**اولین همایش استانی**
**فناوری و تکنولوژی های نوین در مهندسی کامپیوتر**
1st Conference on Computer Science
معاونت آموزشی، پژوهشی و فرهنگی سازمان سما
آموزشکده فنی و حرفه ای سما اصفهان(خوراسگان)، ۱۳ اسفند ۱۳۹۴

**آموزشکده فنی و حرفه ای سما**
**واحد اصفهان(خوراسگان)**

# بررسی انواع شبکه های پتری وکاربرد این شبکه ها در مدلسازی

**اسماعیل کشکولی**[۱]
[۱]**دانشگاه آزاد اسلامی،واحد اصفهان(خوراسگان)، اصفهان، ایران،kashkouliesmaeil@gmail.com**

## چکیده

از آنجایی که شبکه‌های پتری قدرت توصیف بیشتری را در مقایسه با شبکه‌های صف فراهم می نمایند و همچنین یک نمایش گرافیکی و واضح را از سیستم، به همراه یک فرمالیسم ریاضی از آن ارائه می دهد، این شبکه‌ها ارائه دهنده چارچوبی برای تحلیل، اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی می‌باشند.

شبکه‌های پتری ابزاری مناسب برای مدلسازی ریاضی و گرافیکی به حساب می‌آیند. از این ابزار می‌توان برای مدلسازی، توصیف، و تحلیل سیستم‌هایی که دارای ماهیتی همزمان، آسنکرون، توزیع شده، موازی، نامعین، و یا اتفاقی هستند استفاده نمود. در واقع شبکه‌های پتری جزء مدل‌هایی هستند که قادرند به صورت همزمان حالت و عملکرد یک سیستم را نشان دهند. امروزه استفاده از ابزار فوق کاربرد وسیعی پیدا کرده و از آن برای مدلسازی انواع سیستم ها استفاده می‌شود. یکی دیگر از خصوصیات مهم شبکه پتری قابل اجرا بودن آنهاست که از همین خاصیت می‌توان برای ارزیابی رفتار و کارایی یک سیستم بهره جست. در این مقاله به بررسی انواع شبکه های پتری و ارتباط آن با مدلسازی پرداخته شده است.

**واژه‌های کلیدی:** مدلسازی، شبکه های پتری، ارزیابی کارایی، مهندسی نرم افزار

## ۱– مقدمه

مدل یعنی نمایشی ساده شده از یک پدیده که روی برخی از جنبه‌های یک سیستم تاکید کند و از جنبه های دیگر چشم پوشی نماید. به همین دلیل مدل گاربرد گسترده‌ای در جنبه های مختلف زندگی انسان پیدا کرده است و نقش به تصویر کشیدن تجریدهای مختلف از موضوعات مطرح برای انسان را بر عهده دارد.

دلیل استفاده از مدلسازی این است که مدلسازی یکی از مهمترین ابزار برای توصیف پدیده های واقعی و حل مشکلات دنیای واقعی است. یک مساله دنیای واقعی جزییات بسیار پیچیده ای دارد. توصیف پدیده ساده ای مانند افتادن سیب از درخت دارای جزییات بسیاری است: میزان جاذبه زمین در آن نقطه، جابجایی سیب و نزدیک شدن آن به سطح زمین، اندازه سیب برای اصطکاک، جهت و وزش باد یا هوا و حتی جزییاتی عجیب مانند سال و ... . در نظر گرفتن این مسایل اگر غیر ممکن نباشد، محاسبه آن بسیار طولانی می شد. اما مساله با استفاده از مدلسازی ساده شد. شاید نه با عنوان مدلسازی – مثل نقاشی – ولی مفهوم آن به کار می‌رود. از این رو، فرایندی که در آن مدل ها ساخته می شوند، باید مورد برسی قرار گیرند.

مدل یک ارائه است و اغلب به صورت ریاضی از خصوصیات مهم شئ یا سیستم تحت مطالعه می‌باشد. "مدلی از واقعیتی که باید باشد" در این پیاده سازی دانش جدید درباره موضوع مدل شده بدست می‌اید و به لحاظ اقتصادی نیز به صرفه تر است.

اغلب مدل ها از ریاضیات استفاده می‌کنند. خصوصیات مهم فیزیکی مدل این است که بتواند به صورت عددی مطرح وارتباط بین خصوصیات با معادلات و ... بیان شود. اختصاصا در علوم طبیعی و مهندسی خواصی مانند انباشتگی وضعیت وزن لحظه شتاب و غیره به وسیله معادلات ریاضی شرح داده میشوند، در مدلسازی موفق نیاز به دانش درباره هر دو موضوع مدل شده و خواص تکنیک مدلسازی می‌باشد. بنابراین ریاضیات به صورت یک علم توسعه یافته مزایای زیادی در مدلسازی علوم دیگر دارد. به عنوان مثال معادلات دیفرانسیل برای حل بسیاری از مسائل فیزیکی مفید واقع می‌گردد. دستورات ماشین و اجراء روی کامپوتر می‌تواند در ساده تر کردن آنها مفید واقع شود. کامپوتر خود می‌تواند به عنوان وسیله مدلسازی یا به عنوان موضوع مدلسازی مطرح گردد. بسیاری از مسایلی که در حیطه نرم افزار مطرح می‌گردند، برخواسته از دنیای واقعی هستند. رخدادها و وضعیت های دنیای واقعی، اکثراً پیوسته هستند و از این رو، در شمار آوردن آنها ناممکن. از سوی دیگر، یک رایانه که مقصد نهایی محصولات نرم افزاری است، ماشینی با حالت های گسسته و محدود در نظر گرفته می شود(در تئوری تعداد حالات می توان بی‌شمار باشند ولی در عمل برای حافظه یا سایر منابع سیستم محدودیت وجود دارد). پس با این توصیف در تولید نرم افزار مشکلی اساسی بروز می‌کند. باید به نحوی دنیای نامحدود و پیوسته را به دنیای محدود و گسسته نگاشت کرد. واضح است که در این میان، نیاز به یک رابطه مشخص میان این دو حوزه وجود دارد؛ مدلسازی همین مفهوم ارتباط دهنده می‌باشد. جزییات آنقدر کنار گذاشته می‌شوند که بتوان مساله و پدیده را در قالب حالت‌های محدود و مشخص بیان کرد.

شبکه‌های پتری در سال ۱۹۶۲ توسط کارل آدام پتری ارائه گردید. این مدل برای برای نمایش رفتار سیستم هایی با مولفه‌های همزمان و دارای تعامل، بسیار مناسب است شبکه‌های پتری قدرت توصیف بیشتری را در مقایسه با شبکه-های صف فراهم می نمایند. شبکه‌های پتری یک نمایش گرافیکی و واضح را از سیستم، به همراه یک فرمالیسم ریاضی از آن ارائه می دهد همچنین این شبکه‌ها ارائه دهنده چارچوبی برای تحلیل، اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی می‌باشند.

شبکه‌های پتری ابزاری مناسب برای مدلسازی ریاضی و گرافیکی به حساب می‌آیند. از این ابزار می‌توان برای مدلسازی، توصیف، و تحلیل سیستم‌هایی که دارای ماهیتی همزمان، آسنکرون، توزیع شده، موازی، نامعین، و یا اتفاقی هستند استفاده نمود. در واقع شبکه‌های پتری جزء مدل‌هایی هستند که قادرند به صورت همزمان حالت و عملکرد یک سیستم را نشان دهند. امروزه استفاده از ابزار فوق کاربرد وسیعی پیدا کرده و از آن برای مدلسازی انواع سیستم ها استفاده می‌شود.

یکی دیگر از خصوصیات مهم شبکه پتری قابل اجرا بودن آنهاست که از همین خاصیت می‌توان برای ارزیابی رفتار و کارایی یک سیستم بهره جست. امروزه نرم افزارهای قوی شبیه سازی وجود دارند که بر اساس شبکه‌های پتری کار می‌کنند. ابزارهای فوق قادرند با انواع پردازش، به بررسی مشکلات احتمالی سیستم‌ها و تولید فضای حالت پرداخته و

عملکرد کلی سیستم را شبیه‌سازی نمایند.

## ۲- شبکه پتری

اساس شبکه‌های پتری بر پایه گراف، بنا نهاده شده است. اگر بخواهیم یک توصیف غیر رسمی از آن داشته باشیم می-توان گفت که یک گراف جهتدار دو قسمتی است که از دو عنصر مکان و انتقال تشکیل شده است. یک توصیف رسمی از شبکه‌های پتری به شکل زیر می‌تواند باشد.

تعریف: شبکه پتری یک پنج تایی به شکل ( P ,T ,I- ,I+ ,M0) است که:

۱. P یک مجموعه متناهی از مکانها است.

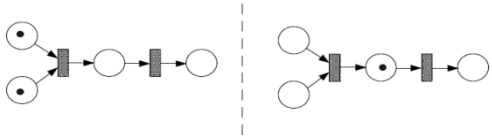
۲. T یک مجموعه متناهی از انتقال‌ها است.

۳. $p \cap T = \Phi$ مجموعه مکانها و گذرها از هم جدا شده می‌باشند .

۴. $P*T \rightarrow N$: I+ , I- به ترتیب توابع تلاقی پیشرو و پسرو نامیده می‌شوند.

۵. $P \rightarrow N0$: M0 تابع علامت گذاری اولیه نامیده می‌شود.

توابع I+,I- نمایش دهنده ارتباط میان مکانها و انتقالها هستند. اگر رابطه $I-(P,T)>0$ برقرار باشد در این صورت کمانی از مکان P به انتقال T وجود دارد. در این حالت به مکان P، یک مکان ورودی گفته می‌شود. اگر رابطه $I+(P,T)>0$ برقرار باشد در اینصورت کمانی از انتقال T به مکان P وجود دارد. در این حالت به مکان P، یک مکان خروجی گفته می‌شود. توابع تلاقی اعداد طبیعی را به کمان ها گفته می‌شود. زمکانیکه هر مکان ورودی از انتقال T حداقل به تعداد وزن کمانی که آن را به انتقال T وصل می‌کند حاوی مهره باشد، در اینصورت گفته می‌شود که انتقال T فعال است. یک انتقال فعال می‌تواند آتش شود. در چنین حالتی انتقال مورد نظر به مقدار وزن هر یک از کمان های ورودی از هر یک از مکان‌های ورودی مهره برداشته و به مقدار وزن هر یک از مکان های خروجی در هر یک از مکان های خروجی مهره ایجاد می‌کند . تعداد اولیه مهره‌ها در شبکه با استفاده از تابع M0 که نشان دهنده تعداد مهره‌ها در هر مکان از شبکه است مشخص می‌شود. به تعداد مهره ها در شبکه علامتگذاری شبکه می‌گویند. به M0 ،علامتگذاری اولیه می‌گویند. زمانی که یک انتقال آتش می‌شود ممکن است علامتگذاری شبکه تغییر کند. شکل ۱ یک شبکه پتری را نشان می‌دهد که از ۴ مکان و ۲ انتقال تشکیل شده است. شکل مذکور شبکه پتری را قبل و بعد از آتش شدن انتقال t1 نشان می‌دهد ، بعد از آتش شدن انتقال t1، یک مهره از مکان P1 و P2 برداشد و یک مهره در مکان P3ایجاد می‌شود.



**شکل۱: یک شبکه پتری قبل و بعد از آتش شدن یک انتقال[۱]**

شبکه‌های پتری بنا به تعریف مذکور گراف های دو قسمتی هستند. بنابراین رئوس آن را می توان به ۲ بخش تقسیم کرد :

مکان: رئوسی که به شکل دایره هستند.

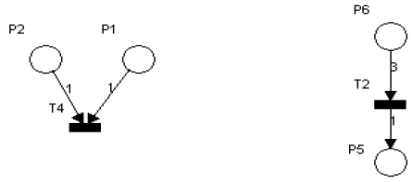
انتقال: رئوسی که به شکل میله هستند.

شبکه‌های پتری جهتدار هستند. بنابراین کمانی که ۲ رأس را به یکدیگر متصل می‌کند جهتدار است. کمان ها تنها می‌توانند مکان ها را به انتقال‌ها و یا انتقال‌ها را به مکان ها متصل کنند. انتقال‌ها و مکان‌ها: یک انتقال می‌تواند نشانگر یک پردازشگر رویداد، گام محاسباتی، الگوریتم، وظیفه و ... باشد. مکان‌ها به دو دسته مکان‌های ورودی و مکان‌های خروجی قابل تقسیم هستند. یک مکان ورودی می‌تواند نشانگر بافر، پیش شرط، داده ورودی، منابع مورد نیاز، شرایط

یا سیگنال های ورودی باشد. یک مکان خروجی می‌تواند نشانگر بافر، پس شرط، داده خروجی، منابع آزاد شده نتایج یا سیگنال‌های خروجی باشد.

کمان‌ها: کمان‌ها وسیله اتصال مکان‌ها به انتقال‌ها را دارند. زمانیکه از یک مکان به یک انتقال، کمانی وجود داشته باشد می تواند نشانگر آن باشد که پردازشگر، نیاز به منبعی در بافر دارد. رویداد برای آنکه اتفاق بیفتد نیاز به پیش شرط دارد. الگوریتم، نیاز به داده ورودی دارد. وظیفه، نیاز به منبع دارد. زمانیکه از یک انتقال به یک مکان، کمانی وجود داشته باشد می توان تعابیری همچون پردازشگر، تولید کننده منبعی در بافر خروجی است. رویداد، بعد از آنکه رخ داد، پس شرط را تولید می کند. الگوریتم تولید کننده داده خروجی است. وظیفه، تولید کننده منبع است. شبکه‌های پتری علامت گذاری شده: شبکه پتری که شامل مهره باشد، شبکه پتری علامت‌گذاری شده است. مهره‌ها به صورت نقطه (.) نمایش داده می‌شود و در مکان ها قرار می‌گیرند. یک علامت‌گذاری از یک شبکه پتری، نگاشتی است که یک عدد نامنفی صحیح (تعداد مهره‌ها) را به هر مکان در شبکه انتساب می‌دهد. علامتگذاری، توصیف کننده وضعیت شبکه پتری است. در یک شبکه پتری، مهره‌ها غیر قابل تمیز هستند. وجود یک یا چند مهره نشان دهنده در دسترس بودن منبع یا تکمیل شرط است. در حالیکه عدم حضور مهره مشخص کننده آن است که شرط برقرار نیست یا منبع در دسترس نمی‌باشد. مکان ها و علامتگذاری، دربرگیرنده طبیعت توزیع شده سیستم است. علامتگذاری می تواند توسط یک مهره ارائه شود. علامتگذاری در شبکه پتری سمت چپ شکل ۱ به صورت $M[1,1,0,0]$ می‌باشد.

مثال: در شکل ۲ وقتی T4 شلیک می‌شود که حداقل دو مهره یکی در P1 و یکی در P2 وجود داشته باشد. همچنین T2 وقتی شلیک می‌شود که حداقل ۳ مهره در P6 وجود داشته باشد.




**شکل ۲: نمونه‌ای از شبکه پتری[۱]**

در این قسمت شبکه پتری به عنوان اساس دیگر مدل‌های قابل اجرا مورد بررسی قرار گرفت. اگر چه این نوع شبکه برای بررسی سیستم‌هایی با مؤلفه‌های همزمان و دارای تعامل، مناسب است. اما این شبکه خود به خود نمی‌تواند به عنوان مدل قابل اجرا از معماری قرار بگیرد. دیگر شبکه‌هایی که مورد بررسی قرار خواهد گرفت در واقع به نوعی نمونه توسعه یافته‌ای از این شبکه می‌باشد.

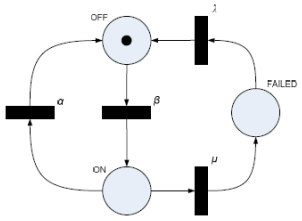
## ۲-۱- انواع شبکه‌های پتری

در این بخش، انواع شبکه‌های پتری معرفی می‌گردند.

### ۲-۱-۱- شبکه‌های پتری تصادفی[1]

یکی از افزونه‌ها بر شبکه پتری کلاسیک، شبکه پتری تصادفی است. آنچنان که از نام آن بر می‌آید، امکان اضافه کردن احتمال را ایجاد می‌کند. این شبکه بر اساس شبکه پتری کلاسیک ساخته می‌شود. با این تفاوت که لزوماً در یک حالت خاص، عملیات شلیک کردن، قطعی نیست و از یک احتمال پیروی می‌کند. این نرخ شلیک ممکن است تابعی از وضعیت کلی شبکه باشد. شکل ۳ یک نمونه از شبکه پتری تصادفی برای نشان دادن فرآیند روشن شدن لامپ را نشان می‌دهد. یک لامپ خاموش با فرآیند روشن شدن لامپ را نشان می‌دهد. یک لامپ خاموش با یک احتمال و یک تاخیر تصادفی روشن می‌گردد. ممکن است که با یک احتمال لامپ دچار خرابی شده و روشن نشود. همین صحبت در مورد لامپ روشن هم وجود دارد.

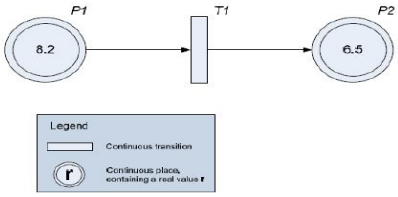
[1] Stochastic Petri Net (SPN)




شکل ۳: یک نمونه از شبکه پتری تصادفی[2]

## ۲-۱-۲- شبکه‌های پتری پیوسته

افزونه‌های بیشتری برای شبکه‌های پتری کلاسیک وجود دارد که مدلسازی را برای شرایط واقعی، راحتتر می-کند. برای فرایندهایی همانند پمپاژ مقادیر زیادی ازآب دشوار است که مدل را به صورت گسسته ساخت. در این مواردداست که قبول یک رویکرد پیوسته راحت‌تر می‌شود. یک شبکه پتری پیوسته از نمادها و گذرهای مختلفی نسبت به شبکه‌های پتری کلاسیک، استفاده می‌کند. اجزای یک شبکه پتری پیوسته در شکل ۴ وضعیت واقعی از پمپاژ آب از یک مخزن به مخزن دیگر T نشان داده شده است. مقادیر موجودی هر محل در آن نشان داده شده است.




**شکل ۴: یک مثال از شبکه پتری پیوسته[2]**

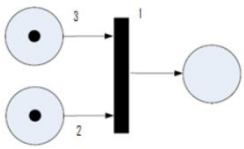
محل پیوسته همیشه یک مقدار حقیقی را نگه می‌دارد، در حالیکه محل گسسته حاوی یک مقدار صحیح (مقدار نشانه‌ها) است. تفاوت گذر، در این است که گذر مداوم یک مقدار برای شلیک، نگهداری می‌کند که نشان دهنده میزان موجودی محلهای داخل شده به گذر نمی‌تواند بیشتر باشد. در صورتی که یال وزن داشته باشد. در صورتی که یال وزن داشته باشد، وزن در مقدار شلیک ضرب می‌شود و حداکثر شلیک را مشخص می‌کند.

.

## ۲-۴-۳- شبکه پتری زماندار

این نوع شبکه‌های پتری، آنچنان که از نام آن بر می‌آید، زمان را به حساب می‌آورند. یعنی گذرها برای شلیک نشانه‌ها تأخیری تعریف شده دارند. یک گذر فقط و فقط هنگامی شلیک می‌کند که اولاً ورودیهای آن تامین باشند و ثانیاً از زمان تامین ورودیهای آن، میزان d واحد زمانی بگذرد. به این شکل است که زمان را می‌توان در شبکه پتری نشان داد.

این سازو کار، بسیاری از واکنشهایی را که به زمان بستگی دارد را حمایت می‌کند. مثال شبکه پتری تصادفی اگر از زاویه زمان نگاه شود، به این صورت شکل ۵ در می‌آید. در صورتی که از ماده اول سه واحد و از ماده دوم دو واحد باشد، بعد از یک واحد زمانی خروجی تولید می‌گردد.

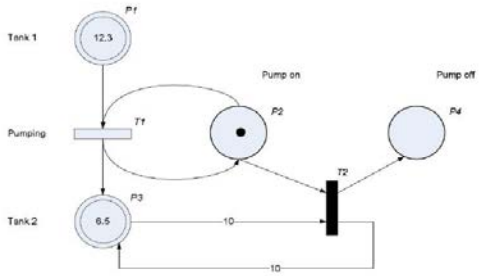



**شکل ۵: یک نمونه از واکنش با دید زمانی[2]**

با ساز وکار مشابهی شبکه‌های پتری پیوسته زماندارتعریف می‌شوند.

### ۲-۴-۴- شبکه‌های پتری ترکیبی

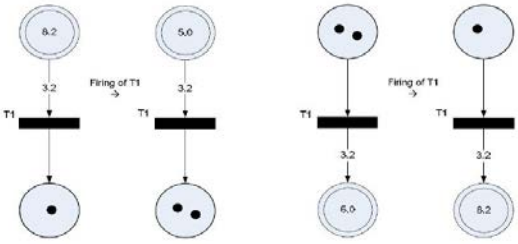
در مثال پمپاژآب همیشه حالتی وجود دارد که در آن لازم است که پمپاژ متوقف گردد. گزینه شروع یا توقف، یک مفهوم گسسته است. منطقی به نظر می رسد با آنکه پمپاژآب فرایندی پیوسته است، مفهوم شروع و توقف، به صورت گسسته یعنی با کمک شبکه‌های پتری گسسته انجام بگیرد. برای مدلسازی هر دو این فرایندها نیاز به ترکیب شبکه‌های پتری کلاسیک و پیوسته می باشد. شبکه پتری که قابلیت این کار را دارد به شبکه پتری مختلط (ترکیبی) معروف است. به سامانه ای می توان مختلط گفت که: ۱. آن را بتوان توسط یک مدل مختلط مدلسازی کرد و ۲. آن را نتوان توسط یک مدل گسسته مدلسازی کرد؛ یعنی حداقل یک متغیر پیوسته و یک متغیر گسسته داشته باشد[3].
پیش از ادامه مثال پمپاژ آب (شکل ۶) مطرح گردیده که جنبه‌های متفاوت شبکه پتری مختلط (ترکیبی) را نشان دهد. در شکل ساز و کار توقف به شبکه پتری مثال قبل اضافه شده. همانگونه که دیده می شود، به وسیله اتصال بازخوردی به تراکنش T1 امکان شلیک مکرر ایجاد شده است. بعد از انتقال هر واحد، نشانه از P2 به P2 بازمی‌گردد و کار ادامه می‌یابد. در تراکنش T2 همانگونه که دیده می‌شود یال ورودی از P3 وزن داراست. یعنی وقتی که مقدار P3 به ۱۰ واحد برسد، تراکنش T2 شلیک می‌شود و نشانه از P2 به P4 وارد می‌شود و شلیک T1 متوقف می‌شود. معنی کلی این فرآیند این است که وقتی میزان آب در تانک شماره ۲ به ۱۰ واحد می‌رسد، عملیات متوقف شود.




**شکل ۶: یک نمونه از شبکه پتری ترکیبی [2]**

در این میان یک قاعده مهم وجود دارد: همیشه گذرها و انتقال‌های گسسته پیش از همتاهای پیوسته شان انجام می-گیرند.

مسئله دیگری که در این میان وجود دارد، عملکرد گذرها از یک نوع خاص در مقابل محلهای نوع دیگر است. برای بررسی نخست گذرهای گسسته بررسی میگردد.




**شکل ۷: گذرهای گسسته در مقابل ورودیها و خروجیهای پیوسته[4]**

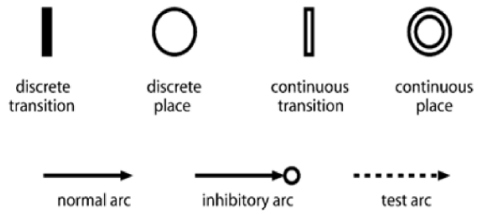
کار بر اساس وزن یال ها انجام می‌گیرد. هنگامی که گذر گسسته و ورودیها پیوسته باشد، به اندازه وزن یال از مقدار مکان پیوسته کم می شود و به ازای وزن کم شده، یک نشانه در محل خروجی ظاهر می‌گردد. در حالت عکس آن، بر اساس وزن خروجی، تبدیل نشانه‌ها به مقادیر حقیقی صورت می‌گیرد.

در مورد گذرهای پیوسته، موضوع به شکل دیگری است: اگر یک محل گسسته به عنوان ورودی یا خروجی برای یک گذر باشد، چون زمان روی محلهای گسسته اثر ندارد و شلیک آنها اتمیک انجام می‌گیرد، لازم است که یک محل گسسته، هم ورودی و هم خروجی آن گذر پیوسته باشد؛ در غیر اینصورت مدل درست نخواهد بود. مثال شبکه پتری

آن، پمپاژ آب است که محل گسسته در ورودی و خروجی گذر پیوسته قرار می‌گیرد.

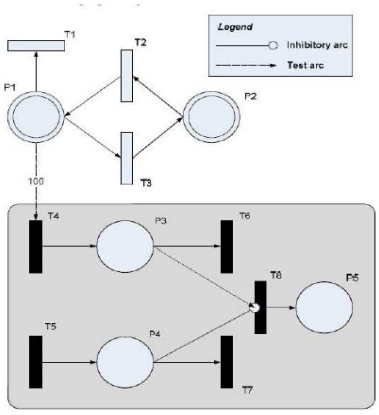
### ۲-۱-۵- شبکه‌های پتری ترکیبی عملکردی

شبکه‌های پتری ترکیبی عملکردی، یک بهبود روی شبکه‌های پتری ترکیبی هستند که از یک توسعه به نام شبکه اشیاء ترکیبی، حمایت می‌کند. این توسعه، امکان ایجاد سلسله مراتب را ایجاد می‌کند که برای نمایش شبکه‌های پیچیده از آن می‌توان استفاده کرد. علاوه بر واحدهای سازنده شبکه‌های پتری ترکیبی، از مکان‌های گسسته/پیوسته و یال‌های وزن دار حمایت می‌کند. علاوه بر این، شبکه‌های پتری ترکیبی عملکردی از دو نوع یال جدید، یعنی یال‌های تستی و مهارکننده استفاده می‌نمایند. یال‌های تستی، محتویات یک محل را امتحان نموده و در صورتی که از یک مقدار یا حد آستانه بیشتر باشد، گذر شلیک می‌کند. در این شلیک، از محلهایی که به یالهای تستی متصل هستند، چیزی کم نمی‌شود. یال‌های مهارکننده عکس این کار را انجام می‌دهند و جلوی شلیک را می‌گیرند. نماد عناصر به کار رفته در این شبکه پتری در شکل ۸ دیده می‌شوند. این نمادها در ردیف بالا از راست به چپ عبارتند از: محلهای پیوسته، گذر پیوسته، محلهای گسسته، گذر گسسته. در ردیف پایین از راست به چپ عبارتند از: کمان تستی،کمان مهارکننده، کمان معمولی.




**شکل ۸: نماد عناصر شبکه پتری عملکردی[4]**

یک نمونه از شبکه پتری ترکیبی عملکردی در شکل ۹ نشان داده شده است. در صورتی که در P4 یک نشانه باشد، گذر T8 شلیک نمی‌شود.




**شکل۹ : یک نمونه از شبکه پتری ترکیبی عملکردی[4]**

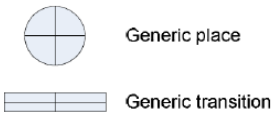
در این شبکه پتری، به گذرهای پیوسته، گذر عملکردی پیوسته[۲] گفته می‌شود که اجازه می‌دهد هر تابعی برای شلیک روی گذر تعریف گردد.

هنگامی که اطلاعات فضایی۳ برای مواردی مثل آنزیم‌ها لازم باشد (موقعیت و شکل فضایی آنزیم‌ها به دلیل تأثیر روی سطح تماس و دیگر نیروهایی بین مولکولی دارای اهمیت زیادی است)، ساختار شبکه‌های پتری عملکردی

---

[۲] Functional Continuous Transition
[۳] Spatial

می‌تواند از آن حمایت نماید ولی پیچیدگی زیادی را در مدلسازی ایجاد می‌کند. به همین دلیل، یک توسعه روی این شبکه پیشنهاد شده که به آن، شبکه پتری ترکیبی عملکردی همراه با توسعه[۴] می‌گویند. در این توسعه، امکان ذخیره سازی مختصات مکان‌ها (یعنی ویژگی‌های فضایی مواد) و همچنین تعریف محلها و گذرهای عمومی[۵] در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۰ نماد این دو دیده می‌شود.




شکل ۱۰: نماد محلهای عمومی و گذرهای عمومی[6]

یک محل عمومی می‌تواند هر چیزی مثل یک مولکول، وضعیت، یک متغیر و ... را در خود نگهداری کند و یک گذر عمومی، می‌تواند پیچیدگی‌های عملیاتی لازم را انجام دهد و محلهای متصل به خود را بروزرسانی نماید. واکنشهای پیچیده تری را می‌توان با این گذر نشان داد.

### ۲-۴-۷- شبکه‌های پتری شی‌گرا

در اینجا تعدادی از شبکه‌های پتری شی‌گرا متداول، مرور می‌گردند.

#### ۲-۴-۷-۱- شبکه‌های پتری شی‌گرای ۶ LOOPN++

این شبکه از LOOPN، بعد از بازبینی و تغییرات قابل ملاحظه ساخته شد. این شبکه‌ها از گرامری مبتنی بر متن، برای مشخص کردن سامانه استفاده می‌کند. کلاسها از سه بخش مشخص تشکیل شده است. بخش «زمینه ها»[۷] تعریف داده‌های مورد نظر را دارد. بخش «عملکردها»[۸] بخشی است که عبارت‌ها را به کمک پارامترها و عملیات توصیف می‌نماید. بخش آخر «کنش‌ها» نام دارد. این بخش، رفتار سامانه را توصیف می‌کند.

بخش زمینه‌ها، تعریف نشانه‌های شبکه پتری را انجام می‌دهد و برای نشان دادن حالت، از آن استفاده می‌گردد. بخش‌های کنش‌ها و عملکردها گذرهای شبکه پتری را نشان می‌دهند. علاوه بر این، موجودیتهای خارجی با عبارت«صادر کردن»[۹]مشخص می‌گردند. یکی از ویژگی‌های عمده LOOPN++، امکان استفاده از «فرامکان» و «فراگذر» می‌باشد که برای نمایش ساختار شبکه ای از شبکه‌ها، به کار می رود و پایه تجرید را ایجاد می‌کند. این امکان، به سادگی نمایش داده می‌شود: کافی است که برای مکان یا گذر مورد نظر، از یک برچسب استفاده شود. این برچسب باید نماینده یک موجودیت دیگر باشد. به این شکل، امکان حمایت از ارث بری و ایجاد مفهوم والد فراهم می-گردد[5] و [6].

#### ۲-۴-۷-۲- شبکه‌های پتری شی‌گرای G-Nets

اساس این شبکه‌ها روی مفهوم ماژولهایی استوار است که متناظر با اشیا هستند. ساختار کلاس ها از دو بخش اصلی تشکیل شده است: مکان عمومی سوئیچینگ[۱۰] که حاوی نام یک شی، تعریف صفات و متدهای آن و نشانه گذاری اولیه است[7] . بخش دوم ساختار داخلی[۱۱] نام دارد که رفتار متدها را نشان می‌دهد. این شبکه به خوبی از مفهوم نگهداری داده و انتقال پیام حمایت می‌کند. برای هر کدام از کلاس‌ها یک شناسه نگهداری می‌شود که باعث می‌گردد بتوان از فراخوانیهای تو در توی متدها، و همچنین ساخت شی از روی کلاسها استفاده کرد: به این شکل که برای هر کدام از اشیا، یک شناسه وجود دارد و در صورت فراخوانی و یا ساخت شی جدید این شناسه تغییر می‌کند و می توان با این ساختار، چندین شی را در حال اجرا داشت. همچنین این شبکه از ساختار کارگزار –کارسپار حمایت

---

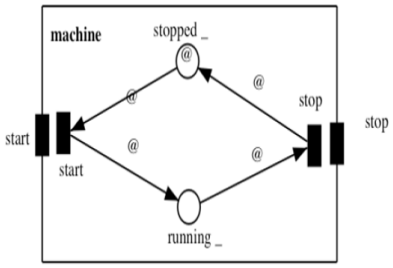
[۴] Hybrid Function Petri Net With Extension (HFPNE)
[۵] Generic Places and Generic Transitions
[۶] Language for Object-Oriented Petri Nets
[۷] Field
[۸] Function
[۹] Export
[۱۰] General Switching Place (GSP)
[۱۱] Internal Structure

میکند. این شبکه به دلیل شباهت ساختاری، از OMT/UML حمایت می‌کند.

### ۲-۴-۷-۳- شبکه پتری همروند شی‌گرا

این شبکه از مفهوم امضا برای تعریف واسط کلاسها استفاده میکند. بخش بدنه، رفتار داخلی را توصیف می‌نماید. بخش امضا نقش واسط و ارتباط دهنده با دیگر موجودیت ها را ایفا می‌نماید. این دو بخش در کنار یکدیگر، شبکه را می‌سازند. در شکل زیر نمونه‌ای از این شبکه دیده می‌شود.

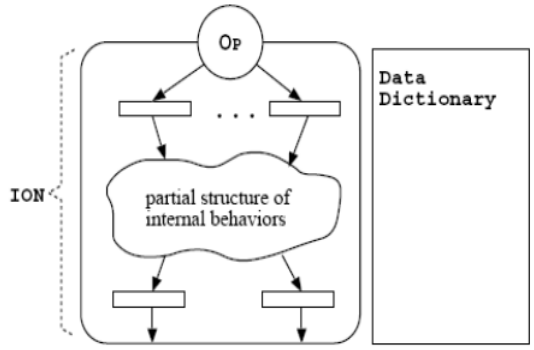
شکل ۱۱ یک نمونه از شبکه شی‌گرای COOPN/2 را نشان می‌دهد. واسط و بدنه در کنار یکدیگر قرار دارند. علامت @ برای نشان دادن پیش شرط (ایجاد نوعی ترتیب) استفاده می-شود. معنی این علامت در بالا این است که قبل از حالت -stopped حتما باید –ronning طی شده باشد. این تضمین می‌کند که ماشین حتما اول شروع می-شود و بعد متوقف می‌شود.




شکل ۱۱: یک نمونه از COOPN/2 [8]

### ۲-۴-۷-۴- شبکه پتری شی‌گرای سلسله مراتبی

این شبکه از سه بخش تشکیل می‌گردد: بخش «مکان شناسی شی»که حاوی شناسه کلاس است. بخش «شبکه داخلی شی» از این شبکه رفتار یک کلاس را نشان می‌دهد. بخش آخر «دیکشنری داده» است که تعریف‌های صفات یک کلاس را نگهداری می‌کند. همچنین این شبکه از نوع داده مجرد۱۲ هم حمایت کرده و این مفهوم شی‌گرایی را با این نوع داده بیان می‌کند. همچنین برای بیان جزئیات، یک زبان توصیفی را ارائه می‌نماید. شکل۱۲ شکل عمومی شبکه‌های پتری شی گرای سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.




شکل ۱۲: شکل عمومی شبکه‌های پتری شی‌گرای سلسله مراتبی[9]

### ۲-۴-۷-۵- شبکه پتری شی‌گرای رنگی

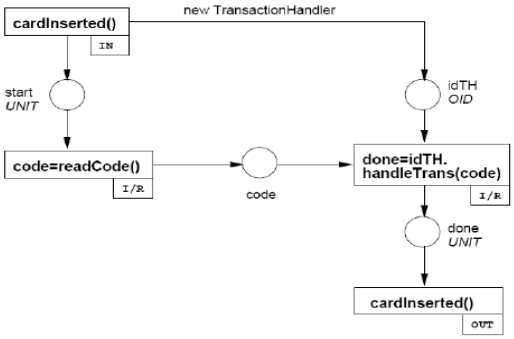
این شبکه، از مفاهیم شی‌گرایی بهره می‌برد و به همین دلیل هر شبکه از مجموعه‌ای به نام کلاس شبکهساخته

---

[۱۲] Abstract Colored Petri Net

می‌شود. این کلاس مفاهیمی هستند که به کلاسها و موجودیتهای دیگر خدمت (سرویس) ارائه کرده و ساختار ایستای کلاسها را می‌سازند. برای اجرای این شبکه، کلاسهای شبکه از طریق ساخت نمونه، به اشیای شبکه تبدیل می‌شوند و شبکه قابل اجرا می‌گردد. مانند شبکه‌های قبلی استفاده از شناسه، امکان ساخت نمونه ازکلاس را ممکن می‌سازد. ارتباط این شبکه‌ها از طریق رد و بدل کردن نشانه‌ها انجام می‌گیرد.

سرویس‌ها توسط هر کلاس یا در اجرای همان شی، به وسیله گذرهای فراخوانی INV و REC انجام می‌گیرد. وقتی یک نشانه وارد این گذر می‌گردد، شی شبکه ای اجرا را انجام می‌دهد. محل ورود با گذر IN نمایش داده می‌شود و انجام کار و بازگشت را از طریق گذر OUT انجام می‌دهد. البته اینکه شی فراخواننده منتظر بماند یا اجرای خود را ادامه دهد، به اسلوب تعامل همگام یا غیر همگام بر می‌گردد. در شکل۱۳یک نمونه از یک ساختار داخلی کلاس شبکه-ای برای ATM آمده است. همانگونه که دیده می‌شود این سرویس هنگام فراخوانی، از گذر cardInserted() می-گردد و با cardInserted() با علامت OUT به اتمام می‌رسد. readCode() و idTH.handleTrans(int) استفاده می‌شود. همانگونه که ملاحظه می‌شود، از OID برای نگهداری شناسه استفاده می‌شود و در فراخوانی استفاده می‌گردد. در نتیجه، مجموعه‌ای از اشیای شبکه‌ای است که یکدیگر را فراخوانی می‌نمایند و از این جهت با تعریف سیستم‌های شی‌گرا به عنوان مجموعه از اشیای تعامل‌کننده، تطابق دارد.




شکل ۱۳: یک نمونه از یک سرویس در یک شبکه کلاس[10]

۲-۴-۷-۶- شبکه پتری مبتنی بر تعامل اشیا

این شبکه حاصل یک پژوهش است و از طریق استفاده از نقشها دید جدیدی از موضوع ارائه می‌نماید. در این بین موضوعاتی در مورد استفاده از شی در مدلسازی فرآیند ابهاماتی وجود دارد که عبارتند از:

چگونگی صورت گرفتن همکاری اشیاء با یکدیگر.

زمان شروع هر قدم از فرایند.

جایگاه عملکردی اجزا در فرایند برای انجام فرایند.

موجودیت‌های تولید یا استفاده شده در فرآیند، یا منابع مورد نیاز برای فرآیند.

برای پاسخگویی به این ابهامها، تلاشهایی صورت گرفته که مهمترین آنها، افزودن دیدهایی در قالب نمودارهایی مشخص، برای تبیین هر کدام از موضوعها می‌باشد. یک دید که می تواند بخش مهمی از ویژگی های این دیدها را در بر گیرید، نمودار نقش است. این نمودارها را می توان الگویی از اشیای در حال همکاری دانست که جنبه‌های اصلی مدل فرایند را نشان می‌دهند. این جنبه های کلی را می‌توان چنین برشمرد:

عملکرد: کدام روال‌ها از یک شی باید برای انجام یک فعالیت مشخص فراخوانی گردند.

رفتار: پیش شرطها، شرطهای پسین و چگونگی همکاری اشیاء برای انجام یک وظیفه.

سازمان: نگاشت اشیاء به نقشها، سازماندهی اشیاء و ارتباطهای ساختاری آن‌ها .

اطلاعات: چگونگی به روزرسانی اطلاعات اشیای مشخص در طول فرآیند.

هر کدام از این دیدگاهها در سطح خاصی از تجرید قابل مشاهده هستند که در فرایند مدلسازی خود را نشان می دهند. برای نمایش نقشها، روش های متفاوتی مثل نمودارهای نقش، شبکه تعامل نقشو روش شی‌گرای تحلیل نقش[۱۳]

---

[۱۳] Object-Oriented Role Analysis Method (OORAM)

هم وجود دارند که در نمایش به کار می‌روند.

شبکه‌های مبتنی بر تعامل اشیاء از کارت‌های CRC استفاده می‌کند. این کارتها آنچنان که از نام بر می‌آید، از سه بخش کلاس، مسئوایت و همکاری تشکیل شده است. بخش کلاس یا رده، نماینده هویت موجودیت‌هاست. بخش مسئولیت، نشاندهنده وظایفی است که آن موجودیت برای سامانه انجام می‌دهد. برای انجام این وظایف، گاهی پیش می‌آید که تمام اطلاعات و یا امکانات انجام وجود ندارد و از این جهت بخش سوم یعنی همکاری، ارتباط میان موجودیتها را نشان می دهد.

در پژوهش مورد بحث از کارتهای CRC برای مدلسازی نقشها استفاده گردیده که در آن تعریف سه بخش کمی متفاوت است:

رده نقش: از رده مجردتر است و به مسئولیت‌های آن نقش نزدیکتر است. ممکن است که یک رده نقش به چندین کلاس پالایش گردد.

مسئولیت‌ها: معمولا انسجام بیشتری بین یک نقش و مسئولیت‌هایش در مقایسه با یک شی وجود دارد. دلیل آن هم تعریف شی و نقش است. یک شی در تعریف عمومی می‌تواند چندین مسئولیت متفاوت داشته باشد. اما در نقش یک انسجام وجود دارد.

همکاران: به هر گونه همکاری میان نقشها گفته می‌شود که لزوما با دیدگاه سنتی به شکل کارسپار و کارگزار نیست.

این دسته بندی مدلسازی را در یک سطح بالا نشان می‌دهد. یعنی برای انجام یک فرایند یا مجموعه ای از فرایندها تعدادی نقش وجود دارد که هر کدام وظایفی را در قبال تمام سامانه بر عهده گرفته‌اند. برای انجام این مسئولیت‌ها، ممکن است نیاز به همکاری با نقشهای دیگر داشته باشند. به نظر می‌رسد نمایش این سه مقوله در کنار هم می تواند نمای خوبی از سامانه ارائه نماید. اما با تمام ویژگیهای مثبت کارتهای CRC مساله‌ای وجود دارد و آن عدم امکان نمایش عملیات (یعنی جزییات) در کنار تجریداست (یعنی کلاسها و نقشها) است. این خواستگاه در، سمت و سوی مدلسازی را به مدلهایی ساخته شده توسط شبکه های پتری رهنمون می‌نماید. برای حمایت از شی‌گرایی ایده-هایی وجود دارد:

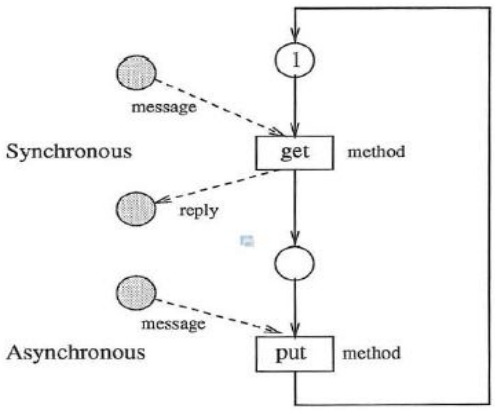
گذر: گذر را می توان معادل با متدهای عضو در کلاسها گرفت.

مکانها: مکانها وضعیت اشیا را پیش و پس از شلیک گذر نشان می‌دهد.

کمانها: کمانهای خارجی نمایش دهنده پیامهای رد و بدل شده میان اشیا است.

نشانه: برخی نشانه را معادله نمونه‌هایی[۱۴] از کلاسها می‌توانند ولی حرکت آنها در زمان اجرا، جریان کنترلی را نشان می‌دهد.

در قالب شکل ۱۴، همه این مفاهیم برای بیان یک شی آمده است.

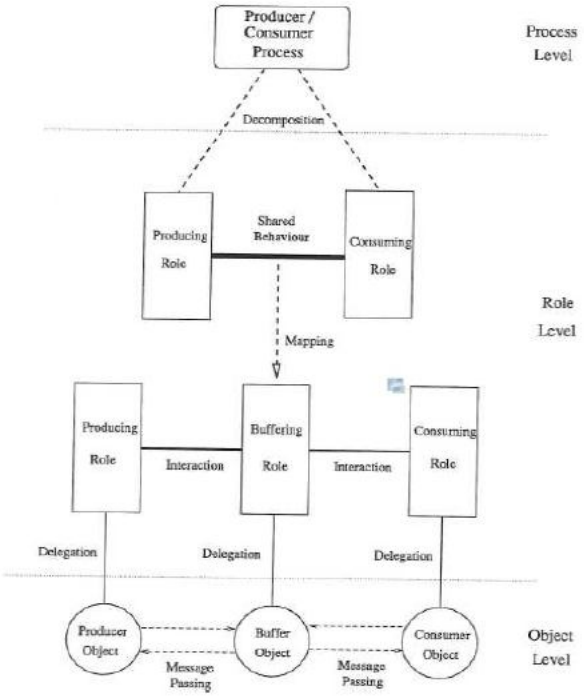



شکل ۱۴: نمایش شبکه پتری برای یک نقش[11]

[۱۴] Instance

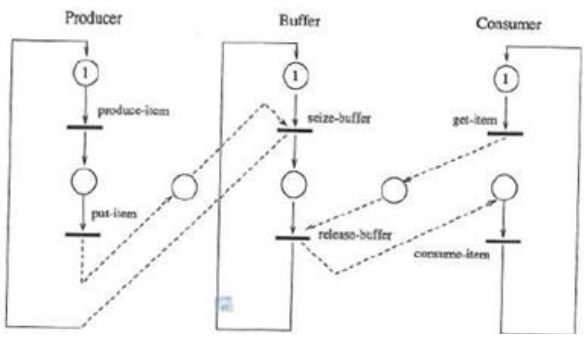
همانگونه که دیده می‌شود یک نمونه شی با دو متد get و put وجود دارد که یک کارگزار را نشان می‌دهد. روال اول به صورت همگام برای کارسپار می باشد چون تا هنگامی که پیام (پاسخ درخواست) خارجی به آن نرسد، وضعیت تغییری نمی‌کند. در حالیکه ارتباط دوم، به صورت آسنکرون عمل می کند و کارسپار پیام را با می‌فرستد و کارش را ادامه می‌دهد.

در گام بعدی برای انجام کامل فرآیندها با این دیدگاه، نیاز به پر کردن فاصله میان مفهوم فرآیند تا اشیاء وجود دارد. با توجه به توضیحاتی که داده شده به نظر می‌رسد که این جای خالی را نقشها می‌تواند پر نمایند؛ به این صورت که در هر فرآیندی نقشهایی وجود دارد که با تعامل با یکدیگر فرآیند را ممکن می‌سازند. سپس با تبدیل فرآیندها به نقشها و پس از آن استفاده از اشیاء برای پیاده سازی، مدلسازی فرآیند کامل می شود. شکل ۱۵ این موضوع را نشان می‌دهد.




شکل ۱۵: مثالی از روش از نظر سطوح تجرید[11]

همانگونه که در شکل بالا دیده می‌شود، مثال تولیدکننده به عنوان نمونه انتخاب شده است. فرآیند تولیدکننده و مصرف‌کننده، به دو نقش عمده تبدیل می‌شود و سپس، به دلیل اشتراک نقشهای موجود، نقش مشترک بافر به عنوان یک نقش جدید ایجاد می‌گردد و پس از آن بیان مدل در سطح اشیا، صورت می‌پذیرد. در پایان شبکه‌ی پتری مدل را تحقق می‌بخشد. عبارت تحقق بخشیدن به این دلیل استفاده می‌گردد که مدلهای شبکه‌های پتری قابلیت اجرایی دارند و می‌توان مدل را اجرا کرد تا رفتار آن را مشاهده نمود.



شکل ۱۶: نمایش مثال تولید کننده و مصرف کننده به صورت شبکه پتری[11]

شکل ۱۶ این موضوع را در مورد مثال تولید کننده و مصرف کننده نشان می‌دهد. چگونگی رسیدن به این موضوع، روش مدلسازی را بیان می‌کند:

بدست آوردن نقشهای دخیل در فرآیند به وسیله کارتهای CRC

افزودن عبارت مسیر برای محدود کردن ترتیب مسئولیتهای کارتها

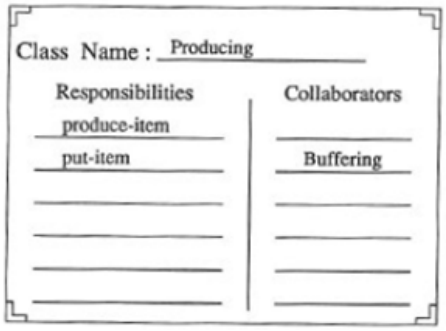
کشیدن شبکه پتری متناسب با هر کارت

بازبینی مدل برای اطمینان از صحت آن

شبیه‌سازی مدل بدست آمده

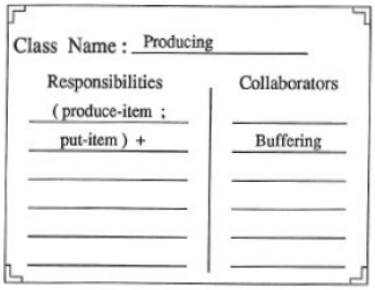
خلاصه اجرای تک تک مراحل برای مثال تولیدکننده و مصرف‌کننده چنین خواهد بود:

بدست آوردن نقشهای دخیل در فرآیند به وسیله کارتهای CRC: برای هر کدام از نقشها این کارتها ایجاد می-گردد. برای تعیین توالی انجام کارها، از عبارت مسیر استفاده می‌شود. در شکل زیر نمونه کارت برای تولیدکننده دید می‌شود.



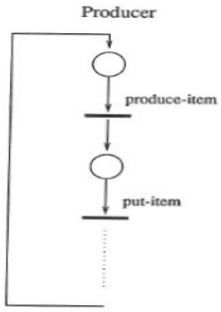

شکل ۱۷: کارت مربوط به تولیدکننده[11]

افزودن عبارت مسیر برای محدود کردن ترتیب مسئولیت‌های کارتها: با توجه به منطق فرآیند، یک ترتیب/ موازی مشخص بین تولید و مصرف‌کننده، افزوده می شود.



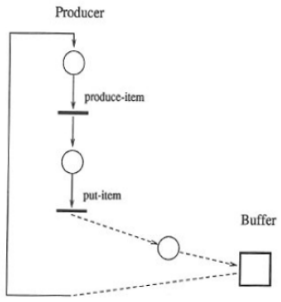

شکل ۱۸: کارت مربوط به تولیدکننده با افزودن عبارات مسیر[11]

کشیدن شبکه پتری متناسب با هر کارت: پس از آن نقشها توسط نمایش شبکه‌های پتری صورت می‌گیرد.




شکل ۱۹: نمای تولیدکننده به صورت شبکه پتری[11]

افزودن همکاریهای هر کارت: قدم بعدی ارتباط دادن شبکه‌های پتری ایجاد شده برای هر نقش است. که در شکل زیر با توجه به توالی انجام فرآیند، ارتباط نمونه بین دو موجودیت نشان داده شده است.




شکل ۲۰: افزودن همکاریها در مساله

و نهایتا با انجام قدمهای بعدی، شکل ۲۰ بدست می آید.

## ۳- مدلسازی ریاضی و شی‌گرایی در یک نگاه

بررسی روشهای مدلسازی موجود خود زمانی مناسب را می-طلبد. در اینجا از نتایج یک تحقیق بدین منظور استفاده می‌گردد. در تحقیق مزبور، از نگاه مهندسی نرم‌افزار، می توان روشهای مدلسازی را به دو دسته عمده (بدون توجه مشخص به نگاه مدلسازی) تقسیم کرد: روشهای مبتنی بر ریاضیات محض و روشهای مبتنی بر شی گرایی.

از نظر مدلهای ریاضی، سلول یک مجموعه بسیار پیچیده از معادلات است. مثلا اگر چند واکنش فرضی به صورت رابطه‌های (۱) و (۲) و (۳) در محیط در حال انجام باشد:

$$A+B \Leftrightarrow C+B \qquad (۱)$$

$$C+E \Leftrightarrow F+G \qquad (۲)$$

$$G+E \Leftrightarrow H \qquad (۳)$$

می‌توان در یک جمع‌بندی کلی به صورت رابطه (۴) در نظر گرفت (یعنی مواد میانی در واکنش به دلیل تولید و مصرف بلافاصله در واکنش نهایی در نظر گرفته نمی‌شوند):

$$A+B+E \Leftrightarrow B+F+H \qquad (۴)$$

البته باید توجه شود که چند عناصر میانی به وجود می‌آیند که در مجموع کلی فرآیند حذف می‌گردند. در روش ریاضی ـ با ساده کردن ـ معادله آخرتمام محیط توصیف می‌شود. همانگونه که دیده می‌شود، موجودیتهای محیطی به صورت صریح مدنظر نیست. از این جهت این دیدگاه را می‌توان به مثابه دیدگاه فرآیندی و ساختیافته در مهندسی نرم-افزار دانست. هدف از این همانندسازی، فقط ایجاد ارتباط با مفاهیم آشناتر مهندسی نرم افزار است تا موضوعات به

صورت عینی تری از دیدگاه این تحقیق ـ یعنی مهندسی نرم‌افزار دیده شوند.

این در حالی است که در روشهای شی‌گرا، اساس بر موجودیتهای محیط است که با همکاری با یکدیگر، می‌توانند یک فرآیند را تحقق ببخشند. این ویژگیهای روش شی‌گرا در مدلسازی، باعث می‌شود که همچنان بتوان به آن به عنوان یک روش قابل تامل در زمینه مدلسازی سلولی نگاه کرد.

در هر دو قسمت، روشهای متفاوتی وجود دارد. در شی‌گرایی، روشهای متفاوتی پیشنهاد شده است که معروفترین آنها را می توان E-Cell را نام برد. E-Cell یک نرم‌افزار است که به صورت شی‌گرا و مستقل از چارچوب، سلول را مدلسازی نموده است. البته در این میان روشهای مبتنی بر مدلسازی UML و مشابه آنها می‌توان نام برد، که به صورت موردی مطرح شده‌اند. اما یک موضوع مشخص میان این روشها مشترک است و آن مفاهیم شی‌گرا در تمام آنهاست. برای پی بردن به نقاط قوت و ضعف این روشها، یک مقایسه کیفی آمده است (جدول۱).

جدول ۱: مقایسه ویژگیهای مدل ریاضی و مدلهای مبتنی بر شی‌گرای[۲]

| ویژگی مدلسازی | مدلهای مبتنی بر مفاهیم ریاضی | مدلهای مبتنی بر شی‌گرایی |
|---|---|---|
| سادگی فهم | پیچیدگی ریاضی دارند | به دلیل استفاده از عناصر مفهومی ساده هستند. |
| قابیت استفاده مجدد | به صورت یک ساز و کار عمومی مطرح نیست. | از اساسی‌ترین موضوعات است. |
| توارث در ساختار مدل | در آن اساسا مطرح نیست | در صورت استفاده از عناصر شی‌گرایی می تواند وجود داشته باشد. |
| سادگی در ساخت | بر اساس سلسله واکنشهای موجود ساخته می‌شوند که کلاسیک است. | یک تجرید مشخص(یعنی شروع از کلاس، شی و سیستم) از آغاز وجود ندارند. |
| نحوه شبیه‌سازی | حل معادلات موجود به روشهای کلاسیک | به دلیل عدم وجود تجرید، روش واحدی وجود ندارد |
| سلسله مراتبی ساختاری | وجود ندارد | می تواند با روابط اشیا ایجاد گردد. |

همانگونه که دیده می‌شود، هر کدام از روشهای مدلسازی مزایا و معایب خود را دارند.

## ۴– نتیجه گیری

شبکه‌های پتری قدرت توصیف بیشتری را در مقایسه با شبکه‌های صف فراهم می نمایند. شبکه‌های پتری یک نمایش گرافیکی و واضح را از سیستم، به همراه یک فرمالیسم ریاضی از آن ارائه می دهد همچنین این شبکه‌ها ارائه دهنده چارچوبی برای تحلیل، اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی می‌باشند.

شبکه‌های پتری ابزاری مناسب برای مدلسازی ریاضی و گرافیکی به حساب می‌آیند. از این ابزار می‌توان برای مدلسازی، توصیف، و تحلیل سیستم‌هایی که دارای ماهیتی همزمان، آسنکرون، توزیع شده، موازی، نامعین، و یا اتفاقی هستند استفاده نمود. در واقع شبکه‌های پتری جزء مدل‌هایی هستند که قادرند به صورت همزمان حالت و عملکرد یک سیستم را نشان دهند. امروزه استفاده از ابزار فوق کاربرد وسیعی پیدا کرده و از آن برای مدلسازی انواع سیستم ها استفاده می‌شود. یکی دیگر از خصوصیات مهم شبکه پتری قابل اجرا بودن آنهاست که از همین خاصیت می‌توان برای ارزیابی رفتار و کارایی یک سیستم بهره جست.

**۵-مراجع**


[۱] مؤتمنی، همایون. "کاربرد روشهای رسمی در درستی یابی و ارزیابی مدلهای UML با استفاده از شبکه های پتری". پایان نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات؛ ۱۳۸۶. ص.۲۴-۲۱.

[۲] طریحی، ع. «بررسی کاربرد شبکه های پتری شی گرا در مدلسازی سلول» پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی.

[3] GossUP.J.E., Peccuod, J., " Quantitative modeling of stochastic systems in molecular biology by using stochastic Petri nets" In Proc. Natl. Acad. Sci. pp. 6750-6755,1998.

[4] Bos, W., "Modeling Biological Systems Using Petri Nets," Department of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Scence. University of Twente, 2008.

[5] R. D. H. A., "Continous and Hybrid Petri Nets", Journal of Circuits, Systems and Computers, vol. 8, pp. 159-188, 1998.

[6] Mutsano, H., etal., "Biopathways Representation and Simulation on Hybrid Functional Petri Net," In Silico Biology, vol.3, 2003.

[7] Lakos, C. "The Object Orientation of Object Petri Nets," Int'l workshop on Object-Oriented and Models of Concurrency, 1995.

[8] Li.C, etal. "On modeling and analyzing signaling pathways with inhibitory interactions based on Petri Net," The 2005 International Joint Conference of InCoB, AASBi and KSBI (BIONFO2005), pp. 348-353, 2005.

[9] Chaouiya, C., "Petri net modeling of biological networks," Brief Bioinformatics, vol. 4,pp210-219, 2007.

[10] Bankhead, A., etal. "Gene knockout experiments to quantify a G2/M genetic network simulation for mammary cancer susceptibility," In Silico Biology, vol. 4, 2006.

[11] Greenwald, I., "LIN-12/Notch signaling: lessons from worms and flies." Genes Dev. Vol. 12, pp1762-1751, 1998.