

ارائه مدل چند هدفه زمان بندی پروژه با استفاده از مزایای برون سپاری فعالیتها

سهیل صفائیان^۱، احسان مردان^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان؛ safaiyansoheil@semnan.ac.ir

^۲استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان؛ ehsan_mardan@semnan.ac.ir

چکیده

امروزه برون سپاری یکی از تکنیک های مهم و کاربردی در حوزه مدیریت و کنترل پروژه محسوب می شود. در عصر حاضر با توجه به رقابتی شدن صنایع مختلف نیاز به تکنولوژی برون سپاری بیش از گذشته احساس می شود. در مسائل زمان بندی سنتی، پردازش فعالیتها فقط در داخل مجموعه امکان پذیر بود ولی در واقعیت، اغلب صنایع بسیاری از فعالیت های خود را برون سپاری می کنند.

هدف از این پژوهش ارائه و بررسی یک مدل ریاضی برای رسیدن به بهترین جواب و همچنین در نظر گرفتن نکات کاربردی و مهم در کنترل و زمان بندی پروژه با استفاده از تکنولوژی برون سپاری می باشد. در این پژوهش یک مدل پنج هدفه با در نظر گرفتن اولویت فعالیتها، سطح مهارت کارکنان و همچنین قابلیت انقطاع فعالیتها و امکان برون سپاری آنها، ارائه شده است. اصلی ترین هدف مورد بررسی در این پژوهش حداقل سازی زمان اتمام پروژه می باشد. از دیگر اهداف در این مدل ریاضی، حداقل سازی هزینه برون سپاری و هزینه دیرکرد است. در ادامه با توجه به قرارگیری مساله در دسته مسائل NP-hard با ذکر یک مساله نمونه در ساینز کوچک به حل چندهدفه مدل مذکور در نرم افزار گمز و حل کننده بارون به روش معیار جامع پرداخته ایم. در انتها، نتایج نشان می دهد که این مدل می تواند برای مسائل با ابعاد کوچک، جواب بهینه ای در مدت زمان کوتاه بدست آورد.

کلمات کلیدی: برون سپاری؛ زمان بندی پروژه؛ انقطاع؛ سطح مهارت؛ چند هدفه؛ روش معیار جامع

1- مقدمه

کنترل پروژه فرآیندیست که مستقل از مدیریت پروژه انجام می گیرد. کنترل پروژه شامل کنترل و تایید فعالیت های پروژه برای تقویت عملکرد و اهداف است. به عبارت ساده تر، کنترل پروژه شامل افراد، فرایندها، ابزارهای مسایل مربوط به برنامه ریزی، مدیریت و کاهش هزینه، زمان و ریسک هایی است که ممکن است بر یک پروژه تاثیر بگذارند.

مدیریت پروژه به عنوان برنامه ریزی، نظارت و کنترل تمام جنبه های یک پروژه و انگیزه همه افراد درگیر در آن برای رسیدن به اهداف پروژه در زمان و هزینه مشخص، کیفیت و عملکرد در نظر گرفته می شود. [1]

پیتر دارکر [2] در ارتباط با برون سپاری و آثار آن می گوید: "چنین امری در واقع در حکم تحولی بنیادین در ساختار سازمان های جهان فردا است. این بدان معناست که دیگر الزامی نیست که سازمان های بزرگ به تشکیلاتی بدل شوند که تعداد زیادی افراد را در استخدام خود داشته باشند. این قبیل سازمان ها به تشکیلاتی تبدیل می شوند که به درآمدهای عالی و بهره وری بالا دست پیدا می کنند، زیرا تنها بر فعالیت هایی تمرکز می کنند که به خاطر آنها مأموریت یافته اند، کارهایی را انجام دهند که دقیقاً به اهداف سازمانی آنها مربوط است."

اگرچه، در گذشته بسیاری از خدمات پیمانکاری مربوط به تولید قطعات یا سیستم اطلاعات می شد اما در سال های اخیر بسیاری از وظایف دیگر در بخش های مختلف از قبیل خدمات اداری، فعالیت های نیروی انسانی، ارتباط از راه دور، خدمات مشتری،

لجستیک و حتی امنیت، برون‌سپاری شده است.[3]
در این پژوهش سعی شده است مساله زمان‌بندی پروژه با استفاده از تکنولوژی برون‌سپاری با در نظر گرفتن یک مدل ریاضی مورد بررسی قرار گیرد.

2- پیشینه تحقیق

با ورود به هزاره سوم بسیاری از سازمان‌ها و تأمین‌کنندگان آن‌ها با شرایط رقابتی سخت و تنگاتنگ هم در سطح بازارهای جهانی که به سرعت در حال تغییر است و هم در سطح داخل مرزهای سازمان، روبه‌رو هستند. مشتریان امروزی تقاضاهای بیشتر و جزئی‌تر داشته و به دنبال محصولات و خدمات ارزان‌تر، با کیفیت بالاتر و زمان تحویل سریع‌تر هستند. [4] با وجود این شرایط لزوم استفاده از برون‌سپاری هر چه بیشتر احساس می‌شود. در این میان تعدادی از محققان به تجزیه و تحلیل کارایی استراتژی برون‌سپاری پرداختند. به عنوان مثال برخی از محققان در تحقیقات خود [5]، [6] و [7] دلایلی را که باعث می‌شود شرکت‌ها از استراتژی برون‌سپاری استفاده کنند، شرح داده‌اند. یکی از این دلایل این است که برون‌سپاری باعث افزایش کارایی سیستم می‌گردد. برخی از محققان چارچوب‌هایی را برای برون‌سپاری مؤثر و کارا پیشنهاد داده‌اند. برای نمونه مالک و همکاران [8] یک چارچوب برای تعیین عملکرد استراتژی برون‌سپاری در زنجیره تأمین چند سطحی را ارائه داده‌اند. وئو و همکاران [9] چارچوبی برای تصمیم به برون‌سپاری به منظور حفظ توان رقابتی در دراز مدت با ارائه تعدادی ابزار برای تصمیم‌گیری در مورد برون‌سپاری پیشنهاد کرده‌اند. برخی دیگر از تحقیقات مسائل تصمیم‌گیری را با وجود استراتژی برون‌سپاری مورد بررسی قرار داده‌اند. برای مثال تاراکی و همکاران [10] برون‌سپاری برای فعالیت‌های تعمیر و نگهداری¹ را در نظر گرفته بودند. همچنین کیم بی [11] در مقاله خود انتخاب پیمانکاران از بین گزینه‌های موجود را مطرح کرده‌است.

برون‌سپاری به عنوان یکی از ابزارهای توسعه سازمان‌ها و ارتقای بهره‌وری در قالب کوچک‌سازی، در سال‌های اخیر مورد توجه مدیران و مسئولان سازمان‌ها قرار گرفته و به صورت‌های مختلف به اجرا درآمده است؛ اما تاکنون موضوع برون‌سپاری غالباً به صورت کلی ارائه شده و مورد ارزیابی قرار گرفته و الگوی مشخصی برای برون‌سپاری ارائه نگردیده است. برون‌سپاری به عنوان یک ابزار اجرایی ساده و اقتصادی روز به روز کاربردهای بیشتری پیدا کرده است. [12]

دولت آبادی و همکاران در پژوهش خود، به مدلسازی مسأله زمان بندی پروژه چندحالتی براساس سیستم سفارش دهی منابع پرداخته اند. ساختار مسأله آن ها به صورت شبکه های پیش نیازی² است و از روابط پیش نیازی تعمیم یافته و منابع متغیر با زمان استفاده کرده اند. اهداف مسأله شامل کمینه کردن زمان اتمام فعالیت های اجرایی، کمینه کردن مجموع هزینه های سفارش دهی و خالص سازی هزینه ناشی از سیاست های تشویقی و جریمه ای زمان اتمام پروژه هستند[13].

چان و همکاران در مقاله خود یک مدل برنامه ریزی فرآیند یکپارچه و زمان بندی مطرح کرده اند که ویژگی های برجسته برون سپاری و اصول لیگال³ برای رقابت با سناریوهای موجود در بازار را به ارث برده است. آن ها در این مقاله مساله زمان بندی را مورد توجه خود قرار داده اند و به طور کلی هدف آن ها حداقل کردن زمان⁴ بوده است. این مقاله ارتباط هر دو استراتژی را در بهبود عملکرد صنایع، از لحاظ زمان کاهش آن ها نشان می دهد. همچنین آن ها در مقاله خود برای حل مدل یک الگوریتم جدید ارائه

1 maintenance

2 Precedence Network (PN)

به وجود آمده است و در مباحث زنجیره تامین کاربرد (agile) و چابک (lean) این واژه از ترکیب دو واژه ناب (Leagile) 3

4 makespan



کرده‌اند که این الگوریتم از ویژگی‌های برجسته الگوریتم ژنتیک⁵، شبیه سازی تبرید⁶ و کنترلر منطق فازی⁷ بهره برده شده است. [14]

ادامه این تحقیق به این صورت ساماندهی شده است: در بخش سوم مدل ریاضی مساله ارائه می‌شود و در بخش چهارم یک مساله با ابعاد کوچک با استفاده از مدل ریاضی ارائه شده حل شده و نتایج استخراج می‌شود. در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری از تحقیق حاضر و زمینه تحقیقات آتی ارائه خواهند شد.

3- بیان مساله

در این تحقیق به ارائه مدل زمان بندی پروژه با در نظر گرفتن قابلیت انقطاع فعالیت‌ها و نیروی کار چند مهارته بعنوان منابع تجدید پذیر و امکان برون سپاری فعالیت‌ها پرداخته شده است. همچنین یکی دیگر از مفروضات مدل زمان متفاوت حضور فعالیت‌ها برای انجام است. در مدل ارائه شده در تحقیق حاضر، پروژه دارای n فعالیت است که فعالیت‌ها در زمان‌های متفاوت آماده انجام هستند (حضور دارند) که این پارامتر با $ready_i$ نشان داده شده است. هر فعالیت برای پردازش نیازمند صرف زمان از پیش تعیین شده p_i میباشد و همچنین هر فعالیت برای تکمیل نیازمند تعداد معینی از نیروی کار یا مهارت‌های مورد نیاز میباشد. همچنین برخی فعالیت‌ها ممکن است به سازمان دیگری سپرده شود. در مورد نیروی کار ماهر، سه سطح مهارت در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از: ارشد⁸، استاندارد⁹ و کارگر¹⁰ (سطح پایین). هر فرد دارای یک مهارت می‌باشد. لازم به ذکر است که هر فرد توانایی انجام مهارت‌پایین تر از خود را داراست بعنوان مثال فرد با مهارت ارشد دارای مهارت استاندارد و کارگر نیز هست در پروژه، هر فعالیت برای تکمیل به برخی از مهارت‌ها (یک مهارت یا بیشتر) به میزان خاصی نیاز دارد که این مقدار بصورت قطعی در نظر گرفته می‌شود. فعالیت‌ها برای انجام، دارای اولویت هستند که در صورتی که یک فعالیت در حالت پردازش توسط یک نیروی کار با یک مهارت خاص مانند مهارت s است، اگر فعالیتی دیگر که دارای اولویت بالاتر باشد و در آن زمان در کارگاه حضور یابد (آماده پردازش باشد) و نیازمند نیروی کار با مهارت s باشد، از طرفی نیروی کار دیگری که دارای مهارت s باشد، بیکار نباشد، پردازش فعالیت با اولویت کمتر متوقف و نیروی کار به فعالیت با اولویت بالاتر اختصاص داده میشود.

3.1- اندیس‌ها و پارامترهای مساله

- i : اندیس فعالیت‌های پروژه.
- n : تعداد فعالیت‌ها.
- s و s' : اندیس مهارت ($s, s' = 1, 2, 3$) (ارشد، استاندارد، کارگر)
- K : اندیس تعداد نیروی کار.
- M : تعداد مدهای اجرایی در دسترس (m اندیس مد).
- S : مجموعه مهارت‌های موجود و مورد نیاز فعالیت‌های پروژه ($S = (1, 2, 3)$)
- K : تعداد کارکنان (نیروی کار) ($K = (1, 2, \dots, K)$)

5 genetic algorithm
6 Simulated Annealing algorithm
7 Fuzzy logic controler
8senior
9standard
10junior

p_{is} : زمان پردازش فعالیت i ام در مهارت s (فعالیت برونسپاری نشود).
 p'_{is} : زمان پردازش فعالیت i ام در مد اجرایی m (فعالیت برونسپاری شود).
 $cost_{is}$: هزینه پردازش فعالیت i ام در مد اجرایی m .
 $ready_i$: زمان حضور فعالیت i ام برای انجام.
 J_{sij} : این پارامتر نشان دهنده اولویت فعالیت‌ها نسبت به یکدیگر است که در صورتی که فعالیت i به فعالیت j اولویت داشته باشد، مقدار آن 1 است و در غیر اینصورت مقدار آن صفر است.
 w_i : جریمه دیرکرد فعالیت i ام.
 b_{is} : تعداد نیروی کار مورد نیاز برای مهارت s ام برای تکمیل فعالیت i ام (فعالیت برونسپاری نشود).
 RSL_k : سطح مهارت واقعی نیروی کار k ام.
 D_i : موعد اتمام فعالیت i ام.
 pen : جریمه در نظر گرفته شده برای تخصیص کارکنان به مهارت‌های پایین تر از مهارت واقعی خود.

3. 2- متغیرهای مساله

RK_{kj} : سطح مهارت تخصیص یافته نیروی کار k ام به فعالیت i ام.
 x_{ik}^s : زمان شروع فعالیت i ام توسط نیروی کار k ام در مهارت s ام.
 x'_{is} : زمان شروع فعالیت برونسپاری شده در مد اجرایی m .
 u_i^m : اگر فعالیت i در مد اجرایی m برونسپاری شود برابر با 1 است و در غیر اینصورت برابر با 0 است.
 y_{ik}^s : اگر نیروی کار k ام در سطح مهارت s به فعالیت i ام تخصیص داده شود، مقدار این متغیر برابر با 1 است و در غیر اینصورت برابر با 0 است (لازم به ذکر است که تخصیص ممکن است از طریق انتقال از فعالیت دیگر صورت گرفته باشد یا اینکه از ابتدا به فعالیت تخصیص داده شده باشد).
 C_i : زمان تکمیل فعالیت i ام.
 T_i : دیرکرد فعالیت i ام.
 m_i : حداکثر زمان تکمیل فعالیت i ام.
 n_i : حداکثر زمان اتمام فعالیت i ام در صورتی که برونسپاری شود.

3. 3- مدل ریاضی

$$\begin{aligned} \min z1 &= \sum_{i=1,2,\dots,n} \sum_m cost_{is} u_i^m (1) \\ \min z2 &= \sum_{i=1,2,\dots,n} w_i T_i (2) \\ \min z3 &= \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^3 \sum_{k=1}^K pen (RSL_k - RK_{ik}) y_{ik}^s (3) \\ \min z4 &= \sum_i C_i - D_i (4) \\ \min z5 &= c_i (5) \\ c_i &= m_i \left(1 - \sum_m u_i^m \right) + n_i u_i^m \forall i (6) \\ m_i &\geq (x_{i,k}^s + p_{is}) \forall k, s, i (7) \\ n_i &\geq (x'_{is} + p'_{is}) \forall m, i (8) \end{aligned}$$

$$x_{i,k}^s \geq \text{ready}_i \quad (9)$$

$$x_{i,j}^s \geq \text{ready}_i \quad (10)$$

$$c_i \leq (x_{i,j}^s, k^s) \left(1 - \sum_m u_j^m \right) + \sum_m x_{j,m}^s u_j^m JS_{ij} \forall i, j \quad (11)$$

$$x_{j,k}^s \geq (y_{ik}^s) (y_{jk}^s) (x_{ik}^s + p_{ik}^s) \left(1 - \sum_m u_i^m \right) \forall i, k, s, s', m, j \quad (12)$$

$$\sum_{m=1}^M u_i^m \leq 1 \forall i \quad (13)$$

$$x_{ik}^s, x_{i,j}^s, m_i, n_i \geq 0 \forall i, k, s \quad (14)$$

$$T_i \geq 0 \Delta t_i \geq 0 \forall i \quad (15)$$

$$y_{ik}^s, z_{ijk}^s, u_i^m = [0, 1] \forall i, k, s \quad (16)$$

$$T_i = C_i - D_i \forall i \quad (17)$$

$$RSL_k \geq RK_{ki} \forall i, k \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^K (Rk_{ki} \cdot y_{ik}^s) \geq b_{is} \forall i, s \quad (19)$$

$$x_{ik}^s \leq M y_{ik}^s \forall i, k, s \quad (20)$$

$$\sum_{s=1}^3 (y_{ik}^s) \leq 1 \forall k \quad (21)$$

رابطه (1) هزینه برون سپاری فعالیت‌ها را کمینه سازی می‌کند. رابطه (2) کمینه سازی مجموع جریمه دیرکرد، رابطه (3) کمینه سازی مجموع جریمه‌های تخصیص کارکنان به سطوح مهارتی پایین تر از خود، رابطه (4) حداقل سازی مجموع تاخیرات تمامی فعالیت‌ها، رابطه (5) حداقل سازی زمان پایان پروژه را نشان می‌دهند. رابطه‌های (6)، (7) و (8) زمان تکمیل فعالیت‌ها را محاسبه می‌کند. رابطه (9) و (10) تضمین می‌کند که زمان شروع پردازش یک فعالیت بزرگتر از زمان حضور فعالیت باشد. رابطه (11) تضمین می‌کند که ابتدا فعالیت‌های با اولویت بالاتر تکمیل گردند. رابطه (12) تضمین می‌کند که برای فعالیت‌های برون سپاری نشده، یک نیروی کار مانند نیروی کار k ام بطور همزمان نمی‌تواند به دو فعالیت تخصیص داده شود. رابطه (13) تضمین می‌کند که هر فعالیت تنها در یک مد اجرا گردد. روابط (14)، (15) و (16) برای نشان دادن محدوده متغیرهای تصمیم نوشته شده اند. رابطه (17) برای محاسبه میزان دیرکرد فعالیت i ام بکار می‌رود. رابطه (18) نشان می‌دهد که سطح مهارت تخصیص یافته نیروی کار k ام به فعالیت i ام کوچکتر مساوی سطح واقعی مهارت نیروی کار k ام است. رابطه (19) تضمین می‌کند که همه فعالیت‌ها، نیروی کار لازم برای انجام مهارت‌های مورد نیازشان برای تکمیل را دریافت کرده اند. رابطه (20) نشان می‌دهد در صورت تخصیص نیروی کار k ام به فعالیت i ام برای انجام مهارت s ، این فعالیت با این تخصیص می‌تواند شروع شود. رابطه (21) تضمین می‌کند که هر کارگر تنها می‌تواند با مهارت s به فعالیت i تخصیص یابد و یک نفر در هر فعالیت نمی‌تواند چند مهارت را به کار گیرد یا همزمان به چند فعالیت تخصیص یابد.

4- نتایج حل مدل ریاضی

در این بخش مدل ریاضی چند هدفه ارائه شده برای داده‌های تصادفی به صورت دقیق حل می‌شود تا نشان دهیم که مدل ریاضی چند هدفه ارائه شده در بخش قبل، دارای فضای حل و جواب بهینه می‌باشد. روش حل به کار گرفته شده برای حل مدل ریاضی چند هدفه LP متریک می‌باشد که با استفاده از نرم افزار 25.1GAMS حل می‌شود.

به دلیل اینکه نرم افزار 25.1GAMS قابلیت حل مستقیم مدل‌های چند هدفه را ندارد، از این رو مدل را با استفاده از روش LP متریک حل می‌نماییم. روش حل LP متریک به

این صورت می باشد که مدل ریاضی چند هدفه، به چندین مدل ریاضی تک هدفه تقسیم شده و هر یک از مدل های ریاضی تک هدفه به صورت مستقیم حل می شود. سپس تابع هدف کلی رابطه (22) را مینیم سازی می کنیم.

$$MIN f_T = v_1 \left(\frac{f_1 - f_1^i}{f_1^i} \right)^h + v_2 \left(\frac{f_2 - f_2^i}{f_2^i} \right)^h + v_3 \left(\frac{f_3 - f_3^i}{f_3^i} \right)^h + v_4 \left(\frac{f_4 - f_4^i}{f_4^i} \right)^h + v_5 \left(\frac{f_5 - f_5^i}{f_5^i} \right)^h \quad (22)$$

که در معادله فوق مقادیر v_1 تا v_5 نشان دهنده ضرایب وزنی هر یک از توابع هدف می باشد و مجموع آن ها برابر با یک است. f_1^i تا f_5^i نشان دهنده مقدار توابع هدف 1 تا 5 به ازای حل شدن به عنوان مدل ریاضی تک هدفه می باشد و مقدار h عددی طبیعی است.

4.1- حل یک نمونه مساله

برای حل مدل ریاضی پیشنهادی، فرض می کنیم که یک پروژه با 8 فعالیت داریم. برای کل پروژه 10 نیروی کار در دسترس می باشند و برای هر نیروی کار 3 سطح مهارت و 5 مد اجرایی مفروض شده است. همچنین جریمه در نظر گرفته شده برای تخصیص کارکنان به مهارتی پایین تر از سطح مهارت واقعی آن ها، 100 می باشد. در ادامه داده های مربوط به ماتریس ضرایب معادلات آورده شده است. با توجه به گستردگی و زیاد بودن داده های مساله به ذکر دامنه آن ها اکتفا شده است.

عنوان داده	حد پایین	حد بالا	عنوان داده	حد پایین	حد بالا
p_{is}	20	100	w_i	56	94
$p'_{\mathfrak{z}}$	21	50	D_i	70	250
$cost_{\mathfrak{z}}$	78	196	b_{is}	0	1
$ready_i$	6	15			

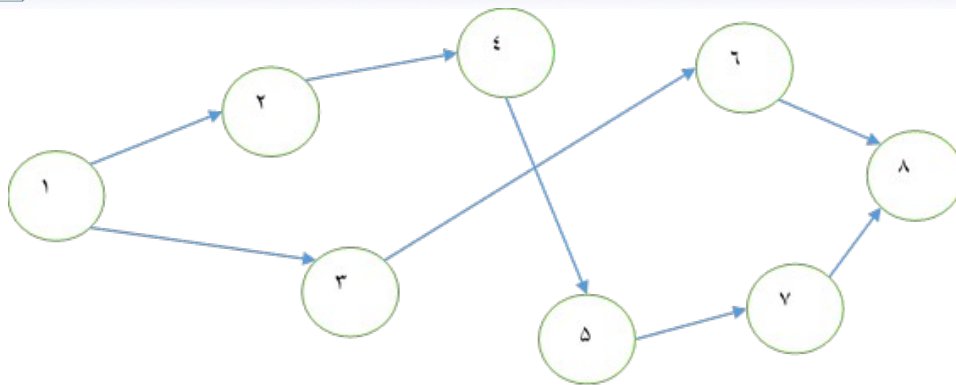
جدول 1: داده های مساله نمونه

سطح مهارت واقعی نیروی کار k ام (RSLk) در جدول زیر قابل مشاهده است.

K10	K9	K8	K7	K6	K5	K4	K3	K2	K1
2	3	1	2	3	2	3	3	2	3

جدول 2: سطح مهارت واقعی نیروی کار k ام

در شکل ذیل، نمودار شبکه ای فعالیت های پروژه و تقدم و تاخر هر یک از آن ها نسبت به هم نشان داده شده است.



شکل 1: نمودار شبکه‌ای فعالیت‌های پروژه

4.2- حل مساله به صورت تک هدفه

در این مرحله مدل ریاضی را با استفاده از هر تابع هدف به صورت تک هدفه و مجزا حل می‌کنیم، تا بهترین جواب ممکن این تابع هدف با توجه به محدودیت‌ها و شرایط حاضر مساله بدست آید.

	مقادیر بدست آمده برای اهداف /شرح تابع	هدف اول	هدف دوم	هدف سوم	هدف چهارم	هدف پنجم
Z1	حداقل سازی هزینه برون سپاری	0	92528	7640	1248	555
Z2	حداقل سازی هزینه دیرکرد	1112	-23578	9006	-351	203
Z3	حداقل سازی هزینه تخصیص به سطوح پایینتر	900	88518700	0	11958840	2985120
Z4	حداقل سازی مجموع تاخیرات	1125	-24693	8835	365-	205
Z5	حداقل سازی زمان اتمام پروژه	1042	20269-	8366	286-	203

جدول 3: مقادیر 5 تابع هدف مساله با جایگزینی جواب بدست آمده از حل مساله به صورت تک هدفه

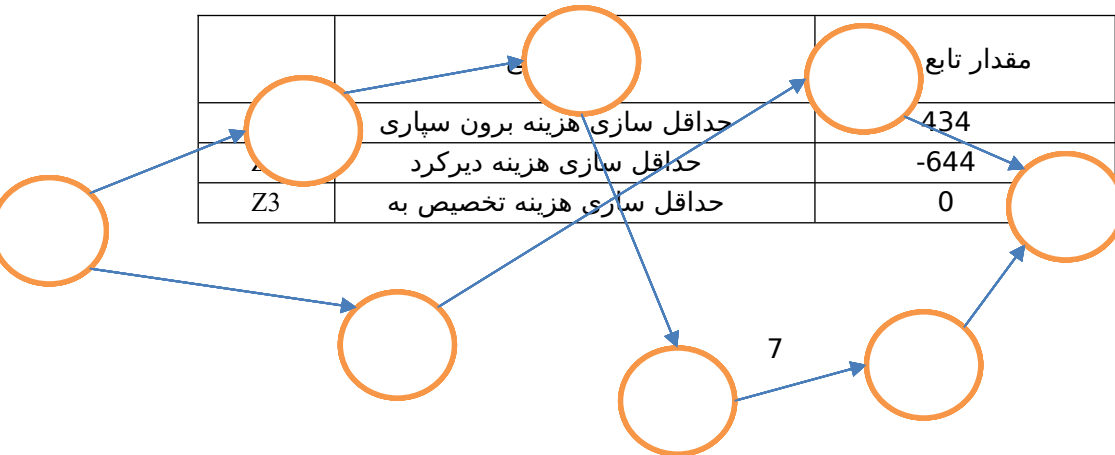
4.3- حل مساله به صورت چند هدفه

در این مرحله مدل ریاضی را با استفاده از تابع هدف کلی حاصل از روش LP متریک در حالت توان 1 حل می‌کنیم. با جایگذاری بهترین جواب هر یک از توابع هدف در رابطه (23)، تابع هدف کلی مساله بهینه‌سازی چند هدفه بدست می‌آید. در این مرحله تابع هدف (23) را با توجه به محدودیت‌های مساله بهینه‌سازی می‌کنیم.

$$\min f_T = v_1 \left(\frac{f_1 - 0}{0.01} \right)^1 + v_2 \left(\frac{f_2 + 24693}{24693} \right)^1 + v_3 \left(\frac{f_3 - 0}{0.01} \right)^1 + v_4 \left(\frac{f_4 + 365}{365} \right)^1 + v_5 \left(\frac{f_5 - 203}{203} \right)^1 \quad (23)$$

همانطور که در عبارت (23) قابل مشاهده است، در مخرج کسر عبارت 1 و 3 به دلیل صفر بودن مخرج کسر، از عدد کوچک 0.01 استفاده شده است تا از تقسیم بر صفر جلوگیری شود و مقادیر v_1 تا v_5 را برابر در نظر می‌گیریم. در جدول 4 مقادیر بهینه تمامی توابع هدف را در حالت حل مساله به صورت چند هدفه نشان می‌دهد.

	مقدار تابع	بهترین مقدار بدست آمده از حل تک هدفه
Z1	حداقل سازی هزینه برون سپاری	434
Z2	حداقل سازی هزینه دیرکرد	-644
Z3	حداقل سازی هزینه تخصیص به سطوح پایینتر	0





	سطوح پایینتر		
Z4	حداقل سازی مجموع تاخیرات	-3	-365
Z5	حداقل سازی زمان اتمام پروژه	343	203
	تابع چند هدفه LP متریک	42817	...

جدول 4؛ مقادیر پنج تابع هدف مساله به همراه تابع کلی حاصل از حل چند هدفه مساله در مقایسه با بهترین جواب حاصل از حل تک هدفه هر یک توابع

همانطور که در جدول 4 قابل مشاهده است، مقدار بهینه هزینه برون سپاری مقدار 343 واحد محاسبه شده است که نسبت به حالت تک هدفه آن بیشتر شده است. در رابطه با هزینه دیرکرد و تخصیص نیروی کار به سطح مهارتی پایین تر، تفاوت زیادی بین حل مساله در حالت تک هدفه و چند هدفه وجود ندارد. برای تابع هدف حداقل سازی مجموع تاخیرات، مقدار بدست آمده از طریق حل مساله چند هدفه نسبت به حالت تک هدفه مقدار بیشتری را محاسبه کرده است. همچنین مقدار تابع هدف زمان اتمام پروژه در حالت چند هدفه نسبت به حالت تک هدفه افزایش داشته است.

5- نتیجه و جمع بندی

یکی از عوامل مهم در کنترل و مدیریت پروژه، مساله زمان بندی آن می باشد. ما در این پژوهش با استفاده از تکنولوژی برون سپاری و با در نظر گرفتن عوامل دیگر از جمله قابلیت انقطاع فعالیت ها و چند سطح برای نیروی کار، پنج هدف تعریف کردیم و سعی نمودیم به مساله واقعی نزدیک تر شویم. همچنین به این خاطر که این مساله زمان بندی یک مساله NP-hard است، بنابراین در ابعاد بزرگ، قابل حل با مدل ریاضی نمی باشد. در انتهای این پژوهش آزمایشی طراحی و اجرا شد که نشان داد مساله در ابعاد کوچک نتایج قابل قبولی را بدست می آورد. توسعه روش های ابتکاری و فرا ابتکاری برای مساله زمان بندی و برون سپاری در این مدل ریاضی با در نظر گرفتن سایر محدودیت ها، از زمینه های کاری برای تحقیقات آینده می باشد.

6- مراجع

- [1] R. Atkinson, Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria, *International journal of project management*, Vol. 17, No. 6, pp. 337-342, 1999.
- [2] P. F. Drucker, They're not employees, they're people, *Harvard business review*, Vol. 80, No. 2, pp. 70-7, 128, 2002.
- [3] K. M. Gilley, C. R. Greer and A. A. Rasheed, Human resource outsourcing and organizational performance in manufacturing firms, *Journal of business research*, Vol. 57, No. 3, pp. 232-240, 2004.
- [4] J. Momme, Framework for outsourcing manufacturing: strategic and operational implications, *Computers in industry*, Vol. 49, No. 1, pp. 59-75, 2002.
- [5] L. Nicholson, A. J. Vakharia and S. S. Erenguc, Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application, *European Journal of Operational Research*, Vol. 154, No. 1, pp. 271-290, 2004.
- [6] R. Kaipia and K. Tanskanen, Vendor managed category management—an outsourcing solution in retailing, *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 9, No. 4, pp. 165-175, 2003.
- [7] G. P. Cachon and P. T. Harker, Competition and outsourcing with scale economies, *Management Science*, Vol. 48, No. 10, pp. 1314-1333, 2002.
- [8] L. Abdel-Malek, T. Kullpattaranirun and S. Nanthavanij, A framework for comparing outsourcing strategies in multi-layered supply chains, *International Journal of Production Economics*, Vol. 97, No. 3, pp. 318-328, 2005.
- [9] F. Wu*, H. Li, L. Chu and D. Sculli, An outsourcing decision model for sustaining long-term performance, *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 12, pp. 2513-2535, 2005.



- [10] H. Tarakci, K. Tang, H. Moskowitz and R. Plante, Incentive maintenance outsourcing contracts for channel coordination and improvement, *IIE transactions*, Vol. 38, No. 8, pp. 671-684, 2006.
- [11] B. Kim, Dynamic outsourcing to contract manufacturers with different capabilities of reducing the supply cost, *International Journal of Production Economics*, Vol. 86, No. 1, pp. 63-80, 2003.
- [12] M. Weidenbaum, Outsourcing: Pros and cons, *Business horizons*, Vol. 48, No. 4, pp. 311-315, 2005.

[13] جمالی دولت آبادی، محمدرضا؛ حامد داوری اردکانی و نادر احمدی، ۱۳۹۶، **مدلسازی و حل مساله زمان بندی پروژه چندحالتی بر مبنای سیستم سفارش دهی منابع با در نظر گرفتن سیاست های تشویقی و جریمه ای**، اولین کنفرانس بین المللی بهینه سازی سیستم ها و مدیریت کسب و کار، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی - انجمن ایرانی تحقیق در عملیات

- [14] F. T. Chan, V. Kumar and M. K. Tiwari, The relevance of outsourcing and league strategies in performance optimization of an integrated process planning and scheduling model, *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No. 1, pp. 119-142, 2009.