برنامه‌ریزی و کنترل پویای طرحها در شرایط عدم اطمینان

JOHN M. BURT

ترجمه: محمدرضا حمیدی‌زاده

چکیده

در این مقاله مسأله برنامه‌ریزی و کنترل طرحها (از طریق تصمیمات تخصیص منابع) در شرایط عدم اطمینان مورد بررسی قرار می‌گیرد. هنگام تعیین اطلاعات مربوط به زمان فعالیتهای واقعی توجه ویژه‌ای به «تخصیص مجدد پویای منابع»[1] در طول مدت زمان طرحها می‌شود. اثر تخصیصهای منابع بر فعالیت با تعدیلهای تابع احتمال زمان فرایند آن ارائه می‌گردد. روشهای تحلیل از جمله برنامه‌ریزی پویا و تحلیل توزیع که منجر به ارائهٔ قوانین تصمیم پویای بهین می‌شوند حتی برای محاسبات شکل مسائل بسیار کوچک مورد مدافعه قرار می‌گیرند. کارایی «قوانین تصمیم ابتکاری»[2] برای مجموعه‌ای از شبکه‌های طرح با ساختار نسبتاً ساده از طریق شبیه‌سازی آزمون می‌گردند. نتایج مطالعات شبیه‌سازی مزبور به چند مفهوم کلی اشاره می‌کند که می‌توانند برای مدیریت طرحهای واقعی بزرگتر بکار برده شوند.

مقدمه

در طی پانزده سال گذشته، به نمودارهای شبکه به عنوان ابزارهای کمکی در برنامه‌ریزی و کنترل طرحهای بزرگ توجه قابل ملاحظه‌ای شده است. مقالات بسیاری را می‌توان در مجله‌های حرفه‌ای و دانشگاهی یافت که برای تحلیل نمودارهای شبکهٔ مورد نظر، فنون و فرمول سازیهای مسائل متنوعی ارائه کرده‌اند. به یقین می‌توان اظهار داشت که نتایج حاصل از تحلیل شبکه به ندرت در سطوح تصمیمگیری مدیریت ارشد مورد استفادهٔ کامل قرار گرفته یا بعضی مواقع حتی مورد ملاحظه قرار گرفته‌اند. برای مثال نگاه کنید به سرمقالهٔ Vazomyi. از نظر این نویسنده، این رفتار مدیریت را می‌توان به طور عمده متوجه ناتوانایی مدلهای کنونی تحلیل شبکه برای مقابله با سه واقعیت همزمانی مدیریت طرحهای واقعی دانست.

۱ـ عدم اطمینان

زمان مورد نیاز برای تکمیل فعالیتها به ندرت از پیش با اطمینان مشخص می‌شود. این مورد بویژه برای حالاتی است، که طرحها معمولاً بدون تکرار بوده، فقط یکبار در طول عمر آن وقوع می‌یابد.

۲ـ منابع

زمان مورد نیاز برای تکمیل اکثر فعالتیها به ندرت مستقل از منابع تخصیصی برای آنهاست. تخصیص منابع محدود میان فعالیتهای موازی و متوالی، تابع مدیریت طرح اصلی است.

۳ـ عدم ایستایی تصمیمگیری

مدیریت طرح در طول آن مستمراً به تخصیص مجدد منابع بر اساس اطلاعات جدید در وضعیت طرح می‌پردازد. تخصیص منابع در طرحها به ندرت در حالت تغییرناپذیر فرایند بودجه‌ریزی صورت می‌پذیرد.

در حالی که هیچیک از متون تحقیقی، بحثی از سه عامل فوق به طور همزمان نکرده‌اند، امّا توجه فراوانی به مسائل هر یک از عوامل به طور مجرد مبذول داشته‌اند. حتی فهرست جزئی منابع مربوط، حجیم است. خوانندهٔ علاقه‌مند می‌تواند به لیست منابع و مآخذ در Wiest و Levy یا در Ehmaghrahy رجوع کند.

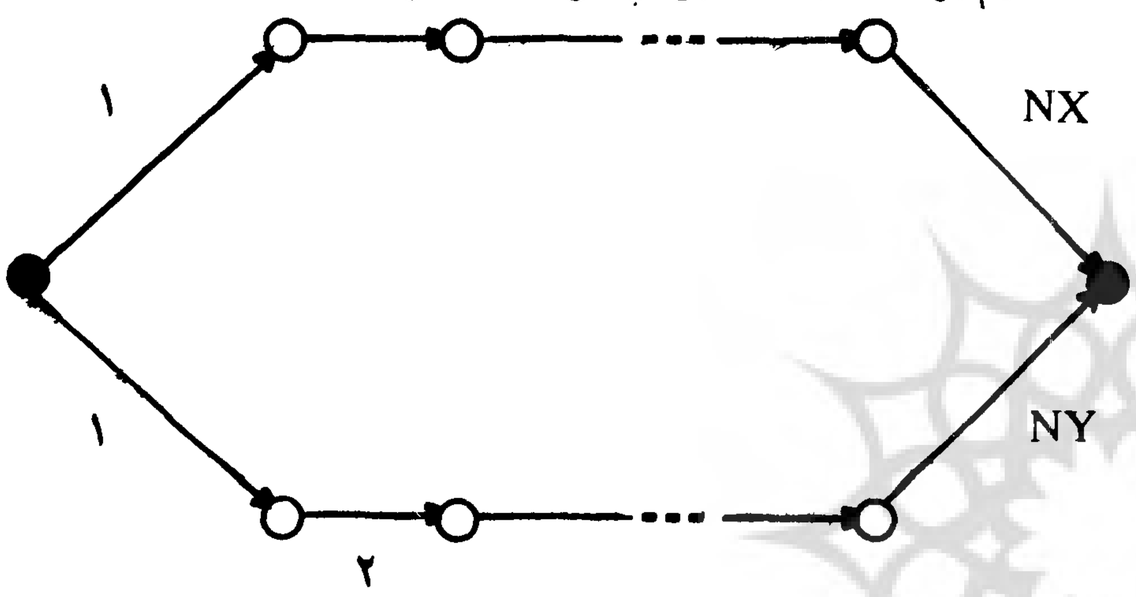
در این مقاله مدلی ارائه می‌شود که هر سه جنبهٔ مدیریت طرح را دارد. عدم اطمینان در ارتباط با وجود زمانهای فعالیت تصادفی است. بدین سان، زمان فرایند هر فعالیت تابع احتمال زمان فرایندش است. با تخصیص بیشتر یا کمتر منابع به یک فعالیت، تصمیمگیر (به عبارت دیگر، مدیریت طرح) می‌تواند بر تابع احتمال زمان فرایند فعالیت مزبور اثر گذارد. برای مثال، با تخصیص منابع به یک فعالیت خالص احتمالاً زمان فرایند آن می‌تواند کوتاهتر شود. نهایتاً، با مدل، تصمیمات تخصیص منابع برای توالی در طول زمان مجاز می‌شود.

تعیین «راهبرد تصمیم بهین»[3] از طریق مدلهای تحلیلی، اگر غیرممکن نباشد، فوق‌العاده پیچیده و از نظر محاسباتی پرزحمت است. با در اختیار نبودن راه حلهای بهین، قوانین ابتکاری برای تصمیمگیری تخصیص متوالی ارائه شده‌اند. موفقیت قوانین ابتکاری مزبور در دستیابی به اهداف مورد نظر با استفاده از تحلیلهای شبیه‌سازی در چند طرح نسبتاً کوچک مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است. هر یک از شبیه‌سازیها، بازتابهای اجرایی طرحهای خاصی را با تخصیصهایی در برمی‌گیرد که با یکی از قوانین تصمیم به عمل آمده است. در پایان مقاله، نتایج این شبیه‌سازیها و تحلیل نتایج آنها ارائه شده است. بخش بعدی بحث به شبکه‌هایی مربوط است که به تحلیل ماهیت تخصیصهای منابع و اثر آن تخصیصها بر زمانهای فعالیت و فرمول‌سازی خاص مسائل مورد نظر می‌پردازد.

تشخیص مسأله

شبکه:

ساختار ساده‌ترین شبکه برای تحلیل اثر قوانین تخصیص منابع بویا در شکل یک نشان داده شده است. در این شکل دو مسیر موازی وجود دارد که هر یک از آنها از سری فعالیتهایی تشکیل یافته که زمانهای فرایندشان متغیرهای تصادفی است. مسیر بالایی که به مسیر X اشاره می‌کند، NX فعالیت دارد و مسیر پایینی، Y، NY فعالیت را در برمی‌گیرد. در آغاز طرح، منابع به اوّلین فعالیت هر مسیر تخصیص یافته و فعالیتهای مزبور تداوم می‌یابند. هنگام تکمیل یک فعالیت، منابع به فعالیتی تخصیص خواهند یافت که بلافاصله بعد از اتمام فعالیت قبلی قرار می‌گیرد. برای وقوع تخصیص پویا، هر مسیر باید حداقل دو فعالیت داشته باشد. در تحلیل شبیه‌سازی این مقاله، هر یک از مسیرهای NX و NY، دو تا شش فعالیت دارند. شبکهٔ شش فعالیتی هر مسیر، تعداد کافی نقاط تصمیم برای مقایسه معتبر قوانین تخصیص دارد.



شکل ۱- ساختار شبکه

منابع:

زمان مورد نیاز برای فرایند هر فعالیت نامعین است، و بنابر این با متغیر تصادفی نشان داده می‌شود. تابع احتمال زمان فرایند فعالیت به میزان منابع تخصیصی آن فعالیت بستگی دارد. اثر تخصیص منابع بیشتر به یک فعالیت احتمالاً موجب کوچکتر شدن زمان فرایند فعالیت می‌گردد. برای مثال، افزایش در تخصیص به یک فعالیت خاص ممکن است متوسط زمان فرایند آن را کاهش دهد، یا ممکن است تمام تابع احتمال را به سمت چپ انتقال دهد. نوع منبع مورد توجه در این مقاله، از نوعی است که در فرایند یک فعالیت مورد استفاده قرار می‌گیرد و بنابر این نمی‌تواند برای فعالیت متفاوت بعدی در طول عمر طرح تخصیص مجدد شود. بدین‌سان در این مفهوم، پول یا مواد اوّلیه به عنوان منبع منظور نظر بوده در حالی که ماشین یا کارگر منظور نظر نیستند. فرض می‌شود که کل میزان منبع برای مثال، بودجه، محدود بوده، باید در طول مدت طرح هزینه شود. در پایان فرض می‌کنیم که هنگام آغاز فعالیتی، تخصیص منبعش نباید تغییر یابد، به عبارت دیگر، وضعیتی که منابع در میانهٔ فرایند فعالیت تخصیص می‌شوند مورد

توجه نیست.

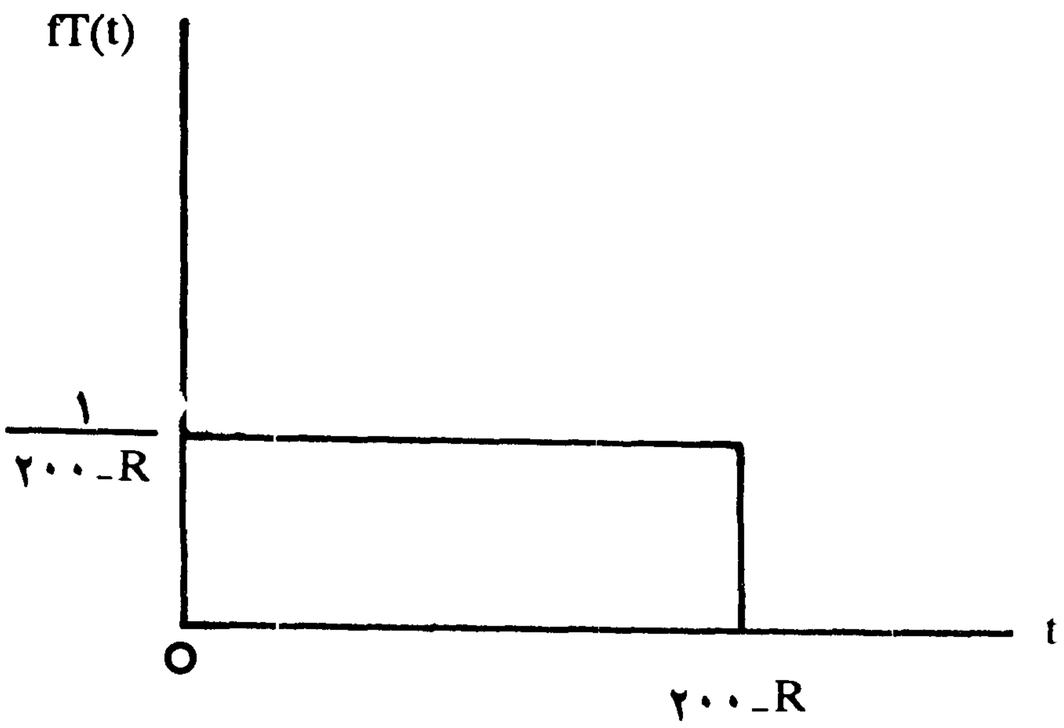
توابع احتمال:

با در اختیار داشتن چند منبع قابل تخصیص، زمان فرایند فعالیت را می‌توان با استفاده از تابع چگالی احتمال (P.d.f) ارائه کرد. در تحلیلهای شبیه‌سازی دو نوع تابع چگالی احتمال مورد استفاده قرار می‌گیرد که شکلهای آنها در شکل شماره دو نشان داده شده است. اوّلین آن، «توزیع یکنواخت»[4] در فاصلهٔ (R - ۰/۲۰۰) است که در آن R، میزان منبع مورد تخصیص به فعالیت است. دومین نوع تابع چگالی احتمال مورد استفاده در تحلیل، «توزیع مثلث متقارن»[5] با عرض از مبداء ۰ و R-۲۰۰ است که R باز هم معرف مقدار منبع تخصیص یافته است. توجه شود که در هر دو حالت تخصیص ویژه، R، اثر یکسانی بر میانگینها، $\frac{(R-200)}{2}$ و عرض از مبدأهای دو توزیع دارد. علاوه بر این، اثر نهایی یک واحد منبع، بر میانگین زمانهای فرایند خطی است.[6] برای هدف این مطالعه، تفاوت مورد توجه بین دو توزیع تابع چگالی احتمال یکنواخت است که واریانس بسیار بزرگتری (دو برابر) از واریانس مثلث دارد. برای منبع تخصیصی مفروض، اگر تابع چگالی احتمال مورد نظر به جای مثلث، یکنواخت باشد، مدت واقعی فعالیت بیشتر در موقعیت عدم اطمینان مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.

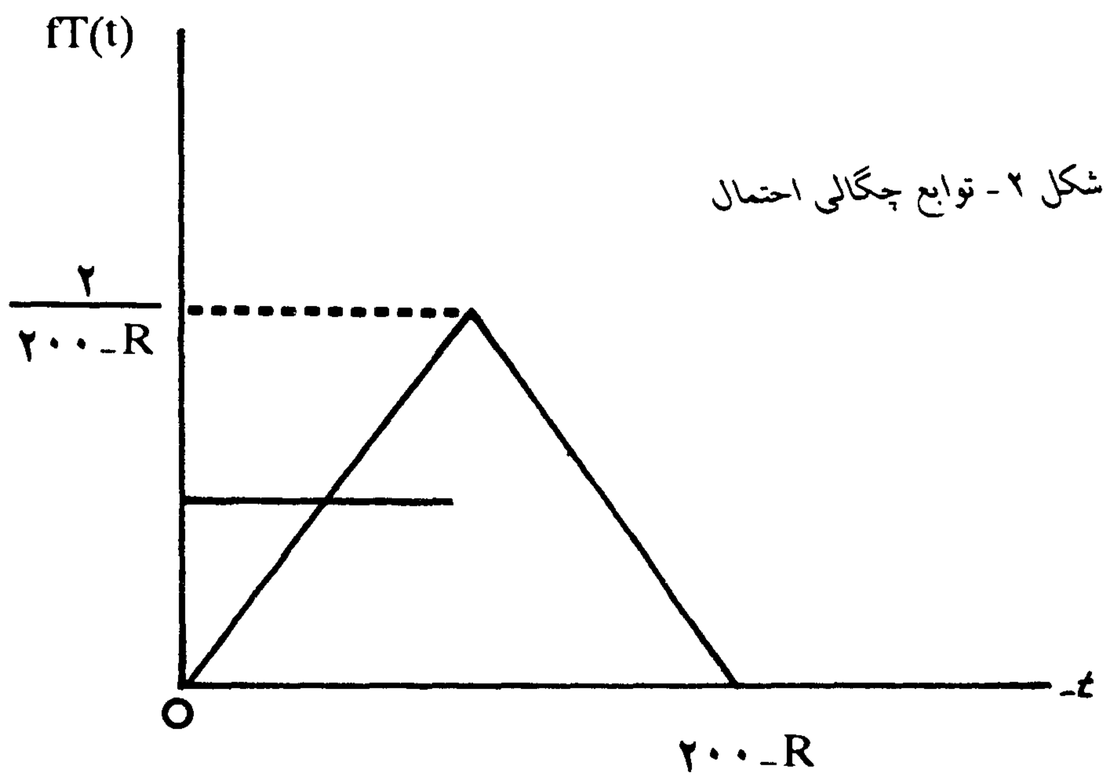
یکی از هدفهای این مطالعه، شناسایی اثر این عدم اطمینان بر موفقیت قوانین تخصیص پویاست. می‌توان فرض کرد که اثر دوجانبه است. از یک سو، عدم اطمینان بسیار می‌تواند از زمانهای فرایند غیرمعمول بالا یا پایین برای فعالیتهای اوّلیه در طرح ناشی شود، که به موجب آن، نیاز برای تخصیص پویا و کارآیی آن افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، همان عدم اطمینان بالا موجب زمانهای فعالیتی می‌شود که از تصمیم تخصیص ویژه برای حالتی بوجود می‌آید که بسیار متغیر است. هنگام مشاهدهٔ نتایج شبیه سازیهای طرح خاص، روشن می‌شود که مدیران طرح در غالب بهترین طرحهای مورد اجرا (یا قوانین تصمیم نزدیک بهین) بیراهه می‌روند.

هنگام اتمام فعالیتی و اتخاذ تصمیم تخصیص منبعی، در مسیر دیگر، بعضی از فعالیتها باید آغاز شوند.[7] می‌توان فرض کرد (تا اندازه‌ای به طور تصنعی) که تصمیمگیر از پیش بر مدت وقوع فرایند فعالیت واقف است یا می‌توان فرض کرد که تصمیمگیر می‌تواند اطلاعات جدیدی دربارهٔ تابع احتمال زمان فرایند باقی مانده برای آن فعالیت به دست آورد. هیچیک از این فروض در این مطالعه مدنظر قرار نگرفته‌اند. بلکه فرض می‌کنیم که توزیع زمان فرایند باقی‌ماندهٔ هر فعالیتی، اصلاح توزیع اوّلیه آن فعالیت است. برای فعالیتی که تابع چگالی احتمالش یکنواخت است، توزیع زمان فرایند باقیمانده در فاصلهٔ صفر تا حداکثر زمان باقیمانده برای فعالیت هنوز یکنواخت خواهد بود. البته مقدار اخیر تفاوت بین زمان جاری و حداکثر زمان تکمیل است که هنگام آغاز فرایند فعالیت به دست می‌آید. توزیع اصلاح شدهٔ زمان فرایند باقی‌مانده برای تابع چگالی احتمال مثلث پیچیده‌تر است.

در شبیه‌سازیهای متخذه، توابع چگالی احتمال فعالیتهای شبکه خاص یا تماماً یکنواخت بوده‌اند یا تماماً مثلث.[8] مطالعهٔ شبکه‌هایی با ترکیبات و شکلهای متعدد توابع چگالی احتمال می‌تواند درخور توجه باشد. به هر حال، احساس می‌شد که این مطلب می‌تواند تفسیر نتایج را، اگر غیرممکن نسازد، مشکل نماید.



شکل ۲ - توابع چگالی احتمال



تعریف مسأله و اهداف:

زمان تکمیل کل طرح، متغیر تصادفی مورد نظر مدیریت طرح، T، است. وی می‌خواهد تصمیمات تخصیص منابع را برای به حداقل رسانیدن E(T)، زمان مورد انتظار تکمیل طرح، اتخاذ کند. یا می‌خواهد طولانیترین زمان تکمیل ممکن طرح را به حداقل برساند. مدیریت طرح می‌تواند علاقه‌مند به حداقل رسانیدن واریانس (یا درجهٔ عدم اطمینان) زمان تکمیل طرح، Var(T)، و غیره باشد. می‌توان ترکیبات و ویژگیهای متنوع اهداف مدیریت طرح را فهرست کرد.

هدف اوّلیه در این مطالعه، حداقل‌سازی زمان مورد انتظار تکمیل طرح E(T) است. برای شبکهٔ مفروض، کارآیی قوانین متعدد تخصیص بر حسب E(T) حاصل اندازه‌گیری می‌شود.[9] تعیین قاعدهٔ تخصیص پویای بهین و محاسبهٔ تحلیلی E(T) مربوط فوق‌العاده حتی برای ساده‌ترین ساختار شبکه مشکل است. بر این اساس، قوانین مورد آزمون به بهترین صورت، ابتکاری هستند. برای ویژگیهای شبکه‌های متفاوت، مایل به تعیین E(T) مربوط به هر قاعدهٔ تصمیم تخصیص هستیم. این مقادیر [E(T)] با تکرار شبیه‌سازی اجرای طرح تحت هر یک از قوانین قاعدهٔ تصمیم برآورد می‌شوند و زمان متوسط تکمیل طرح را بر اساس بسیاری از تحققها محاسبه نمایند.[10]

بخش بعدی، قوانینی را تشریح می‌کند که به طور متوالی، منابع را از بودجهٔ محدود به فعالیتهای طرحهای مفروض تخصیص می‌دهد. مقایسهٔ میان قوانین بر اساس کارآیی هر یک از قوانین در حداقل سازی متوسط زمان تکمیل طرح است.

قوانین تخصیص

چهار قاعدهٔ تصمیم تخصیص منابع از طریق شبیه‌سازی مورد آزمون قرار می‌گیرد. بخشی از قوانین مبتنی بر اندیشهٔ کنترل فرایند دو مسیر مبتنی هستند به طوری که تقریباً آن دو مسیر در یک زمان به اتمام می‌رسند. از آنجا که طولانیترین مدت مسیر، زمان تکمیل تمام طرح را تعیین می‌کند، میان طولهای مسیر، توازنی برقرار می‌شود که مورد نظر است. در آغاز طرح، بخشی از بودجهٔ منبع به فعالیتهای اوّلیه هر یک از مسیرها تخصیص می‌یابد. آنگاه به طور مستمر در لحظه‌ای که فعالیتی خاتمه می‌یابد، منابع برای فعالیت بعدی تخصیص می‌یابند و فرایند آغاز می‌شود. در هر نقطه، در زمانی که تصمیمی اتخاذ شد زمان مورد انتظار باقیمانده در هر مسیر محاسبه می‌گردد. یکی از زمانهای مورد انتظار مسیر باقیمانده، زمان مورد انتظار باقیمانده فعالیتی است که به تازگی آغاز شده است. این زمان فرایند فعالیت باقیمانده از تابع احتمال اصلاح شده محاسبه می‌گردد که در بخش قبلی مورد بحث قرار گرفت.

البته زمان مورد انتظار فرایند باقیمانده در هر یک از مسیرها به میزان بودجهٔ تخصیصی باقیماندهٔ هر مسیر بستگی دارد. بودجهٔ باقیماندهٔ منبع، عامل تفاوت موجود بین دو مسیر برای مساوی کردن زمانهای مورد انتظار تکمیل مسیرهاست. آنگاه به فعالیت آمادهٔ فرایند بخشی از منابع آن مسیر اختصاص می‌یابد. میزان منبعی که به آن فعالیت تخصیص می‌یابد به سایر فعالیتها در باقیماندهٔ فرایند در آن مسیر بستگی دارد. به طور کلی، اگر n فعالیت در فرایند مسیر مفروض باقیمانده باشد، فعالیت آمادهٔ شروع، مقدار معین منابع ($\frac{1}{n}$) را به خود اختصاص می‌دهد. تصمیم میزان منبع مورد نظر هر مسیر هنگام اتمام فعالیتی مجدداً اتخاذ می‌شود. این تصمیم بازتاب اطلاعات جدید از مدت تکمیل فعالیت اتمام یافته و نیز زمان باقیماندهٔ فعالیتی است که اخیراً فرایند خود را آغاز کرده است. از اینرو در حالی که تصمیم به توزیع تخصیصهای منبع به طور صحیح میان فعالیتهای باقیمانده در مسیر داریم، اغلب تخصیصهای واقعی منبع کاملاً متفاوتند.

معمولاً بحثهای منطقی ارائه شده (به عبارت دیگر، تخصیص منابع بین مسیرها برای یکسان ساختن زمانهای مورد انتظار مسیرها و توزیع صحیح آنها برای آن مسیر است) بهینه نیستند. عدم بهینگی از دو عامل بوجود می‌آید. اوّلاً، ایدهٔ گسترش (یا برنامه‌ریزی برای گسترش) منابع به طور صحیح میان فعالیتهای یک مسیر منعکس کنندهٔ ماهیت پویای فرایند تصمیم نیست. بیشتر اشخاص در ابتدا به طور ذاتی ایدهٔ (موجودی پایین)[11] تخصیصها را برای منبع در طرح می‌فهمند. مبنای این ایده، اطلاعات حاصل

در زمانهای واقعی مورد نیاز فرایند چند فعالیت اوّل است، به طوری که تخصیصهای منبع بعدی را می‌توان هنگامی که مورد نیاز شدید هستند انجام داد. حداقل از جنبهٔ نظری، یک راهبرد تصمیم بهین را می‌توان از طریق برنامه‌ریزی پویا تعیین کرد. متأسفانه، محاسبات چنین روشهایی حتی در شبکه‌های ساده مشکل هستند. به هر حال، تلاش می‌شود دو قاعدهٔ ابتکاری تخصیص مورد مطالعه با رفتار پویای فرایند تصمیم با موجودی پایین در تخصیصهای منبع اوّلیه طرحها بررسی شوند.

دومین علت عدم بهینگی در قوانین تصمیم از تخصیص منابع برای مساوی ساختن زمانهای مورد انتظار تکمیل دو مسیر نشأت می‌گیرد. تعجب‌انگیز است امّا در واقع، زمان تکمیل طرح با اتمام آخرین مسیر تعیین می‌گردد و همیشه هزینهٔ نهایی نزولی زمان مورد انتظار تکمیل هزینه برابر بوده، به عبارت دیگر، اثر بازده‌های نزولی وجود ندارد. به هر حال، زمان مورد انتظار تکمیل کل طرح به بیشتر از زمانهای مورد انتظار اتمام مسیر بستگی دارد. این امر، در ارتباط نزدیک با توابع احتمال کل زمانها برای اتمام هر مسیر است. برای مثال، فرض شود به گونه‌ای درصدد تخصیص منبع هستیم که زمانهای مورد انتظار اتمام مسیر برابر باشند. اگر واریانس زمان تکمیل یک مسیر برای مثال X، بزرگتر از واریانس مسیر Y باشد، می‌توان زمان مورد انتظار تکمیل طرح را با حرکت مقداری از منابع از مسیر Y به X کاهش داد. حتی اگر زمان مورد انتظار تکمیل مسیر Y افزایش یابد، انتقال منابع به علت اثراتش در زمان تکمیل مسیر X مطلوب خواهد بود. مدت مورد انتظار مسیر X علی‌رغم با اهمیت‌تر شدنش، کم می‌گردد و عدم اطمینان مدت آن کاهش خواهد یافت. اثر خالص کاهش در زمان مورد انتظار تکمیل کل طرح است.

برای هدف اصلی این مقاله، کافی است به ناچیز بودن اثر پدیدهٔ فوق بر کارآیی قوانین تصمیم اشاره شود. ضروری است برای اشکال شبکه یا مشخصه‌های تابع چگالی احتمال بجز مواردی که در اینجا مطالعه می‌گردند توجه بیشتر بدان داد.

قواعد ویژهٔ تصمیم مورد بررسی در زیر تشریح می‌گردند، سپس مقایسه‌ای از نتایج کاربرد این قوانین برای اشکال طرحهای متعدد ارائه خواهد شد:

ایستا:

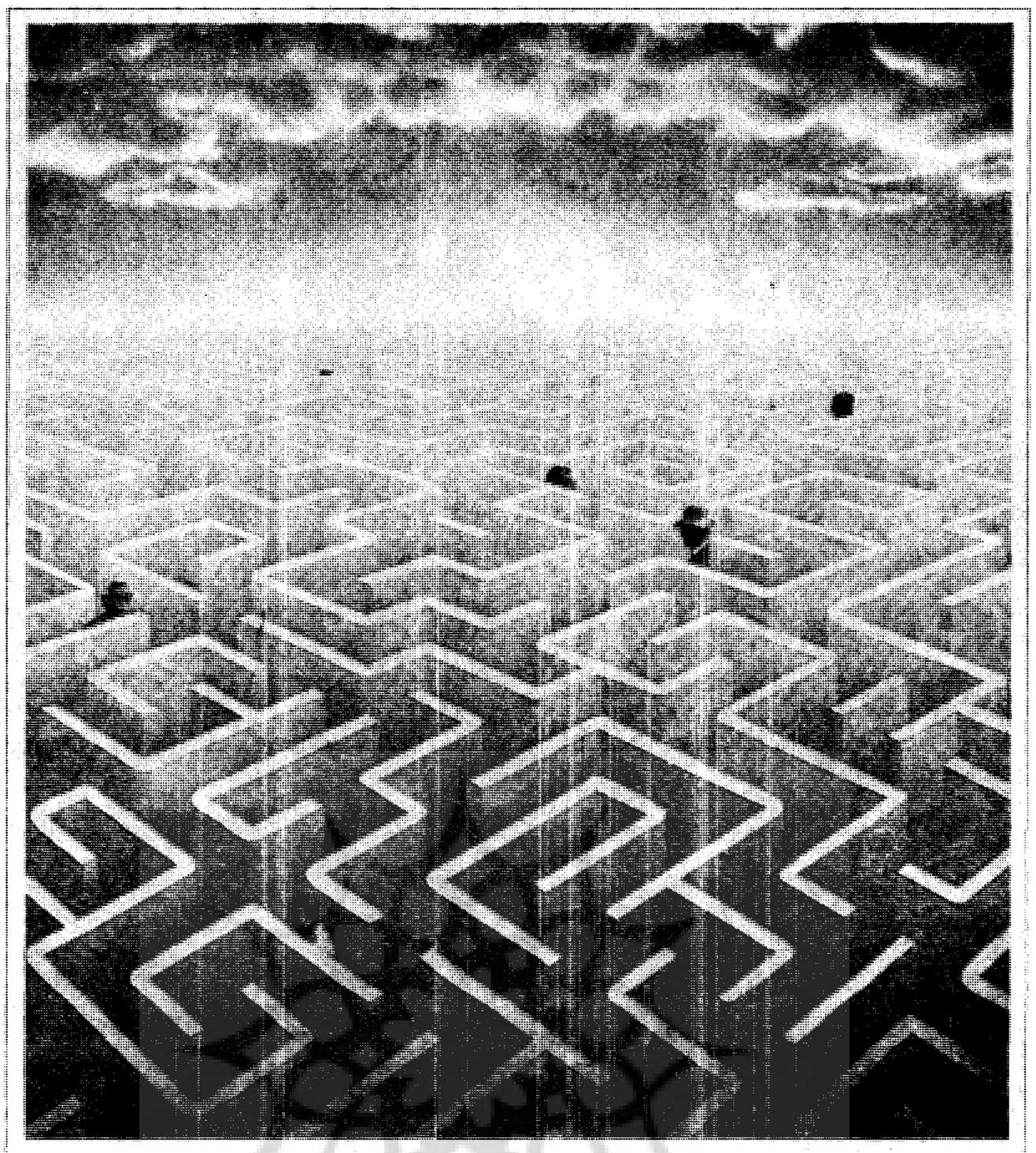
در اوّلین قاعدهٔ تخصیص توالی تصمیمات وجود ندارد و به عنوان مبنای داوری راجع به کارآیی قواعد پویا عمل می‌کند. بودجه به دو مسیر تقسیم می‌گردد که زمانهای مورد انتظار تکمیل آنها یکسان است. آنگاه منابع تخصیصی هر مسیر به طور مناسب در طول مسیرش توزیع می‌شود. در این روش، تخصیصهای منبع فعالیتهای مزبور در طول طرح ثابتند. هنگام دریافت اطلاعات دربارهٔ زمانهای واقعی طرحها، اصلاحاتی در تخصیصها به عمل نمی‌آید.

پویا:

در این قاعده، همانند روش ایستا تخصیصهای منبع به اوّلین فعالیت هر مسیر داده می‌شود. به هر حال، در این حالت، منابع با بررسی اطلاعات حاصل از زمانهای واقعی برای فعالیتهایی که به تازگی به اتمام رسیده‌اند به توالی برای فعالیتهای بعدی تخصیص می‌یابند. همان‌گونه که قبلاً بحث شد، تخصیصهای متوالی منبع برای برابر ساختن زمانهای مورد انتظار و باقیماندهٔ فرایند دو مسیر در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌گردد زمانهای واقعی فعالیت در مسیر، برای مثال X، نسبتاً (به آنچه که مورد انتظار بوده) کوچک است و زمانهای واقعی فعالیت در مسیر Y نسبتاً بزرگ است. در این صورت، مقداری از منابع که برای مسیر X در نظر گرفته شده بود به فعالیتهای مسیر Y انتقال می‌یابند. میزان منابع انتقالی در هر نقطهٔ تصمیم به مقایسهٔ زمان واقعی هر مسیر نسبت به زمان مورد انتظار آن مسیر بستگی دارد. برای مثال، اگر زمانهای واقعی هر دو مسیر به یک اندازه بزرگتر (کوچکتر) از زمانهای مورد انتظار مربوط باشند، آنگاه منبعی انتقال نخواهد یافت.

تأخیر اوّل:[۱۲]

قاعدهٔ سوم تخصیص، تعدیل قاعدهٔ پویاست. در این قاعده اوّلین فعالیت هر مسیر فقط بخشی از منابع را که به روش پویا یا ایستا تخصیص یافته دریافت می‌دارد، آنگاه تصمیمات متوالی تخصیص به طور یکسان همانند پویا اتخاذ می‌گردد. نسبت منابعی



که برای فعالیتهای **نخستین هر** مسیر در **نظر** گرفته می‌شود بودجهٔ باقیماندهٔ تخصیصی به فعالیتهای بعدی را افزایش می‌دهد. می‌توان به طور ادراکی فرض کرد، هنگام معلوم شدن اطلاعات فعالیتهای واقعی این منابع را می‌توان بعداً بهتر در طول عمر طرح صرف کرد. برای مطالعات شبیه‌سازی مورد بحث بخش بعدی، نسبت منابع تخصیصی از اوّلین فعالیتها ۵۰٪ است.

تأخیر متوالی:[۱۳]

قاعدهٔ نهایی تصمیم مورد بررسی بسط روش اوّلین تأخیر است. همانند آن روش، به فعالیتهای نخستین فقط ۵۰٪ میزان منابع بر اساس روش ایستا یا پویا تخصیص می‌یابند. در این روش، سپس به فعالیتهای بعدی نسبتهای افزایش تخصیصها به روش پویا داده می‌شود. نسبت ویژهٔ مورد استفاده در هر نقطهٔ تصمیم به تعداد فعالیتهای باقیماندهٔ فرایند در مسیر مفروض در ارتباط با کل تعداد فعالیتها در آن مسیر بستگی دارد. اگر RA به تعداد باقیماندهٔ فعالیتها در مسیر مفروض و TA به تعداد کل **وضعیتهای شش تصمیم یکسان** روش پویا (یا زمانهای واقعی یکسان فعالیت و میزان یکسان منابع باقیمانده تخصیص نیافته) بکار رود، تخصیصهای بعدی ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ درصد تخصیصهایی خواهد بود که در روش پویا اتخاذ می‌گردید. اثر تأخیر متوالی به تناسب تا دریافت اطلاعات جدید دربارهٔ تحقق زمانهای واقعی فرایند فعالیتهای اوّلیه به تأخیر می‌افتد.

نتایج شبیه‌سازی

هر یک از چهار قاعدهٔ تخصیص مورد استفاده در فرایند چند طرح نمودارهای شبکه‌هایشان همانند مسیرهای موازی می‌باشند. تعداد فعالیتهای هر یک از مسیرهای موازی از دو تا شش است. در هر وضعیت، ۱۰۰۰ تحقق زمان تکمیل طرح از طریق فعالیتهای آن مسیر اشاره می‌نماید، آنگاه نسبت منابع تخصیص یافته در نقطهٔ تصمیم خاص برابر $\frac{۱-۰/۵(RA-۱)}{TA-۱}$ است. بدین‌سان، اگر مسیری شش فعالیت داشته باشد در صورتی که برای شبیه‌سازی به دست آمده است. آنگاه این هزار مقدار برای

محاسبهٔ میانگین و واریانس زمان تکمیل طرح بر اساس قاعدهٔ تصمیم مفروض استفاده شدند. توابع احتمال فعالیتهای شبکهٔ مورد نظر تماماً یا تابع چگالی احتمال یکنواخت بوده یا تماماً تابع چگالی احتمال مثلثی هستند. در آخرین مرحله، بودجهٔ تخصیصی در طول طرح در ۱۰۰ زمان تعداد کل فعالیتها در آن طرح تنظیم می‌شود.

نتایج حاصل درجهٔ اوّل یک تا چهار ارائه شده‌اند. NX و NY تعداد فعالیتهای دو مسیر است. ردیفی که با ایستا معین شده مقدار اندازه (به عبارت دیگر، میانگین یا واریانس) زمان تکمیل طرح را بر اساس روش ایستا با یک هزار تحقق طرح به دست می‌دهد. ردیفهایی که با عنوان پویا، تأخیر اوّل و تأخیر بعدی مشخص شده‌اند درصد کاهش (نسبت به ایستا) اندازهٔ حاصل را با استفاده از قواعد مورد استفاده در مسائل یکسان ارائه می‌دهند. برای مثال، اوّلین ستون جدول یک، اشاره می‌کند که طرح تحت ملاحظه دو فعالیت در هر مسیر دارد و توابع توزیع احتمال زمان آن فعالیتها یکنواخت است. میانگین ۱۰۰۰ زمان تکمیل طرح شبیه‌سازی شده با استفاده از قاعدهٔ تخصیص ایستا، ۱۲۳ به دست آمده است. با بکار بردن روشهای تخصیص پویا، تأخیر اوّل، تأخیر بعدی برای همان طرحها، به ترتیب به ۳/۲۲، ۵/۲۶ و ۵/۲۶ درصد (زیر ۱۲۳) تنزل می‌یابد.[۱۴]

نتایج جدول یک و دو برای متوسط زمان تکمیل را که با استفاده از چهار روش به دست آمده بررسی می‌کنیم. (باید توجه داشت اقلامی که داخل پرانتز نیستند اشاره به نتایجی دارد که با استفاده از تابع چگالی احتمال یکنواخت به دست آمده و آنهایی که در پرانتز هستند به نتایج حاصل از تابع چگالی احتمال مثلثی اشاره دارد) در تمامل حالات، متوسط زمان تکمیل حاصل در روش ایستا، بزرگتر از متوسط آن در روش پویاست که این مقدار به نوبهٔ خود بزرگتر از تأخیر اوّل و میانگین حاصل از تأخیر اوّل بزرگتر از میانگین حاصل تأخیر بعدی است. تخصیصهای متوالی منبع بهتر از تخصیصهای ثابت است. ضمناً باکاهش تخصیصها به اوّلین فعالیت هر مسیر اصلاحات کوچکی به عمل می‌آید و می‌توان اصلاحات بیشتری را با تأخیر متوالی تمام تخصیصهای منبع در طول طرح به دست آورد. کارآیی رتبه‌بندی نسبی روشهای مزبور غیر قابل انتظار نیست.

آنچه تعجب‌انگیز است بهبودهای نسبتاً کوچک سه روش متوالی نسبت به روش ایستاست. دامنهٔ درصد بهبود از ۳/۲۲ (۲/۶۲) تا ۶/۲۹ (۴/۸۱) برای پویا، از ۳/۸۳ (۲/۸۳) تا ۷/۲۶ (۵/۵۶) برای تأخیر اوّل و از ۳/۸۳ (۲/۸۳) تا ۸/۷۰ (۶/۷۱) برای تأخیر بعدی است. به هر حال، میزان بهبود می‌تواند اغفال کننده باشد. اگر شخصی از داده‌ها در افزایشهای میانگین هر یک از زمانهای تکمیل در بالای حداقل زمان مورد انتظار قابل حصول تکمیل طرح برای شبکهٔ مفروض استفاده کند درصد بهبودها بسیار بیشتر خواهد بود. برای مثال اگر شخصی بخواهد به طور کامل برای یک شبکهٔ شش در شش عدم اطمینان را حذف کند، حداقل زمان تکمیل طرح ۳۰۰ خواهد بود. متوسط زمان تکمیل برای ایستا، ۳۴۰/۹ (۳۲۹/۰) و برای تأخیر بعدی ۳۱۱/۸ (۳۰۷/۸) می‌باشد. آنگاه درصد بهبود بالای ۳۰۰ روش تأخیر بعدی نسبت به روش ایستا $\frac{۲۹/۱}{۴۰/۹}$ = ۷۱/۱٪ و ($\frac{۲۱/۲}{۲۹}$ = ۷۲/۱٪) خواهد بود.

برای اینکه هر یک از روشهای تصمیم متوالی به طور مجزا منظور شود، هنگام ازدیاد تعداد فعالیتهای هر یک از مسیرها، بهبودها نسبت به روش ایستا افزایش خواهد یافت. برای مثال، هنگامی که از شبکه‌های دو در دو به سه درصد ... تا شش در شش حرکت کنیم، بهبودهای نسبی با استفاده از روش پویا اعداد ۳/۲۲ (۲/۹۸)، ۴/۶۰ (۳/۸۶)، ۵/۸۹ (۴/۶۲)، ۶/۱۱ (۴/۶۱) و ۶/۲۹ (۴/۸۱) به دست می‌آید. همان پدیده با روشهای تأخیر اوّل و تأخیر متوالی وقوع می‌یابد. هنگام ازدیاد طولهای مسیر، روشهای تصمیم متوالی نسبتاً کارآتر هستند. از آنجاکه فرصتهای بیشتری برای روشهای متوالی بر شبکه‌های بزرگتر اثر می‌گذارد. دقیقاً این همان چیزی است که انتظار وقوعش می‌رود.

در تمام حالتها، هنگامی که به جای ملاحظهٔ تابع چگالی احتمال مثلثی، تابع چگالی احتمال یکنواخت در نظر گرفته می‌شود، بهبودهای نسبی روشهای متوالی بیشتر خواهند شد. این نتیجه را می‌توان با تکیه بر زمانهای فعالیت چند فعالیت اوّل در هر یک از مسیرها تشریح کرد. هنگامی که زمانهای این فعالیتها بسیار متغیر است (یا تحت روش تابع چگالی احتمال یکنواخت) بخش

جدول ۱ - درصد کاهش میانگین زمان تکمیل نسبت به روش ایستا (تابع چگالی احتمال یکنواخت)

NX	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۵	۵	۶
NY	۲	۳	۴	۵	۶	۳	۴	۵	۶	۵	۶	۶	۶	۶	۶
ایستا	۱۲۳	۱۵۱	۱۷۹/۹	۲۰۸/۸	۲۳۱/۸	۱۷۹	۲۰۶/۱	۲۳۴	۲۶۲/۸	۲۳۴	۲۵۹/۴	۲۸۵/۱	۲۸۷/۷	۳۱۰/۷	۳۴۰/۹
پویا	۳/۲۲	۳/۴۹	۴/۱۲	۳/۳۲	۴/۳۱	۴/۶۰	۵/۱۴	۵/۵۶	۵/۶۵	۵/۸۹	۵/۳۷	۵/۲۶	۶/۱۱	۵/۵۶	۶/۲۹
تأخیراوّل	۵/۲۶	۵/۲۸	۴/۶۰	۳/۸۳	۴/۱۰	۴/۴۵	۶/۶۷	۶/۹۲	۶/۶۱	۷/۲۶	۶/۶۷	۶/۲۰	۶/۹۰	۶/۴۰	۶/۷۵
تأخیرمتوالی	۵/۲۶	۵/۲۸	۴/۶۰	۳/۸۳	۴/۱۰	۷/۳۷	۷/۶۸	۷/۹۲	۷/۲۹	۸/۵۸	۸/۰۷	۷/۵۲	۸/۷۰	۷/۹۴	۸/۵۴

جدول ۲ - درصد کاهش میانگین زمان تکمیل نسبت به روش ایستا (تابع چگالی احتمال مثلثی)

NX	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۵	۵	۶
NY	۲	۳	۴	۵	۶	۳	۴	۵	۶	۴	۵	۶	۵	۶	۶
ایستا	۱۱۶/۲	۱۴۳/۶	۱۷۱/۱	۱۹۱/۷	۲۲۷/۸	۱۷۰/۶	۱۹۷/۲	۲۲۳/۶	۲۵۱/۴	۲۲۴	۲۴۱	۲۷۶/۸	۲۷۶/۷	۳۰۰/۲	۳۲۹
پویا	۲/۹۸	۲/۹۶	۳/۲۵	۲/۶۲	۲/۸۸	۳/۸۶	۴/۰۳	۴/۲۹	۴/۲۵	۴/۶۲	۴/۱۰	۴/۱۳	۴/۶۱	۴/۳۲	۶/۸۱
تأخیراوّل	۵/۰۱	۴/۶۶	۳/۸۴	۳/۰۶	۲/۸۳	۵/۱۵	۵/۲۷	۵/۱۵	۴/۸۵	۵/۵۶	۵/۰۳	۴/۸۴	۵/۲۵	۴/۹۸	۵/۱۰
تأخیرمتوالی	۵/۰۱	۴/۶۶	۳/۸۴	۳/۰۶	۲/۸۳	۵/۹۵	۶/۱۵	۵/۸۷	۵/۴۵	۶/۷۱	۶/۴۳	۵/۷۶	۶/۶۵	۶/۱۷	۶/۴۴

جدول ۳- درصد کاهش واریانس زمان تکمیل نسبت به روش ایستا (تابع چگالی احتمال یکنواخت)

NX	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۵	۵	۶
NY	۲	۳	۴	۵	۶	۳	۴	۵	۶	۶	۵	۴	۶	۶	۶
ایستا	۱۰۷۴	۱۴۷۸	۱۸۲۹	۲۳۵۸	۳۴۱۱	۱۶۴۸	۲۰۱۳	۲۱۳۲	۲۸۸۹	۲۳۵۷	۲۷۵۱	۳۰۴۶	۲۷۴۵	۳۰۷۳	۳۳۵۱
پویا	۴/۳۳	۱۰/۵۹	۱۴/۰۲	۲۶/۹۲	۳۶/۶۴	۱۶/۱۹	۱۸/۸۰	۱۷/۰۴	۲۴/۱۹	۱۹/۴۵	۲۲/۱۷	۲۱/۴۶	۱۶/۶۹	۱۹/۸۱	۲۱/۳۴
تأخیراوّل	۳/۹۷	۹/۰۵	۵/۱۸	۲۱/۹۶	۳۲/۲۲	۷/۴۷	۱۲/۴۴	۱۲/۴۷	۲۰/۵۸	۱۵/۹۹	۱۸/۴۳	۱۷/۸۳	۱۴/۰۶	۱۶/۳۱	۱۶/۱۸
تأخیرمتوالی	۳/۹۷	۹/۰۵	۵/۱۸	۲۱/۹۶	۳۲/۲۲	۹/۰۲	۱۲/۱۸	۹/۴۵	۲۱/۰۱	۱۷/۵۹	۱۶/۹۹	۱۵/۳۱	۱۳/۸۶	۱۳/۹۳	۱۳/۲۳

جدول ۴- درصد کاهش واریانس زمان تکمیل نسبت به روش ایستا (تابع چگالی احتمال مثلثی)

NX	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۵	۵	۶
NY	۲	۳	۴	۵	۶	۳	۴	۵	۶	۶	۵	۴	۶	۶	۶
ایستا	۵۳۴	۷۴۹	۹۲۱	۱۱۹۸	۱۶۸۵	۸۳۷	۱۰۰۶	۱۰۷۱	۱۴۵۰	۱۱۸۸	۱۳۶۰	۱۵۵۱	۱۳۷۰	۱۵۵۸	۱۶۶۹
پویا	۴/۰۸	۸/۹۰	۱۳/۰۹	۲۱/۶۰	۳۴/۴۱	۱۵/۶۸	۱۶/۲۳	۱۵/۲۴	۲۳/۴۱	۲۰/۳۸	۲۰/۷۹	۲۰/۱۴	۱۷۶۵	۱۸۶۳	۲۰۷۱
تأخیراوّل	۲/۳۴	۵/۴۷	۳/۲۶	۱۶/۸۲	۲۹/۵۵	۹/۹۵	۱۱/۴۵	۱۱/۶۵	۱۵/۴۹	۱۷/۴۰	۱۸/۴۷	۱۷/۶۰	۱۴/۷۲	۱۶/۳۳	۱۶/۹۳
تأخیرمتوالی	۲/۳۴	۵/۴۷	۳/۲۶	۱۶/۸۲	۲۹/۵۵	۹/۸۸	۱۱/۵۵	۱۰/۲۶	۱۷/۸۶	۱۷/۳۵	۱۵/۲۶	۱۴/۶۲	۱۴/۸۶	۱۳/۴۶	۴۱/۷۲

نخستین تحقق یافته زمانهای مسیر تکمیل شده در طرح، احتمالاً به سمت عدم توازن پیش می‌رود. این حالت، دقیقاً شبیه وضعیتی است که در آن روشهای متوالی نسبتاً بیشترین موفقیت را خواهند داشت زیرا قدرت توازن مجدد زمانهای تکمیل در مسیر را دارند.

در این مرحله نتایج جدول سه و چهار را بررسی کرده که واریانسهای زمان تکمیل طرح را بر اساس روشهای تصمیم مقایسه می‌کنند. بر حسب کارآیی روشها در حداقل‌سازی واریانس، آنها را به ترتیب صعودی به صورت ایستا، تأخیر متوالی، تأخیر اوّل و پویا رتبه‌بندی می‌کنیم.[16] در حالی که هر یک از روشهای متوالی در کاهش واریانس بهتر از روش ایستا عمل می‌کنند، اما رتبهٔ کارآیی آنها عکس حالتی است که برای میانگین زمانهای طرح در نظر گرفته می‌شوند. این امر تا اندازه‌ای غیرمعمول است. یکی از دلایلش تأخیر تخصیصهای منبع، احتمال وقوع بعضی فعالیتها را در ابتدای طرح برای تداوم غیرمعمول فرایند افزایش می‌دهد. یا زمان تکمیل طرح حساسیت زیادی به چند زمان فعالیت آخر دارد که بر تخصیصهای منبع که در انتهای این طرح ایجاد می‌شود به طور نسبتاً زیاد (یا کم) اثر می‌گذارد. درک کامل این پدیده به تحقیق بیشتری نیاز دارد.

تمامی بهبودهای واریانس با روشهای متوالی کاملاً بزرگ هستند. آنها برای روش پویا از ۴/۳۳ (۴/۰۸) تا ۳۶/۶۴ (۳۴/۴۹) و برای روش تأخیر اوّل (یا تأخیر متوالی) از (۲/۳۴) ۳/۹۷ تا (۲۹/۵۳) ۳۲/۲۲ تغییر می‌یابند. شایان توجه است در هر سه روش متوالی با شبکه دو در شش بیشترین کاهش در واریانس نسبت به واریانس ایستا بوجود می‌آید. مقدار بیشتر تمام بهبودها کاملاً بر اساس منطق فرمول‌سازی روشهای متوالی مورد توجه قرار می‌گیرند. روشهای مساوی‌سازی زمانهای تکمیل دو مسیر باقیمانده بر اساس کاهش زمانهای مورد انتظار تکمیل طرح بوده‌اند. کاهش بسیار واریانس زمانهای تکمیل حالت غیرقابل پیش‌بینی‌اند.

همان‌طور که در حالت میانگین زمان تکمیل مشاهده شد، بهبود در کاهش واریانس به طور کلی با افزایش اندازهٔ شبکه افزایش خواهد یافت. به همین صورت، واریانس‌های زمان تکمیل عموماً بزرگتر از زمان یکنواخت توزیع چگالی احتمال نسبت به مثلثی بودن آن است. دلایل این امر همانند دلایلی است که برای متوسط زمانهای تکمیل بحث شده است.

نتیجه‌گیری

طرحی برای مطالعهٔ تخصیص متوالی منابع در طرحهایی ارائه شد که زمانهای فعالیتشان نامعین بودند. با استفاده از شبیه‌سازی، قادر به مطالعه و مقایسهٔ رفتار روشهای تصمیم متوالی شدیم. چند تعمیم زیر را می‌توان ارائه کرد.

۱ - قوانین متوالی می‌توانند زمان مورد انتظار تکمیل طرح را کاهش داده، چنین روشهایی را می‌توان برای کاهشهای عمده در واریانس زمان تکمیل طرح مورد استفاده قرار داد.

۲ - محدود بودن تخصیصهای منبع در ابتدای طرح نیز می‌تواند موجب کاهش زمان تکمیل طرح و تا اندازه‌ای در هزینهٔ واریانس افزایش یافته شود.

۳ - طرحهایی که تعداد نسبتاً زیاد فعالیتها در مسیرهای متنوع دارند اکثراً با استفاده از تخصیصهای متوالی منبع قابل کنترل می‌باشند.

۴ - به همین صورت، روشهای تخصیص متوالی نسبتاً بیشترین کارآیی را برای طرحهایی دارند که زمانهای فرایند فعالیتهای آنها بسیار متغیرند. تعمیمات دیگری که کمتر قطعی هستند در بخش نتایج شبیه‌سازی بحث شدند.

چارچوب و روش‌شناسی ارائه شده ساختار تداوم تحلیل مدیریت طرح است. نکتهٔ درخور توجه اینکه می‌توان اثر همزمان موقعیت عدم اطمینان، تخصیص منابع و تصمیمگیری متوالی را در کنترل طرح مطالعه کرد.

چندین عنوان برای تحقیقات بعدی ارائه شده است. یکی از آنها تحلیل بیشتر پارامترهای تأخیری منابع در استفاده از روشهای تأخیر اوّل و تأخیر متوالی است. روش تحقیقی دیگر، بررسی ساختار شبکه‌های بیشتر از دو مسیر موازی یا بیشتر در شکلهای پیچیده‌تر است. برای شبکه‌های بزرگتر بویژه شبکه‌هایی

با چندین مسیر موازی، می‌توان پیش‌بینی کرد که کارآیی نسبی روشهای تصمیم متوالی حتی برای شبکه‌های مورد مطالعه در این مقاله بیشتر است. جنبهٔ سوم مطالعه، شبکه‌هایی است که زمانهای فعالیت آنها توابع احتمال با شکلها و ترکیبات متفاوت دارند. در این روش، تحلیل اثر رتبه‌بندی فعالیتهای متفاوت با تنوع زمانی را می‌توان به چند تصمیم مورد نظر گسترش داد.

دیگر روشهای احتمالی تحقیق را می‌توان ارائه کرد. امید است کاری که در این مقاله ارائه شده بتواند به عنوان نقطهٔ آغاز تحلیلهای بعدی کنترل پویای طرحها در موقعیت عدم اطمینان قرار گیرد.[۱۷]

۱۴- اقلام موجود در سمت چپ پایین جدولها (در ارتباط با تأخیر اوّل و تأخیر بعدی نتایج حاصل برای طرح ۲ =NX است) برابر هستند. هنگام وجود فقط یك فعالیت منفرد در فرایند یکی از مسیرها، این روشها، فعالیتهای تخصیص کامل منابعشان را ارائه می‌دهند. بدین سان، اگر یکی از مسیرها فقط دو فعالیت داشته باشد، روشهای تأخیر اوّل و تأخیر بعدی به طور یکسان رفتار می‌کنند.

۱۵- تفاوت بین متوسط زمان تکمیل بر اساس روشهای متفاوت تماماً از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ یا کمتر معنی‌دار هستند.

۱۶- برآورد واریانس واریانس برآورد کننده به سهولت از شبیه‌سازیهای مورد عمل به دست نمی‌آیند. به هر حال، تفاوت بین واریانسهای نمونه به اندازه‌ای بزرگ است که می‌توان تفاوت آنها را معنی‌دار فرض کرد.

۱۷- از نویسنده دربارهٔ بعضی از جزئیات فنی این تحقیق مطالبی موجود است. بویژه، این مطالب مربوط به روشهای تحلیلی مسایل موجود در برنامه‌ریزی پویا، چگونگی به دست آوردن توزیع زمان باقیمانده برای تابع چگالی احتمال مثلثی و مواردی از علت دست نیافتن ضروری حداقل زمان مورد انتظار تکمیل طرح با مساوی قراردادن زمانهای مورد انتظار تکمیل مسیر، می‌گردد.

منابع

- BURT, J. M., "Resource Allocation in Stochastic Prayiet Networks", Praceeding of the Fifth Conference on Applications of Sinulation, New York (1971).

- GAVER, D. P., And PERLAS, M., "Simple Stochastic Networks: Some Problems and Pro ", Naral Resourch Logistics Quarterly, Vol. 17. No. 4 (December 1970).

- ELMAGHRABY, S. C., Some Network Models in Management Science, Springer-Verlag, New York, 1970.

- VAZSONYI, A., "L'Historie de Grandeur Ct de La Decandence de la Methode PERT". Guest Editorial in Management Science, Vol. 16. No. 8 (April 1970).

- WIEST, Y. D. ANDLEVY. F. K., A Management Guide to PERTICPM, Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Yersey, 1969.

1-Dynamic Reallocation of resources

2-Heuristic decision rules

3-An Optimal decision Strategy

4-Uniform distribution

5-Symmetic Triangular dist

۶- در تحقیق قبلی، نویسنده اثر بازده‌های نزولی را مطالعه کرده است که به موجب آن اثر احتمالی یك واحد اضافی از منابع هنگامی که مبلغ بیشتر و بیشتری برای فعالیتی تخصیص یابد کاهش خواهد یافت. این پدیده دقیقاً از مطالعهٔ جاری کنار گذارده شده زیرا بر مقایسه سایه افکنده و کارآیی قوانین تخصیص بهین را محدود می‌نماید. بازده‌های نزولی، اثر منابع هموار کننده در طول فعالیتها و ساکن کردن نسبی زیاد یا کم تخصیصها را دارد.

۷- البته به استثنای وضعیتی که یك یا چند مسیر دیگر تکمیل شده باشند.

۸- فرض می‌شود که زمانهای فرایند تفاوت فعالیتها در سرتاسر این مقاله مستقل هستند.

۹- اثر قوانین تخصیص خوب بر واریانس T در بخش نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱۰- جریانهای یکسانی از اعداد تصادفی در تحقیق زمانهای فعالیت در شبیه‌سازیهای متفاوت برای قابل مقایسه نمودن نتایج استفاده می‌شوند.

11-Holding down

12-Lagfirst

13-Seqlag

منبع ترجمه:

BURT, John M., "Planning and Dynamic Control of Projects Under Uncertainty", Management Science, Vol 24 No 3. November 1977. Printed in U.S.A.