بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

مدلسازی و بهینه‌سازی یک سیستم واقعه گسسته توسط شبکه‌های پتری رنگی- زمانی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد کنترل

احمد کرمی

استاد راهنما

یدالله ذاکری

۱۳۸۶

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق -کنترل آقای احمد کرمی

تحت عنوان

مدلسازی و بهینه‌سازی یک سیستم واقعه گسسته توسط شبکه‌های پتری رنگی- زمانی

در تاریخ ۱۳۸۶/۱/۲۸ توسط کمیته زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — یدالله ذاکری

۲- استاد مشاور پایان نامه — جواد عسکری

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — علی‌محمد دوست‌حسینی

سپاس وحمد بیکران خدای را که این بنده حقیر را یاری فرمود تا به مرحمتش توشه ای گرانبها و اندوخته ای بس پربها از دورانی به یاد ماندنی برگیرم. ایامی که همانا قیمتی‌ترین توشه اش سعادت حضور درمحضر اساتیدی گرانقدر و خاطره ای شیرین بود از همراهی و مصاحبت با دوستانی مهربان و وفادار.
اکککنون که این دوران خوش را پشت سر گذارده ام، بر خود فرض می‌دانم ککه نعمت داشتن چنین سعادتی را شکر گویم و از عزیزانم کیاد کنم ککه گفته اند: ""«من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق«».

بر خود می‌بالم ککه فرزند چنین پدر و مادری بوده ام ک که مرا با شیره جانشان پرورانند و بردستان پرمهرشان بوسه می‌زنم.
از جناب مهندس یدالله ذاککری ککه در طول این دوران همواره مورد لطف و مرحمتشان بوده ام و از محضرشان،بسیار آموختم سپاسگزارم. از جناب دکتر جواد عسکری نیز ککه بر من منت نهادند و در طول دوران تحصیل از محضرشان کسب فیض ک نمودم متشکرم. از جناب دکتر شیخ الاسلام و جناب دککتر قیصری ک که مرحمت فرموده و بر این رساله داوری نمودند ککمال امتنان را دارم. همچنین از جناب دککتر دوستحسینی مسئول محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده برق و کامپیوتر و سرکار خانم نکوئی مسئول محترم دفتر تحصیلات تکمیلی

ککه زحمات بسیاری را متحمل شدند تشکر می‌کنم.

از تمامی دوستانم نیزکه وجودشان و حضورشان رنگی دیگر به زندگی‌ام داد و ثبت لحظاتی به یادماندنی و تکرارناشدنی در دفتر زندگی‌ام را موجب شدند، صمیمانه سپاسگزارم.

احمد ککرمی
فروردین ماه ۱۳۸۶
دانشگاه صنعتی اصفهان

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به
پدرم،
نگران ترین دیده به آینده ام و
مادرم،
عاشقانه‌ترین غزل زندگیم،
آنان که راستی قامتم در شکستگی قامتشان تجلی یافت.
در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و با دلی مملو از عشق و محبت بر دستان پرمهرشان بوسه می‌زنم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب .....هشت

چکیده ۱

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- سیستمهای واقعه گسسته.....۳

۱-۳- برنامه‌ریزی تولید.....۵

۱-۴- شبکه‌های پتری و کاربرد آن در سیستمهای واقعه گسسته.....۵

۱-۵- شبکه‌های پتری و حل مساله برنامه‌ریزی.....۷

۱-۶- هدف از انجام پایان‌نامه و روند ارائه مطالب.....۷

فصل دوم: شبکه‌های پتری

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- ادبیات و تعریف شبکه‌های پتری مقدماتی ۱۱

۲-۲-۱- تعریف کلی شبکه‌های پتری.....۱۲

۲-۲-۲- مثالهای مقدماتی از مدلسازی ۱۳

۲-۲-۳- خواص رفتاری ۱۵

۲-۲-۴- روش های تحلیلی شبکه‌های پتری ۱۷

۲-۳- شبکه‌های پتری سطح بالا.....۱۹

۲-۴- شبکه پتری رنگی.....۲۰

۲-۴-۱- یک مثال ساده از یک شبکه پتری رنگی.....۲۰

۲-۴-۲- رفتار دینامیکی شبکه‌های پتری رنگی ۲۵

۲-۴-۳- تعریف رسمی شبکه‌های رنگی ۲۵

۲-۴-۴- تعریف شبکه‌های پتری رنگی ۲۶

۲-۴-۵- رفتار دینامیک شبکه‌های پتری رنگی.....۲۸

۲-۵- شبکه‌های پتری رنگی- زمانی ۲۹
۲-۵-۱- معرفی شبکه‌های پتری رنگی- زمانی ۳۰
۲-۵-۲- مالتی‌ستهای زمانی ۳۳
۲-۵-۳- تعریف رسمی شبکه‌های پتری رنگی- زمانی ۳۴
۲-۶- CPN Tools ابزار مربوط به شبکه‌های پتری رنگی- زمانی ۳۵
۲-۶-۱- معرفی ۳۵
۲-۶-۲- واسطه های CPN Tools ۳۶
۲-۶-۳- ویرایش شبکه‌های پتری رنگی ۳۷
۲-۶-۴- ابزار ویرایش شبکه‌های پتری رنگی ۳۷
۲-۶-۵- بررسی قواعدی و تولید کد ۳۸
۲-۶-۶- تحلیل و آنالیز شبکه‌های پتری ۳۹
۲-۶-۷- تحلیل فضای حالت ۳۹
۲-۶-۸- تحلیل کارایی ۴۰

فصل سوم: تعریف صورت مساله

۳-۱- شرح عملکرد واحد فولادسازی مجتمع فولاد مبارکه ۴۲
۳-۲- تجهیزات سایت فولادسازی ۴۶
۳-۳- نحوه برنامه ریزی و زمانبندی تولید سایت ۴۷
۳-۳-۱- توابع PCS ۵۰
۳-۴- تعریف صورت مساله ۵۷
۳-۴-۱- مفهوم برنامه‌ریزی ۵۷
۳-۴-۲- مساله برنامه‌ریزی در مجتمع فولاد ۶۰

فصل چهارم: روشهای مدلسازی و حل مسائل برنامه‌ریزی

۴-۱- تکنیکهای ریاضیاتی ۶۴
۴-۱-۱- تکنیکهای شمارشی و رهاسازی لاگرانژ ۶۶
۴-۲- قوانین توزیع ۶۶
۴-۳- تکنیک های هوش مصنوعی (AI) ۶۸

۴-۳-۱- سیستم های خبره و پایگاه دانش ۶۸
۴-۳-۲- AI توزیع شده: عامل‌ها ۶۹
۴-۴- روش های جستجوی همسایگی ۷۰
۴-۴-۱- جستجوی تابو ۷۰
۴-۴-۲- انجماد تدریجی ۷۱
۴-۴-۳- الگوریتم ژنتیک ۷۱
۴-۵- منطق فازی ۷۲
۴-۶- شبکه‌های پتری ۷۲
۴-۷- بهینه‌سازی تعاملی ۷۳

فصل پنجم: مدلسازی سیستم

۵-۱- مدلسازی بر اساس شبکه‌های پتری ۷۵
۵-۲- مدل شبکه پتری کارگاه فولادسازی مجتمع فولاد مبارکه ۷۶
۵-۲-۱- انواع توکنها در مدل ۷۷
۵-۲-۲- زیر مدلهای سیستم ۷۹
۵-۳- ارزیابی و بررسی صحت مدل ۸۳
۵-۴- تحلیل کارایی مدل با استفاده از CPN Tools ۸۳

فصل ششم:بهینه‌سازی و شبیه‌سازی

۶-۱- بهینه‌سازی ۹۵
۶-۱-۱- بهینه‌سازی تعاملی ۹۸
۶-۱-۲- استفاده از مدلسازی وارون و بهینه‌سازی تعاملی برای بدست آوردن برنامه بهینه ۱۰۰
۶-۲- شبیه‌سازی ۱۰۵

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۹
۷-۲- پیشنهادات ۱۱۰

مراجع ۱۱۳

چکیده

تکنولوژی نوین به طور فزاینده‌ای سیستمهای دینامیکی ساخت بشر را پدید آورده که به راحتی قابل توصیف توسط معادلات ریاضی نیستند. نمونه‌هایی از این دسته سیستمها عبارتند از سیستمهای تولید و شبکه‌های مخابراتی/کامپیوتری. فعاالیتها در این سیستمها توسط فرمانهایی که از سوی انسان صادر می‌شود، کنترل و هدایت می‌شوند. بنابراین رفتار و دینامیک این سیستمها مبتنی بر وقوع رخدادهای گسسته غیرهمزمان می‌باشد. این‌گونه سیستمها را سیستمهای واقعه گسسته می‌نامند. مطالعه سیستمهای واقعه گسسته و مدلسازی، تحلیل، کنترل و بهینه‌سازی رفتار و عملکرد آنها حائز اهمیت فراوانی در مهندسی کنترل است. از میان روشهای گوناگون موجود برای تحلیل این سیستمها، شبکه پتری با توجه به ویژگی‌های توأمان گرافیکی و ریاضیاتی و قابلیتهای مفید خود، دارای جایگاه خاصی است. یکی از مهمترین مسائل در سیستمهای تولیدی، مساله برنامه‌ریزی تولید می‌باشد که در دسته مسائل سیستمهای واقعه گسسته می‌گنجد. عملکرد یک سیستم تولیدی باید به گونه‌ای باشد که بتواند با صرف زمان و هزینه کم، محصول مورد تقاضا را با کیفیت بالا تولید کند.

در این پایان‌نامه به حل مساله برنامه‌ریزی تولید واحد فولادسازی مجتمع فولاد مبارکه بعنوان یک سیستم واقعه گسسته توسط شبکه‌های پتری رنگی- زمانی پرداخته شده است. پس از مدلسازی سیستم توسط شبکه‌های پتری، با استفاده از یک تکنیک بهینه‌سازی تعاملی میان انسان و ماشین، سعی شده تا رفتار سیستم بهینه شده و منجر به افزایش تولید، بهبود راندمان و کاهش تلفات در سیستم گردد. در واقع به ازای یک لیست از محصولاتی که می‌بایست در یک دوره زمانی تولید شوند، یک برنامه زمانی بدست می‌آید که علاوه بر بهینه بودن نسبت به معیارهای کارایی تعریف شده در مساله، محدودیتهای سیستم نیز برآورده می‌شوند.

فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه

اغلب نظریه‌های کنترل، بر سیستمهای زمان پیوسته یا زمان گسسته توجه دارند و تا کنون تحقیقات گسترده‌ای در این حوزه صورت گرفته است. این سیستمها به راحتی توسط معادلات دیفرانسیل یا تفاضلی، معادلات حالت و سایر ابزارها و تئوریهای ریاضیاتی قابل مدلسازی بوده و رفتار آنها در حوزه زمان یا فرکانس مورد بررسی قرار می‌گیرند. اما دسته وسیعی از فرآیندها در دنیای واقعی به دسته دیگری از سیستمها تعلق دارند که به راحتی قابل توصیف توسط روابط ریاضی نیستند. این گونه سیستمها که مستقیما بر پایه زمان عمل نکرده و مبتنی و وابسته به وقوع رخدادها هستند، سیستمهای واقعه گسسته[1] نامیده می‌شوند. مدلسازی، تحلیل و آنالیز رفتار، کنترل و بهینه‌سازی عملکرد سیستمهای واقعه گسسته، در حوزه مهندسی کنترل دارای اهمیت ویژه‌ای است. مسائل مربوط به سیستمهای واقعه گسسته از آنجائیکه دارای ویژگیهایی متفاوت با سیستمهای پیوسته هستند، دارای پیچیدگیها و دشواریهای مخصوص به خود است. محققین بسیاری تاکنون روشها و راه‌حلهای گوناگون و کارآمدی برای مواجهه با این گونه

[1] Discrete Event System

مسائل پیشنهاد و مطرح کرده‌اند که هرکدام از این روشها برای دسته خاصی از سیستمهای واقعه گسسته کارایی دارد.

بحث کنترل سیستمهای واقعه گسسته به عنوان یک تئوری اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط راماج و ونهام مطرح شد [۱].

در ادامه، به معرفی کوتاهی از سیستمهای واقعه گسسته و روشهای موجود برای تحلیل و مدلسازی آنها اشاره می‌شود. سپس به مفهوم برنامه‌ریزی تولید به عنوان مساله مهمی از این دسته سیستمها اشاره می‌گردد. آنگاه به اهمیت شبکه‌های پتری به عنوان یک از مهمترین تئوریهای موجود برای تحلیل سیستمهای واقعه گسسته و همچنین مدلسازی و حل مساله برنامه‌ریزی تولید اشاره می‌شود.

۱-۲- سیستمهای واقعه گسسته [۲،۳]

یک سیستم واقعه گسسته (DES)، یک سیستم دینامیک و ناهمزمان است که گذار از حالتها توسط وقایع و رویدادهایی که در نمونه‌های گسسته‌ای از زمان رخ می‌دهد، صورت می‌پذیرد. هر واقعه در حقیقت شروع یا پایان یک فعالیت است و رخداد وقایع، حالت سیستم را تغییر می‌دهد. مثالهای رایج از DES، سیستمهای تولید قابل انعطاف، شبکه‌های مخابراتی، سیستمهای کنترل ترافیک وشبکه‌های کامپیوتری هستند. نمونه‌های ساده‌ای از وقایع در سیستمهای مذکور به ترتیب عبارتند از تکمیل یک قطعه در یک ماشین، دریافت یک پیام، تغییر سیگنال یا چراغ راهنمایی و درخواست یک منبع کامپیوتری.

در سالهای اخیر توجه زیادی به DES، چه در زمینه تحقیقات آکادمیک و چه در زمینه کاربردهای صنعتی به منظور تضمین ایمنی و بهبود کارایی و قابلیت انعطاف اختصاص یافته است. چارچوبهای بسیاری برای مدلسازی، تحلیل و کنترل DES وجود دارد. هنگامی‌که می‌خواهیم یک سیستم را طراحی کنیم یا کنترل‌کننده‌ای برای تضمین اینکه سیستم احتیاجات خاصی را برآورده سازد، طراحی کنیم یا هنگامی‌که بخواهیم رفتار آن را بررسی یا بهینه کنیم، می‌بایست دانش خود را درباره خصوصیات و رفتار سیستم در یک مدل نمایش دهیم که این مدل قابلیت پیش‌بینی رفتار و عملکرد سیستم را دارا باشد.

تکنیکهای بسیاری برای مدلسازی و تحلیل سیستمهای واقعه گسسته وجود دارد, مانند تئوری صف‌بندی[1]، جبرماکسیمم[2]، اتوماتا[3]، منطق موقتی[4]، پردازشهای شبه‌مارکف تعمیم‌یافته[5]، شبکه‌های پتری و شبیه‌سازی کامپیوتری.

---

[1] Queuing theory
[2] Max algebra
[3] Automata
[4] Temporal logic
[5] Generalized semi-Markov processes

تمام این تکنیکها، مزایا و معایب خود را دارند و اینکه کدامیک از این روشها بهترین گزینه برای نیاز ماست، بستگی به سیستمی داردکه قرار است مدل شود و اهدافی که می‌خواهیم به آنها دست یابیم. هنگامی‌که مجبوریم مناسب‌ترین روش را از میان آنها انتخاب کنیم، یکی از مهمترین مصالحه‌هایی که باید مورد توجه قرار گیرد، قدرت مدلسازی در برابر قدرت تصمیم‌گیری است. سیستمی‌که با دقت بیشتری مدل شده و دارای جزئیات کامل‌تری است، بیان خواص آن به صورت تحلیلی دشوارتر است.

بیشترین تکنیک استفاده شده تاکنون برای مطالعه DES، شبیه‌سازی کامپیوتری است. یکی از بزرگترین معایب روش شبیه‌سازی کامپیوتری این است که به محاسبات زیادی نیاز دارد، چراکه این تکنیک جزئیاتی با درجه بالا را از مدل نیاز دارد. از سوی دیگر، این امر منجر به نیاز به درجه بالایی از مطابقت و مشابهت میان مدل و سیستم واقعی می‌شود. عیب دیگر شبیه‌سازی کامپیوتری این است که هیچ‌گاه یک درک واقعی از اثرات تغییرات پارامترها بر روی خصوصیات سیستم مانند مقاوم بودن، پایداری، بهینه بودن کارکرد سیستم و غیره به ما نمی‌دهد. بنابراین ما ترجیح می‌دهیم که از مدلهای ریاضی استفاده کنیم که برای تحلیل ریاضی مناسب‌اند و به ما اجازه می‌دهند که رفتار آینده سیستم را پیش‌بینی کنیم و به طور تحلیلی، کنترل‌کننده خوبی طراحی کنیم. مهمترین مزیت و قابلیت یک توصیف ریاضی از سیستم، در موجود بودن الگوریتمهای کارآمد و موثر برای ارزیابی عملکرد سیستم نهفته می‌باشد. این یک مزیت قابل توجه در مقایسه با شبیه‌سازی وقت‌گیر و هزینه‌بر است. علاوه بر این تکنیکهای تحلیلی دید بهتری از اثرات تغییرات پارامترها روی مشخصات و خصوصیات سیستم فراهم می‌کند. اگرچه همانطور که قبلا نیز ذکر شد، ما مجبوریم که بپذیریم همیشه یک مصالحه میان دقت بالای مدلها از یک طرف و تکنیکهای موجود برای تحلیل از طرف دیگر وجود دارد. بنابراین ما معمولا هنگامی‌که می‌خواهیم خصوصیات و رفتار DES را مطالعه و بررسی کنیم، از ترکیبی از متدهای تحلیلی و شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده می‌کنیم.

هدف از کنترل DES این است که کنترل‌کننده‌ها و استراتژی‌های کنترلی را طراحی کنیم که عملکرد سیستم را بهبود بخشیده و بازدهی را افزایش دهد. این کنترل‌کننده‌ها وظیفه برآوردن خصوصیات و احتیاجات کیفی سیستم (از قبیل ایمنی، جلوگیری از سرریزشدن بافر، جلوگیری از بروز ازدحام، جلوگیری از رسیدن به بن‌بست[1] یا به وقوع پیوستن حالتهای غیرمجاز) و همچنین احتیاجات کمی سیستم (نظیر بازده حداکثری، کمترین متوسط تاخیر، مینیمم ضایعات و بکارگیری بهینه منابع) را به‌عهده دارند.

[1] Deadlock

۱-۳- برنامه‌ریزی تولید

مساله برنامه‌ریزی تولید یکی از مهمترین مسائل در سیستمهای تولیدی می‌باشد. از آنجائیکه در اغلب سیستمهای تولیدی رخ دادن یک سری وقایع معین به صورت پی‌درپی باعث تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی می‌گردد، بنابراین مبحث برنامه‌ریزی تولید در دسته سیستمهای واقعه گسسته قرار می‌گیرد و مساله بدست آوردن یک برنامه بهینه برای یک سیستم تولید (که به صورت تخصیص بهینه منابع به کارها تعریف می‌شود)، منجر به مساله مدلسازی و کنترل یک سیستم واقعه گسسته می‌گردد. عملکرد یک سیستم تولیدی باید به گونه‌ای باشد که بتواند با صرف زمان و هزینه کم، محصول مورد تقاضا را با کیفیت بالا تولید کند. در حقیقت هدف از برنامه‌ریزی تولید، بالا بردن بازدهی سیستم تولیدی می‌باشد.

۱-٤- شبکه‌های پتری و کاربرد آن در سیستمهای واقعه گسسته [٤]

افزایش و رشد پیچیدگی در سیستمهای صنعتی مدرن نظیر سیستمهای تولید، سیستمهای کنترل پروسه، سیستمهای مخابراتی و غیره مشکلات متعددی را برای توسعه دهندگان این صنایع بوجود آورده است. به علت ماهیت و ذات پیچیده و دارای اهمیت حیاتی سیستمهای صنعتی مدرن، طراحی چنین سیستمهایی نیاز به مدلسازی و تحلیل دارد تا از میان آلترناتیوهای طراحی و سیاست‌های عملکردی، گزینه‌های بهینه‌ای انتخاب شود. بدیهی است خطا در مدلسازی پروسه منجر به صرف زمان و هزینه اضافی و همچنین کاهش بازده عملیات خواهد شد. بنابرین توجه ویژه‌ای می‌بایست به صحت مدلی که در سطوح مختلف برنامه‌ریزی و طراحی بکار می‌روند، مبذول شود.

شبکه‌های پتری بعنوان یک ابزار گرافیکی و ریاضیاتی، محیط مناسبی را برای مدلسازی، تحلیل رسمی و طراحی سیستمهای واقعه گسسته فراهم کرده است. یکی از مهمترین مزایای مدلهای مبتنی بر شبکه پتری این است که همان مدلی که برای تحلیل خصوصیات رفتاری و ارزیابی کارایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای ایجاد شبیه‌ساز و کنترل‌کننده واقعه گسسته بکار می‌رود. شبکه‌های پتری اولین بار، پس از آنکه کارل آدام پتری یک ابزار ریاضیاتی شبه شبکه‌ای برای مطالعه ارتباطات با اتوماتا طراحی کرد، پا گرفت. با استفاده از این واقعیت که شبکه‌های پتری را می‌توان برای مدل کردن خصوصیاتی همچون همگام‌سازی[1] پروسه، وقایع ناهمزمان، عملیات موازی، تصمیم‌گیریها و به اشتراک‌گذاری منابع به کار گرفت، این ابزار توسعه پیدا کرد. خصوصیات مذکور در واقع می‌تواند سیستمهای واقعه گسسته توصیف کند. این عوامل و سایر مزایایی که اشاره خواهد شد، شبکه‌های پتری را به ابزار و تکنولوژی مناسب و خوش‌آتیه‌ای جهت کاربردهای اتوماسیون صنعتی بدل کرده است.

---

[1] Synchronization

این شبکه‌ها، یک واسط گرافیکی قدرتمند میان کاربر (برای مثال یک مهندس) و مشتری برقرار می‌سازد. مشخصات پیچیده احتیاجات سیستمهای صنعتی به جای استفاده از توصیفات مبهم متنی یا علامتهای ریاضیاتی که برای فهم دشوارند، با استفاده از شبکه‌های پتری به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شوند. این مزیت همراه است با وجود ابزارهای کامپیوتری گرافیکی تعاملی که امکان شبیه‌سازی گرافیکی شبکه‌های پتری را فراهم می‌سازد و همچنین برای مهندسین ابزار قدرتمندی است تا در توسعه سیستمهای پیچیده به آنها کمک کنند.

به عنوان یک ابزار ریاضیاتی، یک مدل شبکه پتری را می‌توان توسط یک سری از معادلات جبری یا سایر مدلهای ریاضی که رفتار سیستم را بازگو می‌کنند، توصیف کرد که این امر تحلیل رسمی مدل را امکان‌پذیر می‌سازد. این خصوصیت این امکان را می‌دهد که بتوان خواص مربوط به سیستم مورد نظر را مورد بررسی قرار داد. «تایید صحت» مدل مبتنی بر شبیه‌سازی تنها می‌تواند مجموعه محدودی از حالتهای سیستم مدل شده را تولید کند و بنابراین تنها می‌تواند وجود خطا (و نه عدم وجود آن) را اعلام کند. قابلیت شبکه‌های پتری در تایید صحت رسمی و کامل مدل، به طور خاص در مورد سیستمهای بلادرنگ و «ایمنی- بحرانی»، نظیر سیستمهای کنترل ترافیک هوایی، سیستمهای کنترل ترافیک راه‌آهن، سیستمهای کنترل راکتور هسته‌ای و غیره اهمیت خود را نشان می‌دهد. همچنین این پشتوانه ریاضیاتی، امکان ارزیابی کارایی سیستم مدل شده را فراهم می‌کند. معیارهای کارایی با استفاده از دسته وسیعی از مدلهای پتری که قابلیت ترکیب توابع زمانی معین و یا احتمالی درتعریف آنها وجود دارد، قابل ارزیابی هستند. استفاده از مدلهایی که قابلیت تعبیه کردن توابع زمانی در آنها وجود دارد، امکان بدست آوردن سرعت تولید برای مدلهای سیستمهای تولید، بازده، تاخیر، میزان استفاده از منابع و معیارهای قابلیت اطمینان برای این سیستمها را فراهم می‌کند.

انگیزه توسعه شبکه‌های پتری تا اندازه زیادی بر اساس نیاز به مدلسازی سیستمهای صنعتی پدید آمده است. شبکه پتری معمولی برای نمایش و تحلیل صنایع پیچیده و سایر سیستمها همواره کافی نیستند. این نقصان باعث توسعه و ظهور دسته جدیدی از شبکه‌ها شد. توکنها در شبکه‌های معمولی هیچ‌گونه هویتی ندارند که این امر باعث بروز برخی مشکلات در مدلسازی سیستمهایی چون سیستمهای تولیدی و مخابراتی که نیاز به منابع و پیامها دارند، می‌شود. بدون داشتن هویت، امکان ردیابی جریان منابع یا پیامها در سیستم وجود نخواهد داشت. یک راه‌حل بالقوه این است که مدلی تشکیل دهیم که جریان هر منبع یا پیام در یک زیرشبکه اختصاصی مربوط به آنها صورت گیرد. اگرچه با استفاده این روش به پیچیدگی گرافیکی مدل افزوده می‌شود. به منظور تصحیح این مشکل، شبکه‌های پتری با توکنهای با هویت مستقل پیشنهاد شدند. این گونه شبکه‌ها به نام شبکه‌های پتری سطح بالا شناخته شدند که شامل

«شبکه‌های گزاره[1]- گذار»، «شبکه‌های رنگی» و «شبکه‌های با توکن اختصاصی» می‌باشد. در شبکه‌های پتری سطح بالا یک توکن می‌تواند یک آبجکت مرکب باشد که با خود اطلاعات حمل می‌کند. با وجود اینکه هر دو نوع شبکه‌های پتری معمولی و سطح بالا دارای قدرت توصیفی یکسان هستند، اما شبکه‌های پتری سطح بالا دارای تسهیلات و امکانات بهتری برای ساخت و تشکیل مدلها نسبت به شبکه‌های معمولی و ساده هستند.

۱-۵- شبکه‌های پتری و حل مساله برنامه‌ریزی

تخصیص بهینه منابع به کارها در طول زمان، نخستین موضوع تحقیق در مسائل برنامه‌ریزی محسوب می‌شود. با وجود پیچیدگی ذاتی بسیاری از مسائل برنامه‌ریزی، الگوریتمهای موثر و کارآمدی برای حل آنها پیشنهاد و توسعه داده شده است. هرچند بیشتر محققین بر روی موثر بودن الگوریتم‌ها توجه و تمرکز داشته‌اند و از موضوع انعطاف‌پذیری غافل مانده‌اند. پژوهشهای بسیاری در حوزه شبکه‌های پتری، انعطاف‌پذیری را مورد بررسی قرار داده‌اند. قابلیتها و توسعه‌های بسیاری به منظور سهولت مدلسازی سیستمهای پیچیده پیشنهاد شده است که برای مثال می‌توان به «رنگ»، «زمان» و «سلسله مراتب» اشاره کرد. شبکه‌های پتری که با این قابلیتها توسعه یافته‌اند، برای نمایش و مطالعه سیستمهای صنعتی پیچیده مناسب هستند. این دسته از شبکه‌های پتری حاوی تمام مزایای شبکه‌های پتری کلاسیک و معمولی از جمله ماهیت گرافیکی، پایه ریاضیاتی قوی و وجود متدهای متعدد آنالیز و تحلیل، هستند [۵].

ساختار و خواص منحصر به فرد شبکه‌های پتری در مدلسازی وقایع و حالتها، ابزار مناسبی را برای نمایش و توصیف رفتار و همچنین فرموله کردن یک مساله برنامه‌ریزی فراهم آورده است که علاوه بر افزایش قابلیت درک مدل‌کننده یا کاربر، بررسی و تایید صحت آن به آسانی صورت می‌گیرد.

۱-٦- هدف از انجام پایان‌نامه و روند ارائه مطالب

مساله برنامه‌ریزی تولید کارگاه فولادسازی ریخته‌گری پیوسته به عنوان یکی از مصادیق پرکاربرد و البته پیچیده و دشوار سیستمهای واقعه گسسته و برنامه‌ریزی تولید محسوب می‌گردد که طی سالیان گذشته مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و متدها و تئوریهای فراوانی برای حل این مساله و بدست آوردن یک برنامه زمانی مطلوب، پشینهاد و پیاده‌سازی شده است.

در این پایان‌نامه قصد داریم تا به نحوه مدلسازی سیستمهای واقعه گسسته توسط شبکه‌های پتری سطح بالا -که در اینجا از نوع شبکه‌های پتری رنگی- زمانی می‌باشد- بپردازیم. همچنین کارگاه فولادسازی مجتمع فولاد مبارکه را

---

[1] Predicate

به عنوان یک سیستم واقعه گسسته و در عین حال یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزی تولید مورد توجه قرار داده و به منظور بررسی و تحلیل عملکرد و رفتار آن، توسط شبکه‌های پتری مدلسازی کنیم. پس از به دست آوردن یک مدل کامل از این سیستم، روشی مبتنی بر این مدل و بر اساس برنامه‌ریزی معکوس و همچنین با استفاده از مفهوم بهینه‌سازی تعاملی برای بدست آوردن یک برنامه‌ریزی بهینه پیشنهاد می‌گردد که علاوه بر ارضای محدودیتها، احتیاجات و معیارهای کارایی لازم را تا حد امکان برآورده می‌سازد.

در فصل دوم به معرفی شبکه‌های پتری، ساختار و روشهای آنالیز آنها می‌پردازیم و سپس توسعه‌هایی که به شبکه‌های پتری معمولی و مقدماتی افزوده شده (شامل رنگ و زمان)، شرح داده می‌شود و تعاریف اساسی مربوط به شبکه‌های پتری رنگی و زمانی ارائه می‌گردد.

در فصل سوم به معرفی واحد فولادسازی مجتمع فولاد مبارکه و شرح عملکرد آن می‌پردازیم و سپس با استفاده از این توصیف، مساله برنامه‌ریزی شامل محدودیتها و توابع هدف را تعریف می‌کنیم.

در فصل چهارم به بررسی و معرفی کوتاه روشها و راه‌حلهای مختلف مواجهه با مساله برنامه‌ریزی به ویژه در حوزه صنعت فولادسازی که در مقالات علمی به آنها اشاره شده، می‌پردازیم.

در فصل پنجم، مساله برنامه‌ریزی تولید کارگاه فولادسازی مجتمع فولاد مبارکه را توسط شبکه‌های پتری رنگی- زمانی مدلسازی می‌کنیم.

در فصل ششم با معرفی و استفاده از یک روش مدلسازی معکوس و با استفاده از یک روند تعاملی که در آن کاربر با مشاهده مستقیم روال بهینه‌سازی و ارزیابی نتایج برنامه‌ریزی، با تغییر پارامترهای مربوطه و تعامل با کامپیوتر به روند بهینه‌سازی کمک می کند تا به یک حل بهینه مساله برنامه‌ریزی شرح داده شده در فصل سوم دست یابیم و آنگاه با انتخاب یک ورودی دلخواه برای مساله و منظور کردن پارامترهای واقعی زمانی، مطابق با وضعیت فعلی کارگاه در مدل، به حل آن پرداخته و نتایج شبیه‌سازی شده نمایش داده می‌شود.

در نهایت نیز در فصل هفتم، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

فصل دوم
شبکه‌های پتری

در این فصل قصد داریم به بیان و شرح اصول و تعاریف مقدماتی شبکه‌های پتری، روشهای تحلیل و همچنین قابلیتها و توسعه‌هایی که به تئوری شبکه‌های پتری اولیه و مقدماتی افزوده شده (که شامل رنگ و زمان می‌باشد)، بپردازیم. همچنین در ادامه، نرم‌افزار استفاده شده برای مدلسازی شبکه‌های پتری، CPN Tools، و قابلیتها و امکانات آن را به طور مختصر معرفی خواهیم کرد.

۲-۱- معرفی و تاریخچه شبکه‌های پتری [٦]

شبکه‌های پتری[1] یک ابزار مدلسازی ریاضیاتی و گرافیکی است که قابل اعمال به بسیاری سیستمها بوده و همچنین ابزاری مناسب برای توصیف و مطالعه سیستمهای پردازش اطلاعات با ویژگی‌های مختلف همچون همزمان[2]،

[1] Petri nets
[2] Concurrent

ناهمزمان[1]، توزیع‌شده[2]، موازی، نامعین و یا تصادفی طبقه بندی می‌شوند، می‌باشد. شبکه‌های پتری به عنوان یک ابزار گرافیکی می‌توانند به عنوان یک ابزار بصری- ارتباطی مشابه با فلوچارتها، بلوک دیاگرامها و شبکه‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این توکنها در این شبکه برای شبیه‌سازی فعالیتها و عملیات دینامیکی و همزمان بکار می‌روند. به عنوان یک ابزار ریاضی، این امکان وجود دارد که معادلات حالات، معادلات جبری و سایر مدلهای ریاضی را که بر رفتار سیستم حاکم است در آن وارد کرد.

شبکه‌های پتری توسط هر دو گروه محققین کاربردی و نظریه‌پرداز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین شبکه پتری، واسط ارتباطی قدرتمندی میان این دو گروه است. محققین کاربردی از نظریه‌پردازان می‌آموزند که چگونه مدلشان بیشتر بر اساس اسلوب و قاعده باشد و از سوی دیگر نظریه‌پردازان از کاربردی‌ها می‌آموزند که چگونه مدلشان را ایجاد کنندکه به واقعیت بیشتر نزدیک باشد.

از نظر تاریخی، مفهوم شبکه پتری ابتدا در رساله دکتری کارل آدام پتری معرفی و مطرح شد. از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۵ گروه ساختار محاسبات[3] در دانشگاه MIT در زمینه شبکه‌های پتری تحقیقات گسترده‌ای انجام دادند و گزارشها و پایان نامه‌های بسیاری در این حوزه منتشر نمودند. در جولای سال ۱۹۷۵ کنفرانسی راجع به شبکه‌های پتری و متدهای مربوط در MIT برگزار شد. از سال ۱۹۷۰ کشورهای اروپائی در برگزاری کارگاههای آموزشی و انتشار مقالات کنفرانس و مجلات در زمینه شبکه‌های پتری بسیار فعال ظاهر شدند. از جمله در اکتبر ۱۹۷۹ کنفرانسی در این زمینه در هارمبورگ آلمان برگزار شد و کنفرانس دیگری که در بادهانف آلمان در سپتامبر ۱۹۸۶ برگزار شد. همچنین اولین کارگاه آموزشی راجع به کاربردها و تئوری شبکه‌های پتری در سال ۱۹۸۰ در استراسبورگ فرانسه برگزار شد. بعدها هر ساله برگزاری این کارگاهها در نقاط مختلف اروپا همچون بادهانف آلمان ۱۹۸۱، ورونا ایتالیا ۱۹۸۲، تولوز فرانسه۱۹۸۳، آرهوس دانمارک ۱۹۸۴، اسپو فنلاند ۱۹۸۵، اکسفورد انگلستان ۱۹۸۶، زاراگوزا اسپانیا ۱۹۸۷، ونیز ایتالیا ۱۹۸۸ و بادهانف آلمان ۱۹۸۹ ادامه یافت.

آنچه بیان شد تاریخچه کوتاهی از شبکه‌های پتری بود. حال به برخی حوزه‌های کاربرد شبکه‌های پتری اشاره می‌کنیم. شبکه‌های پتری برای دسته گسترده‌ای از کاربردها و حوزه‌ها پیشنهاد شده است. این ابزار قابل اعمال به هر سیستمی است که می‌تواند بطور گرافیکی توصیف شود، مانند فلوچارتها یا سیستمهایی که نیاز به مدلسازی فعالیتهای همزمان یا موازی دارند. هر چند بایست توجه و دقت کافی نسبت به مصالحه‌ای که میان جامع بودن مدلسازی و امکان تحلیل و آنالیز مبذول داشت. چرا که مدل جامع و کامل از لحاظ تحلیل و ارزیابی با دشواری مواجه می‌شود. در واقع

---

[1] Asynchronous
[2] Distributed
[3] Computation Structure Group