دانشکده علوم ریاضی
گروه ریاضی کاربردی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته ریاضی کاربردی گرایش تحقیق در عملیات

عنوان

سیر تکوین الگوریتم‌های حل مساله زمانبندی پروژه با هدف بیشینه‌سازی خالص ارزش جاری

استاد راهنما

دکتر حامدرضا طارقیان

نگارنده

سیده مرضیه مرتضوی نژاد

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه خانم سیده مرضیه مرتضوی نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی در ساعت ۱۲ ظهر روز ۹۱/۱۱/۹ 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 ۱۹، به حروف نوزده و با درجه عالی مورد تأیید قرار داد / نداد.

عنوان پایان نامه

زمان بندی پروژه با هدف پیشینه سازی خالص ارزش جاری

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

- مدیر گروه ریاضی کاربردی: دکتر مرتضی گچ پزان

  استادیار گروه ریاضی کاربردی دانشگاه فردوسی مشهد

بسمه تعالی

مشخصات پایان‌نامه تحصیلی دانشجویان

فردوسی مشهد

عنوان: سیر تکوین الگوریتم‌های حل مساله زمانبندی پروژه با هدف بیشینه‌سازی خالص ارزش جاری

نام نویسنده: سیده مرضیه مرتضوی‌نژاد

استاد راهنما: دکتر حامدرضا طارقیان

دانشکده: علوم ریاضی گروه: ریاضی کاربردی

رشته تحصیلی: ریاضی کاربردی گرایش تحقیق در عملیات

تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۲/۲۵ تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۱۱/۹

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد تعداد صفحات: ۱۰۳

چکیده پایان‌نامه :

بسیاری از روش‌های حل مساله زمانبندی پروژه غالباً با هدف کمینه‌کردن مدت زمان تکمیل پروژه و با در نظر گرفتن انواع مختلف محدودیت‌ها از قبیل محدودیت‌های پیش‌نیازی و سایر محدودیت‌ها طراحی می‌شوند. در این روش‌ها جنبه‌های مالی مدیریت پروژه نادیده گرفته می‌شود. هنگامی که جنبه‌های مالی پروژه در نظر گرفته شوند، معیار خالص ارزش جاری پروژه از آن جهت که ارزش زمانی پول را مد نظر قرار می‌دهد، مورد اهمیت قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه پروژه‌های بزرگ معمولاً دارای چرخه عمر طولانی هستند، خالص ارزش جاری به عنوان یک معیار برای کنترل مالی این پروژه‌ها پیشنهاد می‌شود.

در این پایان‌نامه مساله زمانبندی پروژه را بدون محدودیت منابع با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری پروژه با فرض اینکه جریان‌های نقدی وارد بر پروژه مقادیر ثابت و مشخصی دارند، مورد بررسی قرار می‌دهیم. مدل ریاضی مساله ارائه شده و فرضیات آن شرح داده می‌شود بعلاوه روش‌های حل مساله با جزئیات مورد بررسی قرار می‌گیرند.

واژگان کلیدی: مساله زمانبندی پروژه، جریان‌های نقدی، خالص ارزش جاری پروژه

امضای استاد راهنما: تاریخ:

اظهارنامه

عنوان پایان‌نامه : سیر تکوین الگوریتم‌های حل مساله زمانبندی پروژه با هدف بیشینه‌سازی خالص ارزش جاری

اینجانب سیده مرضیه مرتضوی‌نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان‌نامه تحت راهنمایی دکتر حامدرضا 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.

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

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

ز. در کلیه 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**

۱۳۹۱/۱۱/۲۰

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.**

تقدیم به او

که داشتش جبران تمام نداشته‌هاست

و تقدیم به او

که آموخت مرا تا بیاموزم

استاد گرامی جناب آقای دکتر طارقیان

فهرست مطالب

فهرست شکل‌ها

پیش‌گفتار ۱

۱ تعاریف و مرور ادبیات ۳

۱.۱ مقدمه ۳

۲.۱ تعاریف اولیه ۴

۳.۱ انواع شبکه از نظر ساختاری ۷

۴.۱ الگوهای مختلف جریان نقدی پروژه ۱۰

۵.۱ چند تعریف اولیه در نظریه گراف ۱۳

۶.۱ محاسبات زمانی در روش مسیر بحرانی ۱۴

۷.۱ مرور ادبیات ۱۷

۲ روش تکراری *راسل* ۲۰

۱.۲ مقدمه ۲۰

۲.۲ زمانبندی پروژه با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری ۲۱

۳.۲ تقریب خطی مدل *راسل* ۲۲

۴.۲ دوگان مساله خطی ۲۳

۵.۲ روشی بر پایه الگوریتم خارج از کیلتر ۳۱

۳ الگوریتم *گرینولد* ۴۱

۱.۳ مقدمه ۴۱

۲.۳ معرفی مساله ۴۲

۳.۳ مساله خطی معادل ۴۳

۴.۳ الگوریتم *گرینولد* با زمان سررسید ثابت ۴۸
۵.۳ الگوریتم پارامتری *گرینولد* ۵۶

۴ الگوریتم *المغربی و هروئلن* **۶۲**
۱.۴ مقدمه ۶۲
۲.۴ نقدی بر روش تکراری *راسل* و الگوریتم *گرینولد* ۶۳
۳.۴ روش حل ۶۶

نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۷۹**

آ کد متلب برخی از الگوریتم‌ها **۸۱**

مراجع **۹۶**

فهرست شکل‌ها

۱.۱ شبکه‌های فعالیت روی گره (آ) و فعالیت روی کمان (ب) ۸
۲.۱ شبکه فعالیت روی کمان با جریان‌های نقدی ۸
۳.۱ شبکه اصلاح شده فعالیت روی کمان با جریان‌های نقدی ۹
۴.۱ شبکه فعالیت روی گره با جریان‌های نقدی ۱۰
۵.۱ شبکه اصلاح شده فعالیت روی کمان با ویژگی‌های شبکه فعالیت روی گره ۱۱
۶.۱ الگوی جریان نقدی پله‌ای و تابع خالص ارزش جاری آن ۱۲
۷.۱ الگوی جریان نقدی خطی و تابع خالص ارزش جاری آن ۱۲
۸.۱ الگوی جریان نقدی دوره‌ای ۱۳
۹.۱ نمایش مسیر، زنجیر، حلقه و درخت ۱۴
۱۰.۱ محاسبات مسیر بحرانی ۱۷

۱.۲ شبکه پروژه مثال ۲۵
۲.۲ شبکه جریان با هزینه کمینه ۲۷
۳.۲ زمانبندی بهینه ۲۸
۴.۲ روش برچسب‌گذاری گره‌ها ۳۲
۵.۲ شبکه پروژه مثال ۳۵
۶.۲ جریان در شبکه ۳۶
۷.۲ تغییر زمانبندی در شبکه ۶.۲ . . . . . ۳۷
۸.۲ تغییر زمانبندی در شبکه ۷.۲ . . . . . ۳۸
۹.۲ تغییر جریان در شبکه ۸.۲ . . . . . ۳۹
۱۰.۲ زمانبندی بهینه ۴۰

۱.۳ شبکه پروژه مثال ۱.۵.۲ با کمان اضافه شده (۷, ۱) ۵۳

۲.۳ درخت زودترین زمان ۵۴
۳.۳ حذف کمان (۱, ۳) از درخت ۲.۳ و اضافه کردن کمان (۶, ۷) به آن ۵۵
۴.۳ حذف کمان (۵, ۷) از درخت ۳.۳ و اضافه کردن کمان (۷, ۱) به آن ۵۶
۵.۳ درخت شکل ۴.۳ بعد از افزودن کمان (۳, ۵) ۶۰
۶.۳ گراف شکل ۵.۳ بعد از حذف کمان (۷, ۱) ۶۱
۷.۳ منحنی تغییرات NPV برحسب δ ۶۱

۱.۴ . . . . . ۶۴
۲.۴ . . . . . ۷۰
۳.۴ . . . . . ۷۰
۴.۴ . . . . . ۷۱
۵.۴ . . . . . ۷۲
۶.۴ . . . . . ۷۲
۷.۴ . . . . . ۷۳
۸.۴ . . . . . ۷۵
۹.۴ . . . . . ۷۵
۱۰.۴ . . . . . ۷۶

پیش‌گفتار

مساله *زمانبندی پروژه*[۱] از دیدگاه عملی و نظری دارای اهمیت قابل توجهی است. از دیدگاه عملی با بهبود زمانبندی پروژه به عنوان بخشی از فرایند *مدیریت پروژه*[۲] ، می‌توان هزینه‌های پروژه را کاهش داد. از جنبه نظری نیز این مساله یک زمینه جذاب برای متخصصین تحقیق در عملیات و رشته‌های وابسته است، زیرا بسیاری از مدل‌های معروف بهینه‌سازی به عنوان نمونه مساله زمانبندی کارگاهی[۳]، حالت‌های خاصی از مدل‌های مطرح در زمانبندی پروژه هستند.

زمانبندی پروژه به منظور رسیدن به اهداف مشخصی انجام می‌گیرد. یکی از متداولترین اهداف زمانبندی، *کمینه‌کردن مدت زمان تکمیل پروژه*[۴] است. به طور کلی بیشتر اهداف زمانبندی پروژه بر جنبه‌های زمانی تأکید دارند و جنبه‌های مالی پروژه اغلب نادیده گرفته شده یا به عنوان معیار درجه دوم در نظر گرفته می‌شوند [۲۰]. یکی از معیارهای مالی، روش *ارزش زمانی پول*[۵] است. به کمک این روش می‌توان در مورد پذیرش یا رد یک پروژه تصمیم‌گیری کرد. در واقع ارزش زمانی پول بیانگر آن است که، پولی که در حال حاضر به دست می‌آید نسبت به پولی که در آینده کسب می‌شود به دو دلیل ارزش بیشتری دارد:

۱- بازده اضافی که می‌توانست از طریق سرمایه‌گذاری در دوره مربوطه (فاصله زمانی بین زمان فعلی و زمان آتی) حاصل شود،

۲- کاهش قدرت خرید در اثر تورم.

علاوه بر این، سودهایی که بعداً در آینده دور کسب می‌شود، در مقابل تغییرات در شرایط، نسبت به سودهایی که در آینده نزدیک کسب می‌شود حساسیت بیشتری دارد، به همین دلیل به آن ارزش کمتری تخصیص داده می‌شود [۳]. در روش ارزش زمانی پول، *جریان‌های نقدی*[۶] پروژه *تنزیل*[۷] می‌شود. منظور از جریان‌های نقدی، کلیه مقادیر پولی است که در مدت زمان اجرای پروژه صرف می‌شود یا به دست می‌آید و منظور از تنزیل کردن، تبدیل جریان‌های

[۱]Project scheduling [۲]Project management [۳]Job shop scheduling problem [۴]Minimization of the project duration [۵]Money's time value [۶]Cash flows [۷]Discount

نقدی بعدی به قبلی است که معمولاً منجر به کاهش مقادیر جریان‌های نقدی می‌شود. هنگامی که جریان‌های نقدی تنزیل شوند، مقدار *خالص ارزش جاری*[۱] پروژه محاسبه می‌گردد. خالص ارزش جاری یک روش معمول جهت تعیین ارزش سرمایه‌گذاری در پروژه است، مقدار مثبت آن نشان می‌دهد که از نقطه‌نظر مالی پروژه دارای یک موفقیت بالقوه خواهد بود. اهمیت استفاده از معیار خالص ارزش جاری در زمانبندی پروژه در شرایط وجود محدودیت سرمایه، مدت زمان اجرای طولانی پروژه و نیز بالا بودن حجم جریان‌های نقدی پروژه بیشتر نمود پیدا می‌کند، هر چه این شرایط تشدید شود اهمیت استفاده از این معیار نمایان‌تر می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که انتخاب هدف مناسب جهت زمانبندی پروژه در پروژه‌های مختلف یکسان نیست. ممکن است در برخی شرایط استفاده از معیار کمینه‌کردن زمان تکمیل پروژه به استفاده از معیار بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری پروژه ترجیح داده شود. مثلاً هنگام کار بر روی یک محصول جدید که دارای بازار فصلی است، برای از دست ندادن بازار فصلی محصول بهتر است که پروژه هر چه سریعتر به بهره‌برداری برسد.

ساختار مطالب ارائه شده در این پایان‌نامه به شرح زیر است:

در فصل اول به بیان مساله زمانبندی با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری پروژه می‌پردازیم. تعاریف و اصطلاحات رایج در مساله زمانبندی پروژه را معرفی کرده و تاریخچه‌ای مختصر از آن ارائه می‌کنیم.

در فصل دوم پس از ارائه مدل برای مساله زمانبندی با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری، یکی از روش‌های حل مساله با جزئیات بیان می‌شود.

در فصل سوم محدودیت جدیدی به مساله اضافه کرده و الگوریتم‌هایی برای حل مساله حاصل معرفی می‌کنیم.

در فصل چهارم روش‌های معرفی شده در فصل‌های ۲ و ۳ را به دلیل انجام محاسبات پیچیده ریاضی نقد کرده و روشی که در آن چنین محاسبات پیچیده‌ای انجام نمی‌شود، ارائه می‌کنیم.

[۱] Net present value-NPV

فصل ۱

تعاریف و مرور ادبیات

۱.۱ مقدمه

مساله زمانبندی پروژه عبارت است از تخصیص زمان شروع و یا پایان به فعالیت‌های یك پروژه برای رسیدن به هدف(های) معینی. این هدف می‌تواند تکمیل هر چه زودتر پروژه و یا بیشینه‌کردن منافع ناشی از اجرای پروژه باشد. از روش‌های مرسوم و اولیه زمانبندی پروژه می‌توان به *روش مسیر بحرانی*[۱] اشاره کرد که در این روش زمانبندی فعالیت‌های پروژه زمان‌گرا بوده و هدف کمینه‌کردن مدت زمان تکمیل پروژه است. نقص عمده این روش عدم توجه کافی به شاخص‌های مالی است و با توجه به این که از اهداف اصلی هر پروژه‌ای بهینه‌سازی شاخص‌های مالی است، روش مذکور کمک ناچیزی در این زمینه می‌کند و با استفاده از این روش فقط در موارد نادری مانند *موازنه زمان و هزینه*[۲]، نگرش مالی وجود دارد. تا دهه ۷۰ میلادی، نگرش مالی در مدیریت پروژه تنها، کل هزینه‌های پروژه را در بر می‌گرفت و ارزش زمانی پول نادیده گرفته می‌شد [۱۵]. بر این اساس بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری پروژه به عنوان یکی از اهداف اصلی زمانبندی پروژه در نظر گرفته شد [۱۸]. مساله حاصل، مساله زمانبندی پروژه با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری پروژه نام گرفته و به این صورت تعریف می‌شود: تعیین زمانبندی فعالیت‌ها با در نظرگرفتن جریان‌های نقدی تحمیل شده به پروژه و بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری جریان‌های نقدی.

این مساله از ابتدای مطرح شدنش تا کنون از جنبه‌های مختلفی بررسی شده است [۱۳، ۱۶، ۲۱]. کارهایی که تاکنون روی این مساله صورت گرفته است را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد:

[۱] Critical path method-CPM [۲] Time-cost trade-off

۱- در نظر گرفتن محدودیت منابع،
۲- در نظر گرفتن الگوهای مختلف جریان‌های نقدی،
۳- در نظر گرفتن انواع مختلف شبکه پروژه،
۴- ارائه الگوریتم‌های متفاوتی برای مساله.
از میان این چهار گروه، محدودیت منابع از بحث این پایان‌نامه خارج است زیرا در این پایان‌نامه، فرض نامحدود بودن منابع در نظر گرفته شده است. در این فصل به بیان تعاریف و اصطلاحات مساله زمانبندی، به خصوص زمانبندی با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری می‌پردازیم. بعلاوه پس از ارائه چند تعریف مقدماتی از نظریه گراف و شرح مختصر روش مسیر بحرانی، مروری کلی بر کارهای صورت گرفته در این زمینه خواهیم داشت.

۲.۱ تعاریف اولیه

در این بخش به بیان تعاریف مورد استفاده در مساله زمانبندی پروژه می‌پردازیم. تعدادی از این تعاریف جنبه عمومی داشته و برای مساله زمانبندی با هر نوع تابع هدفی به کار می‌رود. ولی برخی از آن‌ها مربوط به جنبه‌های مالی پروژه است مانند جریان‌های نقدی یا خالص ارزش جاری که در مساله زمانبندی با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری پروژه به کار برده می‌شود.

پروژه[۱] : پروژه مجموعه تلاش‌ها و مجاهدت‌های موقتی است که در راستای حصول دستاوردهای تولیدی و یا خدماتی منحصر به فرد به انجام می‌رسند. موقتی بودن پروژه به این معناست که هر پروژه دارای زمان شروع و پایان مشخصی است. منحصر به فرد بودن پروژه نیز بر تفاوت قابل توجه دستاورد تولیدی یا خدماتی پروژه با پروژه‌های مشابه دلالت دارد [۲].

شبکه[۲] ***پروژه*** : شبکه گرافی است که با آن مجموعه فعالیت‌های پروژه و روابط میان آن‌ها نمایش داده می‌شود.

فعالیت[۳] : کار یا اقدامی در راستای حصول اهداف پروژه است که تحقق آن در گرو صرف منابع از قبیل زمان، سرمایه، نیروی انسانی و تجهیزات می‌باشد. یکی از انواع فعالیت‌ها، *فعالیت مجازی*[۴] است. این فعالیت از فعالیت‌های اجرایی پروژه نیست و تنها به لحاظ ایجاد روابط بین فعالیت‌ها و همچنین تصحیح ساختار شبکه‌های پروژه به کار گرفته می‌شود. از این رو منبعی برای این فعالیت مورد استفاده قرار نمی‌گیرد [۲].

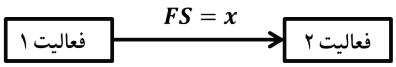
واقعه[۵] : یک لحظه زمانی در طول اجرای پروژه که بیانگر شروع یا پایان یک یا چند فعالیت است. چهار نمونه از وقایع شبکه عبارتند از: (الف) *واقعه پایه* (واقعه شروع یک یا چند فعالیت)؛ (ب) *واقعه پایانی* (واقعه پایان

[۱]Project [۲]Network [۳]Activity [۴]Dummy activity [۵]Event

یک یا چند فعالیت)؛ (ج) *واقعه آغازین* (اولین گره در شبکه)؛ (د) *واقعه نهایی* (آخرین گره در شبکه) [۲].

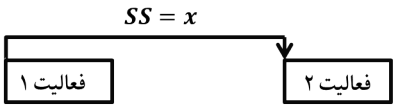
روابط پیش‌نیازی[۱] : هر یک از فعالیت‌های پروژه با سایر فعالیت‌های آن پروژه در ارتباط است. به طور مثال شروع یک فعالیت ممکن است به اتمام تعدادی فعالیت دیگر وابسته باشد. به این وابستگی‌ها، روابط پیش‌نیازی گفته می‌شود. انواع مختلف روابط پیش‌نیازی در زیر آمده است:

- *پایان به شروع*[۲] :



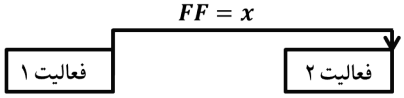
شروع فعالیت ۲ حداقل x واحد زمانی بعد از پایان فعالیت ۱ است. به مقدار x میزان تأخیر گفته می‌شود.

- *شروع به شروع*[۳] :



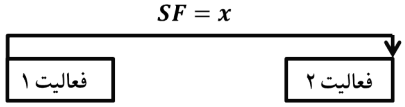
شروع فعالیت ۲ حداقل x واحد زمانی بعد از شروع فعالیت ۱ است.

- *پایان به پایان*[۴] :



پایان فعالیت ۲ حداقل x واحد زمانی بعد از پایان فعالیت ۱ است.

- *شروع به پایان*[۵] :



پایان فعالیت ۲ حداقل x واحد زمانی بعد از شروع فعالیت ۱ است.

[۱]Precedence relation [۲]Finish to start-FS [۳]Start to start-SS [۴]Finish to finish-FF [۵]Start to finish-SF

در این پایان‌نامه رابطه بین فعالیت‌ها از نوع پایان به شروع با میزان تأخیر صفر در نظر گرفته می‌شود.

جریان‌های نقدی: همانطور که در قبل بیان شد جریان‌های نقدی، کلیه مقادیر پولی است که در مدت زمان اجرای پروژه صرف می‌شود یا به دست می‌آید. مساله زمانبندی پروژه با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری از دو منظر قابل بررسی است: از نقطه نظر *کارفرما*[۱] و از نقطه نظر *پیمانکار*[۲] . در این پایان‌نامه مساله را از دیدگاه پیمانکار مورد بررسی قرار می‌دهیم. در نتیجه می‌توان گفت به طور کلی جریان‌های نقدی پروژه به دو دسته تقسیم می‌شوند: (۱) *جریان‌های نقدی ورودی*[۳] (یا جریان‌های نقدی مثبت که به آن درآمدها نیز گفته می‌شود) و *جریان‌های نقدی خروجی*[۴] (یا جریان‌های نقدی منفی که به آن هزینه‌ها نیز گفته می‌شود). در واقع جریان‌های نقدی خروجی همان هزینه اجرای فعالیت‌ها و جریان‌های نقدی ورودی پرداخت‌های کارفرما به پیمانکار است. در هر دوره زمانی با کم‌کردن مقدار جریان‌های نقدی ورودی از جریان‌های نقدی خروجی مقدار *خالص جریان‌های نقدی*[۵] به دست می‌آید.

خالص ارزش جاری: خالص ارزش جاری، ارزش زمانی پول را مورد توجه قرار می‌دهد. برای مثال، ارزش فعلی یا قدرت خرید فعلی ۱۰۰ ریال با ارزش یا قدرت خرید این ۱۰۰ ریال در همین زمان در سال آینده برابر نخواهد بود. به دلیل وجود تورم، امکان سرمایه‌گذاری مجدد و ...، ۱۰۰ ریال فعلی به ۱۰۰ ریال در سال آینده ترجیح داده می‌شود (بخش پیش‌گفتار ملاحظه شود). قبل از بیان مفهوم خالص ارزش جاری، ابتدا مفهوم *بهره* مرکب که در حساب‌های پس‌انداز از آن استفاده می‌شود را بیان می‌کنیم. اگر ۱۰۰ ریال با *نرخ بهره*[۶] سالانه ۲۰٪ سرمایه‌گذاری شود، پس از یک سال ارزش آن ۱۲۰ ریال خواهد بود و بعد از دو سال ارزش آن معادل ۱۴۴ ریال خواهد بود. در این حالت گفته می‌شود که ۱۰۰ ریال پس از دو سال مرکب *شدن*[۷] ، ۱۴۴ ریال می‌شود. در واقع مرکب کردن یا مرکب شدن به معنی تبدیل جریان‌های نقدی قبلی به جریان‌های نقدی بعدی با استفاده از نرخ بهره تعیین شده، است که معمولاً منجر به افزایش مقادیر جریان‌های نقدی می‌شود. نرخ بهره که به آن نرخ تنزیل نیز گفته می‌شود، در واقع نرخی است که بابت جلوگیری از کاهش ارزش پول پرداختی در امروز و دریافتی در آینده (به دلیل تورم) باید پرداخت شود. این مقدار معمولاً حاصلضرب نرخ سود، نرخ ریسک و نرخ تورم قابل پیش‌بینی است.

مفهوم خالص ارزش جاری برعکس مفهوم بهره مرکب است. اگر به شخصی یک سال بعد ۱۲۰ ریال داده شود و نرخ بهره ۲۰٪ باشد، ارزش آن ۱۲۰ ریال در حال حاضر ۱۰۰ ریال است. این ۱۰۰ ریال را ارزش جاری می‌نامند و گفته می‌شود ۱۲۰ ریال بعد از یک سال به ۱۰۰ ریال تنزیل شده است. وقتی جریان‌های نقدی تنزیل شده در طول چند سال، با هم جمع شوند عدد حاصل را خالص ارزش جاری می‌نامند. نحوه محاسبه خالص ارزش جاری به صورت زیر است [۱]:

---

[۱] Client [۲] Contractor [۳] Inward cash flows [۴] Outward cash flows [۵] Net cash flows [۶] Interest rate [۷] Compound

$$\text{خالص ارزش جاری} = \sum_t \Big((\text{خالص جریان نقدی دوره زمانی } t) \times (\text{فاکتور تنزیل})^t \Big)$$

اگر α نرخ بهره باشد، *فاکتور تنزیل*[۱] از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{فاکتور تنزیل} = \begin{cases} \frac{۱}{(۱+\alpha)} & \text{نرخ بهره گسسته باشد} \\ e^{-\alpha} & \text{نرخ بهره پیوسته باشد} \end{cases}$$

مثال ۱.۲.۱. *فرض کنیم پروژه‌ای با هزینه راه‌اندازی اولیه ۱۰۰۰۰۰ ریال داریم، اگر مقدار خالص جریان‌های نقدی آن در سال اول ۵۰۰۰۰ ریال، در سال دوم ۴۰۰۰۰ ریال و در سال سوم ۶۰۰۰۰ ریال و نرخ بهره برابر با ۱۰٪ باشد، در این صورت مقدار خالص ارزش جاری پروژه چند است؟*
خالص جریان نقدی هر سال یعنی درآمد منهای هزینه‌های آن سال. در ابتدای پروژه (سال صفر) تنها جریان‌های نقدی خروجی که همان سرمایه‌گذاری اولیه پروژه است وجود دارد. بنابراین مقدار خالص ارزش جاری پروژه برابر خواهد بود با:

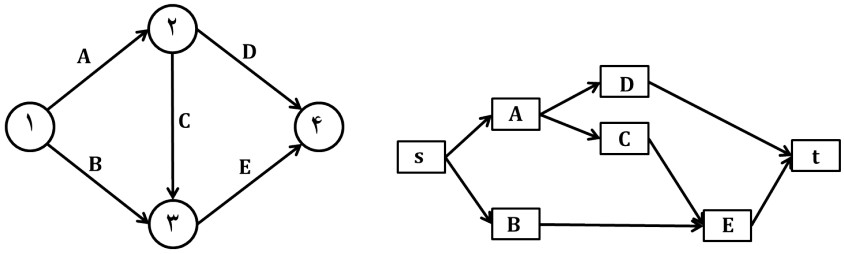
$$NPV = \frac{-۱۰۰۰۰۰}{(۱+۰/۱)^۰} + \frac{۵۰۰۰۰}{(۱+۰/۱)^۱} + \frac{۴۰۰۰۰}{(۱+۰/۱)^۲} + \frac{۶۰۰۰۰}{(۱+۰/۱)^۳} = ۲۳۵۹۱/۲۹$$

۳.۱ انواع شبکه از نظر ساختاری

مدل شبکه اساساً برای نشان دادن محدودیت‌های پیش‌نیازی بین فعالیت‌هاست اما می‌توان از آن برای تحلیل آثار مربوط به زمانبندی پروژه استفاده کرد. شبکه‌های پروژه به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند: (۱) شبکه‌هایی که در آن‌ها فعالیت‌های پروژه بر روی گره‌ها نشان داده می‌شوند و کمانها نشان‌دهنده ارتباط منطقی بین فعالیت‌ها هستند. این نوع شبکه را شبکه *فعالیت روی‌گره*[۲] می‌نامند (شکل ۱.۱.آ)؛ (۲) شبکه‌هایی که در آن‌ها فعالیت‌های پروژه بر روی کمان‌ها نشان داده می‌شوند و گره‌ها نشان‌دهنده وقایع مربوط به شروع و پایان فعالیت‌ها هستند. این شبکه را شبکه *فعالیت روی‌کمان*[۳] می‌نامند (شکل ۱.۱.ب) [۲]. شکل‌های ۱.۱.آ و ۱.۱.ب پروژه‌ای را نشان می‌دهند که دارای ۵ فعالیت $A-E$ می‌باشد. در شکل ۱.۱.آ فعالیت‌های s و t مجازی هستند و فقط برای نشان دادن شروع و پایان پروژه استفاده شده‌اند.

برخلاف مساله زمانبندی با هدف کمینه‌کردن مدت زمان تکمیل پروژه، هنگامی که تابع هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری به عنوان معیار زمانبندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نوع شبکه اهمیت پیدا می‌کند [۱۶]. به طور مثال اگر جریان‌های نقدی برای هر فعالیت به طور جداگانه در نظر گرفته شوند، حالت شبکه فعالیت روی

[۱] Discount factor [۲] Activity on node-AON [۳] Activity on arc-AOA

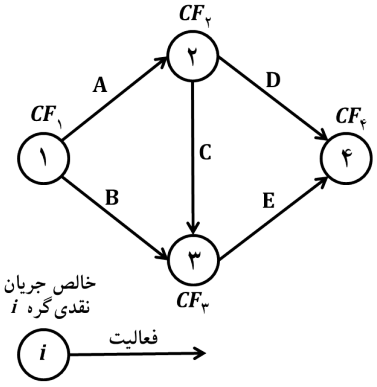


(ب) (آ)

شکل ۱.۱: شبکه‌های فعالیت روی گره (آ) و فعالیت روی کمان (ب)

گره مناسبتر است و اگر جریان‌های نقدی در مقاطع خاصی از پروژه تحقق یابند، حالت شبکه فعالیت روی کمان مناسبتر است. حالتی که در آن جریان‌های نقدی به فعالیت‌ها اختصاص داده می‌شوند را *فعالیت* محور[۱] و حالتی که جریان‌های نقدی به وقایع تخصیص داده می‌شوند را حالت *واقعه* محور[۲] می‌نامند. در مورد نحوه نمایش شبکه و تأثیر آن بر زمانبندی با هدف بیشینه‌کردن خالص ارزش جاری پروژه، چند مورد از کارهای انجام شده را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

راسل[۳] [۱۸] جریان‌های نقدی را واقعه محور در نظر گرفت، به طوری که جریان نقدی خروجی هر فعالیت در گره پایه آن فعالیت رخ دهد، بعلاوه جریان‌های ورودی در گره‌های خاصی از شبکه تحقق یابند (شکل ۲.۱ ملاحظه شود).



شکل ۲.۱: شبکه فعالیت روی کمان با جریان‌های نقدی

دو مشکلی که در این نحوه نمایش وجود دارد عبارتند از:

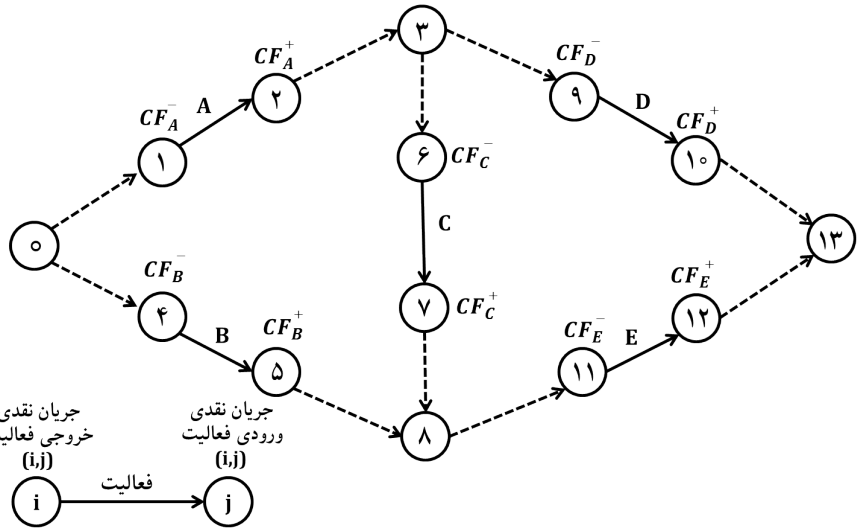
۱) از آنجا که در هر واقعه خالص جریان‌های نقدی ورودی و خروجی قرار می‌گیرد، به طور واضح جریان نقدی

[۱] Activity oriented [۲] Event oriented [۳] Russell

ورودی و خروجی هر فعالیت قابل شناسایی نیست. در حالی که در برخی موارد به این جریان‌ها به طور مجزا نیاز داریم (در بخش بعد که الگوهای مختلف جریان نقدی پروژه را معرفی کنیم ملاحظه می‌شود برای پیاده‌سازی برخی از این الگوها در پروژه مانند الگوی پرداخت دوره‌ای کارفرما، به جریان‌های نقدی ورودی و خروجی هر فعالیت به صورت تفکیک شده نیاز است).

۲) اگر فرض کنیم هزینه هر فعالیت در زمان شروع آن رخ دهد، در این نوع شبکه ممکن است هزینه‌ها زودتر از زمان رخدادشان تحقق یابند. زیرا زمان رخداد یک واقعه الزاماً زمان شروع تمام فعالیت‌های خروجی از آن واقعه نیست. شکل ۱۰.۱ را در نظر بگیرید. فرض کنیم زمان رخداد گره ۲، برابر با ۲ باشد. از آنجا که فعالیت (۲, ۴) دارای مدت زمان اجرای ۸ است و در زمان ۱۱ (زمان رخداد گره ۴) به اتمام می‌رسد، پس می‌تواند در زمان ۳ شروع شود. در نتیجه با فرض شروع فعالیت (۲, ۴) در زمان رخداد گره ۲، که برابر با ۲ است، هزینه فعالیت (۲, ۴) یک روز زودتر پرداخت می‌شود.

برای رفع مشکلات ذکر شده، *پادمان*[۱] و همکاران [۱۷] مدل شبکه فعالیت روی کمان را اصلاح کردند. آن‌ها هر فعالیت را بوسیله یک فعالیت مجازی در قبل و بعدش محصور ساخته، جریان نقدی خروجی هر فعالیت را به گره پایه آن و جریان نقدی ورودی را به گره پایانی آن فعالیت اختصاص دادند (شکل ۳.۱، در این شکل فعالیت‌های مجازی با فلش‌های خط‌چین نمایش داده شده‌اند). در این صورت در هر گره تنها جریان نقدی یک فعالیت قرار می‌گیرد. با توجه به وجود فعالیت مجازی قبل از هر فعالیت، می‌توان زمان رخداد گره پایه هر فعالیت را زمان شروع آن فعالیت در نظر گرفت [۱۶].

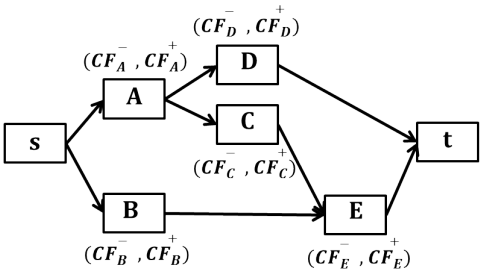


شکل ۳.۱: شبکه اصلاح شده فعالیت روی کمان با جریان‌های نقدی

[۱] Padman

اگر چه این مدل اصلاح شده باعث رفع مشکلات اخیر می‌شود، اما در آن به علت ایجاد تعداد زیادی فعالیت مجازی، شبکه پیچیده شده و این مساله به خصوص در مدل‌های بزرگ اثر منفی بر روی کارایی مدل دارد.

برعکس شبکه فعالیت روی کمان، شبکه فعالیت روی گره می‌تواند بدون ایجاد فعالیت مجازی، روابط پیچیده بین فعالیت‌های شبکه را نشان دهد. این شبکه برای پروژه‌های در مقیاس بزرگ به میزان قابل ملاحظه‌ای محاسبات را کاهش می‌دهد. یک نمونه شبکه فعالیت روی گره با جریان‌های نقدی در شکل ۴.۱ نشان داده شده است [۱۶].



شکل ۴.۱: شبکه فعالیت روی گره با جریان‌های نقدی

هر چند در شبکه فعالیت روی گره شکل ۴.۱ برای هر فعالیت جریان‌های نقدی ورودی و خروجی به طور جداگانه در نظر گرفته می‌شود و مشکل فعالیت‌های مجازی وجود ندارد، اما برای حالت‌هایی که جریان‌های نقدی خروجی برای مجموعه‌ای از فعالیت‌ها تحقق می‌یابد مناسب نیست. برای رفع این مشکل می‌توان از یک مدل اصلاح شده شبکه فعالیت روی کمان استفاده کرد که نه تنها ویژگی شبکه فعالیت روی گره (جداسازی جریان‌های نقدی خروجی هر فعالیت) را داراست بلکه در آن می‌توان جریان‌های نقدی ورودی را به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها اختصاص داد (شکل ۵.۱). همانطور که ملاحظه می‌شود، هر فعالیت توسط یک فعالیت مجازی در ابتدی آن، محصور شده است. در این شبکه جریان‌های نقدی خروجی در زمان شروع هر فعالیت رخ می‌دهد. بعلاوه جریان‌های نقدی ورودی در زمان اتمام تعدادی فعالیت به طور همزمان، تحقق می‌یابد [۱۶].

۴.۱ الگوهای مختلف جریان نقدی پروژه

الگوی جریان‌های نقدی در یک پروژه جدا از این که به صورت واقعه محور و یا فعالیت محور است، می‌تواند ثابت، دوره‌ای و یا تابعی از زمان رخداد وقایع یا فعالیت‌های مربوطه باشد. در این بخش چند نمونه از الگوهای مختلف جریان‌های نقدی را که در مقالات به آن اشاره شده، بیان می‌کنیم.

۱) **جریان نقدی ثابت :** در این نوع الگو، مقادیر جریان‌های نقدی وارد بر پروژه از قبل مشخص است و در