دانشکده علوم ریاضی
گروه ریاضی کاربردی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته
تحقیق در عملیات

عنوان

بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس* برای حل مسأله موازنه زمان و هزینه

استاد راهنما

جناب آقای دکتر حامد رضا طارقیان

استاد مشاور

جناب آقای دکتر رضا قنبری

نگارنده

نسترن سادات حاجی سیدی

۱۳۹۱

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه خانم نسترن السادات حاجی سیدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی در ساعت ۱۰ صبح روز ۹۱/۱۱/۷ در محل اتاق سمینار دانشکده علوم ریاضی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی های لازم، هیأت داوران پایان نامه نامبرده را با نمره به عدد ۱۸/۷۵، به حروف هجده و هفتاد و پنج صدم و با درجه عالی مورد تأیید قرار داد / نداد.

عنوان پایان نامه

بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم فیلیپس

هیئت داوران — امضا

- **داور رساله: دکتر علی وحیدیان کامیاد**

  استاد گروه ریاضی کاربردی دانشگاه فردوسی مشهد

  داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر سهراب عفتی

  دانشیار گروه ریاضی کاربردی دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد راهنما: دکتر حامدرضا طارقیان**

  استاد گروه ریاضی کاربردی دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد مشاور: دکتر رضا قنبری**

  استادیار گروه ریاضی کاربردی دانشگاه فردوسی مشهد

- **مدیر گروه ریاضی کاربردی: دکتر مرتضی گچ پزان**

  استادیار گروه ریاضی کاربردی دانشگاه فردوسی مشهد

بسمه تعالی

مشخصات پایان‌نامه تحصیلی دانشجویان

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان: بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس* برای حل مسأله موازنه زمان و هزینه

نام نویسنده: نسترن سادات حاجی سیدی

استاد راهنما: جناب آقای دکتر حامد رضا طارقیان

استاد مشاور: جناب آقای دکتر رضا قنبری

دانشکده: علوم ریاضی گروه: ریاضی کاربردی رشته تحصیلی: تحقیق در عملیات

تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۲/۲۵ تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۱۱/۷

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد تعداد صفحات: ۱۱۲

چکیده پایان‌نامه : الگوریتم *فیلیپس* یکی از روش‌های دقیق حل مسأله موازنه زمان و هزینه است. این الگوریتم بر مبنای پیدا کردن برش کمینه در شبکه جریانی است که از شبکه اصلی حاصل می‌شود. از برش کمینه برای شناسایی فعالیت‌هایی که زمان اجرای آن‌ها باید به منظور کاهش زمان اتمام پروژه با کمترین هزینه، فشرده شود استفاده می‌شود. الگوریتم *فیلیپس* دو ویژگی دارد، که ناکارآمدی محاسباتی آن را موجب شده است. اولا برش کمینه را از طریق شمارش تمام برش‌های شبکه تعیین می‌کند و ثانیا در هر دور، الگوریتم زمان اتمام پروژه را تنها به میزان یک واحد کاهش می‌دهد. دسوکی و همکارش با توجه به ویژگی اول، الگوریتمی ارائه دادند تا بدون نیاز به شمارش تمام برش‌ها، برش کمینه را تعیین کند. با عنایت به ویژگی دوم، هدف پایان‌نامه جاری آن است تا با تعمیم الگوریتم دسوکی، به جای تعیین یک برش کمینه در شبکه، چندین برش کمینه (در صورت وجود) را به دست آورد تا از این طریق احتمال ایجاد کاهش بیش از یک واحد زمان اتمام پروژه در هر دور الگوریتم را افزایش داده و سبب بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس* گردد. تحقیقات انجام گرفته حاکی از آن است که در پرتو دو معیار تراکم شبکه و دامنه تغییرات زمان عادی اجرای فعالیت‌ها، متوسط سرعت اجرای الگوریتم *فیلیپس* افزایش قابل توجهی می‌یابد.

واژگان کلیدی: مسأله موازنه زمان و هزینه - الگوریتم *فیلیپس* - الگوریتم دسوکی

امضای استاد راهنما: تاریخ:

اظهارنامه

عنوان پایان‌نامه : بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس* برای حل مسأله موازنه زمان و هزینه

اینجانب نسترن سادات حاجی سیدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان‌نامه تحت راهنمایی جناب آقای دکتر حامد رضا طارقیان متعهد می‌شوم:

آ. تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.

ب. در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

ج. مطالب مندرج در این پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی به جایی ارائه نشده است.

د. کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد است و مقالات مستخرج با نام ''دانشگاه فردوسی مشهد'' و یا ''Ferdowsi University of Mashhad'' به چاپ خواهد رسید.

ه. حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از آن رعایت شده است.

و. درکلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که از موجود زنده(یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

ز. درکلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ
امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق این اثر و محصولات آن(مقالات مستخرج، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد است. این مطلب بایستی به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج این رساله بدون ذکر مرجع مجاز نیست.**

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می‌نمایم به:

پیشگاه امام زمان (عج)

محضر استاد گرامی
جناب آقای دکتر طارقیان

محضر ارزشمند پدر و مادر مهربانم
به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگیشان،
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران، بهترین پشتیبان است،
به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس، در پناهشان به شجاعت می‌گراید،
و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فراموش نمی‌کنم.

مسعود و حامد عزیزم،
که نکیه گاه من در مواجهه با مشکلات بودند، و وجودشان مایه دلگرمی من می‌باشد.

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و اتنان تقدیم می نمایم به:

پیشگاه امام زمان (عج).

محضر ارزشمند پدر و مادر مهربانم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگیشان،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران، بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید،

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فراموش نمی کنم.

معبود و حامد عزیزم، که تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات بودند، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

هوالعلیم

زیباترین نام را بر زبان جاری می کنم ... که هر کس زبان به حمد تو گشود بی‌تردید نگاه تو بر او افتاده. پس بر قلبم آن جاری کن که خود می‌پسندی در ثنایت لب گشایم.

در وادی معرفت نگنجد، سرچشمه هدایت نجوشد، سر بر قامت بندگی فرو نیافتد ...، گر گنجینه‌ای را که مقدسش خواندی و به آن قسم یاد کردی[1]، کوچک شمرده شود و تنها خاطره جوهر خشک شده‌ای از آن بر برگ برگِ صفحات زندگی باقی ماند.

تو علم را روشنیِ قرار دادی و فانوسی در بیغوله راه که مسیر را، راه نماید و تزکیه را مقدم بر آن دانستی تا نگاهبانش باشد که تزکیه و تعلیم در معیت هم گوهر وجودی انسان را به نور تو منور کند، پرده از واقعیات کنار زند. آن جاست که حقیقت رخ نمایاند، نظر فراتر افتد، خوان گنجینه‌های دانش رنگین شود و ... آری آنجاست که آدمی معنا یابد.

من اگر وعده‌هایم با تو زیر خروارها تل فراموشی و غفلت مدفون گردیده، اگر زشتی طغیان در نظرم زیبا جلوه‌گری می‌کند و چشمانم خشک‌تر از آن است که در مقام توبه اشکی بر آن جاری شود، بدان از سر جهل است و نسیان...اما بار الها چشمِ طمع بر رحمتت دوخته‌ام و در تمنای رهایی از ظلمت ضلالت، ترنم باران معرفتت را می‌طلبم، امید آنکه جوانه‌های حقیقت را در وجودم برویاند و انعکاس آن چشمانم را روشن کند.

اکنون چهره بر چهره خاک می‌سایم و تو را به حبیبت قسم می‌دهم که..." هر آن خصلت ناپسند که در من می‌بینی به لطف واسع خویش اصلاحش فرمای تا پسندیده شود و هر آن عیب که نفسم را به فساد بیالاید از من بازگیر و هر آن نقص که جانم را از کمال باز دارد برطرفش فرمای!"

و در آن روز که نوبت زندگانی به سر رسد و پیک مرگ حلقه بر در خانه تن بکوبد و دعوت واجب الاجابه تو از آسمان‌ها به گوش آید...پروردگارا! بر محمد (ص) و آل پاکش درود فرست و به حق ایشان عمر ما را با رستگاری به پایان آور و عاقبتمان را ختم به خیر فرمای...!

زبان قاصر است و مجال کوتاه...

تو خود قصیده‌ی مهر را از لوح نانوشته‌ی قلبم بخوان...!

---

[1] ن و القلمِ و ما یَسطُرونَ

سپاس گزاری...

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

سپاس بی‌پایان و تقدیم به:

استاد با کمالات و شایسته جناب آقای دکتر طارقیان که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

استاد فرزانه و دلسوز جناب آقای دکتر قنبری، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛

استادان بزرگوار، جناب آقای دکتر وحیدیان کامیاد و جناب آقای دکتر عفتی که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه را تقبل کردند؛

و با تشکر فراوان از خانم افشاری‌راد و دوست عزیزم خانم مرتضوی‌نژاد که در طی این مسیر همراهم بودند.

در پایان، بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می‌کنم وجود مقدس‌شان را و تشکر می‌کنم از برادران عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که در این سردترین روزگاران، بهترین پشتیبان من بودند.

نسترن سادات حاجی سیدی

۱۳۹۱

فهرست مطالب

فهرست شکل‌ها پ

فهرست جدول‌ها ت

پیش‌گفتار ۱

۱ تعاریف و مرور ادبیات مسأله موازنه زمان و هزینه ۴

۱.۱ تعاریف اولیه ۴

۲.۱ تعریف مسأله موازنه زمان و هزینه ۸

۱.۲.۱ مدل‌های ممکن در مسأله موازنه زمان و هزینه ۹

۳.۱ روش‌های حل مسأله موازنه زمان و هزینه ۱۱

۱.۳.۱ روش برنامه‌ریزی ریاضی ۱۲

۲.۳.۱ الگوریتم‌های ابتکاری ۱۶

۳.۳.۱ الگوریتم‌های فراابتکاری ۱۷

۴.۳.۱ تفاوت الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری ۱۹

۴.۱ موازنه زمان، هزینه و کیفیت ۱۹

۲ الگوریتم بهینه *فیلیپس* و تحلیل آن ۲۱

۱.۲ الگوریتم *فیلیپس* ۲۱

۱.۱.۲ مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شده توسط *فیلیپس* برای مسأله موازنه زمان و هزینه ۲۲

۲.۱.۲ روند کلی الگوریتم *فیلیپس* ۲۴

۳.۱.۲ معرفی نمادهای به کار رفته در الگوریتم *فیلیپس* ۲۵
۴.۱.۲ گام‌های الگوریتم *فیلیپس* ۲۵
۲.۲ تحلیل الگوریتم *فیلیپس* ۲۷
۳.۲ نقد الگوریتم *فیلیپس* ۳۱
۱.۳.۲ پیشنهاد ارائه شده توسط *توفکسی* برای بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس*. ۳۱

۳ الگوریتم دسوکی برای پیدا کردن مجموعه برش کمینه در شبکه و تحلیل آن ۳۶
۱.۳ الگوریتم دسوکی برای پیدا کردن مجموعه برش کمینه در شبکه ۳۶
۱.۱.۳ معرفی نمادهای به کار رفته در الگوریتم دسوکی ۳۷
۲.۱.۳ گام‌های الگوریتم دسوکی ۳۸
۲.۳ تحلیل الگوریتم دسوکی ۴۱
۳.۳ نقد الگوریتم دسوکی ۵۱

۴ بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس* ۵۳
۱.۴ تعمیم الگوریتم دسوکی ۵۶
۱.۱.۴ تغییرات ایجاد شده در گام‌های الگوریتم دسوکی ۵۶
۲.۴ تعیین بهترین برش کمینه ۵۷
۳.۴ چند حالت خاص ۵۸

۵ نتایج محاسباتی و پیشنهادات ۶۳
۱.۵ نتایج محاسباتی ۶۵
۱.۱.۵ بررسی جدول ۱.۵ . . . . . ۶۵
۲.۱.۵ جدول نتایج محاسباتی و تحلیل آن ۶۶
۲.۵ پیشنهادات ۶۹

مراجع ۷۰

آ کد متلب الگوریتم B ۷۴

فهرست شکل‌ها

۱.۱ ضریب زاویه هزینه ۷

۱.۲ شبکه پروژه مثال ۱.۲.۲ . . . . . ۲۸
۲.۲ زیرشبکه بحرانی مثال ۱.۲.۲ . . . . . ۲۹
۳.۲ برش کمینه در زیرشبکه بحرانی مثال ۱.۲.۲ به صورت گرافیکی ۲۹
۴.۲ شبکه به روز شده پروژه مثال ۱.۲.۲ بعد از یک تکرار الگوریتم *فیلیپس* ۳۰
۵.۲ زیرشبکه بحرانی مثال ۱.۲.۲ با در نظر گرفتن تعمیم *توفکسی* ۳۴

۱.۳ شبکه پروژه مثال ۱.۲.۳ . . . . . ۴۲
۲.۳ شبکه G' متعلق به مثال ۲.۲.۳ . . . . . ۴۹
۳.۳ شبکه G' متعلق به مثال ۲.۲.۳، بعد از اجرای الگوریتم برچسب گذاری *فولکرسون* ۵۰
۴.۳ شبکه پروژه‌ای که الگوریتم دسوکی قادر به یافتن برش کمینه در آن نیست ۵۱

۱.۴ شبکه پروژه فرضی ۵۵
۲.۴ زیرشبکه بحرانی در تکرار اول الگوریتم *فیلیپس* مربوط به مثال ۱.۲.۲ . . . . . ۶۰

فهرست جدول‌ها

۱.۲ وضعیت مسیرهای زیرشبکه بحرانی مثال ۱.۲.۲ . . . . . ۲۹
۲.۲ تغییر زمان فعالیت‌های متعلق به مجموعه برش کمینه در مثال ۱.۲.۲ . . . . . ۳۰

۱.۵ نتایج محاسباتی ۶۶
۲.۵ نتایج آزمون تی استیودنت برای تعداد تکرارها ۶۸
۳.۵ نتایج آزمون تی استیودنت برای تعداد اعمال محاسباتی ۶۸

پیش‌گفتار

از سال ۱۹۶۰ که روش مسیر بحرانی[1] توسعه یافت، مسأله موازنه زمان و هزینه[2] نیز مورد توجه مدیران پروژه قرار گرفت و آن‌ها به اهمیت این مسأله پی بردند. از این رو نسخه‌های متفاوت این مسأله به لحاظ نوع ضریب زاویه هزینه فعالیت‌ها، ماهیت رابطه بین زمان و هزینه و همچنین تعداد عواملی که موازنه بین آن‌ها صورت می‌گیرد، ارائه گردید و راه‌حل‌هایی نیز برای آن‌ها پیشنهاد شد. در روش مسیر بحرانی، فرض بر این است که فعالیت‌های پروژه در زمان عادی به اجرا گذاشته می‌شوند. اما در بعضی مواقع ممکن است به دلیل فشارهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و نظامی یا مواردی از این قبیل، لازم باشد که پروژه زودتر از زمان برنامه‌ریزی شده به اتمام برسد. این تاریخ معمولا از طرف مدیریت رده بالا، بر اساس اهداف یا سیاست‌های مختلف تعیین می‌شود. در چنین شرایطی، یکی از رویکردهای ممکن برای کوتاه نمودن زمان اجرای پروژه، تسریع در انجام برخی فعالیت‌ها است. برای کاهش زمان اجرای یک فعالیت می‌توان میزان منابع مورد استفاده در آن فعالیت مانند تجهیزات، نیروی کار و ماشین آلات را افزایش داد یا در روش‌های فنی اجرای آن فعالیت تغییراتی داد، مانند تغییر ساخت یک ساختمان از سیستم بتنی به اسکلت فلزی. یا در صورت امکان به اجرای موازی و همزمان فعالیت‌های بحرانی مبادرت نمود. به عبارت دیگر برای اجرای یک فعالیت در زمانی کوتاه‌تر از آن‌چه که در شرایط معمولی قابل اجرا است، لازم است به حجم نیروی کار، تعداد تجهیزات و ماشین آلات افزود و یا تجهیزات گران‌تر و دارای توان بیشتری را به کار گرفت و یا در روش‌های فنی اجرا، تغییراتی را به وجود آورد. کاهش زمان اجرای فعالیت از زمان معمولی به زمان کوتاه‌تر همواره با صرف هزینه همراه است. در مقابل با کاهش زمان تکمیل پروژه، صرفه‌جوئی‌هایی عاید پیمانکاران و صاحب کار می‌شود. سرمایه‌های اختصاص یافته به پروژه جاری زودتر آزاد شده و می‌توانند در پروژه‌های جدید به کار گرفته شوند. به عنوان مثال، در پروژه‌های صنعتی که منجر به تولید محصولات جدید می‌گردند وقتی شرایط

[1] Critical Path Method - (CPM)

[2] Time and Cost Trade-off Problem

رقابتی سخت بین تولید کنندگان وجود دارد، ورود سریع تولیدات به بازار عرضه می‌تواند قسمت اعظم کشش بازار را به خود اختصاص دهد. به عنوان مثالی دیگر، امور تعمیرات اساسی در یک کارخانه به هر میزانی که سریع‌تر انجام گیرد به همان میزان تاریخ شروع تولید را به جلو خواهد راند [۱].
پاسخ به سوالاتی مانند (الف) پروژه را به چه میزان باید فشرده کرد؟ (ب) آیا سود حاصل از تسریع پروژه، هزینه فشرده‌سازی فعالیت‌ها را جبران خواهد نمود؟ (پ) در شرایطی که لازم است پروژه‌ای زودتر از زمان عادی تکمیل شود، کدام فعالیت‌ها و هر یک به چه میزان باید فشرده شوند؟ از جمله اهداف مسأله موازنه زمان و هزینه است.
برای نخستین بار کیلی[1] و همکارش [۲۲]، مسأله موازنه زمان و هزینه را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها مسأله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرمول‌بندی کردند. روش‌های دقیق و ابتکاری بسیاری برای حل مسأله وجود دارند، در فصل ۱ به بیان تعدادی از آن‌ها خواهیم پرداخت. الگوریتم *فیلیپس*[2] [۲۸] که در سال ۱۹۷۷، توسط *فیلیپس* و همکارش بیان شد یکی از روش‌های بهینه حل مسأله موازنه زمان و هزینه برای حالتی است که هدف، تکمیل پروژه در زودترین زمان ممکن و با کمترین افزایش هزینه مستقیم می‌باشد. این الگوریتم بر مبنای برش کمینه[3] در شبکه طراحی شده است. در هر تکرار الگوریتم *فیلیپس*، پس از تعیین برش کمینه در شبکه و مشخص شدن فعالیت‌های نیازمند اصلاح، زمان این فعالیت‌ها بر این مبنا که کمان متناظر با آن‌ها در شبکه، پیشرو یا پسرو است یک واحد کاهش یا افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به کاهش یک واحدی زمان اتمام پروژه می‌شود. بدیهی است که در پروژه‌های بزرگ و پیچیده، کوتاه کردن زمان اتمام پروژه به صورت واحد به واحد وقت‌گیر است و باعث کاهش کارآیی الگوریتم می‌شود. در فصل ۲، بعد از بیان گام‌های الگوریتم *فیلیپس*، به بیان الگوریتم *توفکسی*[4] [۳۳] می‌پردازیم که پیشنهادی برای کاهش بیشتر از یک واحد زمان اتمام پروژه در هر تکرار الگوریتم *فیلیپس* می‌دهد. همچنین پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس* به پیچیدگی محاسباتی الگوریتمی وابسته است که برش کمینه در شبکه را جستجو می‌کند. بنابراین، می‌توان بیان کرد که گام شناسایی برش کمینه در الگوریتم *فیلیپس* (بخش ۲ در فصل ۴)، یکی از گام‌های اساسی در این الگوریتم است که می‌تواند بر کارآمدی الگوریتم تاثیرگذار باشد. زیرا پیدا کردن برش کمینه به روش شمارش تمام برش‌های موجود، اگر شبکه فعالیت کوچک باشد کار زمان‌بری نیست. اما در پروژه‌های واقعی حاوی تعداد بسیاری فعالیت، به دلیل این که تعداد برش‌ها به صورت

[1] Kelley
[2] Phillips
[3] Minimum Cut
[4] Tufekci

نمایی از تعداد گره‌ها افزایش می‌یابند، روشی زمان‌بر است. به همین دلیل استفاده از یک الگوریتم که برش کمینه را در شبکه با مرتبه زمانی مناسبی به دست آورد، الگوریتم *فیلیپس* را بسیار کارآمدتر خواهد کرد. در فصل ۳، به بیان الگوریتم دسوکی[1] و همکارش [۱۱] می‌پردازیم که قادر است مجموعه برش کمینه را، در شبکه‌هایی که کمان‌های آن‌ها دارای ظرفیت بالا و پایین بزرگ‌تر یا مساوی صفر هستند به دست آورد. در فصل ۴، راه‌کار پیشنهادی این پایان‌نامه را در تعمیم الگوریتم دسوکی، به منظور یافتن چندین مجموعه برش کمینه که به بهبود پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *فیلیپس* در حل مسائل موازنه زمان و هزینه منجر می‌شود را شرح خواهیم داد. در فصل ۵، به بیان نتایج محاسباتی حاصل از اجرای الگوریتم *فیلیپس* که پیشنهادات ارائه شده در فصل ۴ نیز در آن اعمال شده، می‌پردازیم.

[1] Dessouky

فصل ۱

تعاریف و مرور ادبیات مسأله موازنه زمان و هزینه

پس از آن که پروژه به تعدادی فعالیت شکسته شد و رابطه‌های منطقی حاکم بر آن‌ها تعیین گردید و همچنین نیاز هر کدام از فعالیت‌ها به منابع گوناگون برآورده شد، لازم است تا این اطلاعات به کمک ابزارهای برنامه‌ریزی به قالب یک یا چند برنامه عملیاتی درآید تا زمینه لازم برای نظارت و کنترل بر پیشرفت امور مربوط به پروژه فراهم شود. به کمک این برنامه‌های عملیاتی می‌توان در خصوص زمان تکمیل پروژه و یا زمان اتمام بخش‌هایی از آن با دقت نسبی، اظهار نظر کرد. معمولا در این‌گونه برنامه‌ها، فعالیت‌هایی که کمترین بی‌توجهی و تاخیر در شروع و همچنین اجرای آن‌ها موجب به تعویق افتادن زمان تحویل پروژه می‌گردد و از این رو به توجه بیشتری از سوی مدیریت نیازمندند، از سایر فعالیت‌ها متمایز می‌شوند. یکی از ابزارهای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، روش‌های مبتنی بر شبکه است [۲].

۱.۱ تعاریف اولیه

در این بخش به تعریف برخی از اصطلاحات در ادبیات برنامه‌ریزی و کنترل پروژه از [۲] می‌پردازیم.

تعریف ۱.۱.۱. *فعالیت*[1]: *کار یا اقدامی در راستای حصول اهداف پروژه که تحقق آن در گرو صرف منابع از قبیل زمان، سرمایه، نیروی انسانی و تجهیزات است.*

تعریف ۲.۱.۱. *واقعه*[2]: *یک لحظه زمانی در چرخه عمر پروژه است، که بیانگر شروع یا پایان یک یا چند فعالیت است. چهار نمونه از وقایع شبکه عبارتند از: (الف) واقعه پایه (واقعه شروع یک یا چند فعالیت)؛ (ب) واقعه پایانی (واقعه پایان یک یا چند فعالیت)؛ (ج) واقعه آغازین (اولین گره در شبکه)؛ (د) واقعه نهایی (آخرین گره در شبکه)*

تعریف ۳.۱.۱. *شناوری*[3] *مجاز وقایع:* *میزان تاخیری که می‌تواند در وقوع یک واقعه رخ دهد، بدون آن که تاثیر نامطلوبی در زمان تحویل پروژه (دیرترین زمان رخداد واقعه نهایی شبکه مربوط به پروژه) داشته باشد، شناوری مجاز واقعه نامیده می‌شود.*

تعریف ۴.۱.۱. *واقعه بحرانی*[4]: *واقعه‌ای که میزان شناوری مجاز آن، برابر صفر است.*

تعریف ۵.۱.۱. *مجموع شناوری*[5] *فعالیت:* *عبارت است از مدت زمانی که شروع و یا اجرای یک فعالیت به تنهایی می‌تواند به تعویق بیفتد، بدون آن که تاخیری در زمان تحویل پروژه نسبت به دیرترین زمان رخداد واقعه نهایی شبکه، ایجاد کند. در پایان‌نامه موجود، مجموع شناوری مجاز فعالیت را به اختصار، شناوری فعالیت می‌نامیم.*

تعریف ۶.۱.۱. *مسیر*[6]: *مجموعه به هم پیوسته از چند فعالیت که واقعه آغازین شبکه را به واقعه نهایی آن متصل می‌کند.*

تعریف ۷.۱.۱. *مسیر بحرانی*[7]: *مسیری که مجموع مدت زمان فعالیت‌های تشکیل‌دهنده آن بیشترین است. به عبارت دیگر، طولانی‌ترین مسیر در شبکه پروژه است. هر شبکه دارای دستکم یک مسیر بحرانی است. این مسیر، تعیین‌کننده زمان پایان پروژه است. ترتیب فعالیت‌ها، مسیر بحرانی را به صورتی تعیین می‌کنند که هرگونه تاخیر در یکی از فعالیت‌های مسیر بحرانی، سبب تاخیر در تاریخ پایان و تکمیل کل پروژه خواهد گردید. به همین دلیل توجه ویژه‌ای به فعالیت‌های مسیر بحرانی می‌شود.*

[1] Activity

[2] Event

[3] Float

[4] Critical Event

[5] Total Float

[6] Path

[7] Critical Path

تعریف ۸.۱.۱. *فعالیت بحرانی*[۱]: *هر فعالیت بر روی مسیر بحرانی را فعالیت بحرانی نامند. یا به عبارت دیگر، فعالیتی که مجموع شناوری مجاز به ازای آن صفر است.*

انواع شبکه از نظر ساختاری: شبکه‌های مورد استفاده در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها به دو دسته، تقسیم‌بندی می شوند.

تعریف ۹.۱.۱. *شبکه فعالیت بر روی گره*[۲]: *شبکه‌هایی که در آن، فعالیت‌های پروژه بر روی گره‌ها نشان داده می‌شوند و بردارها، نشان‌دهنده ارتباط منطقی بین فعالیت‌ها هستند.*

تعریف ۱۰.۱.۱. *شبکه فعالیت بر روی کمان*[۳]: *شبکه‌هایی که در آن، فعالیت‌های پروژه بر روی کمان‌ها نشان داده می‌شوند و گره‌ها، نشان‌دهنده وقایع مربوط به شروع و پایان فعالیت‌ها هستند.*
شبکه‌های فعالیت بر روی کمان، اطلاعات بیشتری نظیر زمان رخداد وقایع پایه و پایانی فعالیت‌ها و همچنین زمان شناوری آن‌ها در اختیار مدیر پروژه قرار می‌دهند. در این پایان‌نامه، شبکه فعالیت بر روی کمان را به اختصار، شبکه نامیده و در ادامه بحث از این نوع شبکه‌ها استفاده می‌کنیم.

تعریف ۱۱.۱.۱. *زمان عادی*[۴]: *زمان اجرای فعالیت در شرایط عادی است. در برآورد این زمان، فرض می‌شود که شرایط حاکم بر محیط کار عادی است.*

تعریف ۱۲.۱.۱. *زمان فشرده*[۵]: *زمان کمینه برای اجرای فعالیت است. از این رو، اجرای فعالیت در زمانی کوتاه‌تر از زمان فشرده امکان‌پذیر نیست.*

تعریف ۱۳.۱.۱. *هزینه‌های مستقیم*[۶] *پروژه:* *هزینه‌هایی که مستقیما برای اجرای فعالیت‌ها صرف می‌شوند. هزینه‌های مستقیم با زمان رابطه عکس دارند. یعنی با کاهش زمان یک فعالیت، هزینه مستقیم اجرای آن افزایش می‌یابد.*

تعریف ۱۴.۱.۱. *هزینه عادی*[۷] *فعالیت:* *هزینه اجرای فعالیت در زمان عادی را، هزینه عادی فعالیت می‌نامند.*

---

[1] Critical Activity

[2] Activity On Node Network - (AONN)

[3] Activity On Arc Network - (AOAN)

[4] Normal Time

[5] Crash Time

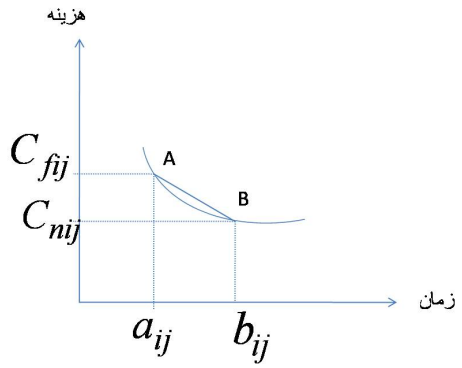
[6] Direct Costs

[7] Normal Cost

تعریف ۱.۱.۱۵. هزینه فشرده[1] فعالیت: *هزینه اجرای فعالیت در زمان کمینه را، هزینه فشرده فعالیت می‌نامند.*

تعریف ۱.۱.۱۶. هزینه‌های غیرمستقیم[2] پروژه: *هزینه‌هایی که هرچند مستقیما در اجرای فعالیت‌ها دخالت ندارند، اما سازمان مجری پروژه مکلف به پرداخت آن‌ها است. به عنوان مثال، هزینه‌های مربوط به اجاره محل و حقوق کارکنان دفتری از جمله این هزینه‌ها هستند. چون این هزینه‌ها اغلب ماهیانه پرداخت می‌شوند، رابطه نسبتا خطی با زمان دارند. به عبارت دیگر، با کوتاه‌تر شدن زمان، این هزینه‌ها کاهش می‌یابند.*

تعریف ۱.۱.۱۷. ضریب زاویه هزینه[3]: *هزینه‌ای که بابت کاهش یک واحد از زمان عادی اجرای یک فعالیت پرداخت می‌شود. ضریب زاویه هزینه فعالیت را با C_{ij} نشان می‌دهیم. منحنی تغییرات هزینه به ازای تغییرات زمان معمولا محدب است. اما همان‌گونه که در شکل ۱.۱ نشان داده شده است، رابطه زمان - هزینه غالبا برای سادگی با یک خط راست تقریب زده می‌شود (خط AB در شکل ۱.۱).*



شکل ۱.۱: ضریب زاویه هزینه

به منظور حصول دقت بیشتر، می‌توان از تقریب‌های خطی متعدد به ازای فواصل کوچک‌تر استفاده کرد.

$$\text{ضریب زاویه هزینه فعالیت } (i,j) = C_{ij} = \frac{C_{fij} - C_{nij}}{b_{ij} - a_{ij}} \qquad (۱.۱)$$

[1] Crash Cost

[2] Indirect Costs

[3] Cost Slope