

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سمنان

دانشکده صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

# ارائه الگوریتم فرا ابتکاری برای حل مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر محمد عبدالشاه

پژوهشگر:

مریم معمول رفتار

شهریور ۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات، و نوآوری های

ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه

سمنان می باشد

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی  
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان  
است  
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید  
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر، مادر و میلاد عزیزم تقدیم می کنم

## تشکر و قدردانی

سپاس خداوندی را که رحمت بی کرانه اش بر گستره جهان چون بارانی مکرر است و ستایش سزای ذات بی همتای اوست که انسان را به زیور علم و خرد آراست. خدای را سپاسگزارم که مرا به بحر علم رهنمون کرد تا قطرهای از آن بنوشم و فرصتی به من داد تا از باغ پرطراوت دانش، ثمرهای اندک برای آینده برگیرم. خداوند را شاکرم که توفیق را رفیق را هم کرد تا در محضر استادان ارجمند کسب فیض نمایم.

در این جا بر خود واجب می دانم تا از زحمات و تلاش استاد محترم راهنما، جناب آقای دکتر محمد عبدالشاه و از اساتید فرزانه و بزرگوار آقایان دکتر بهشتی نیا و دکتر کرم پور که زحمت مطالعه، تصحیح و داوری پایان نامه را عهده دار بودند تقدیر و تشکر نمایم.

در پایان شایسته است از خانواده ارجمندم که همدلی و همراهیشان به من امید و گرما می بخشید و همسر، یار و یاور عزیزم میلاد مسکین که بذل توجه و محبت بیکران او همواره مایه دلگرمی بنده می شد تشکر و قدردانی نمایم.

## فهرست منابع

صفحه	عنوان
1	فصل اول: کلیات
2	1-1. کلیات
6	2-1. پیشنه تحقیق
8	3-1. تعریف مسئله و بیان موضوع اصلی تحقیق و جنبه های نوآوری
10	4-1. مفروضات تحقیق
11	5-1. روش انجام تحقیق و تجزیه تحلیل مسئله
12	6-1. ساختار پایان نامه
13	فصل دوم: مفاهیم، ادبیات و پیشینه تحقیق
14	1-2. مقدمه
15	2-2. تعریف پروژه
15	3-2. مدیریت پروژه
15	4-2. تعریف زمان بندی
16	5-2. زمان بندی پروژه
17	6-2. زمان بندی پروژه با در نظر گرفتن محدودیت ها
17	7-2. مدل مفهومی مسئله
19	8-2. معیارهای دسته بندی
19	1-8-2. فعالیت
19	1-1-8-2. نوع وضعیت
19	2-1-8-2. قابلیت انقطاع
20	3-1-8-2. ماهیت
20	4-1-8-2. ویژگی های الزامی
25	2-8-2. منابع
26	1-2-8-2. طبقه بندی ماهیتی

## فهرست منابع

صفحه	عنوان
31	3-8-2 اهداف
31	1-3-8-2 تعداد اهداف
32	2-3-8-2 نوع تابع اهداف
32	3-3-8-2 ماهیت اهداف
37	4-8-2 پروژه
37	1-4-8-2 تک پروژه
37	2-4-8-2 چند پروژه
37	5-8-2 روابط پیش نیازی
37	1-5-8-2 جزئی
38	2-5-8-2 عمومی
39	3-5-8-2 عمومی همراه با تاخیر حداقلی و حداکثری
40	6-8-2 زمان بندی
40	1-6-8-2 زمان پذیر
40	2-6-8-2 منبع پذیر
40	3-6-8-2 امکان پذیر
40	4-6-8-2 زمان بندی بهینه
40	5-6-8-2 مبتنی بر فعالیت
41	9-2 مروری بر تحقیقات صورت گرفته
62	10-2 روش حل
63	1-10-2 روش های حل دقیق
64	2-10-2 روش های حل ابتکاری
66	3-10-2 روش های حل فرا ابتکاری
67	11-2 رویکردها
67	1-11-2 رویکرد قطعی
67	2-11-2 رویکرد پیشگویانه
68	3-11-2 رویکرد واکنشی

## فهرست منابع

صفحه	عنوان
68	4-11-2. رویکرد فازی
69	5-11-2. رویکرد پروژه احتمالی
69	6-11-2. رویکرد پروژه تحلیل حساسیت
70	7-11-2. رویکرد یکپارچه سازی زمان بندی پروژه با سایر زمینه ها
71	12-2. مروری بر ادبیات انواع روش های حل و رویکردهای زمان بندی پروژه با محدودیت منابع
93	13-2. تحقیقات آتی در زمینه توسعه پارامترهای مسئله
93	1-13-2. فعالیت ها
93	2-13-2. منابع
93	3-13-2. تابع هدف
94	4-13-2. زمان بندی
94	14-2. تحقیقات آتی پیرامون روش های حل زمان بندی پروژه با محدودیت منابع
94	1-14-2. توسعه
95	2-14-2. اصلاحات
95	3-14-2. ابداعات
97	فصل 3: مروری بر روش حل تحقیق
98	1-3. مقدمه
100	2-3. تاریخچه شبکه عصبی
102	3-3. تعریف شبکه
102	4-3. معرفی شبکه عصبی
104	5-3. تعریف شبکه های عصبی مصنوعی
105	6-3. مدل ریاضی شبکه عصبی مصنوعی
108	7-3. شبکه عصبی مصنوعی وزین
109	8-3. یادگیری در شبکه عصبی
110	9-3. مکانیزم های آموزش شبکه
110	1-9-3. انواع یادگیری برای شبکه های عصبی



## فهرست منابع

صفحه	عنوان
110	1-1-9-3. یادگیری با ناظر
110	2-1-9-3. یادگیری بی ناظر
111	3-1-9-3. یادگیری رقابتی
111	10-3. معرفی یک مدل ساده در شبکه عصبی مصنوعی
112	11-3. انواع شبکه های عصبی مصنوعی از نظر برگشت پذیری
112	1-11-3. شبکه های پیش خور
113	2-11-3. شبکه های پسخور (برگشتی)
114	12-3. قدرت پرسپترون
115	13-3. منطق فازی
115	1-13-3. تاریخچه منطق فازی
116	2-13-3. منطق فازی چیست؟
117	3-13-3. مفاهیم استنتاجات فازی
118	14-3. شبکه عصبی فازی
119	15-3. مزایای کنترل عصبی فازی
119	1-15-3. کنترل سنتی
120	2-15-3. کنترل فازی
120	3-15-3. کنترل عصبی فازی
120	16-3. انواع شبکه عصبی فازی
121	1-16-3. شبکه عصبی فازی
121	2-16-3. مدل های نورو فازی همزمان
121	3-16-3. مدل های نورو فازی مشارکتی
121	4-16-3. شبکه های عصبی سیستم های استنتاجی فازی هدایت شده
121	5-16-3. مدل هلی نورو فازی ترکیبی
122	1-5-16-3. مدل شماتیک ترکیبی عصبی فازی
126	17-3. تفاوت نرون های قطعی با نرون های فازی
127	18-3. شکل عمومی نرون و شبکه عصبی فازی

## فهرست منابع

صفحه	عنوان
128	19-3. یادگیری و سازگاری در شبکه های عصبی فازی
129	20-3. زمان بندی غیر قطعی
133	فصل چهارم: طراحی الگوریتم پیشنهادی
134	1-4. مقدمه
134	2-4. روش های حل ابتکاری سازنده
136	1-2-4. طرح زمان بندی سری
136	2-2-4. طرح زمان بندی موازی
137	3-4. انتخاب ساختار سیستم عصبی فازی
138	4-4. چهارچوب شبکه عصبی فازی قویت شده
140	5-4. معرفی انواع توابع شبکه
140	1-5-4. توابع ورودی
142	2-5-4. توابع فعال سازی
142	3-5-4. توابع خروجی
142	6-4. مفروضات و محدودیت های مدل
144	7-4. اساس روش حل حد پایین
145	1-7-4. زمان شناوری فعالیت ها
146	2-7-4. محاسبه تاریخ های وقوع رویدادها
146	1-2-7-4. حرکت پیشروی (رفت)
146	2-2-7-4. حرکت بازگشتی (برگشت)
147	3-7-4. رویداد بحرانی
147	4-7-4. مسیر بحرانی
147	5-7-4. روش محاسبه مسیر بحرانی
148	6-7-4. تفسیر نتایج
149	8-4. مدل ریاضی مسئله
150	1-8-4. فرمولاسیون مدل

## فهرست منابع

صفحه	عنوان
۱۵۲	۹-۴. چهارچوب الگوریتم EHFNN
۱۵۲	۱-۹-۴. رویکرد پروژه احتمالی
۱۵۴	۲-۹-۴. مراحل الگوریتم تکرار
۱۵۸	۳-۹-۴. پایان روال تکرار
۱۵۹	۱۰-۴. استراتژی یادگیری
۱۶۰	۱-۱۰-۴. تقویت
۱۶۱	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۶۲	۱-۵. آزمایشات محاسباتی و نتایج
۱۶۵	۲-۵. دستاوردهای تحقیق
۱۶۶	۳-۵. پیشنهادات آتی
	<b>پیوست</b>
۱۶۹	منابع فارسی
۱۷۰	منابع انگلیسی

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

---

۴۱	جدول ۲-۱: سیر تکاملی RCPS
۴۲	جدول ۲-۲: دسته بندی مقالات بررسی شده از دیدگاه پارامتر مسئله
۷۰	جدول ۲-۳: دسته بندی مقالات بررسی شده از دیدگاه روش های حل مسئله
۸۶	جدول ۲-۴: دسته بندی مقالات بررسی شده از دیدگاه رویکردهای مسئله
۱۰۱	جدول ۳-۱: سیر تکاملی شبکه عصبی
۱۶۳	جدول ۵-۱: پارامترهای انتخاب شده برای مسئله
۱۶۵	جدول ۵-۲: نتایج بدست آمده برای ۱۰ مسئله نمونه

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۳	شکل ۱-۱: فازهای پروژه و ترتیب انجام آنان و جایگاه زمان بندی پروژه
۵	شکل ۲-۱: محدوده ی مورد بررسی تحقیق
۶۴	شکل ۱-۲: دسته بندی روش های حل دقیق
۶۵	شکل ۲-۲: دسته بندی روش های ابتکاری
۶۶	شکل ۳-۲: دسته بندی روش های فرا ابتکاری
۶۷	شکل ۴-۲: دسته بندی رویکردها
۶۹	شکل ۵-۲: دسته بندی مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع فازی
۱۰۳	شکل ۱-۳: نمای کلی یک عصب واقعی
۱۰۴	شکل ۲-۳: نمای کلی از نحوه ی کارکرد شبکه عصبی
۱۰۶	شکل ۳-۳: نمای با جزئیات از یک نرون مصنوعی
۱۰۸	شکل ۴-۳: نمای کلی از یک شبکه عصب وزین
۱۰۹	شکل ۵-۳: طبقه بندی مکانیزم یادگیری یک شبکه عصبی مصنوعی
۱۱۲	شکل ۶-۳: شبکه ی پرسپترون
۱۱۳	شکل ۷-۳: شبکه ی پیشخور
۱۱۴	شکل ۸-۳: شبکه ی پسخور
۱۱۹	شکل ۹-۳: نمای کلی از کنترل سنتی
۱۲۲	شکل ۱۰-۳: مدل شماتیک عصبی - فازی
۱۲۳	شکل ۱۱-۳: شبکه ی عصبی مصنوعی - فازی

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۱۲۴	شکل ۳-۱۲: استنتاج فازی
۱۲۵	شکل ۳-۱۳: نمای کلی از یک شبکه ی پنج لایه ی عصبی فازی
۱۳۱	شکل ۳-۱۴: نمایش ۶ نقطه ای یک عدد مبهم
۱۳۸	شکل ۴-۱: نمای کلی از شبکه عصبی فازی تقویت شده
۱۳۹	شکل ۴-۲: نمای کلی از یک پروژۀ ۶ فعالیتی
۱۴۰	شکل ۴-۳: نمای کلی از یک شبکه عصبی پروژۀ ۶ فعالیتی
۱۴۱	شکل ۴-۴: نمای کلی از یک شبکه عصبی فازی
۱۴۱	شکل ۴-۵: نمای کلی از یک شبکه عصبی فازی در نظر گرفته شده
۱۴۳	شکل ۴-۶: مجموعه ی اعداد فازی دوزنقه ای
۱۴۸	شکل ۴-۷: شاخص فازی مسیر بحرانی
۱۵۴	شکل ۴-۸: فلوجارت الگوریتم مراحل حل
۱۵۹	شکل ۴-۹: فلوجارت الگوریتم تکرار

فصل اول

کلیات

امروزه با جهانی شدن تجارت، تلاش بیش از پیش بنگاه‌ها در جهت استفاده‌ی بهینه از امکانات و منابع برای بقاء در صحنه‌ی جهانی، امری واجب شده است. در این مسیر بنگاه‌های اقتصادی چاره‌ای جز بالا بردن بهره‌وری و انجام کارهای بیشتر و بهتر با صرف منابع و زمان کمتر، ندارند. از همین جاست که مفاهیمی همچون پروژه، کنترل پروژه، مدیریت پروژه، زمانبندی پروژه و ... مطرح شده‌اند.

با توجه به همین مفاهیم، به دنبال طرح و زمانبندی برای انجام یک پروژه خواهیم بود، که مسلماً تاثیر به‌سزایی در موفقیت پروژه و رسیدن به اهداف آن خواهد داشت. این زمانبندی از طرفی باید با توجه به محدودیت منابع باشد و از طرف دیگر باید معیارهای دیگری نیز در نظر داشته باشد. مثلاً ممکن است به دلایل مختلف به دنبال حداقل کردن مدت زمان پروژه باشیم و یا به دلایل اقتصادی به دنبال بیشینه کردن ارزش خالص فعلی پروژه<sup>۱</sup> باشیم. از همین رو و نیز به علت اهمیت و تاثیر برنامه یا زمانبندی فعالیت‌های پروژه، در مباحث مدیریت زمان پروژه، مجموعه فعالیت‌هایی تحت عنوان تکوین و کنترل زمانبندی پروژه ایجاد شده است.

پروژه یک فعالیت بدون تکرار است که با توجه به چند هدف کاملاً از پیش تعریف شده و با در نظر گرفتن منابعی همچون پول، پرسنل و تجهیزات مورد تعهد برای انجام قرار می‌گیرد. معمولاً با درخواست سازمان یا فرد، پروژه تعریف می‌شود. چرخه‌ی عمر یک پروژه را می‌توان به پنج فاز مجزا تقسیم کرد. در هر یک از این فازها، وظایف تعریف شده‌ای برای مدیران پروژه تعریف می‌شود. شروع با یک طرح پیشنهادی می‌باشد و انجام مطالعات آغازین، همچون امکان‌سنجی<sup>۲</sup>، تحلیل اقتصادی یا آنالیز ریسک، معمولاً در فاز توجیه پروژه<sup>۳</sup> صورت می‌گیرد.

خروجی این فازها قاعدتاً تایید یا رد پروژه است. در فاز تعریف پروژه<sup>۴</sup>، اهداف پروژه مشخص می‌شوند، ساختار سازمانی پروژه مشخص می‌شود، منابع به پروژه تخصیص داده می‌شود و فعالیت‌های متنوع با مقاطع بازنگری<sup>۵</sup> تخصیصی، مشخص می‌شوند. در فاز برنامه‌ریزی پروژه<sup>۶</sup> ابتدا با تحلیل ساختاری پروژه روابط تقدم-تاخر مابین فعالیت‌ها مشخص می‌شود. سپس تخمین‌های مصرف منابع و زمان فعالیت‌ها صورت می‌گیرد. در نتیجه‌ی این تحلیل ساختاری، پروژه به وسیله‌ی شبکه‌ی پروژه نمایش داده می‌شود. پس از آن، زمانبندی موقت فعالیت‌ها، زودترین و دیرترین زمان ممکن برای آغاز فعالیت‌ها را مشخص می‌کند. در هنگام تهیه این زمانبندی موقت، محدودیت منابع در نظر گرفته نمی‌شود. مرحله‌نهایی و مشکل‌ترین مرحله‌ی این فاز، تخصیص منابع به فعالیت‌ها در طی مراحل انجام پروژه است.

<sup>۱</sup> - Project's Net Present Value

<sup>۲</sup> - Feasible study

<sup>۳</sup> - Project conception

<sup>۴</sup> - Project definition

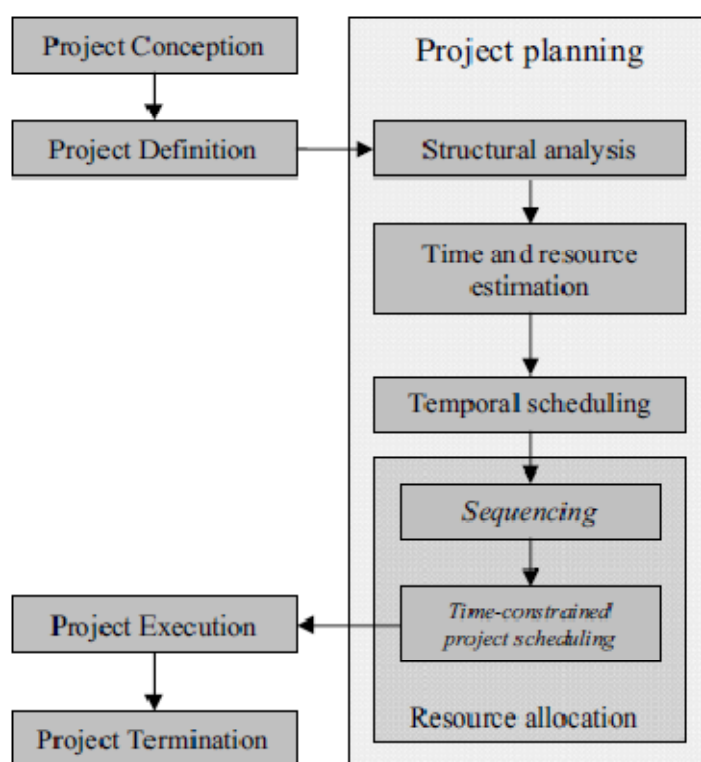
<sup>۵</sup> - Milestone

<sup>۶</sup> - Project planning



طی فاز اجرای پروژه، با نظارت بر انجام فعالیت ها، اجراء صحیح و به موقع فعالیت ها کنترل می شود. در این فاز پیشرفت پروژه با برنامه زمانبندی<sup>۱</sup> تهیه شده، که در فاز برنامه ریزی تهیه شده، مقایسه می شود. در مواردی که انحراف قابل توجهی از برنامه اتفاق افتاده است، تخصیص منابع باید دوبار صورت گیرد.

فاز نهایی، فاز ختم پروژه<sup>۲</sup> است. در این فاز پروژه ارزیابی و مستند سازی می شود، تا مدیریت بتواند در پروژه های بعدی از آنها استفاده کند. هر یک از فازهای پروژه، نیازمند تکنیک های ویژه ای هستند. این تحقیق در مورد روش های کمی<sup>۳</sup> برای فاز برنامه ریزی پروژه است. و به طور ویژه به مسئله زمان بندی پروژه در شرایط وجود محدودیت منابع می پردازد. شکل ۱-۱ نشان دهنده ی فازهای پروژه و ترتیب انجام آنها و جایگاه زمانبندی پروژه است.



شکل ۱-۱: فازهای پروژه و ترتیب انجام آنان و جایگاه زمانبندی پروژه

برای زمانبندی پروژه ها بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع از متدهایی همچون روش مسیر بحرانی<sup>۴</sup> و تکنیک ارزیابی و بازبینی پروژه<sup>۵</sup> استفاده می شود. خصوصا روش مسیر بحرانی دارای کارایی بسیار بسیار خوبی است. لیکن امروزه با توجه به اینکه در تمام سطوح پروژه با محدودیت منابع مواجه هستیم، مسئله ای به اسم زمانبندی پروژه تحت محدودیت منابع<sup>۶</sup> مطرح شده است که به علت اینکه در دو روش

<sup>۱</sup> - Schedule

<sup>۲</sup> - Project termination

<sup>۳</sup> - Quantative methods

<sup>۴</sup> - Critical Path Method (CPM)

<sup>۵</sup> - Project Evaluation and Review Technique (PERT)

<sup>۶</sup> - Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)

فوق‌الذکر محدودیت منابع در نظر گرفته نمی‌شود، نمی‌توان برای حل این مسئله از آنها استفاده کرد. لذا لزوم ایجاد و به کارگیری روشهایی که انواع محدودیت‌های منابع را در نظر بگیرند، مشخص است. به عبارتی دیگر برنامه ریزی پروژه عبارتست از تعیین توالی زمانی یا برنامه زمان بندی جهت انجام یکسری فعالیت‌های وابسته که تشکیل دهنده پروژه هستند. در این مسأله، پروژه به کمک روش‌هایی مانند روش شکست کار<sup>۱</sup>، به تعدادی فعالیت تجزیه می‌شود. این فعالیت‌ها به لحاظ روابط منطقی متفاوتی که حاکم بر آنهاست، با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند. رابطه‌های منطقی و بلافاصل بین هر دو فعالیت به کمک یک یا چند رابطه کنترل‌کننده مانند رابطه پایان به شروع<sup>۲</sup>، رابطه شروع به شروع<sup>۳</sup>، رابطه پایان به پایان<sup>۴</sup>، و رابطه شروع به پایان<sup>۵</sup> تبیین می‌شوند. البته در پروژه‌های پیچیده تر امکان تعریف رابطه‌های کنترل‌کننده بیشتری مانند توازی اجرا بین دو فعالیت وجود دارد (هاجو<sup>۶</sup>، ۱۹۹۷). در واقع وابستگی فعالیت‌ها از نظر تقدم و تاخر تاخر انجامشان است، یعنی ممکن است انجام یک فعالیت به انجام چند فعالیت دیگر وابسته باشد، که در این صورت گفته می‌شود پروژه دارای محدودیت‌های تقدمی<sup>۷</sup> بین فعالیت‌ها وجود دارند. اما علاوه بر این محدودیت‌ها، ممکن است نوع دیگری از محدودیت‌ها تحت عنوان محدودیت‌های منابع نیز در پروژه وجود داشته باشند. بنابراین در برنامه ریزی پروژه علاوه بر اینکه باید به محدودیت‌های تقدمی توجه داشت، برنامه ریزی باید به گونه‌ای انجام گیرد که با محدودیت‌های منابع نیز سازگار باشد. هدف از زمانبندی و توالی عملیات، تخصیص بهینه منابع محدود در طول زمان می‌باشد. زمانبندی<sup>۸</sup> در واقع تعیین فعالیت‌هایی است که باید در یک زمان مشخص انجام شوند و توالی عملیات<sup>۹</sup>، ترتیب انجام فعالیت‌هایی که باید اجرا شوند را مشخص می‌کند. آن دسته از مسائل برنامه ریزی پروژه که محدودیت‌های منابع در آن‌ها وجود ندارد یا در نظر گرفته نمی‌شوند به مسائل برنامه ریزی پروژه بدون محدودیت منابع و آن دسته که دارای محدودیت منابع هستند و این محدودیت‌ها در برنامه ریزی پروژه در نظر گرفته می‌شوند، به مسائل زمانبندی پروژه با محدودیت منابع<sup>۱۰</sup> معروفند.

با توجه به مطالب گفته شده مسئله زمانبندی پروژه‌ها در حالت محدودیت منابع مطرح می‌شود که عبارت است از زمانبندی فعالیت‌های پروژه با توجه به محدودیت‌های پیش‌نیازی و محدودیت منابع. این زمینه زمانبندی نیز دارای مسائل و مدل‌های متنوعی است.

<sup>۱</sup> - Work Breakdown Structure (WBS)

<sup>۲</sup> - Finish to Start (FS)

<sup>۳</sup> - Start to Start (SS)

<sup>۴</sup> - Finish to Finish (FF)

<sup>۵</sup> - Start to Finish (SF)

<sup>۶</sup> - Hadju

<sup>۷</sup> - Precedence constraints

<sup>۸</sup> - Scheduling

<sup>۹</sup> - Sequencing

<sup>۱۰</sup> - Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)



شکل ۱-۲: محدوده مورد بررسی تحقیق

در این بین معیارهای عملکردی<sup>۱</sup> زیادی وجود دارد: کمینه سازی طول زمانبندی (طول مدت ساخت<sup>۲</sup>)؛ کمینه سازی میانگین (وزنی) مدت جریان پروژه، کمینه سازی میانگین یا حداکثر تاخیر<sup>۳</sup> یا دیرکرد<sup>۴</sup> (تاخیر، تفاوت بین زمان تکمیل کار و موعد تحویل است که برای کاری که زودتر از موعد تحویل تکمیل می شود منفی خواهد بود؛ هنگامی که کاری پس از موعد تحویل تکمیل می شود دارای دیرکرد است، در واقع، دیرکرد به صورت حداکثر صفر و تاخیر تعریف می شود)؛ کمینه کردن تعداد فعالیت های دارای دیرکرد؛ بیشینه کردن توان عملیاتی<sup>۵</sup> (تعداد کارهایی که در واحد زمان تکمیل می شود) و ... هم چنین، گاهی اوقات ترکیبی از معیارهای زمانبندی به کار می روند. علاوه بر این، مسایل می توانند قطعی<sup>۶</sup> یا احتمالی<sup>۷</sup> باشند.

در طول سال ها، فرضیات (غیر واقعی) متعددی از مسایل پایه ای زمانبندی آزاد شده اند. یک تعمیم می تواند شامل حضور منابع اضافی باشد به طوری که از هر منبع تعداد محدودی موجود است و هر کار در هنگام اجرا نیازمند استفاده از بخشی از هر منبع است. این منجر به ایجاد زمینه ای به نام زمانبندی پروژه با محدودیت منابع می شود که بار دیگر تنوع زیادی از مسایل را در بر می گیرد. منابع می توانند تجدید پذیر<sup>۸</sup> (مانند اپراتور و بلدوزر) یا تجدید ناپذیر<sup>۹</sup> (مانند پول و انرژی) باشند. مقدار منابع در دسترس می تواند در طول زمان با یک رفتار قابل پیش بینی (مانند نیروی کار فصلی<sup>۱۰</sup>) یا غیر قابل پیش بینی (مانند ماشین آلاتی که در معرض خرابی هستند<sup>۱۱</sup>) تغییر کند. منابع می توانند بین چند کار به اشتراک گذاشته شوند و یک کار می تواند نیازمند چندین منبع باشد. میزان منبعی که برای یک کار مورد نیاز است می تواند در طول مدت پردازش آن تغییر نماید و زمان پردازش نیز به نوبه خود می تواند وابسته به میزان یا نوع منبعی که به آن تخصیص داده می شود باشد، مانند حالتی که در رابطه با ماشین های موازی یکسان، یک ریخت و نامرتبط گفته می شود.

<sup>1</sup> - Performance criteria

<sup>2</sup> - Makespan

<sup>3</sup> - Lateness

<sup>4</sup> - Tardiness

<sup>5</sup> - Throughput

<sup>6</sup> - Deterministics

<sup>7</sup> - Stochastics

<sup>8</sup> - Renewable resource

<sup>9</sup> - Non-renewable resource

<sup>10</sup> - Seasonal labor

<sup>11</sup> - Equipment vulnerable to failure

بر اساس نظر محققان بیشتر زمینه های پژوهشی در حوزه زمانبندی در یکی از دو دسته زیر قرار می گیرند:

- توسعه مدل هایی که به مسایل دنیای واقعی شبیه تر باشند
- توسعه الگوریتم هایی با کارایی بیشتر برای مسایلی که قبلا ارایه شده اند

## ۲-۱. پیشینه تحقیق

تخصیص بهینه منابع محدود در طی زمان مساله ای است که از دیرباز مورد توجه بشر قرار داشته است. امروزه این موضوع با عنوان زمانبندی و توالی عملیات مورد مطالعات گسترده ای قرار گرفته است. زمانبندی تعیین می کند که چه فعالیت هایی در یک زمان مشخص باید انجام شوند. هم چنین، توالی عملیات ترتیبی که فعالیت ها باید مطابق آن صورت پذیرند را تعیین می نماید. تخصیص منابع محدود در طول زمان، از آغازین روزهای تحقیق در عملیات موضوع تحقیقات وسیعی قرار گرفته است. نتیجه این امر، یک ادبیات گسترده و غیر قابل هضم و هم چنین فاصله ای قابل توجه بین زمانبندی نظری و واقعیات بوده است. افراد عملیاتی، نظریه پردازان زمانبندی را به صرف منابع مالی کمیاب برای حل مسایل بازیگونه (مانند تعیین توالی مجموعه ای از کارهای همزمان در دسترس با مدت انجام معین روی پروژه ای) با مفروضاتی خارج از واقعیات متهم می کنند. در مقابل، نظریه پردازان افرادی عملیاتی را برای بی توجهی شان به پیشرفت های اخیر، بی میلیشان در به کار بستن نظریه های کاربردی و اشتیاق بی اندازه شان در به کار بستن رویه های زمانبندی سرزنش می کنند. با وجود این، موضوعات اصلی هنوز در عمل حل نشده اند و تحقیقات گسترده روی مسایل زمانبندی و توالی عملیات ادامه دارد.

تعداد انواع مساله در زمینه زمانبندی و توالی عملیات، تقریباً از هر زمینه دیگری در حوزه مدیریت عملیات و تحقیق در عملیات بیشتر است. می توان گفت که خاستگاه این موضوع صنایع تولیدی بوده و به طور طبیعی بیشترین تحقیقات روی زمانبندی قطعی ماشین<sup>۱</sup> متمرکز شده است و پارامترهای مسئله قطعی بوده اند. در این مسائل در اکثر قریب به اتفاق مواقع منبع ماشین بوده و طبیعتاً در یک زمان مشخص قادر به انجام یک کار بوده است. در طول سالهای بعد بسیاری از فرضیات محدود کننده مربوط به زمانبندی ماشین آلات تولیدی آزاد شدند. استفاده فعالیت از چند منبع در زمان واحد به جای استفاده فعالیت از یک منبع در زمان واحد امکان پذیر می باشد. هر منبع می تواند در زمان واحد به چند فعالیت سرویس دهد به جای اینکه منبع در زمان واحد به یک فعالیت سرویس دهد. روابط پایان به شروع، رابطه شروع به شروع، رابطه پایان به پایان، و رابطه شروع به پایان با تاخیر<sup>۲</sup> های غیر صفر حداقلی و حداکثری قابل تعریفند و مسائل محدود به روابط از نوع پایان به شروع و با تاخیر صفر نیستند. هر منبع ظرفیت مشخصی دارد و هر فعالیت در حین اجرا به میزان مشخصی از چندین منبع نیازمند است. منابع دارای ظرفیت محدود در هر پرپود زمانی و یا در کل افق زمانبندی می باشند. با توجه به این که امروزه زمانبندی یکی از ارکان روند انجام

<sup>۱</sup> - Deterministic machine scheduling

<sup>۲</sup> - Lag