# ارائه ی مدل بهینه سازی در زمانبندی پروژه ها با منابع محدود با احتساب تابع قابلیت اطمینان

**چکیده:**مسئله ی زمان بندی پروژه ها با منابع محدود از موضوعات مهم و کاربردی در دهه های اخیر در حوزه های مختلف می باشد.در این پژوهش علاوه بر مفروضات و مدل های پیشین در زمانبندی پروژه ها تابع قابلیت اطمینان به صورت تابع احتمالی و با رویکردی نوین به مدل افزوده شده است.مدل برنامه ریزی مسئله بیان شده یک مدل ریاضی غیرخطی مختلط بوده که با بهره گیری از تکنیکهای خطی سازی تبدیل به مدل برنامه ریزی خطی شده و برای حل دقیق آن در ابعاد کوچکتر از نرم افزار های بهینه سازی دقیق و برای حل آن در ابعاد Np-hard از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده است.نتایج حاصل از الگوریتم ها و تحلیل آماری ،نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک است،از این رو الگوریتم،برای مدل پیشنهادی کارایی مناسبتری دارد.این پژوهش با بهره گیری از مدل ریاضی ارائه شده کاهش زمان و تاخیرات رو با عنایت به کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان در حالت چندحالته بودن فعالیتها دنبال می کند.

**کلمات کلیدی:**زمان بندی پروژه ها،قابلیت اطمینان،فعالیتهای چند حالته ،الگوریتم ژنتیک،محدودیت منابع

## 1. مقدمه:

موضوع زمان‌بندي پروژه‌ها با منابع محدود يكي از پركاربردترين موضوعات زمان‌بندي است كه ساير مسائل زمان‌بندي زيرمجموعه‌اي از اين موضوع به شمار مي‌آيند (Sprecher et al., 1997) که شامل فعالیت هایی است که بایستی با توجه به محدودیت های منابع و روابط پیش نیازی زمان بندی شوند به طوری که منجر به کمترین تاخیرات شوند. این گونه از مسائل به یک مسئله استاندارد و معروف در حوزه زمان بندی پروژه تبدیل شده است که محققان زیادی را به خود جذب کرده است و برای حل آن رویکردهای زمان بندی ابتکاری و دقیق ارائه می دهند. مسئله‌ي زمان‌بندي پروژه با محدوديت منابع به دنبال پيدا كردن توالی مناسبی از انجام فعاليت‌هاي يک پروژه می باشد به طوری که محدوديتهای تقدم و تأخر شبکه پروژه و انواع مختلف محدوديت‌هاي منابع موجود در پروژه به صورت همزمان برآورد شوند و معيار سنجش معينی ازجمله زمان انجام پروژه، هزينه انجام و تعداد فعاليت‌هاي تأخير دار بهينه شوند. اين نوع از مسائل به لحاظ ابعاد کاربردی و علمی بسيار حائز اهميت است (Herroelen et al., 2011)).

(Hartman et al., 2010) به ارائه مسئله ای در رابطه با ارزیابی توسعه ها و انواع مسائل زمان بندی پروژه با محدودیت منابع پرداختند. آنها چشم انداز جامعی از این گونه توسعه ها ارائه داده اند که طبق ساختار مسئله RCPSP طبقه بندی می شوند. آها عمومیت های ماهیت فعالیت ها، ارتباطات پیش نیازی و محدودیت های منابع را خلاصه نمودند. همچنین در تحقیق آنها اهداف جایگزین و رویکردهای زمان بندی پروژه های چندگانه مورد بحث واقع می شود. در نهایت روش های چندگانه، تاخیرات زمانی حداکثر و حداقل، و اهداف ارزش فعلی خالص محور در تحقیق آنها ارائه می گردد. (Coelho et al., 2011) در تحقیق خود به زمان بندی پروژه با محدودیت منابع چند حالتی پرداخت که در آن برای حل مسئله از حل کننده های SAT و RCPSP استفاده نمود. آنها یک رویکرد حل جدید برای مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع چند حالتی (MRCPSP) ارائه دادند. این نوع مسئله به انتخاب یک حالت فعالیت منحصر به فرد از بین مجموعه ای از حالت های در دسترس برای ایجاد مسئله زمان بندی پروژه شدنی با یک منبع و یک رابطه پیش نیازی با یک حداقل تاخیر زمانی می پردازد. این نوع مسئله به یک مسئله NP-hard معروف

محسن واعظ قاسمی(Mohsen.vaez@gmail.com)

است که با استفاده از روش های حل دقیق مختلف و رویکردهای فراابتکاری (ابتکاری) حل می شود. الگوریتم جدید ارائه شده در

این تحقیق مسئله را به چندین مسئله تک حالتی تبدیل می کند. نتایج محاسباتی نشان می دهند که این رویکرد می تواند جوابهای مشابه یا بهتر از سایر روش های موجود در ادبیات ارائه دهد.

در این پژوهش که در ادامه ادبیات موضوع به صورت گسترده تری مورد بحث قرار می گیرد تلاش شده تا علاوه بر مفروضات پیشین تابع قابلیت اطمینان با رویکرد احتمال دسترسی پذیری به منابع تجدید پذیر و با هدف بیشینه سازی آن مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

## 2. مرور ادبیات:

در ادامه به بررسی پیشینه ی تحقیق و تعاریف مورد استفاده در بحث زمانبندی پروژه ها می پردازیم.

(Wang et al., 2012) به ارائه تخمین موثر و کارایی از الگوریتم توزیع برای مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع چند حالتی پرداختند. در تخمین الگوریتم توزیع واحدها بر اساس لیست فعالیت محور رمزگذاری می شوند و با استفاده از طرح تولید زمان بندی سری چند حالتی رمز برداری می شوند. به این ترتیب یک مدل احتمالی نوین و یک مکانیزم به روزرسانی برای نمونه برداری منطقه جستجو ارائه می شوند. برا بهبود کیفیت جستجو یک تکرار چند حالتی رو به عقب و رو به جلو و یک روش جستجوی محلی استفاده می شوند تا قابلیت استخراج را تقویت نمایند. نتایج شبیه سازی بر اساس مقایساتی با سایر الگوریتم ها کارایی رویکرد ارائه شده را نشان می دهد. (Khemakhem et al., 2013) در تحقیق خود مقیاس های استواری کارا و موثر برای مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع را مورد مطالعه قرار دادند. آنها مهم ترین مقیاس های استواری (RMs) که در ادبیات موضوع ارائه شده اند مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مقاله آنها چندین مقیاس استواری جدید را نیز ارائه می دهد. با استفاده از یک رویکرد پنج مرحله ای کارایی تمامی مقیاس های استواری در یک حوزه خاص با محاسبه همبستگی بین مقیاس ها و یک مقیاس عملکردی از پیش تعریف شده بررسی گردید. ارتباط و کارایی برخی از مقیاس های جدید نیز مورد مطالعه قرار گرفت. برتری مقیاس های ارائه شده نسبت به مقیاس های ارائه شده در مطالعات قبل به طور آماری مورد تایید قرار گرفت. بنابراین این مقیاس ها می توانند به مدیران پروژه در تمایز و امتیازدهی راه حل هایی که دارای تاخیرات زمانی هستند کمک کند تا استوارترین زمان بندی را انتخاب نمایند.

(Naber et al., 2014) مدل های برنامه ریزی عدد صحیح مختلط برای زمان بندی پروژه با محدودیت منابع را ارائه دادند که در آن از پروفایل های منابع انعطاف پذیر استفاده نمودند. منابع مورد استفاده در مسئله آنها شامل منابع اولیه، وابسته و غیر وابسته می باشد. آنها چهار مدل ریاضی عدد صحیح مختلط با زمان گسسته ارائه دادند که با بررسی آنها نتیجه گرفتند که مدل متغیر فشرده محور به طور قابل توجهی نسبت به سایر مدل ها از نظر کیفیت جواب و زمان محاسباتی بهتر عمل می کند. در مسئله آنها زمان شروع، پروفایل منبع و طول هر فعالیت برای حداقل سازی تاخیر زمانی مرتبط با ارتباطات پیش نیازی و دسترسی محدود منابع چندگانه و محدودیت های پروفایل منابع مشخص گردید. روش های پیش پردازش و ابتکاری اولویت محور نیز برای محاسبه کران های بالا و پایین تاخیر زمانی به کار گرفته شدند. (Bettemir et al., 2015) در مطالعه خود از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ژنتیک با شبیه سازی تبرید برای حل مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع بهره گرفتند. استراتژی ارائه شده در تحقیق آنها برای یکپارچه

سازی قابلیت جستجوی موازی الگوریتم های ژنتیک با توانایی توازن تکنیک شبیه سازی تبرید برای رسیدن به جوابهای کارا مورد استفاده قرار گرفت. رویکرد آنها با استفاده از مسائل آزمایشی بنچمارکینگ مورد آزمایش قرار گرفت و بهترین جوابهای الگوریتم ها بدست آمد. در آزمایش های محاسباتی آنها یک الگوریتم ژنتیک محض و هفت الگوریتم ابتکاری از نرم افزار مدیریت پروژه مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج محاسباتی نشان دادند که استراتژی ترکیبی ارائه شده همگرایی الگوریتم ژنیتک را افزایش داده و جایگزین خوبی برای مسائل RCPSP می باشد.

(Zheng et al., 2015 ) در مطالعه خود الگوریتم بهینه سازی چند عاملی را برای مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع ارائه دادند. در تحقیق آنها چندین عامل در یک محیط گروه بندی شده کار می کنند که در آن هر عامل یک جواب شدنی ارائه می دهد. ارزیابی عامل ها با استفاده از چهار عنصر مهم شامل رفتار اجتماعی، رفتار خودکار، خودیادگیری، و تنظیم محیط انجام می شود. برخی از عامل ها مهاجرت بین گروهی را برای بهبود محیط به طور پویا و اشتراک گذاری اطلاعات انجام می دهند. پیاده سازی رویکرد چند عاملی برای حل مسئله به طور مفصل صورت می گیرد و اثر پارامترهای کلیدی بر اساس روش طراحی آزمایش تاگوچی بررسی می شود.

در این پژوهش با عنایت به کارهای صورت گرفته مدلی نوین با در نظر داشتن تابع احتمالی قابلیت اطمینان بیان شده است.و کمینه شدن تاخیرات زمانی و مجموع هزینه های مستقیم و غیر مستقیم انجام پروژه لحاظ شده است.در قسمت یافته های تحقیق مدل ارائه شده بیان می شود.

## 3. یافته های تحقیق:

در این تحقیق می خواهیم مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع را در چندین دوره زمانی مورد بررسی قرار دهیم که شامل چندین فعالیت همراه با چند حالت مختلف برای هر فعالیت می باشد. همچنین منابع پروژه به صورت تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم بندی شده اند. از تصمیماتی که بعد از حل مدل ریاضی اتخاذ می شوند می توان به شروع یا عدم شروع یک فعالیت در یک حالت خاص اشاره کرد. همچنین نیاز یا عدم نیاز به یک منبع تجدید پذیر با میزان خاص در شرایطی که مقدار مشخصی از آن در ابتدا پروژه موجود بوده است

$$Minimize \quad \sum_{t=es_{n+1}}^{ls_{n+1}} t x_{n+1,1,t} \qquad (1)$$

$$s.t$$

$$\sum_{m=1}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i}(t+d_{i,m})x_{i,m,t} \le \sum_{m=1}^{M_j}\sum_{t=es}^{ls_j} t x_{j,m,t} \qquad \forall (i,j)\in A, \quad (1-4)$$

.

$$\sum_{m=1}^{M_i}\sum_{t=es_i}^{ls_i} x_{i,m,t} = 1 \qquad \forall i \in N, \quad (1-5)$$

$$N^r_{k,t} \le a^r_k \qquad \forall k \in R^r \text{ and } t = 1,\ldots,T, \quad (1-7)$$

$$L_k^r \le a_k^r \le U_k^r \qquad \forall k \in R^r \quad (1-8)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{M_i} r_{i,m,l}^{n} \sum_{t=es_i}^{ls_i} x_{i,m,t} \le a_l^n \qquad \forall l \in R^n, \qquad (1-9)$$

$$R_{k,t}^r = \sum_{g=N_{k,t}^r}^{a_k^r} \binom{a_k^r}{g} \cdot \left(p_k^r\right)^g \cdot \left(1-p_k^r\right)^{a_k^r - g} \qquad \forall k \in R^r \text{and } t = 1,\ldots,T, \ (1-10)$$

$$MS = \sum_{t=es_{n+1}}^{ls_{n+1}} tx_{n+1,1,t} \qquad (1-11)$$

$$TC = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k\in R^r} C_k^r \cdot a_k^r + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{M_i}\sum_{l\in R^n} C_l^n \cdot r_{i,m,l}^n \cdot x_{i,m,t} \qquad (1-12)$$

$$R_{total} = \prod_{t=1}^{T}\prod_{k\in R^r} R_{k,t}^r \qquad (1-13)$$

$$x_{i,m,t} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, m = 1,\ldots,M_i, t = 1,\ldots,T$$

$$a_k^r \in Z \qquad \forall k \in R^r$$

تابع هدف به صورت یک تابع چند هدفه از حداقل سازی هزینه، حداقل سازی تاخیرات زمانی و حداکثرسازی قابلیت اطمینان بیان می شود. محدودیت های شماره (4-1) و(5-1) محدودیت های پایه (RCPSP) می باشد، که پیش از این توضیح داده شد.محدودیت (6-1) تعداد مورد نیاز منبع تجدیدپذیر k ام در روز t ام را نشان می دهد. محدودیت (7-1) بیان می کند که تعداد منبع تجدید پذیر k ام در روز t ام از تعداد کلی منبع تجدیدپذیر k ام کوچکتر است. محدودیت (8-1) محدودیت ذاتی منبع تجدیدپذیر k ام می باشد که بین دو حد بالا و پایین محصور می شود.محدودیت (9-1) محدودیت ذاتی دسترسی به منابع تجدیدناپذیر می باشد. محدودیت (10-1) در ارتباط با قابلیت اطمینان پروژه می باشد و احتمال دسترس پذیری و انتخاب منابع تجدید پذیر مورد نظر را از بین منابع موجود با توزیع دوجمله ای بیان می دارد. محدودیت (11-1) مجموع تاخیرات زمانی را نشان می دهد. محدودیت (12-1) مجموع هزینه های پروژه را نشان می دهد که از مجموع هزینه های منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر حاصل می شود. محدودیت (13-1) قابلیت اطمینان کل پروژه را نشان می دهد که به عنوان مثال قابلیت اطمینان یک منبع تجدید پذیر از احتمال دسترس پذیری آن در زمان 1،...، $T$ حاصل می شود.

## 4. مطالعه کاربردی:

می توان نتیجه گرفت که در مثال های عددی با بعد کوچک روش دقیق عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است. برای مثال های عددی شماره 1، 2 و 3 مقدار هزینه های بدست آمده از روش دقیق نسبت به روش ژنتیک کمتر می باشد. در حالی که در مثال های عددی با بعد بالا و از مثال شماره 3 به بعد مشاهده می شود که رویکرد فراابتکاری ژنتیک عملکرد بهتری در بهینه کردن هزینه ها نسبت به روش دقیق داشته است. علاوه بر این، مشاهده می شود که از مثال عددی شماره 7 به بعد روش دقیق قادر به حل مسئله نمی باشد و در این شرایط رویکرد ژنتیک مناسب تر می باشد.

## 5. نتیجه گیری:

در این تحقیق مسئله ی زمان بندی پروژه ها با محدودیت منابع مطرح شده است که در آن علاوه بر مفروضات و مدل های پیشین در خصوص زمانبندی، تابع قابلیت اطمینان به مدل ریاضی افزوده شده است و با بررسی احتمال دسترس پذیری به منابع تجدیدپذیر، مسئله زمانبندی پروژه از دیدگاه احتمالی بررسی می شودهمچنین برای حل مسئله ارائه شده از دو روش دقیق در نرم افزار لینگو و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک در نرم افزار متلب استفاده شده است تا عملکرد هر دو روش در حل مسئله با ابعاد مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد

## مراجع:


1.Sprecher, A., S. Hartmann, and A. Drexl, *An exact algorithm for project scheduling with multiple modes.* Operations-Research-Spektrum, 1997. **19**(3): p. 195-203

2.Demeulemeester, E.L. and W.S. Herroelen, New benchmark results for the resource-constrained project scheduling problem. Management science, 1997. 43(11): p. 1485-1492.

3.Ulusoy, G. and L. Özdamar, Heuristic performance and network/resource characteristics in resource-constrained project scheduling. Journal of the Operational Research Society, 1989: p. 1145-1152.

4.Kolisch, R. and S. Hartmann, Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis1999: Springer.

5. Pan, M.-J. and W.-Y. Jang, Determinants of the adoption of enterprise resource planning within the technology-organization-environment framework: Taiwan's communications industry. Journal of Computer information systems, 2008. 48(3): p. 94-102.

6. Wuliang, P. and W. Chengen, A multi-mode resource-constrained discrete time–cost tradeoff problem and its genetic algorithm based solution. International Journal of Project Management, 2009. 27(6): p. 600-609.

7. Lova, A., P. Tormos, and F. Barber, Multi-mode resource constrained project scheduling: Scheduling schemes, priority rules and mode selection rules. Inteligencia artificial, 2006. 30(10): p. 69-86

8. Wuliang, P., L. Xueying, and H. Yongping, A Genetic Algorithm for Solving Multi-Mode Critical Chain Project Scheduling Problem. Journal of Convergence Information Technology, 2013. 8(3).

9. Bruni, M.E., et al., A heuristic approach for resource constrained project scheduling with uncertain activity durations. Computers & Operations Research, 2011. 38(9): p. 1305-1318.

10. Coelho, J. and M. Vanhoucke, Multi-mode resource-constrained project scheduling using RCPSP and SAT solvers. European Journal of operational research, 2011. 213(1): p. 73-82.

11. Deblaere, F., E. Demeulemeester, and W. Herroelen, Reactive scheduling in the multi-mode RCPSP. Computers & Operations Research, 2011. 38(1): p. 63-74.

12. Kyriakidis, T.S., G.M. Kopanos, and M.C. Georgiadis, MILP formulations for single-and multi-mode resource-constrained project scheduling problems. Computers & chemical engineering, 2012. 36: p. 369-385.

13. Paraskevopoulos, D.C., C.D. Tarantilis, and G. Ioannou, Solving project scheduling problems with resource constraints via an event list-based evolutionary algorithm. Expert systems with applications, 2012. 39(4): p. 3983-3994.

14. Kopanos, G.M., T.S. Kyriakidis, and M.C. Georgiadis, New continuous-time and discrete-time mathematical formulations for resource-constrained project scheduling problems. Computers & chemical engineering, 2014. 68: p. 96-106

15. Messelis, T. and P. De Causmaecker, An automatic algorithm selection approach for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem. European Journal of operational research, 2014. 233(3): p. 511-528.

16. Sakalauskas, L. and G. Felinskas, Optimization of resource constrained project schedules by genetic algorithm based on the job priority list. Information Technology And Control, 2015. 35(4).

18. Trojet, M., F. H'Mida, and P. Lopez, Project scheduling under resource constraints: Application of the cumulative global constraint in a decision support framework. Computers & Industrial Engineering, 2011. 61(2): p. 357-363.

19. Chen, J. and R.G. Askin, Project selection, scheduling and resource allocation with time dependent returns. European Journal of operational research, 2009. 193(1): p. 23-34.

20. Medaglia, A.L., et al., A multiobjective model for the selection and timing of public enterprise projects. Socio-Economic Planning Sciences, 2008. 42(1): p. 31-45.