورت گرفته است. نتایج آزمایشات نشان می دهد که الگوریتمهای زنبور عسل در مقایسه با الگوریتمهای بهینهسازی ازدحام ذرات، جستجوی ممنوعه، الگوریتم ژنتیک و شبیهسازی حرارت دقت بهتری در میانگین انحراف دارند. یکی از مسائل بهینهسازی ترکیبی RCPSP است. در [۳۲] به مسئله زمان بندی بدون انتظار توزیع ناهمگن با توجه به تفاوت انواع کارخانهها، از جمله تعداد ماشینها، تکنولوژی ماشین، تامین مواد خام و شرایط حمل و نقل پرداخته شده است تا زمان ساخت به حداقل برسد. در این مساله تعداد و نوع ماشین آلات در هر کارخانه متفاوت در نظر گرفته شده و این بدان معنی است که کارها باید از طریق مسیرهای پردازشی مختلف پردازش شوند. برای حل این مسئله، یک الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی گسسته پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی کاهش همسایگی متغیر بر اساس چهار روش جستجوی محلی در فاز زنبور پیشاهنگ تعبیه شده تا توانایی جستجوی محلی الگوریتم کلی را تقویت کند.

۲-۲-۶- سیستم ایمنی مصنوعی

الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی^۱ از سیستم ایمنی بدن موجودات زنده الهام گرفته شده است [۳۳]. کارایی سیستم ایمنی بدن موجودات زنده در تشخیص آنتیژنها و از بین بردن آنها با تولید آنتیبادیهای لازم و مؤثر سـبب شـد تا محققان با شـبیهسازی نحوه عملکرد این سـیستم از توانایی آن در حل مسایل پیچیده مهندسی بهره گیرند. هنگامی که آنتیژنها، ارگانیسم بدن را مورد تهاجم قرار میدهند، ضمن تخریب سلولها به تکثیر نیز میپردازند. بنابراین یکی از مکانیسمهای جالب توجه سیستم تدافعی بدن موجودات زنده در مقابله با این تهاجم تکثیر سریع سلولهای تدافعی است که توانایی شناسایی آنتی ژنها و نابودکردن آنها را دارا هستند. تشخیص یک آنتیژن توسط آنتیبادیها با استفاده از فاکتور وابستگی^۲ انجام میگیرد. آنتیبادیهایی که وابستگی کمتری با یکدیگر دارند با استفاده از عملگر جهش^۳ با تغییرات ساختاری وابستگی خود را با عوامل بیماریزا بیشتر کرده و عملکرد دفاعی خویش را بهبودتر میبخشند.

در [۳۴] با استفاده از الگوریتم ایمنی مصنوعی به حل مساله زمانبندی پروژهها پرداخته شده است. الگوریتم ایمنی مصنوعی بر روی دادههای 30ز، 60ز، 90زو 120زاز دیتاست PSPLIB مورد تست قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که الگوریتم AIS کارایی بهتری در مقایسه با الگوریتمهای جستجوی پراکنده، ،شبیه سازی حرارت ، الگوریتم جستجوی ممنوعه و مطرح شده است مربوط به حالتی است که فعالیتها در یک زمان قطعی از پیش تعیین شده به اتمام برسند. اگر فعالیتها مطرح شده است مربوط به حالتی است که فعالیتها در یک زمان قطعی از پیش تعیین شده به اتمام برسند. اگر فعالیتها در زمان معمولی به اتمام برساند، اتمام پروژهها در زمان ممکن امکان پذیر نیست. لذا باید با صرف منابعی با کمیت و کیفیت بهتری، زمان هر یک از فعالیتها که تاخیر در اجرای آنها موجب تاخیر در اجرای کل پروژه است را کاهش داد. الگوریتم ژنتیک زمان هر یک از فعالیتها را کاهش داده و موجب موازنه زمان و هزینه در کنترل پروژه است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که

۲-۲-۷ الگوریتم جستجوی جهش قورباغه

الگوریتم جستجوی جهش قورباغه⁴ یک الگوریتم جستجوی فرااکتشافی است که مبتنی بر جمعیت اولیه است و از تکامل طبیعی گروهی قورباغهها که به دنبال محل با بیشترین ذخیره غذایی در دسترس می گردند، الهام گرفته شده است [۳۳]. محققین [۳۷] از الگوریتم جهش قورباغه برای مساله RCPSP استفاده کردهاند. این الگوریتم بر روی دادههای 30ز، 60ز، 90زو 120 مورد تست قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که الگوریتم SFL با لحاظ کردن عدم قطعیتهای موجود در پروژهها در مقایسه با دیگر الگوریتمها دقت بهتری دارد. زمانی که تعدادی از فعالیتهای پروژه به شیوههای متفاوتی و طبیعتاً با زمان و هزینه متفاوتی انجام شوند موجب می شود که پروژهها نیز با هزینهها و زمانهای مختلفی قابل اجرا باشد.

¹ Artificial Immune System

² Affinity

³ Mutation

⁴ Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFL)

در [۳۸] با تاکید بر جستجو برای حل مسئله بهینهسازی چند هدفه و برنامهریزی پروژه نرمافزاری راه حل جدیدی با استفاده از از الگوریتم پرش قورباغه ارائه شده است. روش ارائه شده در چهار مرحله نمایش قورباغه، راه حل، تعریف تابع برازندگی، پیادهسازی الگوریتم پرش قورباغه و ارزیابی برای یک مساله زمانبندی پروژه نرمافزاری به صورت تصادفی انجام شده است. نتایج نشان میدهد که روش پیشنهادی میزان خطا و هزینه را به مقدار قابل قبولی کاهش داده است.

۲-۲-۸- بهینهسازی جمعی گربه

الگوریتم بهینهسازی جمعی گربهها^۱ در سال ۲۰۰۷ با الهام از زندگی اجتماعی گربهها که در گروههای جمعی زندگی میکنند، ابداع گردید [۳۹]. این الگوریتم مشابه الگوریتمهای ژنتیک، کلونی مورچگان و بهینهسازی ازدحام ذرات است. مرجع [۴۰] یک رهیافت فرااکتشافی جدید با عنوان الگوریتم بهینهسازی جمعی گربه برای بهینهسازی RCPSP از لحاط زمان و هزینه برای پروژههای مورد استفاده قرار داده است. الگوریتم بهینه سازی جمعی گربه از رفتار اجتماعی گربهها پیروی میکند. کارایی الگوریتم در مقایسه با الگوریتمهای فرااکتشافی دیگر بر روی دیتاست BSPLIB تست شده است. ارزیابی و نتایج بر روی دادههای 05 و و05 صورت گرفته است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که به طور میانگین الگوریتم بهینهسازی جمعی گربه کارایی بهتری دارد.

۲-۲-۹- الگوریتم کرم شب تاب

الگوریتم کرم شبتاب^۲ [۴۱] یکی از جدیدترین الگوریتمهای فرااکتشافی مبتنی بر هوش جمعی است که در حل مسائل بهینهسازی کاربرد دارد. در الگوریتم کرم شبتاب ابتدا تعدادی کرم شب تاب مصنوعی به طور تصادفی در دامنه مساله توزیع می شوند و سپس هر کرم شب تاب از خود نوری ساطع می کند که شدت آن متناسب با میزان بهینگی نقطهای است که آن کرم شب تاب در آن واقع شده است. سپس شدت نور هر کرم شب تاب مرتباً با شدت نور سایر کرمهای شب تاب مقایسه شده و کرم شب تاب کم نورتر به سوی کرمهای شب تاب پر نورتر جذب می شود. همچنین پر نورترین کرم شب تاب نیز با هدف یافتن جواب بهینه سراسری به طور تصادفی در دامنه مساله حرکت می کند. بنابراین، در الگوریتم کرم شب تاب، کرمهای شبتاب از طریق نور به تبادل اطلاعات با یکدیگر می پردازند. ترکیب این عملیات دسته جمعی باعث می شود که گرایش کلی کرمهای شب تاب به سوی نقاط بهینهتر باشد. در [۴۲] روش جدیدی بر مبنای الگوریتم کرم شبتاب برای RCPSP ارائه شده است. در این الگوریتم هر کرم شبتاب در واقع یک جواب شدنی برای تابع هدف است و براساس یک سری از توالیهای ممکن عملیات مساله با هدف مینیمم کردن زمان اتمام کارها حل شده و یک توالی مشخص برای جواب بدست آمده پیشنهاد می گیرد و مساله با هدف مینیمم کردن زمان اتمام کارها حل شده و یک توالی مشخص برای جواب بدست آمده پیشنهاد می گیرد و قرار گرفته است. نتایچ آزمایشات نشان می دهد که الگوریتم کرم شبتاب بر روی داده های 100 و 100 مورد تست مساله با هدف مینیمم کردن زمان اتمام کارها حل شده و یک توالی مشخص برای جواب بدست آمده پیشنهاد می گردد. ارزیابی در از گرفته است. نتایچ آزمایشات نشان می دهد که الگوریتم کرم شبتاب بر روی دادههای 300 و00 و100 مور و در تر می در در ارزیابی قرار گرفته است. نتایچ آزمایشات نشان می دهد که الگوریتم کرم شبتاب بر مقایسه با الگوریتمهای به به اینه می گرد. ارزیابی

۲-۲-۱۰ جستجوی ممنوعه

الگوریتم جستجوی ممنوعه^۳ یک الگوریتم بهینهسازی فرااکتشافی است که در سال ۱۹۸۶ معرفی شد [۴۳]. برای رسیدن به جواب بهینه در یک مسئله بهینهسازی، الگوریتم جستجوی ممنوعه ابتدا از یک جواب اولیه شروع به حرکت میکند. سپس الگوریتم بهترین جواب همسایه را از میان همسایههای جواب فعلی انتخاب میکند. در صورتی که این جواب در فهرست ممنوعه قرار نداشته باشد، الگوریتم به جواب همسایه حرکت میکند؛ در غیر این صورت الگوریتم معیاری به نام معیار تنفس را چک خواهد کرد. بر اساس معیار تنفس اگر جواب همسایه از بهترین جواب یافت شده تاکنون بهتر باشد، الگوریتم به آن حرکت خواهد کرد. حتی اگر آن جواب در فهرست ممنوعه باشد. پس از حرکت الگوریتم به جواب همسایه، فهرست ممنوعه بروزرسانی میشود؛ به این معنا که حرکت قبل که بوسیله آن به جواب همسایه حرکت کردیم در فهرست ممنوعه قرار داده میشود تا از

¹ Cat Swarm Optimization (CSO)

² Firefly Algorithm (FA)

³ Tabu Search (TS)

بازگشت مجدد الگوریتم به آن جواب و ایجاد سیکل جلوگیری شود. در [۴۴] بر اساس الگوریتم جستجوی ممنوعه جهت تولید جوابهای مناسب با در نظر گرفتن محدودیت منابع و حالت پیش نیازی و همچنین فعالیتهایی با زمانهای اجرای قطعی و احتمالی توسعه داده شده است. این الگوریتم از لیستهای ممنوعه مختلف، حافظه تصادفی کوتاه مدت و جوابهای اولیه مختلف به عنوان وسیلهای برای ایجاد تنوع در فضای جستجو استفاده مینماید. نتایج آزمایشات نشان میدهد که الگوریتم جستجوی ممنوعه به عنوان الگوریتمی کارا در ایجاد جوابهای مناسب برای زمان های قطعی و احتمالی کارایی خوبی دارد.

در [۴۵] به مساله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع پرداخته می شود که در آن منابع دارای مهارتهای متعددی هستند و می توانند مهارت انتخاب شده را در لحظات زمانی گسسته تغییر دهند. هدف از این مقاله تعیین همزمان زمان شروع فعالیت ها انتخاب مهارت های منابع برای بیشینه کردن استحکام زمانبندی و در عین حال ارضای محدودیت های اولویت، منابع تجدیدپذیر و مهلت پروژه است. پس از تعریف مساله، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح ساخته شده و براساس ویژگی های مساله، یک الگوریتم تخصیص منابع برای تعیین مهارت منابع پیشنهاد شده است. دو الگوریتم خاص به عنوان دو معیار بهبود برای ترکیب با جستجوی تابو پایه در نظر گرفته می شوند که منجر به سه نسخه از جستجوی تابو می شود. با پیاده سازی روش پیشنهادی افزایش انعطاف پذیری منابع، قابلیت دسترسی منابع و مهلت پروژه و همچنین استحکام برنامه پایه افزایش می یابد.

۲-۲-۱۱- الگوریتم جستجوی پراکنده

الگوریتم جستجوی پراکنده^۱ در قیاس با سایر الگوریتمهای فرااکتشافی دارای ویژگیهای متفاوتی است. این الگوریتم شامل مراحل تولید جمعیت اولیه، برازندگی، تشکیل زیرمجموعه و بروزرسانی مجموعه اولیه است [۴۶]. در [۴۷] راه حلهای جدیدی برای مساله زمانبندی پروژهها با استفاده از الگوریتم SS با هدف کمینهسازی حداکثر زمان تکمیل فعالیتها و کاهش هزینهها ارائه شده است. ارزیابی و نتایج بر روی دادههای 30 و و و صورت گرفته است. نتایج نشان میدهد که الگوریتم جستجوی پراکنده کارایی بسیار قابل قبولی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک دارد. در [۴۸] با استفاده از الگوریتم جستجوی پراکنده بعد حل مساله زمانبندی پروژهها پرداخته شده است. الگوریتم جستجوی پراکنده بر روی دادههای 30 و 100 و رو از از به حل مساله زمانبندی پروژهها پرداخته شده است. الگوریتم جستجوی پراکنده بر روی دادههای 30 و 100 و 100 از دیتاست SPLIB مورد تست قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان میدهد که الگوریتم جستجوی پراکنده کارایی خوبی برای مساله زمانبندی پروژهها دارد. در [۴۹] بر مبنای ترکیب الگوریتمهای جستجوی پراکنده بر روی دادههای 30 و 200 و 200 از برای مساله زمانبندی پروژهها دارد. در در است. الگوریتم جستجوی پراکنده بر روی دادههای 30 و 200 و 200 از از مساله زمانبندی پروژهها دارد. در آد به است. الگوریتم حستجوی پراکنده بر روی دادههای 30 و 200 و 200 و 200 از مساله زمانبندی پروژهها دارد در در آد به است. الگوریتمهای جستجوی پراکنده و الکترومغناطیس یک مدل جدید می این مساله زمانبندی پروژهها دارئه شده است. الگوریتم جستجوی پراکنده بر روی دادههای 30 و 200 و 200 و 200 و 200 از می مساله زمانبندی پروژهها دارئه شده است. الگوریتم های میدهد که الگوریتم جستجوی پراکنده تر کیبی در کمینه سازی می مورد تست قرار گرفته است. نتایج محاسباتی نشان میدهد که الگوریتم جستجوی پراکنده تر کیبی در کمینه دازی می موره کارایی اثربخشی دارد. جدول ۳ مقایسه الگوریتمهای فرااکتشافی در زمانبندی پروژههای نرمافزاری را نشان می دهد.

۲-۳- الگوریتمهای ترکیبی

الگوریتمی کاربردی و مناسب برای زمانبندی پروژههای نرمافزاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شرایط فازی ارائه شده است [۵۰]. زمانبندی پروژههای نرمافزاری توسط متدولوژیهای سنتی همواره با عدم قطعیت مواجه هستند. الگوریتم ژنتیک با استفاده از ترکیب منطق فازی در بیان توالی مراحل تولید و عدم قطعیت فعالیتها، الگوریتمی مناسب در زمانبندی پروژههای نرمافزاری است. در این مقاله پارامترهای زمان شروع هر فعالیت، زمان انجام هر فعالیت و تعداد تکرار حلقه ها در زمانبندی به شکل اعداد فازی مثلثی بیان می شوند. نتایج آزمایشات نشان می دهد ترکیب الگوریتم ژنتیک با منطق فازی نسبت به روشهای موجود در زمانبندی پروژههای نرمافزاری کاربردیتر است و محاسبات کمتری دارد.

در [۵۱] با استفاده از منطق فازی روشی ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای تخمین مدت زمان فعالیتها به صورت یک تابع فازی، ارائه شده است. برای زمانبندی پروژههای نرمافزاری باید به عدم اطمینان موجود در مورد بعضی پارامترهای پروژهها مانند هزینه و زمان توجه شود. در این مرجع روشی برای زمانبندی پروژهها با توجه به فازی بودن زمان فعالیتها، محدودیت منابع و جستجو برای یافتن مناسبترین برنامه زمانبندی فازی ارائه شده است.

¹ Scatter Search Algorithm (SS)

لگوريتمهاي فرااکتشافي				
رويكرد	ایدہ اصلی	مزايا	معايب	توضيحات
الگوريتم	در این الگوریتم ، با توجه به میزان	۱. تنوع در اجراي وظايف	۱. گیرافتادن در بهینه	الگورریتم ژنتیک با در نظر گرفتن
ژنتیک	منابع موجود و زمان عادی وظایف، انواع	۲. دقت در برازندگی	سراسری	مجموعهای از نقاط فضای جواب در
	برنامههای زمانبندی ممکن برای وظایف	جوابهای بهینه	۲. پیچیدگی محاسباتی	هر تکرار محاسباتی بطور موثری
	بررسی میگردند. بهینهترین حالت در	۳. همگرایی سریع	نسبتا زياد است	نواحی مختلف فضای جواب را
	خروجی حاصل میگردد.			جستجو میکند.
الگوريتم	در این روش سعی میشود بهترین	۱. احتمال گیرافتادن در	۱. جستجوی محلی عموما	این الگوریتم در مدت زمان کم،
ممتيک	برنامه زمانبندی تهیه شود که هزینه و	نقاط بهینه محلی بسیار کم	از پیچیدگی بالایی	جوابهای بهینهتری را نتیجه می-
	زمان آن مطلوب و قابل قبول باشد.	است.	برخوردار است.	دهد.
		۲. دامنه مساله به طور	۲. گیرافتادن در بهینه	
		موثری جستجو میشود.	محلى	
		۳. سرعت همگرایی خوب		
		۴. کارایی و زمان اجرای		
		این الگوریتم به مقدار		
		پارامترهای آن وابسته است.		
بهينه-	در این الگوریتم در صورتی که هیچ	۱. پيدا كردن بهينەترين	۱. گیر افتادن در بهینه	در الگوریتم بهینهسازی کلونی
سازى	كدام از راه حلها نتوانند حالت بهينه را	حالت	محلى	مورچهها تمام فضای جواب به طور
كلونى	پيدا كنند با تغيير زمان وظايف و ميزان	۲. همگرایی الگوریتم ACO	۲. تعداد تکرار الگوریتم بری	همه جانبه جستجو مي شود، بنابراين
مورچه	منابع موجود، برنامههای زمانبندی	در مقايسه با الگوريتم	رسيد به جواب بهينه زياد	امکان بیشتری برای همگرایی به
	بهینهترین بررسی میشوند.	ژنتیک بهتر است.	است.	بهینه محلی وجود خواهد داشت.
بهينه-	در این الگوریتم از بین همه راه حلها،	۱. همگرایی سریع در	۱. همگرایی محلی ضعیف	الگوريتم بهينهسازي اجتماع پرندگان
سازى	راه حلي كه از بين دو معيار هزينه و	رسيدن به جواب بهينه	۲. پيدا کردن جواب بهينه	برای گریز از بهینگیهای محلی
اجتماع	زمان، بهینهترین باشد در خروجی	۲. دقت در برازندگی	بدون اتمام تمام نقاط	ترتیبی اتخاذ میکند که هنگام قرار
ذرات	حاصل میگردد.	جوابهای بهینه	جستجو	گرفتن در بهینگیهای محلی ذرات
				به بخشهای دیگری از فضای
				جستجو جهش پيدا کنند و سپس
				در آنجا به جستجوی جواب بهینه
				بپردازند.
كلونى	در الگوریتم ABC برای گریز از بهینگی-	۱. يافتن جواب بهينه	۱. گیرافتادن در بهینه	در هر تکرار از الگوریتم، زنبورهای
زنبور	های محلی زنبورها به بخشهای دیگری	سراسری با کمترین تعداد	محلى	مصنوعي با انجام جستجوهاي
مصنوعي	از فضای جستجو جهش پیدا میکنند و	تكرار		تصادفی در اطراف جوابهای بدست
	سپس در آنجا به جستجوی جواب بهینه	۲. همگرایی سریع		آمده در تکرار قبل به یافتن جوابهای
	ميپردازند و اين عمل را تا رسيدن به			جدید میپردازند.
	یک بهینه سراسری تکرار نمایند.			
سيستم	در الگوریتم AIS اگر برازندگی جمعیت	. تنوع در اجرای وظایف	. جستجوی محلی عموما	در الگوريتم AIS همانند الگوريتم
ايمنى	اولیه در چندین تکرار متوالی به راه حل	۲. دقت در برازندگی جوابها	از پیچیدگی بالایی	ژنتیک جوابها به طور تصادفی
مصنوعى	بهینه دست پیدا نکرد، تمام راه حلهایی	۳. همگرایی سریع	برخوردار است.	توسط الگوريتم توليد شده و با
	که کارایی بهینهای ندارند حذف میشوند		۲. گیرافتادن در بهینه	حرکت در دامنه مساله راه حل بهینه
	و جمعیت جدید جایگزین میشود و راه		محلى	پيدا مىشود.
	حل بهینه برای مساله پیدا میشود.			

جدول۳: مقایسه الگوریتمهای فرااکتشافی در زمانبندی پروژههای نرمافزاری Table 3. Comparison of metahuristic algorithms in software project scheduling

الگوريتم	در این الگوریتم تمام نواحی جستجو برای	۱. همگرایی SFLA در	۱. جستجوی محلی عموما	در این الگوریتم جستجو در نواحی
جهش	راه حل بهینه جستجو میشود و پیدا	مقایسه با الگوریتمهای	از پیچیدگی بالایی	سراسری و محلی انجام میگیرد و
قورباغه به	کردن راه حل بستگی به نواحی جستجو	جستجوى پراكنده و الگوريتم	برخوردار است.	بهینهترین راه حل در خروجی
هم ريخته	دارد.	ژنتیک بهتر است.	۲. گیرافتادن در بهینه	نمایش داده میشود.
		۲. همگرایی سریع	محلى	
بهينه	در این الگوریتم به طور مداوم شایستگی	۱. همگرایی CSO در مقایسه	۱. همگرایی محلی ضعیف	در این الگوریتم برای گریز از بهینگی-
سازى	راه حلهای مساله ارزیابی میشون و	با الگوريتم بهينهسازي ازدحام	۲. عدم جستجو برای جواب	های محلی ترتیبی اتخاذ میشود که
ازدحام	موقعیتی را که در آن بهترین برازنگی برای	ذرات بهتر است.	بهینه در تمام نقاط جستجو	هنگام قرار گرفتن در بهینگیهای
گربه ها	مساله وجود داشته باشد به عنوان جواب	۲. دقت در برازندگی جوابها		محلی فضای جستجو تغییر داده شود
	مساله ارائه میگردد.			و ارزیابی راه حلهای قبلی بهینهترین
				راه حل در خروجی نمایش داده شود.
الگوريتم	در این الگوریتم عمل جستو برای بهینه-	۱. همگرایی سریع در	۱. گیرافتادن در بهینه	یکی از محاسن FA در حل مسائل
کرم شب-	ترین راه حل به طور تصادفی در اطراف -	رسيدن به جواب بهينه	محلى	توابع پیچیده بهینهسازی پیوسته این
تاب	جوابهای بدست آمده در تکرارهای قبلی	۲. کاهش پیچیدگی	۲. عدم دستیابی به بهینه–	است که قادر به تغییر حالت از یک
	انجام میگیرد. این روش باعث میشود	۳. همگرایی الگوریتم کرم	ترين جواب	محل بهینگی به محل بهینگی دیگر
	که الگوریتم حتما به جواب بهینه دست	شبتاب در مقایسه با		است. در الگوریتم کرم شبتاب، اگر
	پيدا كند.	الگوريتمهاي الگوريتم		بهترين راه حل بهينه پيدا نشود
		ژنتيک و الگوريتم		جستجو متوقف نمیشود و برای
		جستجوى ممنوعه بهتر		بدست أوردن راه حل بهينه جستجو
		است.		در اطراف همسایگی نقاط مرحله
				قبل صورت میگیرد.
جستجوى	در هر تكرار از الگوريتم، ذرات با انجام	۱. کاهش زمان رسیدن به	۱. گیرافتادن در بهینه	در این الگوریتم، ذرات تا انتهای
پراکنده	جستجوهای تصادفی در اطراف جوابهای	جواب بهينه	محلى	فرايند جستجو، تعادل ميان
	بدست آمده در تکرارهای قبلی به یافتن	۲. تنوع در ارجرای وظایف		جستجوی سراسری و محلی را به
	جوابهای بهینه میپردازند. برای این	برای رسیدن به بهینهترین		شیوهای مناسب حفظ میکنند.
	منظور میزان بهینگی جوابهای بدست	حالت		
	آمده توسط ذرات محاسبه شده و بدین			
	ترتیب جواب نزدیک به بهینه برای مساله			
	بدست میآید.			
جستجوى	جستجو با یک جواب اولیه شروع میشود	۱. سرعت همگرایی و یافتن	۱. گیرافتادن در بهینه	در این الگوریتم تمام همسایههای
تابو	و در تکرارهای مداوم همسایههای نزدیک	جواب بهينه	محلى	نزدیک به راه حل بهینه بررسی می-
	به جواب ارزیابی و بهینهترین حالت برای	۲. محاسبه دقیق حالتهای	۲. پیچیدگی زیاد	شوند و بهینهترین حالت برای مساله
	مساله انتخاب میشود.	همسایه و بررسی زمان	محاسباتي	در خروجی نمایش داده میشود.
		دقيق وظايف		

برای تهیه برنامه زمانبندی، با توجه به میزان منابع موجود و زمان عادی فعالیتها، راه حلهای زمانبندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مشخص میشوند. زمان پایان پروژهها و هزینه آن برای هر کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه میشود. در صورتی که هیچکدام از راه حلهای زمانبندی ارائه شـده نتوانند هر دو هدف را ارضاء کنند، با تغییر زمان فعالیتها و میزان منابع موجود، راه حلهای زمانبندی مناسبتری ارائه میشوند. در انتها از بین همه راه حلهای زمانبندی، راه حلی که با توجه به اهمیت هرکدام از دو معیار هزینه و زمان، بهترین شرایط را داشته باشد انتخاب میشود. نتایج آزمایشات نشان میدهد که الگوریتم ترکیبی کارایی خوبی دارد. در مرجع [۵۲] با ترکیب الگوریتم شــبیهسـازی حرارت و منطق فازی، مدلی برای زمانبندی پروژهها ارائه دادهاند. پروژههای نرمافزاری غالباً پروژههای بزرگ با هزینههای سـرمایه گذاری بالا هسـتند، لذا زمانبندی دقیق آنها عامل مؤثری در اجرای موفق این پروژهها از نظر زمان و هزینه اسـت. به دلیل وجود عوامل بسـیاری مانند عوامل قطعی و غیر قطعی دخیل در زمانبندی پروژههای نرمافزاری، زمانبندی آنها مسئله پیچیدهای بوده و حل آن با روشهای معمول زمانبندی بسیار طاقت فرسا و زمان بر پروژههای نرمافزاری، زمانبندی آنها مسئله پیچیدهای بوده و حل آن با روشهای معمول زمانبندی بسیار طاقت فرسا و زمان بر پروژههای نرمافزاری، زمانبندی آنها مسئله پیچیدهای بوده و حل آن با روشهای معمول زمانبندی بسیار طاقت فرسا و زمان بر خواهد بود. از طرف دیگر، در روشـهای معمولی، عوامل اصلی دخیل در زمانبندی (زمان، هزینه و روابط غیر خطی بین آنها) مطور همزمان بررسی نمیشود و لذا برنامه زمانبندی، بهینه نخواهد بود. به منظور بررسی قابلیت مدل ترکیبی ارزیابی بر روی دادههای 06ز و 00 و 100 از دیتاســت BYPP مورد تســت قرار گرفته اســت. در [۵۳] از ترکیب جســتجوی پراکنده و اکترومغناطیس برای 100 و 100

Maximum computation time (seconds)	Average computation time (seconds)	Mean Of the standard deviation from the critical path	Mean percentage deviations from the desired limit	Algorithm
5.5	1.17	11.45	0.15	Genetic Algorithm [52]
4.17	1.15	12.75	0.35	Bee colony [55]
NR	NR	11.73	0.27	Scatter search [56]
3.2	NR	11.71	0.46	Tabu search [57]
NR	0.76	11.94	0.22	Hybrid [58]

جدول۴: مقایسه الگوریتم های فرااکتشافی و ترکیبی از لحاظ معیارهای زمانبندی پروژه

۲-۴- یادگیری ماشین

یک روش برای حل دادهها با حجم زیاد استفاده از تکنیکهای یادگیری ماشین است. تکنیکهای یادگیری ماشین بیشتر به منظور افزایش دانش، افزایش کارآیی و تصـحیح اتوماتیک خطا مورد اســتفاده قرار میگیرند. آموزش و تسـت دادهها یکی از مهمترین کاربردهای تکنیکهای یادگیری ماشین است که امروزه بسیار مورد توجه قرار میگیرد.

۲-۴-۲- شبکههای عصبی مصنوعی

شبکههای عصبی مصنوعی بدون برنامهریزی قبلی یاد می گیرند که مسائل را حل کنند. در واقع تنظیم وزنهای ورودی هر نرون باعث یادگیری کل شبکه می شود که این تنظیم بر اساس مدل پیادهسازی شده می تواند با ناظر یا بدون ناظر صورت پذیرد. شبکه های عصبی مصنوعی می توانند دارای یک یا چندین لایه مخفی باشند. مقاوم بودن، قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم، سرعت بالا به دلیل پردازشهای موازی، قابلیت سازگاری با تغییرات سیستمها از ویژگیهای شبکههای عصبی مصنوعی هستند. در [۵۹] از شبکههای عصبی مصنوعی برای مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری استفاده شده است. ارزیابی و نتایج بر روی دادههای 03ز، 60زوj12از دیتاست PSPLIB صورت گرفته است. شبکه عصبی مصنوعی برای زمانبندی پروژههای نرمافزاری بر مبنای روال زیر کار می کند:

۱- لایه ورودی : در این لایه، اطلاعات اولیه که همان مقادیر مربوط به متغیرهای مسـتقل و وابسـته زمانبندی میباشـند، وارد شبکه میگردند.

۲- لایه یا لایههای مخفی : این لایه که بر مبنای پیچیدگی تحلیلها و فاکتورهای ارزیابی وظیفه ایجاد روابط منطقی میان متغیرهای مستقل و وابسته و یافتن فرمول بین این متغیرها را بر عهده دارد.

۳- لايه خروجي: در اين لايه، رابطه يا فرمول بين متغيرهاي مستقل و وابسته اوليه ارائه مي شود.

در این مدل با دریافت پروژهها رابطه منطقی میان متغیرهای مســـتقل و وابســته کشــف میشــوند و در مرحله بعد، مقدار متغیرهای وابسـته را با دقت بسـیار بالا تخمین و ارائه مینماید. نتایج و ارزیابی نشـان میدهد که شـبکههای عصـبی مصنوعی کارایی بهتری در مقایسه با الگوریتمهای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی ممنوعه دارند.

۲-۵- محاسبات نرم

در تکنیکهای محاسبات نرم برخلاف شیوههای محاسباتی کلاسیک که تمامی توان خود را به دقیق بودن و در جهت مدل نمودن کامل مسلئل معطوف میکنند، این روش با وجود عدم دقت، حقایق جزئی و ناقص بهترین راه حل را برای مسلئل میکنند.

۲-۵-۱ منطق فازی

برای زمانبندی پروژههای نرمافزاری باید به عدم اطمینان موجود در مورد بعضی پارامترهای پروژه مانند هزینه و زمان پروژه به توجه شود. برای درنظر گرفتن عدم قطعیت مذکور از منطق فازی استفاده شده است [۶۰]. برای زمانبندی پروژه با توجه به فازی بودن زمان وظایف، محدودیت منابع و جستجو برای یافتن بهینهترین برنامه زمانبندی فازی ارائه شده است. برای تهیه فازی بودن زمان وظایف، محدودیت منابع و جستجو برای یافتن بهینهترین برنامه زمانبندی فازی ارائه شده است. برای تهیه فازی بود زمان عادی وظایف، انواع برنامههای زمانبندی ممکن ارائه می می گردد. زمان پایان پروژه و هزینه آن برای هر کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه می شود. در صورتی که هیچ کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه می شود. در صورتی که هیچ کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه می شود. در صورتی که هیچ کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه می شود. در صورتی که هیچ کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه می شود. در صورتی که هیچ کدام از راه می گردد. زمان پایان پروژه و هزینه آن برای هر کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه می شود. در صورتی که هیچ کدام از راه حلهای زمانبندی محاسبه می شود. در صورتی که هیچ کدام از راه می گردد. زمان ولاین وظایف و میزان منابع موجود، مرا به پر ازمانههای زمانبندی، به شود و می دانته می گردند. در انتها از بین همه راه حلهای زمانبندی، راه حلی که که بهینهترین معیار هزیان و زمان را داشته با تغییر زمان وظایف و میزان منابع موجود، بعزان فعالیت و مسیر در شبکه PERT می گردن. در انتها از بین همه راه حلهای زمانبندی، راه حلی که که بهینهترین معیار موان فعالیت و مسیر در شبکه تعری را فعالیت و مسیر در شبکه می و زمان را داشته باشد انتخاب می گردد. در انتها فعایتها در مدلهای سنتی PERT معمولا یا بصورت مقادی بعران فعلی بیان می شوند و یا به عنوان یک متغیر تصادفی از توزیع بتا و نرمال بدست می آیند هر صور فران هموده شده است. بر اساس ممهوم شناوری فعالیت و مسیر مون عمویت اعداد فازی، یک تکنیک جدید جهت محاسبه درجه بحران فعالیت و مسیرهای شبکه ممزاه و بر اساس آن مسیر بحرانی فازی پروژه مشخص می گردد. این مدل روشی معران فازی پروژه ما منوری فرافزاری و ترکیب تئوری معموعهای فازی پروژه مشیخص می گردد. این مدل روشی معری فازی نسیت به روش ما موری و مرافزاری و تر اسی آن می موری ما موری با PER است. نتای خشان دهنده اثر بخشی مدل

۳- بحث و بررسی

تصمیم گیری برای زمانبندی هزینه و زمان جهت اجرای فعالیتهای پروژه در شرایط محدودیت، مسالهای دشوار و مهم برای اجرای پروژههای نرمافزاری کلان است. چراکه اولاً تعدد فعالیتها و وابستگی آنها به یکدیگر شرایط را پیچیده میکند و ثانیاً وجود عدم قطعیت در تخمین زمان و هزینه اجرای فعالیتها، مساله را از حالت بهینهسازی خارج میسازد. با توجه به گسترش استفاده از منابع مالی به صورت وام و یا سرمایه گذاری؛ تامین منابع مالی برای هر فعالیت، به منظور پیشبرد مناسب پروژه با در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان و هزینه هر فعالیت بسیار حائز اهمیت است. در جدول ۵ به بررسی و مقایسه مدلهای کلاسیک و مدلهای هوش مصنوعی پرداختهایم.

امروزه استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی برای دستیابی به راه حل بهینه در حل مسائل بهینهسازی رشد چشمگیری یافته است. به دلیل افزایش پیچیدگی مسائل بهینهسازی و ناتوانی روشهای ریاضی برای ارائه راه حل بهینه، تکنیکهای هوش مصنوعی راهکار مناسبی برای مسائل بهینهسازی هستند. روشهای ریاضی در حل بسیاری از مسائل علمی و مهندسی مورد استفاده قرار گرفتهاند و دامنه بسیار وسیعی از مسائل مختلف را پوشش میدهند اما روشهای ریاضی با وجود کارایی دقیق، هنوز هم در حل بسیاری از مسائل بهینهسازی با مشکلات زیادی مواجه هستند. استفاده از الگوریتمهای فرااکتشافی منجر به این میشود که در میان همه راه حلهای ممکن، راه حلهای بهینهتر انتخاب شوند. طبق بررسیهایی که انجام دادیم الگوریتمهای فرااکتشافی در حل مساله زمانبندی پروژههای نرمافزاری کارایی بالایی در نزدیک شدن به جوابهای بهینه دارند.

توضيحات	معايب	مزايا	ایدہ اصلی	نام رويكرد
روند فعالیتهای پروژه	۱. مدلهای کلاسیک به شدت به وجود	۱. ارتباط بین فعالیتها را با مراحل	در مدلهای کلاسیک	مدلهای
بر مبنای نمودار انجام	خطا در دادهها حساس میباشند.	ترسیم تسهیل میکنند. با ارائه نمودار از	پروژهها بر مبنای نمودار و	کلاسیک
میگیرد.	۲. در مدلهای کلاسیک، در صورت وجود	فعالیتها، بررسی عملیلات را برای	روند جريان فعاليتها	
	نقص در دادهها دیگر امکان استفاده از داده–	مديران پروژه تسهيل مىكند.	نمایش داده میشوند.	
	های ناقص برای تحلیل آماری وجود ندارد و			
	در نتیجه حجم نمونههای مورد مطالعه به			
	شدت کاهش مییابد.			
	۳. مدلهای کلاسیک از درک و یافتن			
	روابط رياضي ميان دادهها كاملا عاجز			
	هستند.			
	۴. با توجه به حجم محاسبات بالا به ازای			
	افزایش تعداد فعالیتها، استفاده از مدلهای			
	کلاسیک اجتناب ناپذیر است.			
	• 1 N 1 6 . 1 . 1 . 1 .		1. 1	1
الكوريتمهاي فرااكتشافي	۱. زمان زیادی برای همکرایی لازم است اگر ابرای ایندگر با از داشد ال	۱. الكوريتمهای قراا تتشاقی بدون نیاز به	در این الخوریتمها بر مبنای	الكوريتمهاي
برای پیدا کردن راه حل	ا در تابع برارند کی مناسب تباسد مساله	روابط پیچیده ریاضی ندارند به حل	جستجوی مواری و گروهی	فرااكتشافى
بهینه از روسهای آنید با کال استفاده	همدرا لحواهد سد. ۲ الگریت داد فراکتهافر از با داد	مسائل بهینهساری می پردارند. ۲ الگریت دام فراکته افرار امرام	مساله مورد ارریابی قرار	
ارمون و تکرار استفاده	تا الدورينمهای قرار لنسافی از منغیرهای	۱. الدورينمهای قرا کنسافی برای حل	می تیرد و بهینه ترین راه جارد خربه با ا	
مى لىند.	کند بنا این جرا بهای استفاده می	مسائل بهینه ساری که پارامترهای ریاد،	حل در خورجی نمایس	
	لىنىد. بىابراين، جوابھاى بدست آمده ار	محدوديت تصادفي و چند تابع هدف در	داده میسود.	
	الدوريمهای قرآ سساقی به نوعی ماهیت	آنها وجود داسته باسد بسیار موققیت		
	المحتماد في دارند و با هر بار اجرا اين	الميز عمل مي سند. ٣. باله تفاده إنه الله، بته هام في الكتشاف		
	المورييم ها منجر به ليبعداي متفاوت از	ا. با استفاده از الموزينه هاي قرار لنساقي		
	لليبه بناسب المناه در مرحبه فبني مي شوند.	می توان به معدار بهینه یا ترکیک به بهینه		
		کر رکنال معقول کاملک پیکار کردا.		
مهمترين اهداف	۱. از لحاظ زمان پیچیدگی بالایی دارند.	۱. در الگوریتمهای ترکیبی از بیش از یک	در این الگوریتمها این	الگوريتمهای
الگوريتمهای ترکيبی	۲. کاهش سرعت همگرایی	نقطه براي براي شروع عمليات جستجو	امکان وجود دارد که مساله	تركيبى
انتخاب استراتژىحل		استفاده میشود. بنابراین عملیات جستجو	با كمترين تعداد تكرار	
بهینه برای تعریف		کاهش چشمگیری داشته و الگوریتم	بهینهترین راه حل را پیدا	
معیارهای اندازه گیری		زودتر به جواب بهینه دست خواهد یافت.	کند.	
هزينه و زمان		۲. الگوریتمهای ترکیبی انعطاف پذیری		
		بالایی در جستجوی مساله دارند و از		
		این طریق حل کارا و موثر یک مسئله را		
		به صورت بهینهتر میسر میسازند.		
		۳. الگوریتمهای ترکیبی با در نظر گرفتن		
		چندین حالت ها دارای مزایای از جمله		
		فضای جستجوی گسترده همراه با ازادی		
		در تصمیم گیری بین جواب ها وتفسیر		
		انها می باشد.		

جدول۵: مقایسه مدلهای کلاسیک و مدلهای هوش مصنوعی Table 5. Comparison of classic models and artificial intelligence models

تکنیکهای	این تکنیکها ذاتا چند	۱. بررسی روابط میان متغیرها تحت تاثیر	۱. قواعد یا دستورات مشخصی برای طراحی	توانایی یادگیری
یادگیری	متغيره بوده و با استفاده از	خطا قرار نمی گیرد.	شبکه جهت یک کاربرد اختیاری وجود	مقاوم در برابر خطا
ماشين	آموزش و تست سعی در	۲. در این تکنیکها این امکان فراهم	ندارد.	
-	تخمين هزينه و زمان	شده تا علاوه بر استفاده از دادههای	۲. دقت نتایج بستگی زیادی به اندازه	
	دارند.	کامل، امکان تخمین موارد نقصان نیز با	مجموعه آموزش دارد.	
		دقت بسیار بالا میسر باشد.	۳. آموزش شبکه ممکن است مشکل یا	
		۳. در این تکنیکها تعداد زیادی از	حتى غيرممكن باشد.	
		متغیرهای مستقل و وابسته مورد مطالعه	۴. پیشبینی عملکرد در این تکنیکها به	
		قرار گرفته و رابطه میان آن ها بررسی	سادگی امکانپذیر نیست.	
		میگردد.	۵. تعیین پارامترها به همراه آموزش دشوار	
			است. طراحی این تکنیکها نیازمند داده-	
			های زیاد و تکرار زیاد برای آموزش است.	
			·Ĩ. . ≓n n. . *n4 \	t · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
محاسبات	این تکنیکها راه حلهای	 محاسبات نرم از حاصیت عدم دقیق 	۱. انتحاب زیاد توابع و وابستگی زیاد آنها	این تکنیکها عیر خطی
نرم	نادفیق و تفریبی برای حل	بودن جهت حل مساله و پایین اوردن	به مجموعههای فازی نتایج را تحت تاتیر 	هستند و توانایی
	مسائلی که از نظر	هزينه استفاده مي كند.	فرار میدهد.	پرداختن به مسائل غیر
	محاسباتی حل انها دشوار	۲. در تکنیکهای محاسبات نرم با یک		خطی و پیچیده را دارند.
	بوده را ارزیابی و تست می-	تابع نگاشت میتوان ورودی ها را به		
	کنند.	فضای خروجیها مرتبط کرد.		
		۳. این تکنیکها میتوانند توابع غیر		
		خطی با هر درجه از پیچیدگی را مدل		
		کنند.		

این الگوریتمها با توجه به ساختار و نوع پیچیدگی مسائل، جوابهای مسائل بهینهسازی را با استفاده از روش آزمودن و جستجوی نقاط بهینه مورد بررسی قرار میدهند و دستیابی به جوابهای نزدیک به بهینه را فراهم مینمایند.

زمانبندی پروژههای نرمافزاری با استفاده از الگوریتمهای فرااکتشافی بهبود خوبی دارند و میتوان با قاطعیت گفت الگوریتمهای فرااکتشافی نسبت به مدلهای کلاسیک دقیقتر عمل مینمایند. الگوریتمهای فرااکتشافی با تکرارهای مداوم و آموزش دادهها این توانایی را دارند که فاکتورهای موثر در تخمین را بهینهتر نمایند و مقدار هزینه و زمانبندی پروژههای نرمافزاری را به حداقل برسانند. الگوریتمهای فرااکتشافی به طور معمول در میان همه جوابهای ممکن، جوابهای بهتر را انتخاب میکنند. هر جواب قابل قبول میتواند بر اساس ارزش و یا مقدار برازندگی برای مساله مشخص شود.

از مهمترین ویژگیهای شبکههای عصبی مصنوعی وابسته نبودن آن ها به فرضیههای اولیه درباره داده های ورودی است؛ به این معنا که دادههای ورودی میتوانند هرگونه توزیع آماری دلخواهی داشته باشند. این ویژگی مهم شبکه های عصبی امتیاز ویژه آنها در مقابل مدلهای کلاسیک است و به آنها این توانایی را میدهد که به طور یکسان از انواع مختلف داده های ورودی با هر توزیع دلخواه استفاده کنند. همچنین با داشتن قابلیتهای بسیار دیگری مانند سرعت پردازش بالا (به دلیل پردازشهای موازی)، داشتن توان بالقوه در حل مسائلی که شبیهسازی آنها از طریق منطقی یا سایر روشها مشکل یا غیر ممکن است، کار آمد بودن شبکه برای یادگیری و انطباق با محیط در صورت تغییر در موقعیت محیطی، عدم از کار افتادگی شبکه در صورت آسیب دیدگی قسمتی از نورونها و داشتن جواب منطقی برای دادههادر شرایط اطمینان، علاقمندی به استفاده از شبکههای عصبی مصنوعی را بیشتر کرده است.

۴- نتیجهگیری و کارهای آینده

در این مقاله به بررسی تکنیکهای زمانبندی پروژههای نرمافزاری پرداخته شده است. بررسیهای انجام شده نشان میدهد روشهای هوش مصنوعی کارایی بهتری در مقایسه با مدلهای کلاسیک دارند. دقیق بودن زمانبندی پروژههای نرمافزاری باعث میشود که مدیران، پروژههای نرمافزاری را بر مبنای یک چهارچوب مشخص هزینه و زمانبندی نمایند. پروژههای نرمافزاری، زمانبندی پروژههای نرمافزاری یک مرحله اساسی و مهم در آغاز پروژهها بهشمار میآید. زمانبندی پروژههای نرمافزاری یکی از فعالیتهای اصلی در تصمیمات مدیریتی، هزینه و زمان است که در پروژههای نرمافزاری از جایگاه خاصی برخوردار است. بنابراین، برای تیمهای نرمافزاری هزینه و زمان یک مرحله حیاتی به منظور توسعه و به اتمام رساندن پروژهها در زمان موعد است. زمانبندی دقیق، شرکتهای توسعه نرمافزاری را قادر میسازد تا قبل از پیادهسازی پروژهها، مقدار هزینه و زمان معین را برای مدیریت بهتر پروژهها مورد بررسی قرار دهند. با توجه به بررسیهای انجام شده در این مقاله، در آینده استفاده از مدلهای بر مبنای روشهای هوش مصنوعی می تواند کارایی خوبی برای تخمین زمانبندی پروژههای نرمافزاری داشته باشد.

مراجع

- M.C. Abeyasinghe, D.J. Greenwood, and D.E. Johansen, "An Efficient Method for Scheduling Construction Projects with Resource Constraints," *International Journal of Project Management*, vol. 19, no. 1, pp. 29-45, 2001, doi:10.1016/S0263-7863(00)00024-7.
- [2] M. Lu and H. Li, "Resource Activity Critical Path Method for Construction Planning," Journal of Construction Engineering and Management, vol. 129, no. 4, pp. 412-420, 2003, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:4(412).
- [3] W. Herroelen, E. Demeulemeester, and B.D. Reyck, "Resource Constrained Project Scheduling: A Survey of Recent Developments," *Computers & Operations Research*, vol. 25, no. 4, pp. 279-302, 1998, doi: 10.1016/S0305-0548(97)00055-5.
- [4] E. Demeulemeester, "Minimizing Resource Availability Costs in Time-limited Project Networks," *Management Science*, vol. 41, pp. 1590-1598, 1995, doi: 10.1287/mnsc.41.10.1590.
- [5] J. Zhang, X. Shen, and C. Yao, "Evolutionary Algorithm for Software Project Scheduling Considering Team Relationships," *in IEEE Access*, vol. 11, pp. 43690-43706, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3270163.
- [6] S. Zhang, X. Song, L. Shen, and L. Xu, "Complicated Time-Constrained Project Scheduling Problems in Water Conservancy Construction," *Processes*, vol. 11, no. 4, p. 1110, 2023, doi: 10.3390/pr11041110.
- [7] D.G. Malcolm, J.H. Roseboom, C.E. Clark, and W. Fazar, "Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation," *Operate Res*, vol. 7, no. 5, pp. 646-69, 1959, doi: 10.1287/opre.7.5.646.
- [8] W. Fix and K. Neumann, "Project Scheduling by Special GERT Networks," *Computing*, vol. 23, pp. 299-308, 1979, doi:10.1007/BF02252134.
- [9] J.P. Pantouvakis and O.G. Manoliadis, "A Practical Approach to Resource Constrained Project Scheduling," *Operational Research an International Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 299-309, 2006, doi: 10.1007/BF02941258.
- [10] J. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems," University of Michigan, Michigan, USA, April 29, 1992.
- [11] J. Liu, Y. Liu, Y. Shi, and J. Li, "Solving Resource-Constrained Project Scheduling Problem via Genetic Algorithm," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 34, no. 2, 2020, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000874.
- [12] C.K. Chang, Hsin-yi Jiang, Y. Di, D. Zhu, and Y. Ge, "Time-line Based Model for Software Project Scheduling with Genetic Algorithms," *Information and Software Technology*, vol. 50, pp. 1142-1154, 2008, doi: 10.1016/j.infsof.2008.03.002.

- [13] J. Lin, L. Zhu and K. Gao, "A genetic programming hyper-heuristic approach for the multi-skill resource constrained project scheduling problem," *Expert Systems with Applications*, vol. 140, p. 112915, 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2019.112915.
- [14] M. Pablo, "On Evolution, Search, Optimization, Genetic Algorithms and Martial Arts towards Memetic Algorithms Caltech Concurrent Computation Program," *C3P Report*, 1989.
- [15] L. Wang and J. Liu, "A Scale-Free Based Memetic Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling Problems," *LNCS*, vol. 8206, pp. 202-209, 2013, doi: 10.1007/978-3-642-41278-3_25.
- [16] H. F. Rahman, R. K. Chakrabortty, and M. J. Ryan, "Memetic algorithm for solving resource constrained project scheduling problems," *Automation in Construction*, vol. 111, p. 103052, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.103052.
- [17] M. Dorigo and L. M.Gambardella, "The Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 1, no.1, April 1997, doi: 10.1109/4235.585892.
- [18] J. Xiao, X. T. Ao, and Y. Tang, "Solving Software Project Scheduling Problems with Ant Colony Optimization," *Computers & Operations Research*, vol. 40, pp. 33-46, 2013, doi: 10.1016/j.cor.2012.05.007.
- [19] W. -N. Chen and J. Zhang, "Ant Colony Optimization for Software Project Scheduling and Staffing with an Event-Based Scheduler," in *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 39, no. 1, pp. 1-17, Jan. 2013, doi: 10.1109/TSE.2012.17.
- [20] W. Deng, J. Xu, and H. Zhao, "An Improved Ant Colony Optimization Algorithm Based on Hybrid Strategies for Scheduling Problem," *in IEEE Access*, vol. 7, pp. 20281-20292, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2897580.
- [21] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle Swarm Optimization," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, pp. 1942-1948, 1995, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
- [22] A. M. Fahmy, 'Optimization Algorithms in Project Scheduling', Optimization Algorithms Methods and Applications. InTech, Sept. 21, 2016. doi: 10.5772/63108.
- [23] Q. Jia and Y. Seo, "An Improved Particle Swarm Optimization for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem," Int J Adv Manuf Technol, vol. 67, pp. 2627-2638, 2013, doi: 10.1007/s00170-012-4679-x.
- [24] R.-M. Chen, Ch.-L. Wub, Ch.-M. Wang, and Sh.-T. Lo, "Using Novel Particle Swarm Optimization Scheme to Solve Resource-Constrained Scheduling Problem in PSPLIB," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 3, pp. 1899-1910, 2010, doi: 10.1016/j.eswa.2009.07.024.
- [25] H. Zhang, X. Li, Heng Li, and F. Huang, "Particle Swarm Optimization-based Schemes for Resource-Constrained Project Scheduling," *Automation in Construction*, vol. 14, pp. 393-404, 2005, doi: 10.1016/j.autcon.2004.08.006.
- [26] G. Koulinas, L. Kotsikas, and K. Anagnostopoulos, "A particle swarm optimization based hyper-heuristic algorithm for the classic resource constrained project scheduling problem," *Information Sciences*, vol. 277, 2014, pp. 680-693, doi: 10.1016/j.ins.2014.02.155.
- [27] Y. Zhang, X. Hu, X. Cao, and Ch. Wu, "An efficient hybrid integer and categorical particle swarm optimization algorithm for the multi-mode multi-project inverse scheduling problem in turbine assembly workshop," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 169, 2022, doi: 10.1016/j.cie.2022.108148.
- [28] D. Karaboga, "An Idea Based on Honeybee Swarm for Numerical Optimization," *Technical Report TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department*, 2005.

- [29] B. Crawford, R. Soto, F. Johnson, M. Vargas, S. Misra, and F. Paredes, "A Scheduling Problem for Software Project Solved with ABC Metaheuristic," *Computational Science and Its Applications. ICCSA* 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9158, Springer, Cham, doi: 10.1007/978-3-319-21410-8_48.
- [30] N. Nouri, S. Krichen, T. Ladhari, and P. Fatimah, "A discrete artificial bee colony algorithm for resourceconstrained project scheduling problem," *5th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*, Hammamet, Tunisia, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICMSAO.2013.6552557.
- [31] Y.J. Shi, F.Zh. Qu, W. Chen, and B. Li, "An Artificial Bee Colony with Random Key for Resource-Constrained Project Scheduling," *LNCS*, vol. 6329, pp. 148-157, Springer, 2010, doi: 10.1007/978-3-642-15597-0_17.
- [32] H. Li, X. Li, and L. Gao, "A discrete artificial bee colony algorithm for the distributed heterogeneous nowait flowshop scheduling problem," *Applied Soft Computing*, vol. 100, p. 106946, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106946.
- [33] J. Farmer, N. Packard, and A. Perelson, "The Immune System, Adaptation and Machine Learning," *Physica D*, vol. 2, pp. 187-204, 1986, doi: 10.1016/0167-2789(86)90240-X.
- [34] M. Mobini, Z. Mobini, and M. Rabbani, "An Artificial Immune Algorithm for the Project Scheduling Problem under Resource Constraints," *Applied Soft Computing*, vol. 11, pp. 1975-1982, 2011, doi: 10.1016/j.asoc.2010.06.013.
- [35] R. Agarwal, M. K. Tiwari, and S. K. Mukherjee, "Artificial Immune System Based Approach for Solving Resource Constraint Project Scheduling Problem," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 34, pp. 584-593, 2007, doi: 10.1007/s00170-006-0631-2.
- [36] M. Eusuff, K. Lansey, and F. Pasha, "Shuffled Frog-Leaping Algorithm: A Memetic Meta-heuristic for Discrete Optimization," *Engineering Optimization*, vol. 38, no. 2, pp. 129-54, 2006, doi: 10.1080/03052150500384759.
- [37] C. Fang and L. Wang, "An Effective Shuffled Frog-Leaping Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling Problem," *Computers & Operations Research*, vol. 39, pp. 890-901, 2012, doi: 10.1016/j.cor.2011.07.010.
- [38] O.A. Ameen *et al.*, "Application of shuffled frog-leaping algorithm for optimal software project scheduling and staffing," in *Innovative Systems for Intelligent Health Informatics. IRICT 2020. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, pp. 293-303. Cham: Springer International Publishing, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-70713-2 28.
- [39] Sh.-Ch. Chu and P.-W. Tsai "Computational Intelligence Based on the Behavior of Cats," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 3, no. 1, 2007.
- [40] L. Xu and W. Hu, "Cat swarm Optimization-based Schemes for Resource-Constrained Project Scheduling," *Applied Mechanics and Materials Vols.* 220-223, pp. 251-258, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.220-223.251.
- [41] X.S. Yang, *Nature-Inspired Meta-heuristic Algorithms*. Luniver Press, 2008.
- [42] P. Sanaei, R. Akbari, V. Zeighami, and S. Shams, "Using Firefly Algorithm to Solve Resource Constrained Project Scheduling Problem," *Proceedings of Seventh International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2013, vol. 201, pp. 417-428, doi: 10.1007/978-81-322-1038-2_35.
- [43] M. Dam and M. Zachariasen, "Tabu Search on the Geometric Traveling Salesman Problem," *Meta-Heuristics: Theory and Applications*, pp. 571-587, 1995, doi: 10.1007/978-1-4613-1361-8_34.

- [44] O. Atli and C. Kahraman, "Fuzzy Resource-Constrained Project Scheduling Using Taboo Search Algorithm," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 27, pp. 873-907, 2012, doi: 10.1002/int.21552.
- [45] Y. Ma, Zh. He, N. Wang, and E. Demeulemeester "D. Erik. Tabu search for proactive project scheduling problem with flexible resources," *Computers & Operations Research*, vol. 153, no. 2, p. 106185, 2023, doi: 10.1016/j.cor.2023.106185.
- [46] F. Glover, "A Template for Scatter Search and Path Relinking," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1363, pp. 13-54. 1997, doi: 10.1007/BFb0026589.
- [47] T. Sari, V. Cakir, S. Kilic, and E. Ece, "Evaluation of scatter search and genetic algorithm at resource constrained project scheduling problems," 15th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems, Poprad, Slovakia, 2011, pp. 127-130, doi: 10.1109/INES.2011.5954732.
- [48] M. D. Mahdi Mobini, M. Rabbani, M. S. Amalnik, J. Razmi, and A. R. Rahimi-Vahed, "Using an enhanced scatter search algorithm for a resource-constrained project scheduling problem," *Soft Computing*, vol. 13, pp. 597-610, 2009, doi: 10.1007/s00500-008-0337-5.
- [49] D. S. Yamashita, V.A. Armentano, and M. Laguna, "Scatter Search for Project Scheduling with Resource Availability Cost," *European Journal of Operational Research*, vol. 169, pp. 623-637, 2006, doi: 10.1016/S1568-4946(02)00065-0.
- [50] K.W. Kima, M. Genb, and G. Yamazaki, "Hybrid Genetic Algorithm with Fuzzy Logic for Resource-Constrained Project Scheduling," *Applied Soft Computing*, vol. 2/3F, pp. 174-188, 2003, doi: 10.1016/j.ins.2009.11.044.
- [51] W. Chen, Y.-J. Shi, H.-F Teng, X.P. Lan, and L.-C. Hu, "An Efficient Hybrid Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling," *Information Sciences*, vol. 180, pp. 1031-1039, 2010, doi: 10.1016/j.ins.2009.11.044.
- [52] D. Debels, B.De Reyck, R. Leus, and M. Vanhoucke, "A Hybrid Scatter Search/Electromagnetism Meta-Heuristic for Project Scheduling," *European Journal of Operational Research*, vol. 169, no. 2, pp. 638-653, 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2004.08.020.
- [53] S. K. Shukla, Y. J. Son and M.K. Tiwari, "Fuzzy-based Adaptive Sample-Sort Simulated Annealing for Resource-Constrained Project Scheduling," *International Journal Advanced Manuf Technol*, vol. 36, pp. 982-995, 2008, doi: 10.1007/s00170-006-0907-6.
- [54] S. Proon and M. Jin, "A Genetic Algorithm with Neighborhood Search for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem," *Naval Research Logistics*, vol. 58, pp. 74-82, 2011, doi: 10.1002/nav.20439.
- [55] V. Valls, F. Ballestín, and S. Quintanilla, "Justification and RCPSP: A technique that pays", *European Journal of Operational Research*, vol. 165, no. 2, pp. 375–386, 2005, doi: 10.1016/j.ejor.2004.04.008.
- [56] Y. j. Shi, F.Z. Qu, W. Chen, and B. Li, "An Artificial Bee Colony with Random Key for Resource-Constrained Project Scheduling," *Life System Modeling and Intelligent Computing. ICSEE LSMS 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6329, 2010, pp. 148-157, doi: 10.1007/978-3-642-15597-0_17.
- [57] K. Nonobe and T. Ibaraki, "Formulation and tabu search algorithm for the resource constrained project scheduling problem," *Hansen, P. (ed.) Essays and Surveys in Metaheuristics*, pp. 557–588, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001, doi: 10.1007/978-1-4615-1507-4_25.
- [58] T. seng and L.Y. Chen, "A hybrid metaheuristic for the resource-constrained project scheduling problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 175, no. 2, pp. 707–721, 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2005.06.014.
- [59] A. Agarwal, V.S. Jacob, and H. Pirkul, "Augmented Neural Networks for Task Scheduling," *European Journal of Operational Research*, vol. 151, no. 3, pp. 481-502, 2003, doi: 10.1016/S0377-2217(02)00605-7.

- [60] L.D. Long and A. Ohsato, "Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty," *International Journal of Project Management*, vol. 26, no. 6, pp. 688-698, 2008, doi: 10.1016/j.ijproman.2007.09.012.
- [61] W. Huang, L. Ding, B. Wen, and B. Cao, "Project Scheduling Problem for Software Development with Random Fuzzy Activity Duration Times," *LNCS*, vol. 5552, pp. 60-69, 2009, doi: 10.1007/978-3-642-01510-6_8.