Archive of SID

دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال هفتم، شماره سی، خرداد و تیر ۱۴۰۰
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

پژوهش‌های نوین در ریاضی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

# HHC-PSS: حل مسئله خدمات مراقبتی- درمانی در منزل با رویکرد زمان‌بندی پروژه با منابع محدود

**حمیدرضا یوسف‌زاده** *

گروه ریاضی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۲

**چکیده**

در مسئله خدمات مراقبتی-درمانی در منزل (HHC)، تخصیص تیم‌های پزشکی به بیماران و زمان‌بندی اعضای آن‌ها به صورت دستی انجام می‌گیرد که چنین رویکردی یک فرآیند زمان‌بر بوده و گاهاً با تخصیص بهینه فاصله دارد. در این مقاله برآنیم تا با رویکردی ابتکاری جدید مبتنی بر زمان‌بندی پروژه با منابع محدود، به بررسی مسئله تخصیص زمان‌بندی جهت زمان‌بندی تیم‌های پزشکی به بیماران بپردازیم. از جمله مزیت‌های چنین رویکردی می‌توان به استفاده از قضایا، مسائل نمونه‌ای استاندارد و شیوه‌های (فرا) ابتکاری متنوع زمان‌بندی جهت بهبود کیفیت تخصیص و همچنین تعیین حداقلی تعداد نیروهای انسانی مورد نیاز برای پوشش دادن تمام خدمات پزشکی درخواست شده توسط بیماران اشاره کرد. در این رویکرد با تعریف یک قاعده اولویت پویا و استفاده از شیوه زمان‌بندی موازی در قالب یک الگوریتم پیشنهادی به حل مسئله HHC می‌پردازیم. از جمله معیارهای ارزیابی برای بررسی کیفیت جواب‌های شدنی حاصل از زمان‌بندی می‌توان به کمینه کردن مدت زمان سفر اعضای تیم‌های پزشکی، کاهش ساعات اضافه‌کاری، استفاده حداکثری از پتانسیل نیروهای انسانی و غیره اشاره کرد. مجموعه جواب‌های شدنی مسئله در محدودیت‌هایی مانند مدت زمان کاری قید شده در قرارداد، پنجره زمانی سخت هر خدمت، استراحت اجباری و تخصیص مطلوب تیم پزشکی به بیماران (متناسب با نوع خدمت خواسته شده توسط بیمار) صدق می‌کنند. نتایج عددی حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی مسائل کتابخانه‌ای کولیش، به منظور تجزیه و تحلیل رویکرد جدید ابتکاری آورده شده است که نشان از توانایی بالای این نوع رویکرد تبدیلی جدید در حل مسئله HHC دارد.

**واژه‌های کلیدی:** زمان‌بندی پروژه با منابع محدود، شیوه زمان‌بندی، قاعده اولویت، خدمات مراقبتی-درمانی در منزل.

*. عهده‌دار مکاتبات: Email: usefzadeh.math@pnu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID



**۱- معرفی و ادبیات موضوع**

در جوامع امروزی باتوجه به افزایش چشمگیر تقاضا برای خدمات مراقبتی-درمانی در منزل، تعداد تیم پزشکی (شامل پزشک، پرستار، بهیار و ...) موجود پاسخگوی این حجم از تقاضاهای بیماران نیستند. به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها شامل ویزیت بیماران و یا ارائه هرگونه خدمات مراقبتی - درمانی به بیماران در منزل، *مراقبت‌های بهداشتی در منزل* (HHC[2]) گفته می‌شود. طی بررسی‌های انجام شده در سال ۲۰۰۲ توسط اشنایدر[3] و همکاران، حدود ۸۰۰۰۰ نفر در استرالیا نیازمند خدمات مراقبتی- درمانی در منزل می‌باشند و همچنین با توجه به وجود بیش از ۱۰،۰۰۰ سازمان در ایالات متحده جهت ارائه خدمات مرتبط با پرستاری در منزل بیماران، مسئله تخصیص نیروهای انسانی به بیماران متقاضی را می‌توان به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی مطرح کرد (به [۳] و [۱۴] مراجعه شود). لذا باید شیوه‌ای اتخاذ شود تا کادر پزشکی بتواند کلیه خدمات مورد نیاز بیماران را با رعایت محدودیت‌های نرم و سخت تعریف شده پوشش دهند. برای رسیدن به این مهم، برنامه تخصیص تیم پزشکی و زمان‌بندی نحوه حضور تیم پزشکی در منزل بیمار و ارایه خدمت به بیماران باید به صورت یک مدل علمی ارائه گردد تا مراکز ارائه دهنده خدمات درمانی (مثلاً کلینیک‌ها) قادر به پاسخگویی به حجم بالای نیازها با هدف تامین رضایت حداکثری مشتریان و نیز پرسنل کاری خود شوند. در حال حاضر بسیاری از برنامه‌ریزی‌های مرتبط با زمان‌بندی و تخصیص تیم پزشکی به بیماران در ارائه خدمات پزشکی در منزل به صورت دستی صورت می‌پذیرد که این امر علاوه بر هزینه بالایی که از نظر زمان به خود اختصاص می‌دهد، از نظر کیفیت و کارایی نیز از نواقص زیادی برخوردار است. به عنوان مثال با روش دستی ممکن است از تمام پتانسیل هر پزشک یا پرستار برای ویزیت بیماران استفاده نشود و یا زمان زیادی از آن‌ها در سفرهای انجام شده بین ملاقات‌های بیماران مختلف تلف گردد. لذا با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و ارائه یک مدل علمی جهت تخصیص صحیح کارها می‌توان تا حد امکان نواقص موجود را به حداقل رساند. به عنوان مثال با کمینه کردن زمان سفر و زمان‌های هدر رفت تیم‌های پزشکی، تعداد بیماران بیشتری را تحت پوشش قرار داد که این امر نیز برای سرمایه‌گذار سود بیشتری را به همراه دارد و می‌تواند از تمام پتانسیل نیروی انسانی خود به نحو موثرتری استفاده نماید. کلینیک‌های ارائه دهنده خدمات مراقبتی- درمانی در منزل به عنوان ارائه دهنده اصلی خدمات پزشکی در منزل، تمایل دارند علاوه بر افزایش میزان کیفیت خدمات پزشکی ارائه شده به بیمار و جلب رضایت وی، میزان رضایت تیم پزشکی خود را نیز افزایش دهد. یکی از روش‌ها برای افزایش رضایت پرسنل و نیز پوشش خدمات بیشتر، کاهش زمان مسافرت پرسنل برای ملاقات‌های بیماران مختلف است که این امر علاوه بر کاهش هزینه‌ها و افزایش تعداد بیماران تحت مراقبت، سبب افزایش رضایت‌مندی پرسنل نیز می‌شود. نکته حایز اهمیت دیگر این است که استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی منجر به ایجاد یک بانک اطلاعاتی قوی برای ثبت اطلاعات هر بیمار و تیم پزشکی اعزامی خواهد شد که در هر لحظه به راحتی قابل دسترس و حتی انتقال است که این موضوع می‌تواند در عصر اطلاعاتی حاضر می‌تواند حایز اهمیت باشد. خدمات مراقبتی- درمانی می‌تواند طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها نظیر ویزیت بیمار توسط پزشک، تحویل دارو و تجهیزات پزشکی به بیمار، دریافت نمونه‌های آزمایشگاهی و ارائه خدمات تعمیرات و نگهداری

[2] Home Health Care (HHC)
[3] Schneider

www.SID.ir

Archive of SID



تجهیزات و دستگاه‌های پزشکی در منزل را در برگیرد. در حال حاضر، تحقیقات زیادی در زمینه بهینه‌سازی نحوه ارایه خدمات مراقبتی در منزل انجام نشده است. در ذیل به بررسی کارهای انجام شده در این زمینه به طور خلاصه می‌پردازیم:

با توجه به وجود فراوانی بالای سازمان‌ها در ایالات متحده جهت ارائه خدمات مرتبط با پرستاری در خانه‌های بیماران، مسئله تصمیم‌گیری در مورد نحوه تخصیص نیروهای انسانی به عنوان یک مسئله چالش برانگیز مطرح است. برنامه‌ریزی در خصوص اختصاص تیم پزشکی (پرستار یا پزشک) به بیماران، تعیین زمان و انتخاب مسیر پیموده شده توسط تیم پزشکی و درنظر گرفتن نیازهای پزشکان در تعداد ویزیت‌های هفتگی به عنوان یک پروژه بهینه‌سازی مشترک در مرکز بهره‌وری دانشگاه آلاباما و انجمن پرستاران در سال ۱۹۹۷ مطرح و با توسعه یک نرم افزار سیستم پشتیبانی از تصمیم‌گیری مکانی (SDSS[4]) راهکاری برای حل این مسئله ارائه دادند. این نرم افزار موجب صرفه جویی در زمان سفر اعضای انجمن (بیش از ۲۰،۰۰۰ دلار در سال) و بهبود توازن کاری در بین پرستاران شد [۳]. چنگ و ریچ[5] در سال ۱۹۹۸ با تلفیق روش دقیق برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط (MIP[6]) و یک شیوه ابتکاری به حل مسئله HHC پرداختند. آنها به حل نمونه‌هایی شامل ۱۰ بیمار و ۴ پرستار با دو تابع هدف کمینه‌سازی میزان اضافه‌کاری و مدت زمان کاری پاره‌وقت پرداختند و توانستند از میان ۴۰ مسئله حل شده برای ۱۷ مورد آن با روش تلفیقی پیشنهادی جواب بهینه دست آورند [۸]. جنبه‌های مختلفی که در مطالعه مسائل متنوع مربوط به بیمارستان‌ها مطرح است را نیز می‌توان برای مسئله HHC مورد استفاده قرار داد که مطالعه چنین دیدگاه‌هایی توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان نمونه می‌توان به مراجع [۱]، [۶]، [۷] و [۱۳] اشاره کرد که اکثراً از روش‌های برنامه‌ریزی مقید[7] در مدل‌سازی و حل آن استفاده کرده‌اند. در سال ۲۰۰۶، برترلز و فال[8]، هسته اصلی مؤلفه‌های بهینه‌سازی نرم افزار PARPAP را ارائه دادند. در هسته بهینه‌سازی، ترکیبی از برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی مقید و روش‌های (فرا) ابتکاری مانند شبیه‌سازی تبریدی و جستجوی ممنوع برای مسئله HHC استفاده شد. آن‌ها نشان دادند که چگونه می‌توان از این روش‌های ابتکاری مختلف به طور مؤثر برای حل مسائل HHC استفاده کرد [۴]. در سال ۲۰۱۱ در مقاله [۱۷] یک مدل خطی ریاضی و یک رویکرد فراابتکاری مبتنی بر جستجوی همسایگی متغیر (VNS[9]) برای حل مسئله بهینه‌سازی زمان‌بندی روزانه پرستاران ارائه شد. تابع هدف این مسئله شامل کمینه‌سازی زمان مسافرت پرستاران و میزان نارضایتی بیماران و پرستاران همراه با رعایت محدودیت‌هایی مانند مقررات مربوط به زمان کار، پنجره‌های سخت کار، استراحت اجباری و تخصیص شدنی پرستاران به بیماران بود. بنابر نتایج عددی ارائه شده، روش پیشنهادی آن‌ها قادر به تعیین جواب‌های بهینه سراسری برای نمونه مسائل کوچک بود. همچنین این روش برای مسائلی با حداکثر ۵۱۲ خدمت پزشکی و ۷۵ پرستار مورد آزمون مورد بررسی قرار گرفت و نتایجی اشاره شد. در سال ۲۰۱۷ جانگ دو[10] و همکاران با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح به بررسی مسئله بهینه‌سازی HHC بر روی یک مطالعه موردی در شانگهای چین، با هدف کمینه‌سازی هزینه کل که هم اولویت‌های بیماران و هم محدودیت‌های پنجره

[4] Spatial Decision Support System (SDSS)
[5] Cheng and Rich
[6] Mixed integer programming
[7] Constrained programming
[8] Bertels and Fahle
[9] Variable Neighborhood Search (VNS)
[10] Gang Du

www.SID.ir

Archive of SID



زمانی را در نظر می‌گیرد، پرداختند. آن‌ها برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیکی با جستجوی محلی استفاده کردند [۹].

ما در این مقاله رویکرد تبدیلی جدیدی مبتنی بر زمان‌بندی پروژه با منابع محدود را برای حل مسئله زمان‌بندی و تخصیص تیم‌های پزشکی به بیماران ارائه می‌دهیم. با چنین رویکردی، امکان استفاده از قضایا و شیوه‌های (فرا) ابتکاری متنوع موجود فراهم می‌شود و همچنین می‌توان از مسائل متنوع استاندارد کتابخانه‌ای[11] موجود برای نشان دادن اعتبار مدل و روش‌های به کار رفته قبل از پیاده‌سازی بر روی مسائل واقعی استفاده نمود. در این رویکرد تبدیلی جدید، با تعریف یک قاعده اولویت پویا و استفاده از شیوه زمان‌بندی موازی[12] به حل مسئله تخصیص تیم‌های پزشکی به بیماران در منزل می‌پردازیم. یکی از مواردی که برای اولین بار در این مقاله مورد مطالعه قرار می‌گیرد، بررسی تعداد نیروهای انسانی مورد نیاز برای پوشش دادن خدمات پزشکی درخواست شده توسط بیماران است. معیارهای ارزیابی متفاوتی برای بررسی کیفیت جواب‌های حاصل از زمان‌بندی می‌توان در نظر گرفت که از آن جمله می‌توان به کمینه کردن مدت زمان سفر اعضای تیم‌های پزشکی، کاهش ساعات اضافه‌کاری، استفاده حداکثری از پتانسیل نیروهای انسانی اشاره کرد.

مقاله حاضر به صورت زیر ساماندهی شده است. در بخش۲ به صورت خلاصه به بیان مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود و مفاهیم مقدماتی مربوط به این نوع مسائل می‌پردازیم. قاعده اولویت و شیوه زمان‌بندی مورد استفاده در حل مسئله زمان‌بندی پروژه در بخش ۳ بیان شده است. در بخش ۴ زمینه لازم برای تبدیل یک مسئله HHC به یک مسئله RCPSP با بازتعریف کردن مفاهیم اصلی مسئله اصلی در قالب یک مسئله RCPSP فراهم می‌شوند. الگوریتم ابتکاری پیشنهادی HHC-PSS برای حل مسئله تبدیلی HHC در بخش ۵ ارائه می‌شود. در بخش ۶ عملکرد الگوریتم پیشنهادی با تولید مسائل نمونه‌ای جدید بر مبنای مسائل کتابخانه‌ای کولیش و آزمون کردن الگوریتم پیشنهادی بر روی این دسته مسائل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۷ نیز به بیان نتیجه‌گیری نهایی پرداخته می‌شود.

## ۲- مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود

یک مسئله استاندارد زمان‌بندی پروژه با منابع محدود (RCPSP[13]) را در حالت کلی می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت: هر پروژه دارای $N = |J|$ فعالیت است که در آن $J$ مجموعه فعالیت‌های پروژه است و شکست فعالیت‌ها مجاز نمی‌باشد، یعنی هر فعالیت نمی‌تواند در حین اجرا متوقف شود. هر فعالیت مانند $j \in J$ دارای زمان پردازش ثابت و معین $d_j$ می‌باشد. برای زمان‌بندی هر فعالیت مانند $j$ (یعنی اختصاص زمان شروع $ST_j$ و زمان پایان $FT_j$ به فعالیت $j$)، رعایت محدودیت پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها ضروری است. به عبارت دیگر، قبل از زمان‌بندی هر فعالیت، باید تمام فعالیت‌های پیش‌نیازی آن فعالیت به اتمام رسیده باشد. قابل ذکر است که محدودیت پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها را می‌توان با معرفی زمان شناوری کمینه $\lambda_{ij} \geq 0$ بین زمان شروع فعالیت‌های $i$ و $j$، بیان نمود. با تعریف زمان شناوری کمینه $\lambda_{ij} \geq 0$، حالات مختلف زیر را برای یک مسئله RCPSP در نظر گرفت:

الف- اگر $\lambda_{ij} = d_i$ آنگاه رابطه منطقی پایان به شروع (F-S)[14] بین فعالیت‌های $i$ و $j$ ($i, j \in J$) برقرار خواهد بود. یعنی فعالیت $j$ بعد از پایان فعالیت $i$ می‌تواند شروع شود.

[11] Benchmark problems
[12] Parallel Scheduling Scheme (PSS)
[13] Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)
[14] Finish to Start (FS)

www.SID.ir

Archive of SID



ب- اگر $0 \le \lambda_{ij} < d_i$ آنگاه هم‌پوشانی بین فعالیت‌ها امکان‌پذیر خواهد بود، به عبارت دیگر، فعالیت $j$ می‌تواند قبل از اتمام فعالیت پیش‌نیازش مثلاً فعالیت $i$ شروع شود.

ج- اگر $\lambda_{ij} > d_i$ آنگاه فعالیت $j$ می‌بایست بمدت حداقل $\lambda_{ij} - d_i$ واحد زمانی بعد از اتمام فعالیت $i$ شروع شود.

در این مقاله رابطه منطقی F-S ($\lambda_{ij} = d_i$) برای تبدیل مسئله HHC به یک مسئله RCPSP در نظر گرفته می‌شود.

فرایند زمان‌بندی و اجرای فعالیت‌های پروژه، علاوه بر محدودیت پیش‌نیازی، مستلزم رعایت محدودیت منابع نیز می‌باشد. منظور از محدودیت منابع این است که مجموع منابع مورد نیاز فعالیت‌های در حال اجرا در هر مقطع زمانی از عمر پروژه، نباید از کل ظرفیت منابع موجود تجاوز کند. هر فعالیت $i$ در طول بازه زمانی که در حال اجراست، نیازمند $u_{ik}$ واحد از منبع تجدیدپذیر $k$–ام است ($k \in R = \{1, \dots, K = |R|\}$). ظرفیت کل هر منبع در هر مقطع زمانی از چرخه عمر پروژه یعنی $t = 1,...,T$ ثابت است. ظرفیت منبع $k$–ام را با نماد $R_k$ نشان می‌دهیم. هنگامی که یک فعالیت برای زمان‌بندی انتخاب می‌شود (با رعایت محدودیت پیش‌نیازی) در صورتی که منبع (و یا منابع) کافی برای زمان‌بندی آن فعالیت موجود نباشد، زمان‌بندی آن فعالیت مادامی که منابع کافی در دسترس نباشد، به تعویق خواهد افتاد. رایج‌ترین نوع تابع هدف در زمان‌بندی فعالیت‌های یک مسئله RCPSP، کمینه‌سازی زمان اتمام کل پروژه است به گونه‌ای که به طور هم‌زمان دو محدودیت پیش‌نیازی و محدودیت منابع رعایت شوند. دو فعالیت ۱ و $N$ را فعالیت‌های مجازی یک شبکه (پروژه) می‌نامیم و داریم:

$$d_1 = d_N = u_{1k} = u_{Nk} = 0 \quad ; \quad \forall k = 1,...,K$$

### ۲-۱ نمایش شبکه

در حالت کلی دو نوع ساختار متفاوت برای نمایش فعالیت‌ها در شبکه وجود دارد. در مسئله RCPSP و بسیاری دیگر از شکل‌های تعمیم یافته آن، معمولاً از نمایش «فعالیت روی گره[15]» که به اختصار با AON نمایش داده می‌شود، استفاده می‌شود. در این نوع از شبکه هر گره آن هر متناظر با یک فعالیت است. در حالی‌که روابط پیش‌نیازی بوسیله یال‌های بین گره‌ها بیان می‌شود. در ادبیات موضوع، نمایش دیگری نیز وجود دارد که می‌توان از آن به «فعالیت روی یال[16]» ،که به اختصار با AOA نمایش داده می‌شود، اشاره کرد. در این نمایش، هر فعالیت متناظر با یک یال در شبکه است، در حالی‌که گره‌ها بیان کننده رخداد[17] می‌باشند. برای نمونه در کارهای تحقیقاتی مختلف مانند [۲]، [۵]، [۱۰]، [۱۵] و نیز [۱۶] از نمایش AOA استفاده شده است. قابل ذکر است که برای مطالعه در مورد وجه تشابه و نیز وجه تمایزهای موجود بین هر دو ساختار نمایش شبکه می‌توان به [۱۱] مراجعه کرد. شایان ذکر است که در این مقاله از ساختار AON برای بیان مسئله استفاده می‌شود.

### ۲-۲ انواع محدودیت منابع

در یک مسئله RCPSP، سه نوع منبع متفاوت تعریف می‌شود: منابع محدود تجدیدشدنی، تجدید نشدنی و دوگانه[18]. در مسائل زمان‌بندی پروژه، ظرفیت و موجودی منابع تجدیدشدنی در هر دوره

[15] Activity On Node (AON)
[16] Activity On Arc (AOA)
[17] Event
[18] Renewable, non-renewable and doubly constrained resources

www.SID.ir

Archive of SID



زمانی به صورت کامل و مستقل از میزان استفاده در دوره‌های قبلی، ولی با ظرفیت محدود در دسترس است. از منابع تجدیدشدنی می‌توان به نیروی انسانی و ماشین‌ها اشاره کرد که ظرفیت آن‌ها در هر دوره زمانی محدود است. در مقابل، کل ظرفیت و موجودی منابع تجدیدنشدنی در کل بازه زمانی انجام پروژه لحاظ می‌شود. به عنوان مثال بودجه پروژه را می‌توان نوعی از این نوع منبع در نظر گرفت. منابع محدود دوگانه، هم در هر واحد زمانی و هم در کل پروژه دارای محدودیت می‌باشند. به عنوان مثال اگر در مسئله‌ای هم بحث بودجه در کل پروژه (منابع تجدیدنشدنی) و هم جریان نقدینگی در هر واحد زمانی از چرخه عمر پروژه (منابع تجدیدشدنی) مطرح باشد، آنگاه می‌توان پول را به عنوان یک منبع دوگانه معرفی کرد.

مدل مفهومی مسئله RCPSP را می‌توان به صورت مدل خطی زیر بیان نمود:

$$Min \quad FT_N$$

$$st:$$

$$\begin{cases} FT_1 \geq 0 \\ FT_j - FT_i \geq d_j - d_i + \lambda_{ij} & j \in J,\ i \in P_j \\ \sum_{j \in A_t} u_{jk} \leq R_k & t = 1,2,..,FT_N;\ k = 1,\ldots,K \end{cases}$$

که در آن $FT_i$ زمان پایان فعالیت $i$ $(i = 1,..,N)$، مجموعه $A_t = \{i \mid FT_i - d_i \leq t < FT_i\}$ مجموعه فعالیت‌های در حال اجرا (فعال) در لحظه $(t-1, t]$ و $P_j$ مجموعه فعالیت‌های پیش‌نیاز فعالیت $j$ می‌باشد. در این مدل، کمینه کردن زمان اتمام پروژه به عنوان تابع هدف مساله در نظر گرفته شده است. همچنین محدودیت اول بیانگر این مطلب است که تمام زمان های پایان هر فعالیت باید نامنفی باشند. محدودیت دوم بیانگر رابطه منطقی F-S با در نظر گرفتن زمان شناوری $\lambda_{ij} \geq 0$ است.

رعایت محدودیت منابع تجدیدپذیر در محدودیت سوم اشاره شده است.

در بخش بعدی، ضروری است قبل از بیان رویکرد جدید تبدیلی، نحوه حل (زمان‌بندی) مسائل RCPSP پرداخته شود.

## ۳- شیوه زمان‌بندی پروژه با منابع محدود

### ۳-۱ قاعده اولویت

قاعده اولویت، قاعده و روشی است که برای هر فعالیت مانند $j$، مقدار اولویتی مانند $v(j)$، اختصاص می‌دهد. از این مقادیر در نحوه و یا ترتیب انتخاب فعالیت‌های واجد شرایط برای زمان‌بندی، استفاده می‌شود.

قابل ذکر است که یکی از پارامترهای کلیدی در نحوه زمان‌بندی یک فعالیت، نوع قاعده اولویت بکار رفته در فرایند زمان‌بندی است. از بین فعالیت‌های واجد شرایط، بسته به نوع قاعده اولویت، فعالیتی با بالاترین اولویت اختصاص داده شده به آن، برای زمان‌بندی در مقطع تصمیم‌گیری انتخاب می‌شود.

### ۳-۲ شیوه زمان‌بندی موازی (PSS)

امروزه دو الگوریتم در زمینه رویکرد موازی وجود دارد: الگوریتم *کلی* که در سال ۱۹۶۳ مطرح شد و الگوریتم *بروکس*[19] که توسط *بدورث و بیلی*[20] در سال ۱۹۸۲ ارائه گردید که آن را به اختصار با BAG نیز نمایش می‌دهند [۱۲]. در این بخش الگوریتم مربوط به *بروکس* که در این مقاله نیز از آن استفاده شده است، شرح داده می‌شود:

روش موازی حداکثر از $|J|$ گام تشکیل شده است که در هرگام یک مجموعه از فعالیت‌ها (این مجموعه ممکن است تهی نیز باشد) به منظور زمان‌بندی انتخاب می‌شود. یک ویژگی خاص این روش این است که هر مرحله n ($n \leq |J|$) متناظر با

[19] Brooks algorithm
[20] Bedworth and Bailey

www.SID.ir

Archive of SID



یک زمان $DT_n$ جهت زمان‌بندی (زمان تصمیم‌گیری یا مقطع تصمیم‌گیری[۲۱]) است که اگر m<n باشد آنگاه $DT_m \leq DT_n$ خواهد بود. با توجه به زمان تصمیم‌گیری، در مرحله $n$ مجموعه فعالیت‌های زمان‌بندی شده به دو زیرمجموعه تقسیم می‌شوند:

الف- فعالیت‌هایی که زمان‌بندی شده و در زمان تصمیم‌گیری به پایان رسیده باشند، در مجموعه تکمیل شده[۲۲] یا $C_n$ قرار می‌گیرند.

ب- فعالیت‌هایی که زمان‌بندی شده باشند ولی هنوز اجرای آن‌ها به پایان نرسیده باشد، در مجموعه فعال[۲۳] یا $A_n$ جای می‌گیرند.

براساس این دو زیرمجموعه، مجموعه تصمیم $D_n$ نیز در نظر گرفته می‌شود. این مجموعه شامل تمامی فعالیت‌های زمان‌بندی نشده‌ای است که با توجه به هر دو محدودیت پیش‌نیازی و منابع، شرایط لازم برای زمان‌بندی را در مقطع تصمیم گیری جاری دارا می‌باشند. در هر مرحله، زمان‌بندی جزئی حاوی فعالیت‌های دو مجموعه تکمیل شده و فعال می‌باشد. زمان تصمیم‌گیری در هر مرحله برابر با زودترین زمان تکمیل حداقل یکی از فعالیت‌های مجموعه فعال در مرحله قبل است (زودترین زمانی که حداقل یک واحد از منابع درگیر آزاد می‌شوند). هر زمانی که مجموعه تصمیم $D_n$ تهی شود، مرحله جدیدی از زمان‌بندی شکل می‌گیرد. هر مرحله زمان‌بندی از دو گام اصلی زیر تشکیل شده است:

گام ۱- ابتدا زمان تصمیم‌گیری جدید تعیین شده و سپس فعالیت‌هایی که زمان پایان آن‌ها برابر با زمان تصمیم‌گیری جدید است از مجموعه $A_n$ حذف و به مجموعه $C_n$ اضافه می‌شوند. با این کار تعدادی از فعالیت‌های زمان‌بندی نشده به مجموعه $D_n$ اضافه می‌شوند.

گام ۲- با استفاده از قاعده اولویت از پیش تعیین شده، یک فعالیت از مجموعه $D_n$ انتخاب (که در صورت یکسان بودن مقادیر اولویت، از قاعده دیگری مثلاً انتخاب فعالیتی با اندیس کوچک‌تر، می‌توان استفاده کرد) و در صورت وجود منابع کافی در این مقطع زمانی، آن فعالیت زمان‌بندی می‌شود. سپس این فعالیت از مجموعه تصمیم $D_n$ حذف و در مجموعه $A_n$ قرار می‌گیرد. گام دوم تا زمانی تکرار می‌شود که مجموعه تصمیم $D_n$ تهی شود، یعنی یا همه فعالیت‌ها زمان‌بندی شوند و یا بخاطر محدودیت منابع فعالیت دیگری قادر به اجرا نباشد.

شرط توقف- شیوه زمان‌بندی موازی زمانی خاتمه می‌یابد که تمامی فعالیت‌ها یا در مجموعه $A_n$ یا در مجموعه $C_n$ جای بگیرند.

نحوه زمان‌بندی فعالیت‌ها در شیوه‌هایی مانند شیوه $PSS$ که از فعالیت آغازین شروع و با زمان‌بندی فعالیت پایانی خاتمه می‌یابد به زمان‌بندی پیشرو معروف است.

## ۴- تبدیل مسئله HHC به یک مسئله RCPSP

در این بخش رویکرد تبدیل یک مسئله HHC به یک مسئله RCPSP بیان می‌شود. با چنین رویکرد جدیدی، زمینه لازم برای استفاده موثرتر از قضایا و شیوه‌های متنوع زمان‌بندی که در حل یک مسئله RCPSP از عملکرد بسیار خوبی برخوردارند، ایجاد می‌شود. همچنین با توجه به وجود مولدهای مختلف برای تولید مسائل کتابخانه‌های استاندارد RCPSP، امکان توسعه و بهبود شیوه‌های مختلف حل مسئله HHC بیش از پیش فراهم می‌آید. بنابراین ضروری است ابتدا مفاهیم اصلی مسئله HHC در قالب یک مسئله RCPSP به دقت بازتعریف شوند که در ذیل به بیان آن‌ها خواهیم پرداخت:

[21] Decision Time
[22] Complete Set
[23] Active set

www.SID.ir

Archive of SID



در دنیای واقعی، انواع مختلفی از قراردادهای شغلی نسبت به مکان شروع کار پرسنل در یک مسئله HHC وجود دارد (به عنوان مثال نقطه شروع می‌تواند کلینیک، منزل بیمار و یا منزل خود کادر پزشکی انتخاب شود) که در اینجا برای سادگی فرض می‌شود تمامی اعضای تیم پزشکی با هر سطح کیفی (یعنی پزشک، پرستار و یا همیار) دارای یک نوع قرارداد کاری باشند و همگی پرسنل جهت ارائه خدمات، کلینیک را به عنوان مبدا کاری خود انتخاب و در پایان نیز به کلینیک بر می‌گردند. همچنین هر خدمت پزشکی مورد نیاز بیمار $i$ را به صورت یک فعالیت در نظر گرفته و با $job_i$ نمایش می‌دهیم که در آن هر $job_i$ دارای زمان اجرایی مثبت $d_i$ می‌باشد. در حالت کلی هر بیمار می‌تواند متقاضی چندین $job$ در بازه‌های زمانی متفاوت باشد و هر $job$ را به عنوان یک فعالیت متمایز در نظر می‌گیریم. بنابراین مجموع کل خدمات پزشکی درخواست شده در یک مسئله بزرگ‌تر یا مساوی تعداد بیماران می‌باشد.

برای اجرای (یا زمان‌بندی) هر فعالیت دو نوع محدودیت پیش‌نیازی و محدودیت منابع باید تعریف و رعایت شوند.

**الف– محدودیت منابع:** فرض کنید هر تیم پزشکی از یک گروه سه نفره تشکیل شده باشد که شامل پزشک (با سطح کیفی ۱)، پرستار (با سطح کیفی ۲) و بهیار یا کمک پرستار (با سطح کیفی۳) است. برای سهولت، هر تیم پزشکی را با یک سه‌تایی مرتب (پزشک، پرستار، بهیار) نمایش می‌دهیم. از طرفی، برای هر فعالیت (یا خدمت پزشکی) مانند $job$ دو نوع منبع متمایز به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

**۱- منبع نیروی انسانی:** فرض کنید $R_q$ بیانگر تعداد کل نیروی انسانی موجود در سطح کیفی $q$ باشد $(q=1,2,3)$. به عبارت دیگر، بردار منبع $\vec{R}=(R_1,R_2,R_3)$ بیانگر تعداد کل نیروی انسانی در کل پروژه در هر یک از سطوح کیفی موجود است. با توجه به این که در این مقاله تعداد نیروی انسانی در کل زمان اجرای پروژه و همچنین در هر مقطع زمانی محدود در نظر گرفته می‌شود، لذا این نوع منابع را به عنوان منابع محدود دوگانه تعریف می‌کنیم. همچنین تعداد پرسنل مورد نیاز در هر یک از سه سطح کیفی یاد شده برای هر فعالیت مانند $job_i$ را به صورت یک بردار از اعداد صحیح نامنفی $\vec{r}_i=(r_{i_1},r_{i_2},r_{i_3})\in\mathbb{Z}^3_{\geq 0}$ نمایش می‌دهیم. نکته حایز اهمیت این است که نامنفی بودن $r_{i_q}$ها $(q=1,2,3)$ بیانگر این موضوع است که ممکن است یک فعالیت (یا $job$) به طور همزمان نیاز به هر سه تخصص نداشته باشد.

**۲- منبع زمانی:** فرض کنید $TC_q$ بیانگر مدت زمان کاری که هر یک از پرسنل با سطح کیفی $q$ $(q=1,2,3)$ باید با توجه به قرارداد کاری توافق شده کار کند، باشد. به عبارت دیگر، بردار سه‌تایی $\vec{TC}=(TC_1,TC_2,TC_3)$ کل مدت زمان کاری هر پرسنل با سطح کیفی مربوطه در کل پروژه تعریف می‌شود. بنابراین مجموع مدت زمانی که یک پرسنل با سطح کیفی $q$ به ارائه خدمات پزشکی در کل پروژه می‌پردازد، نباید از $TC_q$ تجاوز کند. بنابراین در این مقاله منبع زمانی $TC_q$ را به صورت یک منبع تجدیدنشدنی در نظر می‌گیریم. مدت زمان مورد نیاز جهت انجام فعالیت $job_i$ در هر یک از سه سطح کیفی یاد شده را با بردار نامنفی سه‌تایی $TD_i=(TD_{i_1},TD_{i_2},TD_{i_3})\in\mathbb{R}^3_{\geq 0}$ نمایش می‌دهیم. برای بیان ریاضی محدودیت منابع، فرض کنید متغیر دودویی $\chi_{ik_j}$ به صورت زیر تعریف کنیم:

$\chi_{ikq}=1$ اگر پرسنل $k$-ام در سطح $q$ به فعالیت $job_i$ اختصاص یابد، در غیر این صورت $\chi_{ikq}=0$.

www.SID.ir

Archive of SID



بنابراین به ازای هر $k \in \{1,...,R_q\}$.

$$\sum_{i \in J} TD_{iq} \times \chi_{ikq} \le TC_q \quad (q = 1,2,3), \qquad (۱)$$

از طرفی چون به ازای $q = 1,2,3$ داریم $\sum_{k=1}^{R_q} \chi_{ikq} \le R_q$ در نتیجه

$$\sum_{i \in J} r_{i_q} \times TD_{i_q} \le R_q \times TC_q \quad (q = 1,2,3). \qquad (۲)$$

**ب – محدودیت پیش‌نیازی:** یکی دیگر از پارامترهای بسیار مهم برای تبدیل یک مسئله HHC به یک مسئله RCPSP، تعریف محدودیت پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها می‌باشد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود هر فعالیت مانند $job$ با مدت زمان پردازش $d$ در پنجره زمانی $[ES, LF]$ باید زمان‌بندی شود، که در آن $ES$، $EF$، $LS$، $LF$، $ST$ و $FT$ به ترتیب بیانگر زودترین زمان شروع، زودترین زمان پایان، دیرترین زمان شروع، دیرترین زمان پایان، زمان شروع و زمان پایان فعالیت است. زودترین زمان شروع یک فعالیت با زمان‌بندی فعالیت‌ها به صورت پیشرو، بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع و صرفاً با رعایت محدودیت پیش‌نیازی حاصل می‌گردد. به‌طور مشابه دیرترین زمان شروع یک فعالیت با زمان‌بندی فعالیت‌ها به صورت پسرو[۲۴]، بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع و صرفاً با رعایت محدودیت پیش‌نیازی حاصل می‌گردد. زودترین و دیرترین زمان پایان هر فعالیت به ترتیب با افزودن مدت زمان هر فعالیت به زودترین و دیرترین زمان شروع آن فعالیت محاسبه می‌شود (رابطه (۲) ملاحظه شود).

بر اساس شکل (۱) و این که

$$\begin{aligned} FT_j &= ST_j + d_j, \\ EF_j &= ES_j + d_j, \\ LF_j &= LS_j + d_j, \end{aligned} \qquad (۳)$$

واضح است که در زمان‌بندی یک فعالیت، زمان شروع هر فعالیت در بازه شناوری $[ES, LS]$ و پایان آن فعالیت در بازه زمانی $[EF, LF]$ قرار می‌گیرد.

با توجه به فراهم شدن مقدمات لازم، حال می‌توان رابطه پیش‌نیازی بین دو فعالیت را در یک مسئله HHC تعریف کرد. برای درک بهتر از تعریف رابطه پیش‌نیازی، ذکر این نکته ضروری است که در حالت کلی هر بیمار می‌تواند متقاضی چندین فعالیت (خدمت پزشکی) متوالی و وابسته به هم باشد که لازمه شروع هر فعالیت جدید اتمام فعالیت قبلی وابسته به آن می‌باشد. بنابراین رابطه پیش‌نیازی را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

**تعریف (رابطه پیش‌نیازی)**- فعالیت $job_1$ پیش‌نیاز فعالیت $job_2$ است اگر و تنها اگر دیرترین زمان پایان فعالیت $job_1$ نابیشتر از زودترین زمان شروع فعالیت $job_2$ باشد.

در شکل ۲ ملاحظه می‌شود که فعالیت $job_1$ پیش‌نیاز فعالیت $job_2$ است زیرا $LF_1 \le ES_2$.

لازم به ذکر است، چنانچه هر فعالیت مانند $job_i$ از تعدادی زیرفعالیت مانند $job_{ij}$ تشکیل شده باشد و مدت زمان اجرایی هر زیر فعالیت $d_{ij}$ باشد که در آن $d_i = \sum_j d_{ij} + \mu$ $(\mu \ge 0)$ است، به صورت زیر می‌توان عمل کرد.

[۲۴] در زمان‌بندی پسرو، برعکس زمان‌بندی پیشرو، فعالیت‌ها از انتها به ابتدا زمان‌بندی می‌شوند. ساده‌ترین کار برای انجام زمان‌بندی پسرو، تبدیل روابط پس‌نیازی به روابط پیش‌نیازی و سپس زمان‌بندی فعالیت‌ها از ابتدا به انتهای پروژه (بر اساس روابط پیش‌نیازی جدید بدست آمده و محدودیت منابع) است.

www.SID.ir

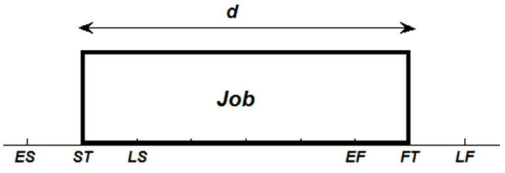
Archive of SID



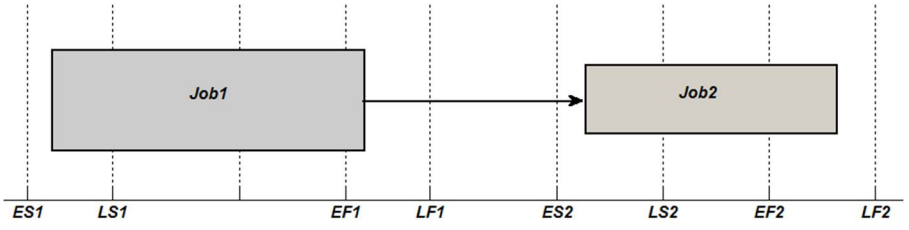
فرض کنید یک فعالیت مانند $job$ از $m$ زیر فعالیت تشکیل شده باشد. در این صورت دو حالت زیر را می‌توان متصور شد:

الف- در صورتی که تمام زیرفعالیت‌ها پیش‌نیاز یکدیگر باشند و اجرای همه زیرفعالیت‌ها به صورت پیوسته و بدون وقفه باشد، آنگاه تمام زیرفعالیت‌ها با یکدیگر تجمیع شده و به صورت یک فعالیت واحد در نظر گرفته می‌شود.

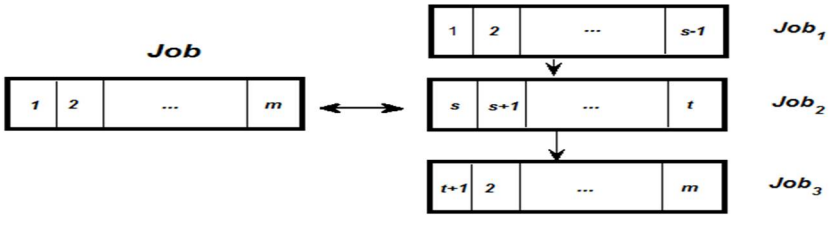
ب- فرض کنید در فعالیت $job$ با $m$ زیر فعالیت، دسته‌ای از زیرفعالیت‌های مستقل و متوالی مانند زیر فعالیت‌های $s$ تا $t$ را بتوان نسبت به زیر فعالیت‌های متوالی ۱ تا $s$-۱ به تاخیر انداخت، در این صورت با تعریف روابط پیش‌نیازی جدید، فعالیت $job$ را می‌توان به سه فعالیت مستقل به صورت شکل ۳ تبدیل کرد. در شکل ۳ مشاهده می‌شود که فعالیت $job$ به سه زیر فعالیت جدید وابسته به هم مانند $job_1$ ،$job_2$ و $job_3$ تجزیه شده است که در آن زیر فعالیت $job_1$ پیش‌نیاز زیر فعالیت $job_2$ و همچنین زیرفعالیت $job_2$ پیش‌نیاز زیر فعالیت $job_3$ می‌باشد.




**شکل ۱- نمایش یک خدمت پزشکی درخواست شده توسط بیمار به صورت یک فعالیت مانند *Job***




**شکل ۲- فعالیت $job_1$ پیش‌نیاز فعالیت $job_2$**




**شکل ۳- تجزیه یک فعالیت *job* به چند زیر فعالیت**

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۱- نمادهای استفاده شده در شیوه زمان‌بندی موازی**

| | | |
|---|---|---|
| مجموعه فعالیت‌های پروژه ( $N = \|J\|$ اندازه پروژه ) | : | $J$ |
| بردار منابع نیروی انسانی موجود | : | $R = (R_1, R_2, R_3)$ |
| بردار منابع زمانی (مدت زمان کاری) | : | $TC = (TC_1, TC_2, TC_3)$ |
| ماتریس انتقال شامل زمان‌های جابه‌جایی بین کلینیک و فعالیت‌ها و نیز بین هر زوج از فعالیت‌ها | : | $M_{Tr}$ |
| ظرفیت باقیمانده از منابع نیروی انسانی نوع $q-$ام | : | $RmainsR_q$ |
| ظرفیت باقیمانده از منابع زمانی نوع $q-$ام | : | $RmainsTC_q$ |
| ماتریس پیش‌نیازی شامل مجموعه فعالیت‌های پیش‌نیاز فعالیت $j$ ( $P_j$ ) | : | $DSM = (P_j)_{N \times N}$ |
| بردار مدت زمان اجرای فعالیت‌های پروژه | : | $d = (d_j)_{1 \times n}$ |
| ماتریس میزان منابع مورد نیاز فعالیت j از نوع q ( $q = 1,2,3$ ) | : | $r = (r_{j_q})_{N \times 3}$ |
| ماتریس زمان مورد نیاز فعالیت $j$ از نوع $q$ ( $q = 1,2,3$ ) | : | $TD = (TD_{j_q})_{N \times 3}$ |
| مقدار اولویت متناظر با فعالیت $i$ | : | $\upsilon(i)$ |
| مقطع زمان‌بندی (یا تصمیم‌گیری) در مرحله $n$ | : | $DT_n$ |
| مجموعه فعالیت‌های واجد شرایط برای زمان‌بندی در مرحله $n$ | : | $D_n$ |
| مجموعه فعالیت‌های تکمیل شده تا مرحله $n$ | : | $C_n$ |
| مجموعه فعالیت‌های فعال در مرحله $n$ | : | $A_n$ |
| زمان پایان فعالیت $j$ | : | $FT_j$ |
| زمان شروع فعالیت $j$ | : | $ST_j$ |

شایان ذکر است که در تجزیه یک فعالیت به چند زیر فعالیت دو نکته را باید در نظر گرفت:

**الف**- در صورتی که زیر فعالیت‌های وابسته به هم، به‌صورت پیوسته زمان‌بندی شوند آنگاه زمان انتقال[۲۵] بین زیر فعالیت‌های متناظر صفر در نظر گرفته می‌شوند.

مفهوم زمان انتقال منابع بین دو فعالیت در یک مسئله RCPSP معادل با مفهوم مدت زمان جابه‌جایی (رانندگی) اعضای تیم پزشکی بین دو خدمت پزشکی در یک مسئله HHC تعریف می‌شود.

**ب**- در صورتی که زیرفعالیت‌های وابسته به هم، به صورت ناپیوسته زمان‌بندی شوند (بین انجام زیر فعالیت‌ها وقفه ایجاد شود) در این صورت زمان انتقال بین هر زیر فعالیت از فعالیت $job$ تا فعالیت جدید دیگر (مثلاً $job'$) برابر با زمان انتقال بین فعالیت $job$ و $job'$ تعریف می‌شود.

در ادامه نمادهای معرفی شده در این مقاله که در شیوه زمان‌بندی موازی مورد استفاده قرار می‌گیرد در جدول ۱ آورده شده است.

## ۵- الگوریتم حل مسئله HHC با رویکرد PSS (HHC-PSS)

در این بخش با توجه به بازتعریفی مفاهیم یک مسئله HHC در قالب یک مسئله RCPSP می‌توان از شیوه‌های مختلف زمان‌بندی برای حل مسئله RCPSP است، برای حل مسئله HHC فراخوانی می‌کنیم تا در قالب الگوریتم ابتکاری جدید HHC-PSS به بازتعریفی و پیاده‌سازی شیوه حل مسئله بپردازیم. برای درک بهتر مطالب این الگوریتم، نمادهای بکار رفته شده در الگوریتم در جدول ۱ آورده شده است.

[25] Transfer Time

www.SID.ir

Archive of SID



**۵-۱ الگوریتم HHC-PSS**

**الف- ورودی:**

ماتریس‌های $M_{Tr}$، $DSM$ ،$TD$ ،$r$ و نیز بردارهای $\vec{TC}=(TC_1,TC_2,TC_3)$، $\vec{R}=(R_1,R_2,R_3)$، $d=(d_j)_{1\times n}$ و $J$.

**ب- خروجی:**

تولید یک زمان‌بندی قابل قبول از تخصیص تیم پزشکی به فعالیت‌ها و نیز تعیین زمان شروع و پایان هر فعالیت.

**گام آغازین-**

$n:=1, S_n=\{1\}, DT_n:=0, D_n:=\{1\},$
$A_n:=C_n:=\varnothing,$
$RmainR_q:=R_q,$
$RmainTC_q:=TC_q \quad (q=1,2,3).$

**گام اصلی- تا زمانی که $|A_n\cup C_n|<|J|$ مراحل زیر را تکرار کنید:**

**مرحله ۱- به روز رسانی مجموعه‌های زمان‌بندی**

**۱-۱** به روز رسانی زمان تصمیم‌گیری

$DT_n:=\min\{FT_j | j\in A_{n-1}\};$

**۱-۲** به روز رسانی مجموعه فعالیت‌های فعال در زمان $DT_n$

$A_n=A_{n-1}\cup\{j | j\in S_{n-1}, ST_j\le DT_n<FT_j\};$

**۱-۳** به روز رسانی مجموعه فعالیت‌های تکمیل شده در زمان $DT_n$

$C_n=C_{n-1}\cup\{j | j\in A_{n-1}, \ FT_j\le DT_n\};$

**۱-۴** به روز رسانی موجودی منابع یعنی $RmainsR_q$ و $RmainsTC_q$ در زمان $DT_n$

**۱-۵** به روز رسانی مجموعه فعالیت‌های واجد شرایط در زمان $DT_n$

**مرحله ۲- زمان‌بندی فعالیت‌ها و به روز رسانی منابع**

**۲-۱** اعمال قاعده اولویت جهت انتخاب فعالیت $j^*$ برای زمان‌بندی در زمان تصمیم‌گیری $DT_n$

$j^*:=Arg(\min\{v(j) | j\in D_n\})$

**۲-۲** زمان‌بندی فعالیت $j^*$

$S_n:=S_{n-1}\cup\{j^*\}$
$ST_{j^*}:=DT_n$
$FT_{j^*}:=ST_{j^*}+d_{j^*}$

**۲-۳** به روز رسانی مجموعه فعال و مجموعه فعالیت‌های واجد شرایط:

$A_n:=A_n\cup\{j^*\}; \quad D_n:=D_n\setminus\{n\}$

**۲-۴** به روز رسانی موجودی منابع یعنی $RmainsR_q$ و $RmainsTC_q$.

**۲-۵** اگر $D_n\neq\varnothing$ آنگاه مرحله ۲ تکرار شود در غیر این صورت $n:=n+1$.

**۵-۲ نکاتی در خصوص الگوریتم HHC-PSS**

در ذیل بیان چند نکته در خصوص فراخوانی الگوریتم HHC-PSS جهت تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده ضروری است:

۱- ماتریس انتقال (که هر درایه ماتریس بیانگر مدت زمان جابه‌جایی بین کلینیک و فعالیت‌ها و یا بین هر زوج از فعالیت‌هاست) لزوماً متقارن نیست.

۲- مساله HHC به صورت یک مساله ایستا در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، تعداد خدمات پزشکی از قبل مشخص و در حین حل مساله، خدمت جدیدی به مساله اضافه نمی‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



۳- تعداد نیروی انسانی مورد نیاز توسط یک فعالیت در هر یک از سطوح کیفی حداکثر برابر با یک است. یعنی تیم پزشکی اختصاص داده شده به یک فعالیت حداکثر شامل سه نفر (یک پزشک، یک پرستار و یک بهیار) خواهد بود.

۴- در صورتی که یک تیم پزشکی (پزشک، پرستار، بهیار) به یک فعالیت مثلاً $Job_j$ اختصاص یابد، مدت زمانی که هریک از اعضای تیم پزشکی، برای آن فعالیت صرف می‌کنند، یکسان و برابر با $d_j$ است. از یک سو به دلیل عدم پیش بینی دقیق زمان هر فرد در خدمت‌رسانی به یک فعالیت و از سوی دیگر با توجه به این‌که هزینه ماموریتی هر فرد متناسب با تخصص فرد تعریف می‌شود، لذا در این مقاله مدت زمان افراد یک تیم پزشکی یکسان در نظر گرفته شده است.

۵- تعداد پرسنل پزشکی مورد نیاز در تیم‌های پزشکی که برای هر فعالیت (خدمت پزشکی) در نظر گرفته می‌شوند از قبل توسط کلینیک و با توجه به نوع نیاز بیمار مشخص شده‌اند.

۶- **قاعده اولویت**- دقت شود در اختصاص تیم پزشکی به فعالیت‌های واجد شرایط (یعنی فعالیت‌هایی که زمان تصمیم‌گیری جاری در بازه زمان شناوری شروع آن‌ها قرار دارد)، فعالیت‌های واجد شرایط براساس $LS$ آن‌ها به صورت صعودی مرتب می‌شوند تا فعالیتی که $LS$ کمتری دارد، زودتر زمان‌بندی شود. زیرا فعالیتی که $LS$ آن به زمان تصمیم‌گیری فعلی نزدیک‌تر باشد، ضروری است به منظور کاهش میزان عدم رضایت بیمار و نیز ارائه خدمات به موقع، از اولویت بالاتری برخوردار باشد. بنابراین قاعده اولویت به کار رفته در شیوه زمان‌بندی موازی را می‌توان به عنوان یک قاعده اولویت پویا به صورت زیر در نظر گرفت:

فرض کنید $DT$ زمان تصمیم‌گیری فعلی باشد و $LS_j$ دیرترین زمان شروع فعالیت $j$ باشد، در این صورت فعالیت $j^*$ برای زمان‌بندی در لحظه $DT$ انتخاب می‌شود اگر $j^* = Arg\left(\min\left\{LS_j - DT \middle| j \in EA\right\}\right)$ که در آن $EA$ مجموعه فعالیت‌های واجد شرایط در لحظه تصمیم‌گیری $DT$ هستند. در صورتی که $j^*$ منحصربفرد نباشد آنگاه به تصادف یکی از آن فعالیت‌ها انتخاب می‌شود. فعالیتی را در یک مقطع تصمیم‌گیری واجد شرایط گوییم هرگاه تمام فعالیت‌های پیش‌نیاز آن تا آن مقطع زمان‌بندی به اتمام رسیده باشند.

۷- **استفاده حداکثری از پتانسیل نیروهای کاری**- به منظور استفاده بهینه از ظرفیت نیروها،

۸- در اختصاص یک نیرو به یک فعالیت جدید، اولویت را با نیروهایی اختصاص می‌دهیم که قبلاً در ارائه خدمت از آن‌ها استفاده شده است. برای این منظور، یک تیم پزشکی $\vec{V} = (v_1, v_2, v_3)$ در لحظه تصمیم‌گیری $DT$، می‌تواند به یک فعالیت واجد شرایط جدید مانند $Job_j$ اختصاص یابد هرگاه در برخی از شرایط که در ذیل بیان می شوند، برقرار باشند. برای درک بهتر، فرض کنید $ST_{v,i_v}$ زمان شروع ارائه خدمت توسط فرد $v$ به آخرین فعالیتش مانند $i_v$ که $v \in \{v_1, v_2, v_3\}$ باشد، در این صورت فرد $v$ که در یک فعالیت مانند $Job_i$ فعال است، در صورتی می‌تواند به فعالیت جدید $Job_j$ اختصاص یابد که در دو شرط زیر صدق کند:

الف- محدودیت زمانی در قرارداد رعایت شود (رابطه (۱) ملاحظه شود). به عبارت دیگر، مجموع زمان کاری فرد $v$ از زمان مجاز کاری وی در قرارداد تجاوز نکند.

ب- رابطه $ST_{v,i_v} + d_{i_v} + distance_{i_v j} \le LS_j$ به ازای هر $v \in \{v_1, v_2, v_3\}$ برای تیم پزشکی جدید اعزامی به $Job_j$ برقرار باشد که در آن $distance_{i_v j}$ فاصله (زمان جابه‌جایی) بین آخرین فعالیت $i_v$ که توسط فرد $v$ انجام شده است (و یا در حال انجام است) و فعالیت جدید $Job_j$ تعریف می‌شود. دقت شود که ممکن است آخرین فعالیتی که هریک از اعضای تیم

www.SID.ir

Archive of SID



پزشکی جدید قبلاً انجام داده‌اند با یکدیگر متفاوت باشند.

### ۵-۳ توابع هدف

توابع هدف متفاوتی در حل یک مسئله HHC می‌توان تعریف کرد. در ذیل دو نمونه از این نوع اهداف اشاره می‌شود.

**۱- کمینه‌سازی مجموع انحرافات مدت زمان کاری پرسنل با سطح کیفی $q$ نسبت به مدت زمان کاری مقرر $TC_q$.**

برای توضیح بیشتر، فرض کنید کل مدت زمانی که یک پرسنل مانند $i$ با سطح کیفی $q$ به ارائه خدمت می‌پردازد برابر با $T_{iq}$ باشد. در این صورت:

**الف**- اگر $T_{iq} < TC_q$ آنگاه $TC_q - T_{iq}$ پتانسیل مازاد پرسنلی مانند $i$ با سطح کیفی $q$ تعریف می‌شود که به منظور استفاده حداکثری از پرسنل این کمیت باید کمینه شود. به عبارت دیگر، کمینه‌سازی عبارت زیر معادل با استفاده حداکثری از پتانسیل نیروهای انسانی و یا کمینه‌سازی تعداد استخدام‌هاست که در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی را به دنبال دارد.

$$Min\ Humen_cost = \sum_q \sum_i \left(TC_q - T_{iq}\right) \times \varphi\left(TC_q - T_{iq}\right)$$

که در آن

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x \le 0 \end{cases}.$$

**ب**- اگر $T_{iq} > TC_q$ آنگاه $T_{iq} - TC_q$ بیانگر اضافه‌کاری پرسنلی مانند $i$ با سطح کیفی $q$ می‌باشد که به منظور افزایش میزان رضایت پرسنل، این کمیت نیز باید کمینه شود. یعنی،

$$Min\ Overtime = \sum_q \sum_i \left(T_{iq} - TC_q\right) \times \varphi\left(T_{iq} - TC_q\right)$$

**۲- کمینه‌سازی مدت زمان جابه‌جایی اعضای تیم پزشکی**

فرض کنید

$$SC(j) = \{j \mid \text{است } job_i \text{ پس‌نیاز } job_j\}$$

و $\chi_{ikq} = 1$ اگر پرسنل $k$-ام در سطح کیفی $q$ به فعالیت $job_i$ اختصاص یابد، در غیر این صورت $\chi_{ikq} = 0$ و همچنین $Tr_{ij}$ مدت زمان جابه‌جایی (زمان انتقال) بین دو فعالیت $i$ و $j$ باشد، آنگاه کمینه‌سازی مجموع مدت زمان جابه‌جایی توسط کلیه پرسنل به صورت زیر است:

$$Min\ Travel_Distance = \sum_q \sum_k \sum_{j \in SC(i)} Tr_{ij} \times \chi_{ikq} \times \chi_{jkq}$$

### ۵-۴ مسائل آزمون استاندارد

روش‌های دقیق، ابتکاری و یا فراابتکاری حل یک مسئله زمان‌بندی پروژه که برای بررسی حالت‌های متفاوت مسئله تخصیص منابع طراحی شده است، لزوم وجود یک دسته از مسائل نمونه‌ای[۲۶] استاندارد و نیز متنوع، برای ارزیابی عملکرد این روش‌ها و همچنین مقایسه الگوریتم‌های مختلف ارائه شده را ضروری می‌سازد. بدین منظور مسائل نمونه‌ای مختلف با توجه به ساختار توپولوژیکی شبکه و نیز معیارها و پارامترهای وابسته به شبکه نظیر استحکام منابع (RS) [۲۷] و یا ضریب پیچیدگی شبکه (C) [۲۸] و غیره، توسط محققان تولید و ارائه شده است. که از این میان می‌توان به مسائل آزمون

[26] Benchmark
[27] Resource strength-RS
[28] Coefficient network complexity-C

www.SID.ir

Archive of SID



*کولیش* [۲۹] اشاره کرد. مسائل RCPSP با حداکثر ۱۲۰ فعالیت و دارای چهار نوع منبع تجدیدشدنی جزو این دسته از مسائل کتابخانه‌ای است. قابل ذکر است که برای تمامی مسائل نمونه‌ای *کولیش*، جواب بهینه‌ای گزارش نشده است. برای برخی از مسائل فاقد جواب بهینه، بهترین کران پایین و نیز بهترین کران بالایی که توسط محققان مختلف محاسبه گردیده، ارائه شده است [۱۲]. *کولیش* اولین مولد مسئله کنترل پروژه به نام ProGen را ایجاد نمود که در آن با معرفی چند معیار وابسته به منابع (RS و RF) و نیز معیار وابسته به شبکه (C) و انتخاب آن‌ها به عنوان پارامترهای کنترلی برای تولید مسئله، مسائلی با روش نمایش AON تولید میکند. این مسائل آزمون در طی سال‌ها به مسائلی استاندارد برای ارزیابی اعتبار و میزان مقبولیت روش‌های ابتکاری حل مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود تبدیل شده است [۳۰]. در این مقاله ابتدا با مبنا قرار دادن دسته مسائل استاندارد کولیش، به تولید مسائل نمونه‌ای HHC خواهیم پرداخت و سپس با استفاده از این دسته مسائل نمونه‌ای جدید، عملکرد راهکار پیشنهادی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

## ۶- بررسی عملکردی الگوریتم پیشنهادی

### ۶-۱ تولید مسائل نمونه‌ای مورد آزمون

همانطور که اشاره شد، به منظور پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی HHC-PSS، از دسته مسائل کتابخانه‌ای کولیش با $N=120$ فعالیت یعنی دسته مسائل $J120$ استفاده می‌کنیم. هر مسئله کولیش شامل دو ماتریس و یک بردار است: **(۱) ماتریس پیش‌نیازی** $N \times N$ که فعالیت‌های پیش‌نیاز و پس‌نیاز هر فعالیت را مشخص می‌کند، **(۲) ماتریس زمان-منابع** با مرتبه $N \times 6$ که ستون اول بیانگر شماره فعالیت، ستون دوم حاوی مدت زمان اجرای هر فعالیت و ستون‌های ۳ الی ۶ در ماتریس، میزان چهار نوع منبع مورد نیاز هر فعالیت را نشان می‌دهد و **(۳) بردار موجودی منبع** با چهار مولفه شامل میزان کل منابع در دسترس برای هریک از چهار منبع تعریف شده در مسئله می‌باشد.

مراحل تولید یک مسئله نمونه‌ای HHC برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی به صورت زیر است (زمان بر حسب دقیقه فرض شده است):

**الف**- ابتدا یک نمونه از مسائل $J120$ را انتخاب می‌کنیم.

**ب**- در ماتریس زمان – منبع تغییرات زیر را اعمال می‌کنیم:

۱- در ستون ۲، مدت زمان اجرایی هر فعالیت را با تولید یک عدد تصادفی مثبت با توزیع یکنواخت بین $[0,100]$ جایگزین می‌کنیم.

۲- ستون ۶ام ماتریس را که بیانگر میزان منبع مورد نیاز هر فعالیت از نوع ۴ام مسئله است را حذف می‌کنیم. زیرا هر مسئله HHC مورد بحث در این مقاله شامل سه نوع منبع متفاوت (پزشک، پرستار و بهیار) است.

۳- میزان منبع مورد نیاز هر فعالیت در ستون‌های ۳ تا ۵ را با یک بردار تصادفی سه‌تایی با مقادیر صفر- یک جایگزین می‌کنیم که در آن هر مولفه بیانگر تعداد نیروهای انسانی مورد نیاز در سطح کیفی مربوطه است (به عنوان مثال اگر در فعالیتی تعداد نیروهای انسانی مورد نیاز به صورت $[1,1,0]$ باشد آنگاه در تیم پزشکی اختصاص داده شده به آن فعالیت باید یک پزشک، یک پرستار و بدون نیاز به بهیار برای ارائه خدمت وجود داشته باشد).

---

[29] Kolisch's benchmark

[۳۰] این مسائل از طریق ادرس اینترنتی http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/data.html قابل دسترس می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID



**ج**- مولفه چهارم بردار موجودی منبع مسئله *J120* را با توجه به مطالب شماره ۲ بند (ب)، حذف می‌کنیم و بردار سه مولفه‌ای حاصل را به عنوان بردار موجودی منبع که بیانگر تعداد نیروهای انسانی موجود در هریک از سطوح کیفی پزشک، پرستار و بهیار است را در نظر می‌گیریم.

**د**- همچنین یک بردار سه مولفه‌ای دیگر شامل کل مدت زمان کاری برای هر یک از اعضا در سه سطح کیفی اشاره شده، به عنوان بردار موجودی منبع زمان بر حسب دقیقه تولید می‌کنیم. در این مقاله، بردار مدت زمان کاری پزشکان، پرستاران و همیاران به صورت پیش فرض به ترتیب برابر با ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه لحاظ شده‌اند.

قابل ذکر است که ماتریس متناظر با روابط پیش‌نیازی دقیقاً همان ماتریس پیش‌نیازی در مسائل کولیش تعریف می‌شود.

### ۶-۲ نتایج عددی

اکنون با تولید مسائل نمونه‌ای HHC می‌توان نحوه عملکرد الگوریتم HHC-PSS را مورد بررسی قرار داد. بدین منظور، در جدول‌های ۳ الی ۶، نتایج مربوط به حل ۱۵ مسئله HHC با الگوریتم HHC-PSS آورده شده است که در آن

- هر مسئله HHC به یک مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود تبدیل شده است،
- هر مسئله ۱۲۰ فعالیت دارد.

هر جدول به تفکیک هر یک از نیروهای انسانی (یعنی پزشک، پرستار و بهیار) آورده شده است. با توجه به تصادفی بودن داده‌های مربوط به هر مسئله HHC و به منظور از بین بردن تاثیر عامل تصادفی بودن داده‌ها، به منظور از بین بردن تاثیر عامل تصادفی بودن داده‌ها، برای تولید هر یک از مسائل ذکر شده در جدول داده‌های تصادفی به تعداد ۳۰ بار به طور تصادفی تولید شده است و در نهایت میانگین نتایج مربوط به این ۳۰ مسئله تولید شده به عنوان جواب نهایی در جداول مربوطه آورده شده است. به منظور فهم بهتر پیرامون نتایج اشاره شده، نمادهای استفاده شده در هر یک از ستون‌های جدول‌های ۳ - ۶ در جدول ۲ توضیح داده شده است.

**جدول ۲- توضیحات مربوط نمادهای اشاره شده در جدول‌های ۳ – ۶**

| نماد | شرح |
|---|---|
| **No. Problem** | شماره مسئله مورد آزمون |
| **Ave. Makespan** | متوسط زمان اتمام مسئله (پروژه) به دقیقه |
| **Ave. Duration** | متوسط زمان مورد نیاز برای انجام هر فعالیت |
| **Ave. Rem. Time** | متوسط زمان باقیمانده هر یک از اعضای تیم‌های پزشکی که به بیماران اختصاص داده شده‌اند (به دقیقه) با توجه به کل زمان قرارداد کاری. |
| **Ave. Der. Time** | متوسط مدت زمان جابه‌جایی (زمان انتقال منابع) هر یک از اعضای تیم‌های پزشکی که به بیماران اختصاص داده شده‌اند (بر حسب دقیقه). |
| **Ave. No. per.** | متوسط تعداد پرسنلی که در یک مسئله جهت ارائه خدمات بیماران از آن‌ها استفاده شده است. |
| **Ave. Res.** | متوسط منابع نیروی انسانی موجود یا متوسط تعداد کل پرسنلی که در مسئله جهت ارائه خدمات به بیماران در دسترس هستند. |
| **Unused per.** | متوسط تعداد پرسنل مازاد در پروژه (بر حسب درصد) |
| **Over Time** | میزان اضافه‌کاری |
| **CPU Time** | زمان پردازش سیستم برای تولید جواب شدنی بر حسب ثانیه |

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۳- نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم بر روی ۳۰ مسئله با ۱۲۰ فعالیت مربوط به پزشکان**

| No. Problem | Ave. Duration | Av. Rem. Time | Av. Der. Time | Av. No. per. | Av. Res. | Unused per. (%) | Over Times |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 49.3722 | 5.9274 | 26.6623 | 10.2441 | 25.4844 | 51.751 | 0 |
| **2** | 48.7934 | 5.6489 | 26.9416 | 10.8830 | 26.7226 | 52.680 | 0 |
| **3** | 49.3939 | 6.0146 | 27.1700 | 10.6440 | 26.3650 | 52.710 | 0 |
| **4** | 48.8495 | 5.9136 | 26.3897 | 11.4667 | 23.1000 | 50.3608 | 0 |
| **5** | 48.4978 | 5.7510 | 26.3196 | 10.7667 | 26.7000 | 59.675 | 0 |
| **6** | 49.4397 | 5.8423 | 27.6949 | 10.3000 | 24.6333 | 58.187 | 0 |
| **7** | 49.2686 | 5.5823 | 27.6299 | 10.7333 | 24.2333 | 55.708 | 0 |
| **8** | 48.6553 | 6.0486 | 26.5925 | 10.6000 | 25.0000 | 57.600 | 0 |
| **9** | 49.5019 | 5.8679 | 26.6709 | 10.6333 | 25.4000 | 58.136 | 0 |
| **10** | 49.0829 | 5.8299 | 27.0489 | 10.5333 | 26.4000 | 60.101 | 0 |
| **11** | 49.4735 | 5.9636 | 26.4208 | 11.0000 | 25.4667 | 56.806 | 0 |
| **12** | 48.6737 | 5.6592 | 26.3883 | 10.9667 | 30.9000 | 64.509 | 0 |
| **13** | 50.2971 | 6.0026 | 25.9415 | 10.5000 | 26.9667 | 61.063 | 0 |
| **14** | 49.1760 | 5.6006 | 26.2112 | 11.0667 | 28.0333 | 60.523 | 0 |
| **15** | 49.3259 | 5.6191 | 26.7159 | 10.9000 | 25.0667 | 56.516 | 0 |
| **Average** | **49.1868** | **5.8181** | **26.7199** | **10.7492** | **26.0315** | **57.088** | **0** |

**جدول ۴- نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم بر روی ۳۰ مسئله با ۱۲۰ فعالیت مربوط به پرستاران**

| No. Problem | Ave. Duration | Av. Rem. Time | Av. Der. Time | Av. No. per. | Av. Res. | Unused per. (%) | Over Times |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 49.3720 | 5.6805 | 26.5700 | 10.9210 | 25.5618 | 48.924 | 0 |
| **2** | 48.7993 | 5.6250 | 26.2610 | 10.9606 | 26.4439 | 48.760 | 0 |
| **3** | 49.3927 | 5.7771 | 27.2948 | 10.6034 | 26.5247 | 53.731 | 0 |
| **4** | 48.8495 | 5.7711 | 25.8775 | 11.0000 | 21.7000 | 49.308 | 0 |
| **5** | 48.4978 | 5.1691 | 26.4533 | 10.8333 | 28.3333 | 61.764 | 0 |
| **6** | 49.4397 | 5.7837 | 26.8228 | 10.6667 | 24.6667 | 56.757 | 0 |
| **7** | 49.2686 | 5.7131 | 29.3910 | 10.8667 | 25.0000 | 56.533 | 0 |
| **8** | 48.6553 | 5.9587 | 27.1454 | 10.6000 | 24.5000 | 56.735 | 0 |
| **9** | 49.5019 | 6.1144 | 27.2685 | 10.5667 | 25.7333 | 58.938 | 0 |
| **10** | 49.0829 | 5.9228 | 27.6590 | 11.0333 | 25.5667 | 56.845 | 0 |
| **11** | 49.4735 | 5.9284 | 25.4546 | 10.2000 | 24.6667 | 58.649 | 0 |
| **12** | 48.6737 | 5.9521 | 27.0925 | 11.3333 | 30.7667 | 63.164 | 0 |
| **13** | 50.2971 | 5.8973 | 26.3969 | 10.8667 | 26.8333 | 59.503 | 0 |
| **14** | 49.1760 | 5.6445 | 27.0614 | 10.9333 | 28.4333 | 61.548 | 0 |
| **15** | 49.3259 | 6.0022 | 27.4546 | 11.2667 | 26.4333 | 57.377 | 0 |
| **Average** | **49.1871** | **5.7960** | **26.9469** | **10.8434** | **26.0776** | **56.569** | **0** |

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۵- نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم بر روی ۳۰ مسئله با ۱۲۰ فعالیت مربوط به بهیاران**

| No. Problem | Ave. Duration | Av. Rem. Time | Av. Der. Time | Av. No. per. | Av. Res. | Unused per. (%) | Over Times |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 49.3710 | 5.9423 | 27.8846 | 10.3636 | 25.4033 | 51.081 | 0 |
| **2** | 48.7900 | 5.7364 | 27.6311 | 10.8435 | 26.8822 | 52.372 | 0 |
| **3** | 49.3907 | 5.7740 | 28.1415 | 10.4002 | 25.9201 | 53.704 | 0 |
| **4** | 48.8495 | 5.8702 | 25.4883 | 10.8333 | 23.8333 | 54.545 | 0 |
| **5** | 48.4978 | 5.3791 | 26.7610 | 10.7000 | 28.1333 | 61.966 | 0 |
| **6** | 49.4397 | 5.6783 | 27.8265 | 10.7333 | 24.6333 | 56.428 | 0 |
| **7** | 49.2686 | 5.8737 | 27.5435 | 10.7333 | 24.7333 | 56.604 | 0 |
| **8** | 48.6553 | 6.1586 | 25.9912 | 10.3333 | 25.2333 | 59.049 | 0 |
| **9** | 49.5019 | 5.8679 | 26.8727 | 10.8000 | 25.5333 | 57.702 | 0 |
| **10** | 49.0829 | 5.8069 | 27.3547 | 10.7667 | 26.2333 | 58.958 | 0 |
| **11** | 49.4735 | 5.7299 | 27.2654 | 10.6333 | 25.4333 | 58.191 | 0 |
| **12** | 48.6737 | 5.7382 | 26.8185 | 10.9333 | 30.2333 | 63.837 | 0 |
| **13** | 50.2971 | 6.1026 | 25.4683 | 10.6000 | 26.4333 | 59.899 | 0 |
| **14** | 49.1760 | 5.5549 | 26.5827 | 10.3333 | 29.1667 | 64.571 | 0 |
| **15** | 49.3259 | 5.7296 | 27.2242 | 10.9333 | 25.5667 | 57.236 | 0 |
| **Average** | **49.1862** | **5.7962** | **26.9903** | **10.6627** | **26.2248** | **57.743** | **0** |

یکی از مشکلاتی که در دنیای واقعی وجود دارد و در هیچ یک از مقالات نیز به آن پرداخته نشده است، تعیین تعداد حداقل نیروهای انسانی مورد نیاز برای حجم مشخصی از خدمات پزشکی در یک مسئله است. در تمامی تحقیقات صورت گرفته، تعداد نیروهای انسانی مورد نیاز در یک مسئله HHC از قبل مشخص فرض شده است و آن را به عنوان یک پارمتر ورودی در مسئله در نظر می‌گیرند. در صورتی که در این مقاله به این نیاز که می‌تواند یک چالش اساسی در کلینیک‌ها باشد، پرداخته شده است. به‌عبارت دیگر، در رویکرد جدید تبدیلی، هم‌زمان با یافتن یک زمان‌بندی شدنی، تعیین حداقل تعداد نیروهای انسانی مورد نیاز جهت تخصیص آن‌ها به بیماران را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد. برای این منظور، در راهکار زمان‌بندی پیشنهادی، تعداد نیروهای انسانی در دسترس بیش از نیاز فعالیت‌های مسئله درنظر گرفته می‌شود. در این راستا شیوه زمان‌بندی PSS برای تولید یک جواب شدنی طوری طراحی شده است تا در تعیین جواب شدنی با کیفیت، تعیین حداقل تعداد نیروهای انسانی مورد نیاز را نیز مدنظر قرار دهد. به عبارت دیگر، همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، اولویت تخصیص یک عضو تیم پزشکی به یک فعالیت (واجد شرایط زمان‌بندی) با عضوی است که در انجام خدمات پزشکی قبلاً مورد استفاده قرار گرفته باشد تا بدین وسیله از پتانسیل یک نیرو حداکثر استفاده ممکن صورت گیرد. بنابراین زمانی یک فعالیت به یک نیروی جدید (پزشک، پرستار و یا بهیار) اختصاص می‌یابد که نیروهای پزشکی تخصیص داده شده قبلی یا به خاطر مدت زمان کاری در قرارداد امکان همکاری بیشتر نداشته باشند و یا تمام این نیروهای پزشکی در آن مقطع تصمیم‌گیری در حال ارائه خدمت به فعالیت‌های دیگر باشند. به عنوان نمونه، مسئله شماره ۱۰ در جدول ۳ را در نظر بگیرید. با توجه به توضیحات گفته شده، مشاهده می‌شود که در این مسئله متوسط تعداد کل نیروهای انسانی در سطح کیفی ۱ (یعنی پزشکان) برابر با ۲۶٫۴ پزشک می‌باشد (ستون ۶) که از این تعداد تنها حدود ۱۰٫۵۳ پزشک (ستون ۵) در ارائه خدمات پزشکی به

www.SID.ir

Archive of SID



بیماران از آن‌ها استفاده شده است و حدود ۶۰,۱ درصد از پزشکان (ستون ۷) عملاً استفاده‌ای نشده است. در ستون ۲ جدول ۳، متوسط مدت زمان مورد نیاز برای انجام هر فعالیت در مسئله را نشان می‌دهد که این مقدار برای مسئله شماره ۱۰ تقریباً برابر با ۴۹,۱ دقیقه می‌باشد. زمان باقیمانده برای هر پزشک در این مسئله تقریباً برابر با ۵,۸ دقیقه می‌باشد (ستون ۳) که این مقدار نشان از استفاده حداکثری از پتانسیل نیروی‌های انسانی (یعنی پزشکان) دارد. ستون ۸ که بیانگر میزان اضافه‌کاری اعضای تیم پزشکی است تایید کننده این مطلب است که با توجه به مازاد نیروهای انسانی دردسترس هیچ یک از اعضای تیم‌های پزشکی مجبور به اضافه‌کاری نشده‌اند.

با نگاهی به متوسط زمان جابه‌جایی هر یک از اعضای تیم‌های پزشکی (معادل با مفهوم زمان انتقال منابع در مسئله زمان‌بندی پروژه) مشاهده می‌شود که مدت زمان جابه‌جایی هر یک از اعضا نیز در وضعیت مناسبی قرار دارد (ستون ۴ جداول ۳ تا ۵ ملاحظه شوند). با توجه به نتایج عددی بدست آمده، متوسط زمان جابه‌جایی برای هر یک از پزشکان، پرستاران و بهیاران به ترتیب برابر با ۲۶,۷۲، ۲۶,۹۵ و ۲۶,۹۹ دقیقه می‌باشد که نسبت به کل مدت زمان کاری هر یک از اعضای تیم‌های پزشکی (یعنی ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه) می‌تواند مقدار قابل قبولی باشد. مسئله‌های مورد استفاده شده در جدول‌های ۳ تا۵، یکسان هستند و فقط به منظور تجزیه و تحلیل دقیق‌تر در قالب جدول‌های جداگانه به تفکیک پزشک، پرستار و بهیار گزارش شده‌اند. به عنوان مثال، سطر مربوط به در قالب جدول‌های جداگانه به تفکیک پزشک، پرستار و بهیار گزارش شده‌اند. به عنوان مثال، سطر مربوط به مسئله شماره ۱۰ در جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب بیانگر نتایج متناظر با پرستاران و بهیارانی است که در زمان‌بندی فعالیت‌های مسئله شماره ۱۰ در جدول ۳ مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج مربوط به پرستاران و بهیاران متناظر با مسائل اشاره شده در جدول ۳ را نشان می‌دهند. در جدول ۶، متوسط زمان اتمام (طول عمر پروژه) هر یک از مسائل مورد استفاده شده در جداول ۳ تا ۵ و همچنین متوسط زمان پردازش شده توسط کامپیوتر برای آن مسایل، اشاره شده است (ستون ۲ و ۳).

**جدول ۶- زمان اتمام پروژه و زمان پردازش در مسائل اشاره شده در جدول‌های ۱ تا ۳**

| No. Problem | Ave. Makespan | CPU Time (s) |
|---|---|---|
| 1 | 938.6220 | 1.01 |
| 2 | 853.9619 | 0.95 |
| 3 | 852.1318 | 0.96 |
| 4 | 797.5169 | 0.94 |
| 5 | 931.2981 | 1.03 |
| 6 | 793.9837 | 0.99 |
| 7 | 923.0715 | 1.11 |
| 8 | 690.9282 | 1.10 |
| 9 | 969.3650 | 1.13 |
| 10 | 987.9534 | 1.11 |
| 11 | 677.2229 | 1.07 |
| 12 | 933.1838 | 1.13 |
| 13 | 755.5673 | 1.06 |
| 14 | 948.6810 | 1.08 |
| 15 | 847.5124 | 1.10 |
| **Average** | **860.0667** | **1.05 (s)** |

www.SID.ir

Archive of SID



مشاهده می‌شود که متوسط زمان مورد نیاز برای حل یک مسئله HHC توسط الگوریتم ابتکاری پیشنهادی یعنی الگوریتم HHC-PSS که شامل تبدیل یک مسئله HHC با ۱۲۰ فعالیت متمایز به یک مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود و حل آن با شیوه زمان‌بندی PSS می‌باشد، برابر با ۱,۰۵ ثانیه است که نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی، صرف‌نظر از نوع مسئله، قادر به تعیین جواب‌های شدنی مسئله در زمان کم می‌باشد.

حال با توجه به نتایج بدست آمده و زمان پردازش پایین این الگوریتم، ترکیب این الگوریتم با روش‌های فراابتکاری شناخته شده مانند الگوریتم ژنتیک، گروه مورچگان، انبوه ذرات و غیره (که در حل مسئله RCPSP از عملکرد خوبی برخوردارند) می‌تواند در مسائل HHC حتی با در نظر گرفتن محدودیت‌های بیشتر، جواب‌هایی با کیفیت بهتری تولید کند.

## ۷- نتیجه‌گیری

در تحقیقات علمی مختلف، مسئله مراقبت‌های بهداشتی- درمانی در منزل (HHC) به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌شود. در این مقاله، تخصیص بهینه تیم‌های پزشکی (شامل پزشک و پرستار، بهیار) به بیماران با خدمات درمانی مختلف و نیز زمان‌بندی هر یک از اعضای تیم‌های پزشکی در قالب یک مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود تعریف می‌شود. در این راستا، با رویکردی جدید مبتنی بر مفاهیم زمان‌بندی پروژه با منابع محدود (RCPSP)، به حل مسئله HHC می‌پردازیم. هدف از پیشنهاد چنین رویکردی استفاده از قضایای مختلف در این زمینه، استفاده از مسائل کتابخانه‌ای استاندارد متنوع و همچنین اعمال شیوه‌های زمان‌بندی (فرا) ابتکاری مختلف برای تولید جواب‌های شدنی با کیفیت مطلوب را می‌توان نام برد. برای رسیدن به این مهم، ابتدا با معرفی فعالیت‌ها، روابط پیش‌نیازی و محدودیت‌های منابع، یک مسئله HHC را به یک مسئله RCPSP تبدیل می‌کنیم. سپس با تعریف یک قاعده اولویت پویا و ارائه یک الگوریتم جدید مبتنی بر شیوه زمان‌بندی موازی شناخته شده (PSS) تحت عنوان الگوریتم HHC-PSS به حل مسئله تخصیص تیم‌های پزشکی به بیماران مختلف در منزل می‌پردازیم. نکته دیگری که برای اولین بار در این مقاله به آن پرداخته شد تعیین تعداد حداقلی نیروهای انسانی مورد نیاز برای پوشش دادن تمام خدمات پزشکی درخواست شده توسط بیماران است. معیارهای ارزیابی متفاوتی برای بررسی کیفیت جواب‌های حاصل از زمان‌بندی می‌توان در نظر گرفت که از آن جمله می‌توان به کمینه کردن مدت زمان سفر اعضای تیم‌های پزشکی، کاهش ساعات اضافه‌کاری، استفاده حداکثری از پتانسیل نیروهای انسانی اشاره کرد. مجموعه جواب‌های شدنی مسئله را طوری باید تعیین کرد تا در محدودیت‌هایی مانند مدت زمان کاری قید شده در قرارداد، بازه زمانی سخت هر خدمت، استراحت اجباری و تخصیص مطلوب تیم پزشکی به بیماران (متناسب با نوع خدمت خواسته شده توسط بیمار) و غیره صدق کنند. نتایج عددی بدست آمده از اعمال الگوریتم HHC-PSS بر روی مسائل نمونه‌ای جدید تولید شده HHC، نشان می‌دهند که رویکرد پیشنهادی، صرف‌نظر از ابعاد مسئله، قادر به تعیین جواب‌های شدنی مسئله در زمان کم می‌باشد. چنین رویکردی امکان ترکیب با روش‌های فراابتکاری متنوع شناخته شده برای مسئله RCPSP را فراهم می‌سازد.

www.SID.ir

Archive of SID



## فهرست منابع


[1] Abdennadher S, Schlenker H. "Nurse scheduling using constraint logic programming". In: Proceedings of the 11th conference on innovative applications of artificial intelligence. Menlo Park, CA: AAAI Press; 1999. p. 838–43.

[2] Achuthan, N. Hardjawidjaja, A., "Project scheduling under time dependent costs–A branch and bound algorithm". Annals of Operations Research 108 (1–4) (2001) 55–74.

[3] Begur S.V, Miller D.M, Weaver J.R, "An integrated spatial dss for scheduling and routing home-health-care nurses". Interfaces 1997; 27(4):35–48.

[4] Bertels, S., Fahle, T. "A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem". Computers & Operations Research, 2006; Vol 33, 2866–2890.

[5] Brânzei, R. Ferrari, G. Fragnelli, V. Tijs, S., "Two approaches to the problem of sharing delay costs in joint projects". Annals of Operations Research, 109 (1–4) (2002) 359–374.

[6] Burke E, De Causmaecker P, Vanden Berghe G. "A hybrid tabu search algorithm for the nurse rostering problem". In: McKay B, Yao X, Newton C.S, Kim J.H, Furuhashi T, editors. Simulated evolution and learning. Lecture notes in artificial intelligence, vol. 1585. Berlin: Springer; 1999. 187–94.

[7] Cheng B.M.W, Lee J.H.M, Wu J.C.K. "A nurse rostering system using constraint programming and redundant modeling". IEEE Transactions in Information Technology in Biomedicine (1997); 1(1): 44–54.

[8] Cheng E, Rich J.L., "A home health care routing and scheduling problem". Technical report CAAMTR 98–04, Rice University, 1998 (an earlier version was presented at ISMP'97).

[9] Gang D., Xi L., Chuanwang S,. "Scheduling Optimization of Home Health Care Service Considering Patients' Priorities and Time Windows". Sustainability. 2017; 9. 253. 10.3390/ su9020253.

[10] Elmaghraby, S.E., "Activity networks: Project planning and control by network models". Wiley, New York, 1977.

[11] Kolisch, R. Padman, R., "An integrated survey of deterministic project scheduling". Omega 29 (2001) 249–272.

[12] Kolisch, R., 1995. "Project scheduling under resource constraints efficient heuristics for several problem classes". Physica -Verlag, Heidelberg.

[13] Mason A.J, Smith M.C. "A nested column generator for solving rostering problems with integer programming". In: Caccetta L, Teo KL, Siew PF, Leung YH, Jennings LS, Rehbock V, editors. International conference on optimization: techniques and applications. 1998. p. 827–34.

[14] Schneider U., Österle A., Schober D., Schober C., (2006). "Die Kosten der Pflege in Österreich: Ausgabenstrukturen und Finanzierung". Tech Rep. 02, Institute for Social Policy, Vienna University of Economics and Business, Vienna, Austria.

[15] Smith-Daniels, D.E. Padman, R. Smith-Daniels, V.L., "Heuristic scheduling of capital constrained


www.SID.ir

Archive of SID



projects". Journal of Operations Management, 14 (3) (1996) 241–254.

[16] Tareghian, H.R. Taheri, S.H., "A solution procedure for the discrete time, cost and quality tradeoff problem using electromagnetic scatter search". Applied Mathematics and Computation, 190 (2) (2007) 1136–1145.

[17] Trautsamwieser, A., Hirsc P. "Optimization of daily scheduling for home health care services", Journal of Applied Operational Research, 2011; 3(3), 124–136.

www.SID.ir