مجله دانش و توسعه (علمی – پژوهشی)، شماره ۱۵، نیمه دوم سال ۱۳۸۳

مدل‌سازی تخلیه اضطراری با رویکرد شبیه‌سازی موازی

دکتر حامدرضا طارقیان*

چکیده

در این مقاله بدواً نیاز جامعه به یک سیستم جامع مدیریت وضعیتهای اضطراری را توجیه نموده و سپس ساختار یک مدل شبیه‌سازی تخلیه اضطراری را در محیطهای موازی رایانه‌ای مورد بررسی قرار می‌دهیم. مدل را در مورد یک شبکه حمل و نقل فرضی به‌کار می‌گیریم تا قابلیتهای مکانیزم رابط انتقال پیام در محیطهای شبیه‌سازی موازی را بررسی کنیم. چگونگی پیاده‌سازی این مکانیزم را نشان داده و با ارائه نتایج عددی مزیّتها و هزینه‌های پروتکلهای همزمانی مختلف را مقایسه کرده و مناسبت این رویکرد را برای شبیه‌سازی موازی تخلیه اضطراری مورد بحث قرار می‌دهیم.

واژه‌های کلیدی : مدل‌سازی تخلیه اضطراری[1]، شبیه‌سازی موازی[2]، مدل‌سازی و مدیریت بحران.[3]

۱- مقدّمه

بروز برخی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی شرایطی را به‌وجود می‌آورند که بعضاً تخلیه سریع یک منطقه را اجتناب ناپذیر می‌سازند. حوادث طبیعی عمدتاً زمین‌لرزه‌ها (مثل زمین‌لرزه مهیبی که

*- دانشیار دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد

1 -Emergency evacuation modelling
2 -Parallel simulation
3 -Modelling and crisis management

در دی ماه ۱۳۸۲ شهر تاریخی بم را درهم کوبید)، گردبادها (مثل **گردباد اندرو**[1] که در سال ۱۹۹۲ میلادی سواحل شرقی امریکا را درنوردید)، سیلابها (مثل سیل سهمگین سال ۱۳۸۰ شمسی که بخشی از استانهای شمال و شمال شرق ایران را تخریب نمود)، و فوران کوههای آتشفشانی (مثل فوران کوه **آتشفشانی اتنا**[2] در ایتالیا در سالهای ۱۹۹۳ و ۲۰۰۱ میلادی که موجب تخلیه مناطق همجوار گردید) را شامل می‌شوند. هرچند در بروز حوادث طبیعی انسانها نقشی ندارند، امّا جوامع بشری می‌توانند با برنامه‌ریزی از خسارات ناشی از آن بکاهند. بسیاری از سازمانهای ذی‌ربط در کشورهای غربی، در طراحی و تدوین راهبردهای مؤثر برای مقابله با حوادث طبیعی پذیرفته‌اند که تلاش عبث خود را برای حذف و یا کنترل کامل آنها رها کرده و به‌جای آن بیاموزند که چگونه می‌توانند با به‌کاربستن برنامه‌های اضطراری مدوّن با آن زندگی کرده و به مدیریت بحران ایجاد شده بپردازند.

انسانها نیز با اقدامات خود خواسته یا ناخواسته، طی سالها خطرات بالقوه و بالفعل بسیاری را به‌وجود آورده‌اند. از جمله این حوادث غیر طبیعی به انتشار مواد رادیواکتیو از نیروگاههای هسته‌ای (نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل روسیه در سال ۱۹۸۶ میلادی)، و پخش مواد سمی از کارخانجات مواد شیمیایی (کارخانه بوپال هند در سال ۱۹۸۴ میلادی) می‌توان اشاره کرد.

به‌زودی ۵۰ درصد جمعیت جهان در شهرهای بزرگ که کمتر از ۳ درصد سطح کل کره زمین را دربر می‌گیرد، زندگی خواهند نمود. طبق آمار سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، جمعیت شهری ایران از ۴/۱۶ میلیون نفر در سال ۱۳۵۵ به ۸/۳۶ میلیون نفر در سال ۱۳۷۵ افزایش یافته است. پیش‌بینی می‌شود که جمعیت شهری کشور تا سال ۱۳۸۵ به ۴/۵۰ میلیون نفر برسد. این روند صعودی، ضریب شهرنشینی را از ۸/۴۸ به ۳/۶۱ درصد رسانده است. این رشد سریع و بی‌رویه، بیش از هر زمان شهرهای بزرگ را با خطرات طبیعی و غیرطبیعی مواجه ساخته است. تراکم بیش از حد جمعیت، داراییها، تأسیسات زیربنایی و منابع تولیدی و خدماتی در شهرها باعث آسیب‌پذیر شدن تعداد انبوهی از شهرنشینان گردیده است [۱]. به دلیل افزایش جمعیت و گستردگی شهرها اثرات وقوع یک حادثه طبیعی یا غیرطبیعی در یک منطقه به سرعت می‌تواند به مناطق دیگر نفوذ کرده و افراد بی‌شماری را تحت تأثیر خود قرار دهد. با افزایش وابستگی افراد بشر به فن‌آوریهای پیشرفته، ریسک خطرهای غیرطبیعی نیز افزایش می‌یابد. با توجّه به این که چنین خطراتی وجود داشته و ممکن است به بروز حوادث غیرمترقبه منجر شوند، ایجاب می‌کند تا

1 -Hurricane Andrew
2 -Mount Etna

برای مقابله با آنها از آمادگی لازم برخوردار باشیم. از این رو در سالهای اخیر مسؤولان با تمرکز بیشتری در خصوص آسیبهای احتمالی در شهرها برنامه‌ریزی می‌نمایند. در این راستا، مدیریت بحرانهای ناشی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی و نحوه دست‌یابی به یک سیستم جامع و منسجم مدنظر قرار گرفته است.

ایران کشوری حادثه‌خیز است و همه ساله خسارات عمده‌ای از طریق همین حوادث به کشور وارد می‌شود. به عنوان مثال از سال ۱۳۳۰ شمسی تا کنون تعداد ۳۲۸۵ واقعه سیل در کشور رخ داده است که بر اثر آنها هزاران نفر جان خود را از دست داده، تعدادبسیاری واحد مسکونی ویران گشته، صدها هزار هکتار زمین کشاورزی تخریب گردیده و در مجموع خسارات جبران ناپذیری به کشور وارد شده است.

متأسفانه این‌گونه حوادث در کشور ما به رویدادهای کوتاه مدّت تبدیل شده و تا کنون هیچ اقدام مؤثری در جهت تحدید دامنه آنها به عمل نیامده است. مسؤولان ذی‌ربط بیشترین توجّه خود را به امدادرسانی پس از حادثه متمرکز کرده‌اند که آن هم در موارد بسیاری نوشدارو پس از مرگ سهراب بوده است. حوادثی که ما آنها را غیرمترقبه می‌نامیم در دنیای امروز به کمک فنّاوریهای پیشرفته قابل پیش‌بینی و تا حدودی قابل کنترل است و دست‌کم راهکارها و برنامه‌های علمی و عملی مقابله با آنها و کنترل خسارات ناشی از آنها تعریف شده است.

به طور کلّی برای کاهش خسارات ناشی از حوادث غیرمترقبه طبیعی و غیرطبیعی، رویکردهای متفاوتی وجود دارند. موارد زیر از آن جمله‌اند:

کاهش احتمال بروز حوادث غیرطبیعی از طریق طراحیهای مهندسی و فرآیندهای تولیدی دقیقتر و با ضرایب ایمنی گسترده‌تر.

تحدید دامنه نفوذ حوادث غیرمترقبه صنعتی با استقرار واحدهای خطرساز در محیطهایی که از مراکز جمعیتی در فاصله مناسب قرار دارند.

شناخت مناطق حادثه‌خیز و سپس تدوین راهکارها و برنامه‌های اضطراری و آزمون شده‌ای که به هنگام بروز چنین حوادثی برای کمک‌رسانی و احیاناً تخلیه افراد به‌کار گرفته شوند.

مدیریت وضعیت اضطراری حادث شده در زمان واقعی با بهره‌گیری از سیستمهای توانمند رایانه‌ای و مدلهای تصمیم‌یار در محیطهای پیشرفته اطلاعاتی.

بدون تردید توجّه و به‌کاربستن مؤثر هریک از رویکردهای پیش‌گفته احتمال خطرات جانی و مالی ناشی از بروز حوادث غیرمترقبه را کاهش خواهد داد. پس از سیل سهمگین شمال کشور در

دو تابستان اخیر، اندیشه تشکیل یک سازمان مستقل و متولی رسیدگی به حوادث غیرمترقبه به‌نام سازمان بحران شکل گرفت. در صورت تشکیل، چنین سازمانی می‌تواند در مواقع ضروری با توجه به نوع حادثه با سازمان‌دهی و بسیج نیروها و تجهیزات پیش‌بینی شده خود در مناطق حادثه‌دیده حاضر شود و اقدامات لازم را به انجام برساند. قطعاً تشکیل چنین سازمانی می‌تواند بسیاری از مشکلات جاری مدیریت بحران را برطرف نماید. چنین سازمانی باید با تقسیم وظایف خود به برنامه‌های قبل از بحران، وظایف درحین بحران و اقدامات بعد از بحران به تدوین راهبردهای پیش گیرانه پیش‌گیرانه، مدیریت زنده بحران و بالاخره رسیدگی به وضع آسیب‌دیدگان پرداخته و با اجرای برنامه‌های از پیش تدوین شده به هنگام بروز بحران بر آن غلبه کند. این برنامه‌ها حاوی ابعاد مختلفی از قبیل پیش‌گیری، کاهش اثرات، تربیت، آموزش و بازآموزی نیروی انسانی، آماده‌سازی، امدادرسانی، پیشتیبانی و بازسازی است [۱]. سازمان بحران باید در مرحله اوّل به شناخت و دسته‌بندی مناطق حادثه‌خیز از نظر نوع حادثه و جمعیت شناسی بپردازد. نیازهای این مناطق را از نظر نیروها و تخصصها، ماشین‌آلات و سایر تجهیزات و ابزار لازم برای امدادرسانی برآورد نموده و در نواحی استراتژیک مستقر کند. و بالاخره خود را به یک سیستم اطلاعاتی مؤثر و کارآمد که در بطن خود سیستمی رایانه‌ای به منظور مدیریت و کنترل زنده بحران و همچنین هدایت تخلیه اضطراری در صورت لزوم را جای داده است، تجهیز نماید.

هدف اصلی ما در این مقاله شناخت و بررسی نکات عمده مربوط به ساخت یک ابزار نمونه در محیط رایانه‌ای موازی است که در صورت تجهیز بتواند در اداره زنده یک وضعیت اضطراری به مدیریت بحران کمک کند. ادامه مقاله را به صورت زیر ساماندهی کرده‌ایم. در بخش ۲ به بررسی ادبیات موضوع می‌پردازیم. در بخش ۳ توضیحات مختصری در مورد شبیه‌سازی موازی ارائه می‌کنیم. طراحی مدل شبیه‌سازی موازی را در بخش ۴ تشریح می‌کنیم. در بخش ۵ پس از معرفی مشخصه‌های شبکه ترافیکی مفروض، آزمونهای انجام گرفته را بیان می‌کنیم، و بالاخره در بخش پایانی مقاله به ارائه نتایج، بحث و بررسی آنها و نتیجه‌گیری خواهیم پرداخت.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲- پیشینه مدل‌سازی تخلیه اضطراری

توضیح جامعی در مورد رویکردهای به‌کارگرفته شده در ساخت شبیه‌سازهای تخلیه اضطراری را در [۲] می‌توان یافت. به‌طور کلی دو رویکرد **شبیه‌سازی کلان**[1]، و **شبیه‌سازی خرد**[2] در این زمینه وجود دارد. البته در ادبیات موضوع مقالاتی نیز وجود دارند که فرآیند تخلیه اضطراری را در شرایطی مابین دو رویکرد پیش‌گفته شبیه‌سازی می‌کنند. به عنوان مثال، مدل مورد بحث در [۳] به جای شبیه‌سازی رفتار هر وسیله نقلیه، تعدادی از آنها را در یک مجموعه درنظر گرفته و رفتار هر مجموعه را شبیه‌سازی می‌کند.

شبیه‌سازی کلان – در شبیه‌سازهای کلان جابه‌جایی ترافیک به صورت انتقال جریانات سیال فرض شده و لذا بر اساس یک سری معادلات دینامیک سیالات بیان می‌شود. در مدل شبیه‌ساز، این معادلات در فواصل زمانی منظم به روز آورده می‌شوند. عدم نیاز به توان بالای پردازشی امتیاز اصلی این رویکرد است و از این رو در مطالعاتی که باید در زمان واقعی انجام شوند، به‌کار گرفته می‌شوند. ایراد اصلی این رویکرد، فرض تقریبی انگاره جریان سیال برای جا به‌جایی ترافیک است. علاوه بر آن در این مدلها هیچ شیوه‌ای برای شبیه‌سازی اتفاقات تصادفی مثل خراب شدن خودروها پیش‌بینی نشده است. مدلهای زیر از جمله این شبیه‌سازها هستند:

- مدل - NETVACI [4] این مدل بر الگوهای ترافیک که ممکن است در حین تخلیه اضطراری شکل بگیرد، تأکید دارد. از این مدل در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری ناشی از خطرات نیروگاههای هسته‌ای استفاده شده است. مدل NETVACI با استفاده از معادلات ریاضی بیانگر روابط بین جریان ترافیک، سرعت، تراکم خودروها، و طول صفوف در نقاط حساس، فرآیند تخلیه را شبیه‌سازی می‌کند. در انتخاب مسیر، رانندگان خوردوها با مسیرها و وضعیت ترافیکی ایجاد شده به هنگام تخلیه، آشنا فرض شده‌اند.
- مدل - CLEAR [5] عزیمت و تردد خودروها را در یک شبکه ترافیکی بر اساس شرایط و اتفاقات ترافیکی موجود شبیه‌سازی می‌کند. در این مدل، منطقه حادثه‌دیده به چند

1 -Macro simulation
2 -Micro simulation

ناحیه کوچکتر تقسیم می‌شود. جریانهای ترافیکی فقط از مرکز ناحیه بحرانی به مراکز نواحی همجوار صورت می‌گیرد.

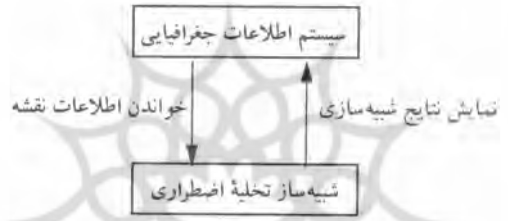
- مدل - [6] MASSVAC یک مدل احتمالی و پویای گمارشی[1] است که برای تحلیل و ارزیابی برنامه‌های مختلف تخلیه اضطراری در مناطق شهری مورد تهدید پدیده‌های طبیعی طراحی شده است. تخصیص مسیرها به خودروها بر مبنای یک روال احتمالی صورت می‌گیرد. در بازنگری و پس از افزودن امکانات گرافیکی، این مدل در ارزیابی برنامه‌های تخلیه اضطراری در جریان سیلابها مورد استفاده قرار گرفت [۷]. مدل REMS ، شبیه‌ساز دیگری است که مبتنی بر شبیه‌ساز MASSVAC است و در مطالعه و بررسی پی‌آمدها و عواقب گردباد اندرو که در سال ۱۹۹۲ میلادی سواحل شرقی امریکا را درنوردید، مورد استفاده قرار گرفت [۸.[

شبیه‌سازی خرد – شبیه‌سازهای خرد برعکس شبیه‌سازهای کلان جزئیات تردد هریک از خودروها را در شبکه ترافیکی شبیه‌سازی می‌کنند. از این رو لازم است تا در شبیه‌سازی به وسیله این مدلها، مشخصه‌های هر یک از وسایل نقلیه از جمله سرعت، مکان جاری، و مسیرهای انتخابی آنها در هر لحظه نگه‌داری و با گذر زمان به روز آورده شود. مشکل عمده این شبیه‌سازها نگه‌داری و به‌روزسازی اطلاعات هزاران، بلکه دهها هزار وسیله نقلیه‌ای است که در شبکه ترافیکی و در شرایط اضطراری تردد می‌کنند. یکی از امتیازهای این نوع شبیه‌سازها امکان شبیه‌سازی موقعیتهای تصادفی مثل خرابی خوردروها و یا رفتار نامعقول رانندگان این خودروها در وضعیتهای بحرانی است. به طور کلی، سرعت اجرای شبیه‌سازهای خرد کند است و برای مدل‌سازی وضعیتهای بحرانی در زمان واقعی بر روی رایانه‌های تک‌پردازنده نامناسب به‌نظر می‌رسند. مدلهای زیر از جمله شبیه‌سازهای خرد هستند:

- مدل - [9] NETSIM یکی از اوّلین شبیه‌سازهایی است که به منظور تدوین برنامه‌های اضطراری وضعیتهای بحرانی مورد استفاده قرار گرفت. بعدها با توسعه بیشتر در مدل‌سازی تردد خودروها در شبکه پیچیده شهری نیز به‌کار گرفته شد [۱۰]. سرعت اجرای مدل اخیر در شبکه‌هایی با بیش از ۱۰۰ تقاطع خیابانی بسیار کند است.

1 -Stochastic dynamic assignment model

- مدل - SNEM [11] این مدل که برای مدل‌سازی تخلیه مناطق نسبتاً کوچک کاربرد دارد، رفتار تخلیه‌شوندگان را در یک منطقه شهری تهدید شده با حوادث غیرطبیعی شبیه‌سازی می‌کند. در حین شبیه‌سازی به منظور ساده‌سازی و کوچک کردن مسأله، فرضیات دیگری نیز منظور می‌شود.
- مدل - CEMPS [2] یک سیستم تصمیم‌یار است که توانمندی تجزیه و تحلیل جغرافیایی یک سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌نام (ARC/INFO) را با قابلیت شبیه‌سازی پویای فرآیند تخلیه ترکیب می‌کند. ساختار کلی این مدل در شکل (۱) نشان داده شده است. سیستم اطلاعاتی جغرافیایی برای ایجاد زیرساختهای شبکه ترافیکی به‌کار گرفته می‌شود. از این رو این مدل برای هر منطقه‌ای که اطلاعات جغرافیایی آن در بانک نرم‌افزاری سیستم اطلاعاتی جغرافیایی وجود داشته باشد، قابل استفاده است. مدل شبیه‌سازی گسسته انتقال افراد و تردد وسایل نقلیه را از منطقه خطر به مناطق امن شبیه‌سازی می‌کند. اندیشه اصلی طراحی این مدل به‌کارگیری آن در ارزیابی طرحهای مختلف تخلیه اضطراری قبل از پیاده‌سازی آنهاست.



شکل ۱ – معماری مدل مورد بحث مرجع [۲].

بدیهی است مدل‌سازی واقعی‌تر فرآیند تخلیه اضطراری تنها به وسیله شبیه‌سازهای خرد امکان‌پذیر است. البته شبیه‌سازی تخلیه هزاران نفر افراد حادثه دیده از یک منطقه وسیع جغرافیایی به کمک رایانه‌های متداول حتی با سرعتهای بالا بسیار کند و زمان‌بر خواهد بود. از این رو به‌کارگیری رایانه‌های تک‌پردازنده در تدوین برنامه‌های اضطراری یا هدایت و کنترل زنده بحران یا آموزش نیروی انسانی درگیر در اداره وضعیتهای بحرانی غیرعملی به نظر می‌رسد. به این دلیل در مقاله حاضر روشهای موازی در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری را مورد بررسی قرار داده و پس از ارائه نتایجی بر روی یک شبکه ترافیکی نمونه، امتیازات و مشکلات این رویکرد را بررسی می‌کنیم .

۳- رایانه‌های موازی

به منظور توانمندتر نمودن رایانه‌های تک‌پردازنده (سری)، سرعت پردازش آنها طی سالها مرتباً افزایش یافته است. شیوه‌هایی از قبیل **جایگذاری حافظه**[1] ، **حافظه انباره**[2] و **تکنیک لوله‌ای**[3] روشهایی هستند که معمولاً برای ارتقای سرعت پردازش رایانه‌های سری مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته افزایش سرعت پردازشگرهای سری به کمک این روشها، در نهایت به سرعت نور محدود است و چنین به‌نظر می‌رسد که عملکرد پردازشگرهای سری نیز در حال نزدیک شدن به این سقف است [۱۲]. یک راه برای ارتقای سرعت پردازش، به‌کارگیری چندین پردازشگر و حافظه مرتبط به‌هم است. نرخ پردازش چنین سیستمی معمولاً با افزایش تعداد پردازشگرها و تعداد حافظه‌ها افزایش می‌یابد. بدیهی است این پردازشگرها باید به‌گونه‌ای با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. به طور کلی برای این منظور، دو رویکرد **انتقال پیام**[4] یا **حافظه توزیع شده**[5] و **اشتراک حافظه**[6] وجود دارد. در شیوه اوّل هر پردازشگر تنها به حافظه اختصاص یافته به خود دسترسی داشته و هرگونه تعاملی بین پردازشگرها به‌وسیله تبادل پیام صورت می‌گیرد. در روش دوم علی‌رغم آن که هر پردازشگر ممکن است فضای حافظه خاص خود را داشته باشد ولی فضایی از حافظه به صورت اشتراکی بین پردازشگرها وجود دارد که هریک امکان نوشتن و خواندن از آن فضا را دارند و از این طریق با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند.

مدل شبیه‌سازی مورد بحث مقاله حاضر رویکرد انتقال پیام را برای تعامل پردازشگرها به‌کار می‌گیرد. مدل با به‌کارگیری کنترل موازی، برای اجرا تحت معماری **چند دستورچند داده**[7] طراحی شده است (برای توضیحات تفصیلی در مورد مفاهیم مقدماتی پردازش موازی به مرجع مثلاً [۱۲] مراجعه کنید). به‌جای استفاده از کامپایلرهای خاص، مکانیزم کنترل موازی به وسیله رویکرد انتقال پیام صریحاً در مدل شبیه‌سازی برنامه‌نویسی شده است. بنابراین، برنامه شبیه‌سازی مجموعه‌ای از چندین فرآیند پردازشی با متغیرهای صرفاً محلی است. به عبارت دیگر، حافظه

1 -Memory interleaving
2 -Cache memory
3 -Pipe-lining
4 -Message passing
5 -Distributed memory
6 -Shared address space
7 -MIMD - Multiple Data Stream ,Multiple Instruction Stream

مشترکی بین فرایندهای پردازشی وجود ندارد و تبادل داده بین فرآیندهای پردازشی فقط از طریق انتقال پیام صورت می‌گیرد.

۴- شبیه‌سازی گسسته موازی

شبیه‌سازی گسسته، فرآیند تجزیه و تحلیل یک سیستم واقعی یا یک سیستم پیشنهادی است که به صورت مجموعه‌ای از فرآیندهای پردازشی متعامل مدلسازی می‌شود [۱۳]. هریک از این فرآیندها جزئی از سیستم واقعی را مدلسازی می‌کنند. فرآیندهای پردازشی در مدل شبیه‌ساز، فرآیندهای منطقی و اجزای سیستم واقعی، فرآیندهای فیزیکی نامیده می‌شوند. تعامل بین فرآیندهای فیزیکی به وسیله تعامل بین فرآیندهای منطقی شبیه‌سازی می‌شود. یک فرآیند محاسباتی بر اجرای شبیه‌سازی گسسته که دنباله‌ای از وقایع بوقوع پیوسته در سیستم واقعی را شبیه‌سازی می‌کند، حاکم است. علاوه بر آن حفظ و به‌هنگام‌سازی وضعیت سیستم در گذر زمان نیز برعهده این فرآیند محاسباتی است .

در شبیه‌سازیهای مبتنی بر الگوریتمهای سری، سرعت اجرا بعضاً مشکل‌زاست، زیرا یک اجرا ممکن است نیازمند ساعتها بلکه روزها زمان پردازش بر روی پردازشگرهای تک پردازنده باشد. در شبیه‌سازی موازی که تعدادی پردازشگر به اجرای همزمان فرآیندهای منطقی می‌پردازند، مشکل سرعت تا حد بسیاری برطرف گردیده است. البته طراحی و ساخت مدلهای شبیه‌سازی موازی مستلزم رعایت نکات چندی است که اهم آنها را در زیر بررسی می‌کنیم.

نکات اساسی در شبیه‌سازی موازی - شبیه‌سازی گسسته موازی بر روی کامپیوتری اجرا می‌شود که امکان محاسبات موازی را فراهم می‌آورد. این توازی ممکن است به وسیله یک مجموعه محاسباتی حاوی چندین پردازشگر و یا به وسیله شبکه‌ای از رایانه‌های متصل به هم ایجاد شود. شبیه‌سازی گسسته توزیع شده در محیط شبکه‌ای قادر به تبادل پیام صورت می‌گیرد و با تقسیم شبیه‌سازی مابین پردازشگرها، موجب کاهش زمان اجرای شبیه‌سازی می‌شود. از این رو در چنین محیطهایی امکان شبیه‌سازی طولانی‌تر سیستمهای پیچیده‌تر و بزرگتر فراهم می‌گردد. در شبیه‌سازی توزیع شده یا موازی، چندین فرآیند محاسباتی فعال وجود دارد که هریک ناظر بر شبیه‌سازی یکی از فرآیندهای پردازشی منطقی است. به عبارت دیگر، هر فرآیند محاسباتی حاکم بر شبیه‌سازی وقایع متناظر با یک فرآیند فیزیکی است و وضعیت فرآیند منطقی مربوطه را حفظ و در گذر زمان به‌هنگام می‌نماید. دو فرآیند محاسباتی در صورت تعامل بین فرآیندهای منطقی

ذی‌ربط باید با یکدیگر ارتباط داشته باشند، و این در صورتی است که بین دو فرآیند فیزیکی متناظر نیز تعامل وجود داشته باشد (برای مطالعه بیشتر به [۱۴] مراجعه کنید). در طراحی یک مدل شبیه‌سازی موازی نکات مهمّی را باید منظور کنیم که اهم آنها به‌شرح زیرند:

همزمانی - فرض کنید در مدل شبیه‌سازی موازی، فرآیند منطقی LPi با ساعت محلی ti)یعنی در فرآیند منطقی LPi، tiواحد زمانی سپری شده است) بیانگر فرآیند فیزیکی i باشد. برای انطباق زمان رخداد وقایع در مدل شبیه‌سازی با زمان رخداد وقایع در سیستم واقعی وجود یک مکانیزم همزمانی ضروری است. اگر مدل شبیه‌ساز با رویکرد انتقال پیام طراحی شده باشد، آن‌گاه این پیامها هریک دارای مشخصه زمانی هستند (زمانی که فرآیند ارسال‌کننده درخواست آغاز پردازش از فرآیند دریافت کننده دارد). دو فرآیند را درنظر بگیرید: یک فرآیند دریافت کننده LPjبا ساعت محلی tj و یک فرآیند ارسال کننده LPk که در زمان tk پیامی ارسال می‌دارد. فرآیند دریافت کننده LPj یا باید عملکردش را به‌گونه‌ای تنظیم کند که ساعت محلی‌اش، tj هیچ‌گاه بزرگتر از tk نشود، یا هر زمان که ساعت محلی‌اش tj از هر tk تجاوز کرد، دست به اقدامات اصلاحی محلی بزند. به هرحال هر فرآیند پردازشی منطقی باید قاعده کلی شبیه‌سازی یعنی وقایع باید برمبنای زمان غیرنزولی پردازش شوند را رعایت کند.

اجتناب از بن‌بست - در شبیه‌سازی موازی، بن‌بست هنگامی رخ می‌دهد که یک فرآیند منطقی منتظر دریافت پیام از فرآیندی است که خود منتظر دریافت پیام از فرآیند اوّلی است. البته فرآیندهای به بن‌بست رسیده ممکن است به صورت غیرمستقیم نیز به یکدیگر پیوند خورده باشند. به هر حال وجود مکانیزمی برای کشف و رفع بن‌بستها در شبیه‌سازی موازی ضروری است.

افراز فرآیندهای فیزیکی به فرآیندهای منطقی - فرآیندهای فیزیکی را به راههای مختلف می‌توان به فرآیندهای منطقی افراز نمود. در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری، معمولاً توازی منطقه جغرافیایی به‌کار گرفته می‌شود. با استفاده از این رویکرد، شبکه جاده‌ای به چندین زیرشبکه مرتبط به هم تقسیم شده و هر زیرشبکه به یک فرآیند منطقی تخصیص داده می‌شود. خاطر نشان می‌کنیم که روشهای دیگری نیز برای این منظور وجود دارد [۱۵]. به این ترتیب، در یک زمان، شبیه‌سازی چندین شبکه جاده‌ای مرتبط به‌هم ولی نسبتاً مستقل در حال اجراست.

توازن بار پردازشگرها - از آن‌جاکه در طول شبیه‌سازی همواره باید همزمانی حفظ گردد، سرعت واقعی شبیه‌سازی موازی، تابعی از کندترین فرآیند منطقی خواهد بود. بنابراین، چنانچه

یک پردازشگر بار کاری بیشتری نسبت به سایر پردازشگرها داشته باشد، سرعت اجرای شبیه‌سازی را کندتر خواهد کرد. از این رو توازن بار کاری بین پردازشگرها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و در افراز فرآیندهای فیزیکی به منطقی باید لحاظ گردد.

رویکرد محافظه‌کارانه یا خوشبینانه – روشها یا پروتکلهایی که به منظور ایجاد همزمانی و پیش‌گیری از بن‌بست به‌کار گرفته می‌شوند به دو دسته **محافظه‌کارانه**[1] و **خوشبینانه**[2] تقسیم می‌شوند [۱۶]. ساده‌ترین روش محافظه‌کارانه **قفل‌زمان**[3] است. برطبق این روش هیچ فرآیند منطقی به شبیه‌سازی وقایع داخلی خود نمی‌پردازد مگر آن که اطمینان حاصل کند که پیامی از فرآیندهای دیگر با مشخصه زمانی کوچکتر از مشخصه زمانی واقعه بعدی محلی خود، دریافت نمی‌دارد. به این ترتیب، هرگام شبیه‌سازی در این روش با سرعت کندترین فرآیند منطقی به‌پیش می‌رود و عملاً اجرای شبیه‌سازی را کند می‌کند. مشکل دیگر، بروز وضعیت بن‌بست است که باعث می‌شود یک فرآیند منطقی در انتظار برای دریافت پیام از فرآیندهای دیگر که هرگز نمی‌رسند، به شبیه‌سازی وقایع محلی خود نپردازد. برای پیش‌گیری وضعیت اخیر، فرآیندهای منطقی غیرفعال (فرآیندهایی که پیامی برای انتقال ندارند) **پیام پوچ**[4] به سایر فرآیندهای منطقی فعال می‌فرستند تا آنها بتوانند با اطمینان شبیه‌سازی وقایع محلی را دنبال کنند [۱۶].

رویکردهای محافظه‌کارانه دارای دو مشکل اساسی هستند. اولاً سرعت اجرایی آنها پایین است، زیرا کندترین فرآیند مبین سرعت اجرای شبیه‌سازی است. ثانیاً در شرایطی که هیچ واقعه‌ای در یکی یا تعدادی از پردازشگرها به‌وقوع نمی‌پیوندد، امکان غرق شدن پردازشگر با پیامهای پوچ وجود دارد. سربار پردازشی پیامهای پوچ می‌تواند سرعت پردازش را بازهم کندتر کند. یک راه برای رفع این مشکلات استفاده از پنجره زمانی است که برطبق آن فرآیندهای منطقی می‌دانند که تا انتهای **پنجره زمانی**[5] می‌توانند با اطمینان به شبیه‌سازی وقایع محلی بپردازند. پیاده‌سازی پنجره زمانی به شناخت شبیه‌ساز از سیستم واقعی بستگی دارد.

برخلاف رویکرد محافظه‌کارانه، در شبیه‌سازی موازی مبتنی بر رویکرد خوشبینانه هر پردازشگر با بالاترین سرعت ممکن به پیش رفته و به شبیه‌سازی وقایع محلی خود می‌پردازد. از این رو ممکن است برخی از به روزسازیها به غلط انجام شده باشد (زیرا کلیه اطلاعات لازم در

---

1 -Conservative
2 -Optimistic
3 -Time lock
4 -Null message
5 -Time windowing

دسترس نبوده است). وقتی چنین اتفاقی می‌افتد، فرآیندها با ارسال **ضدپیام**[1] به منظور خنثی‌سازی به روزسازیهای نادرست، ساعتهای محلی خود را به زمان آخرین وضعیت منطبق بر اطلاعات جدید عقب می‌کشند. در پیاده‌سازی این رویکرد که با نام **انحراف‌زمان**[2] نیز شناخته می‌شود، هرفرآیند منطقی باید رکوردی از وقایع اخیری که شبیه‌سازی کرده نگه‌داری کند تا در صورت لزوم، بتواند تأثیرات وقایع نادرست شبیه‌سازی شده را، خنثی نماید. رویکرد انحراف‌زمان می‌تواند در مقایسه با رویکرد قفل‌زمان سریعتر عمل کند، به شرط آن که عقب‌کشیدن ساعتها به‌ندرت لازم شده و نیاز به‌نگه‌داری وضعیتهای قبلی، اجرای معمولی شبیه‌سازی را تحت‌الشعاع خود قرار ندهد.

در الگوریتمهای انحراف‌زمان هر فرآیند منطقی با دریافت پیام از سایر فرآیندها و تا زمان کشف خطا به شبیه‌سازی وقایع محلی خود پرداخته و به تبع آن ساعت محلی‌اش را به پیش می‌برد. خطا وقتی کشف می‌شود که یک پیام معوّق دریافت گردد. **پیام معوّق**[3] پیامی است که مشخصه زمانی آن کوچکتر از ساعت محلی فرآیند دریافت کننده باشد. دریافت چنین پیامی به وسیله یک فرآیند منطقی، کلیه اقداماتی را که این فرآیند در حد فاصل زمان پیام معوّق تا ساعت محلی‌اش شبیه‌سازی کرده، عملاً نامعتبر می‌سازد. بنابراین با دریافت یک پیام معوّق، محاسبات باید از یک نقطه زمانی سپری شده و از یک وضعیت عاری از خطا که قبلاً ضبط و ثبت گردیده، مجدداً انجام شود. ضبط وضعیتها و مکانیزمهای بازگشت به زمان، همزمانی تلویحی فرآیندهای منطقی را به‌وجود می‌آورد.

۵- مدل شبیه‌سازی موازی

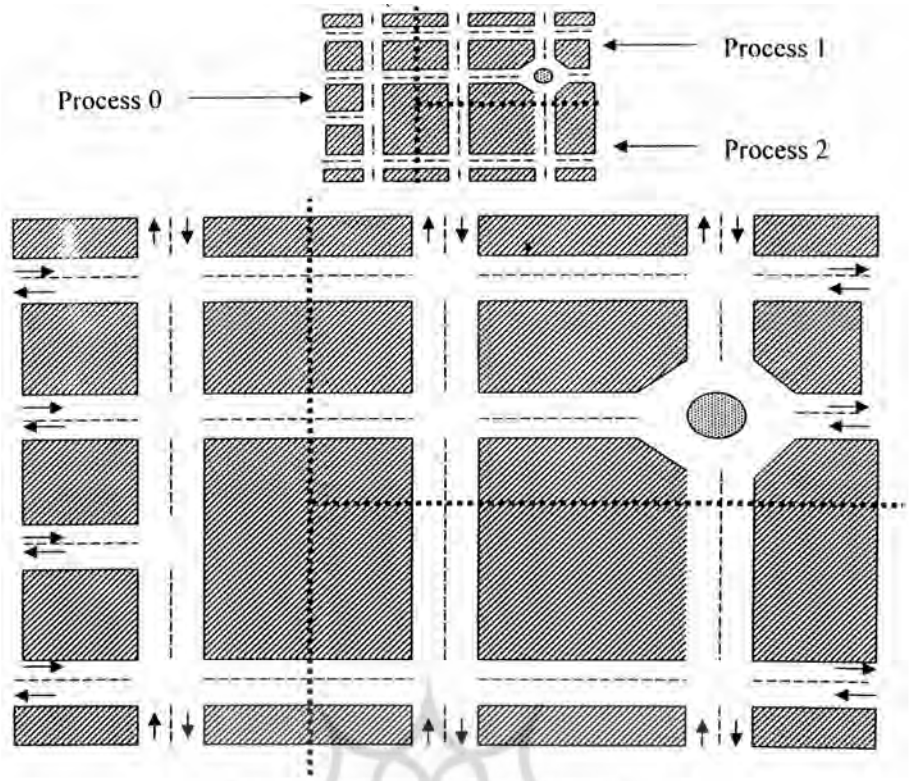
شبکه جاده‌ای - شکل (۲) شبکه جاده‌ای ساده‌ای را که در این مقاله شبیه‌سازی شده است نشان می‌دهد. شبکه شکل ۲ واقعی نیست امّا حاوی ویژگیهایی است که در اکثر سیستمهای جاده‌ای وجود دارند. این شبکه به عنوان ابزاری برای بررسی قابلیت بالقوه شبیه‌سازی در زمان واقعی (یا نزدیک به زمان واقعی) در جریان یک تخلیه اضطراری به‌کار گرفته شده است. ما در این مقاله برخلاف مدل [۲] که اطلاعات جاده‌ای را مستقیماً از یک سیستم اطلاعات جغرافیایی دریافت می‌کند، از این رویکرد استفاده نکرده‌ایم زیرا در محیط موازی مورد استفاده، امکان

1 -Anti-message
2 -Time warp
3 -Straggle message

به‌کارگیری چنین سیستمی میسّر نبود. از این رو شبکه جاده‌ای شکل (۲) را در مدل شبیه‌سازی برنامه‌نویسی کرده‌ایم.

همان طور که از شکل (۲) مشهود است، شبکه جاده‌ای به سه منطقه تقسیم شده است. در حین شبیه‌سازی، در هریک از سه منطقه خودروها به تصادف از مبادی ورود به منطقه وارد می‌شوند. هریک از خودروها یکی از خروجیهای منتهی به ناحیه امن را در یکی از دو منطقه دیگر به تصادف انتخاب می‌کند. هر خودرو مسیر خود از مبدأ تا مقصدش را به صورت پویا و با توجّه به سنگینی یا سبکی ترافیک در شبکه جاده‌ای انتخاب می‌کند. اتفاقات تصادفی مثل خرابی خودرو که قسمت رفت یا برگشت جاده مربوطه را برای مدّتی اشغال و باعث بروز ترافیک در آن مسیر می‌شود، نیز شبیه‌سازی می‌گردد. در طی مسیر و در مواقع لازم (مثلاً ورود خودرو به میدان) مقررات راهنمایی و رانندگی در حرکت خودروها اعمال می‌شود. چراغهای فرمانده در چهار راهها به صورت هوشمند عمل می‌کنند، یعنی با توجّه به تعداد خودرو منتظر در هر مسیر زمان خود را تنظیم می‌کنند. در صورت ترافیک سنگین در هر دو جهت تقاطع، پس از گذشت یک مدّت ثابت، تعویض چراغ صورت می‌گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲ – شبکه جاده‌ای مورد استفاده در شبیه‌سازی.

سیستم کامپیوتری موازی – محیط سخت‌افزاری مورد استفاده این مقاله، سیستم SGI Origin 2000متعلق به آزمایشگاه رایانه موازی دانشگاه منچستر انگلستان است که حاوی ۴۰ پردازشگر Origin 2000 با اوج عملکرد 16 Gflops می‌باشد. سیستم یاد شده که تحت نسخه‌ای از **سیستم عامل یونیکس**[1] کار می‌کند، امکان برنامه‌نویسی با رویکرد انتقال پیام یا اشتراک حافظه را فراهم می‌آورد .

در مدل شبیه‌سازی مقاله حاضر، سخت‌افزار موجود را به کمک نرم‌افزار **رابط انتقال پیام**[2] و بدون اشتراک حافظه و با دسترسی مستقیم بین پردازشگرها به‌کار گرفته‌ایم. به عبارت دیگر، همکاری بین پردازشگرها فقط از طریق انتقال پیام میسّر است. نرم‌افزار رابط انتقال پیام که حاوی کتابخانه‌ای از زیرروالهایی به زبان سی یا فرترن است، اوّلین تلاش برای استانداردکردن انتقال پیام

1 -Unix operating system
2 -Message Passing Interface-MPI

در محیطهای موازی است. برای استفاده از این نرم‌افزار، مدل شبیه‌سازی را ناگزیر به زبان سی برنامه‌نویسی کرده‌ایم.

به‌کارگیری الگوی انتقال پیام و به‌ویژه نرم‌افزار رابط انتقال پیام تلویحاً مبین این واقعیت است که هر پردازشگر بر روی یک برنامه سری محلی عمل می‌کند. این برنامه‌های محلی می‌توانند برنامه‌های متفاوت و یا کپی یک برنامه باشند. در محیط نرم‌افزار رابط انتقال پیام، بارسازی یک برنامه قابل اجرا در کلیه پردازشگرها ضروری است. البته هر پردازشگر، تعدادی تابع منحصر به‌فرد را نیز به اجرا می‌گذارد. به این ترتیب مدل شبیه‌سازی جاری را با رویکرد چند دستور چند داده طراحی و اجرا کرده‌ایم.

سازمان‌دهی مدل شبیه‌سازی موازی - مدل شبیه‌سازی موازی، مکانیزم قفل‌زمان را به همراه پنجره زمانی به‌کار می‌گیرد. طول پنجره زمانی تابعی از فاصله نزدیکترین خودرو به مرزهای مناطق تعیین شده در شبکه جاده‌ای است. هریک از سه منطقه شبکه جاده‌ای به عنوان یک فرآیند پردازشی منطقی درنظر گرفته شده و عملیات مربوط به آن به وسیله یک پردازشگر شبیه‌سازی می‌شود. استفاده از شبکه جاده‌ای ساده فقط به منظور ارزیابی عملکرد رویکردهای متفاوت همزمانی است. تردد خودروها در هر منطقه مستقل از یکدیگر انجام می‌شود، دو فرآیند منطقی فقط به هنگام نزدیک شدن یک خودرو به مرز مناطق مذکور جهت عبور به منطقه دیگر نیاز به ارتباط دارند.

در پیاده‌سازی روش همزمانی پیام پوچ، هر فرآیند منطقی مشخصه زمانی واقعه محلی بعدی خود را در قالب یک پیام به سایر فرآیندها ارسال می‌کند. کوچکترین مشخصه زمانی دریافت شده به وسیله هر فرآیند، افق زمانی مطمئنی است که آن فرآیند می‌تواند شبیه‌سازی عملیات محلی خود را دنبال کند. این خود، عدم دریافت پیام معوّق را تضمین می‌کند [۱۷]. به منظور اجتناب از بن‌بست، سعی کرده‌ایم تا چرخه‌ای که در آن مجموع افزایش مشخصه زمانی پیامهای در حال گذر بین فرآیندهای منطقی صفر باشد، نداشته باشیم.

پیامهای پوچ برحسب تقاضا و همچنین پنجره زمانی به صورت زیر پیاده‌سازی شده‌اند:

```
Repeat Until <simulation complete>          (فرض شده n فرایند منطقی وجود دارند)
{
   If <end of process_i> then
      report to process_j  (j = 1, .., n ; j ≠ i);
      stop.
   Else Repeat Until <local-simu-clock_i = safe_time_i  (i = 1, .., n)>
        Simulate;
   Send a request for new time window to the other processes;
   Receive safe_time_j sent by the process_j (j = 1, .., n ; j ≠ i).
   Safe_time_i = Min {safe_time_j}  (j = 1, .., n ; j ≠ i), (i = 1, .., n).
```

هر فرآیند منطقی پنجره زمانی و زمان ورود خودرو به مرز منطقه مربوط به خود با سایر مناطق را براساس اطلاعاتی که از چگونگی شبیه‌سازی به دست می‌آورد، محاسبه و در اختیار سایر فرآیندهای منطقی قرار می‌دهد.

به دلیل تعداد قلیل وقایع متمایز در سیستم، مدل شبیه‌سازی براساس رویکرد پردازش وقایع ساخته شده است [۱۸]. مدل شبیه‌سازی یک مدل شبیه‌ساز خرد است که در آن سفر هر خودرو شبیه‌سازی می‌شود. سه دسته شیء داده‌ای به‌نامهای جاده، خودرو و علایم راهنمایی در مدل وجود دارند. این اشیاء به کمک دو ساختار پویای مرتبط به‌هم در مدل برنامه‌نویسی شده‌اند. حرکت خودروها در طول جاده‌ها و خیابانها مبتنی بر شیوه خودرو بعدی [۱۵] است. در هر تقاطع، هر خودرو نزدیکترین مسیر را به مقصد نهایی‌اش انتخاب می‌کند.

تحت پروتکلهای متفاوت همزمانی پیامهای متفاوتی بین پردازشگرها مبادله می‌شوند. برای مثال، در شبیه‌سازی جاری و تحت پروتکل پیام پوچ برحسب تقاضا به همراه پنجره زمانی، چهار نوع پیام به شرح زیر مبادله می‌شوند:

- درخواست برای محاسبه و ارسال پنجره زمانی جدید.
- ارسال پنجره زمانی محاسبه شده به پردازشگر متقاضی.
- انتقال رکورد اطلاعاتی مربوط به خودروها بین پردازشگرها.
- تبادل اطلاعات مربوط به اجرا و انقضای شبیه‌سازی، مثلاً ارسال تعداد سفرهای شبیه‌سازی شده توسط هر پردازشگر به منظور تعیین خاتمه شبیه‌سازی.

هر فرآیند منطقی دارای **بافری**[1] با نظم صف است که پیامهای دریافت شده را در خود نگه‌داری می‌کند. وجود بافر امکان بررسی پیامها قبل از پردازش آنها را میسّر می‌سازد. پروتکل پیام پوچ به دو شیوه پیاده‌سازی شده است. در شیوه اوّل با نام پروتکل I به ازای هر نوع پیام، بافری با اندازه مناسب پیام در نظر گرفته شده است. در این شیوه، برای بررسی محتوای پیام قبل از قرارگرفتن در بافر مربوطه، از **زیرروالهای بازرسی غیربلوک شده رابط انتقال پیام**[2] استفاده می‌شود. در شیوه دوم با نام پروتکل II از زیرروالهای بررسی محتوی پیام استفاده نمی‌شود. در این شیوه، بافری به حجم بزرگترین بافر مورد نیاز درنظر گرفته شده و پس از دریافت هر پیام اقدامی به تناسب پیام صورت می‌گیرد.

۶- بررسی نتایج اجرا و نتیجه‌گیری

نتایج اجرای مدل شبیه‌سازی موازی بر روی سیستم Origin 2000 در جدولهای ۱ و ۲ و شکلهای ۳ و ۴ نشان داده شده است. در این جدولها سه پردازشگر به ترتیب ۰، ۱ و ۲ نامیده شده‌اند.

تأثیر پروتکلهای پیام پوچ - روش همزمانی محافظه‌کارانه پیام پوچ را به صورت سه پروتکل زیر مورد بررسی قرار داده‌ایم:

I پیام پوچ با استفاده از زیرروالهای بازرسی غیربلوک شده رابط انتقال پیام.

II پیام پوچ با بافرهای بزرگ و بدون استفاده از زیرروالهای بازرسی غیربلوک شده رابط انتقال پیام.

III پیام پوچ برحسب تقاضا به همراه پنجره زمانی.

با توجّه به جدول (۱) واضح است که تحت پروتکل III زمان اجرا به مراتب کمتر از دو پروتکل دیگر است. با بررسی جدولهای ۱ و ۲ دو دلیل برای این وضعیت می‌توان ارائه کرد. اوّلاً تحت پروتکل III بایت کمتری بین پردازشگرها تبادل شده است. البته زمان کوتاهتر تنها ناشی از تعداد کمتر بایت منتقل شده نیست. چرا که با مراجعه به جدول (۲) مثلاً به ازای تعداد ۲۰۰۰ سفر تعداد بایت مبادله شده بین پردازشگرها به‌ترتیب ۴/۱۵، ۱۱۳ و ۱/۰ مگابایت است. نسبت بایت منتقل شده تحت پروتکل I به پروتکل II تقریباً ۷~۱ است، در حالی که نسبت سرعتهای اجرا

1 -Buffer
2 -MPI non-blocking probing routines

تحت دو پروتکل پیش‌گفته ۵~۱ است. با بررسی مؤلفه‌های تشکیل دهنده زمان اجرا، مشخص می‌شود که تحت پروتکل I حدود ۸۴ درصد کل زمان اجرا، صرف پردازش زیرروالهای بازرسی غیربلوک شده رابط انتقال پیام شده است. از این رو به‌کارگیری این زیرروالها در این نوع شبیه‌سازی توصیه نمی‌شود. این در حالی است که استفاده از پنجره زمانی از نظر اجرایی مفید است

چنان که گفته شد چگونگی سفرها و انتخاب مسیرها پویاست و به شرایط ویژه‌ای که در حین شبیه‌سازی به‌وجود می‌آید بستگی دارد. با توجّه به این که سرعت کلی شبیه‌سازی را کندترین پردازشگر تعیین می‌کند، متوازن نمودن بار کاری پردازشگرها معقول و منطقی به‌نظر می‌رسد. برای این منظور در شبیه‌سازی جاری از تعداد مبادی سفرها برای متوازن کردن بار پردازشگرها استفاده کرده‌ایم. از این رو زمان اجرا در هر سه پردازشگر تقریباً مساوی است که خود نشانه‌ای از متوازن بودن بار کاری پردازشگرهاست.

جدول (۱) زمان اجرای هر پردازشگر (برحسب ثانیه.(

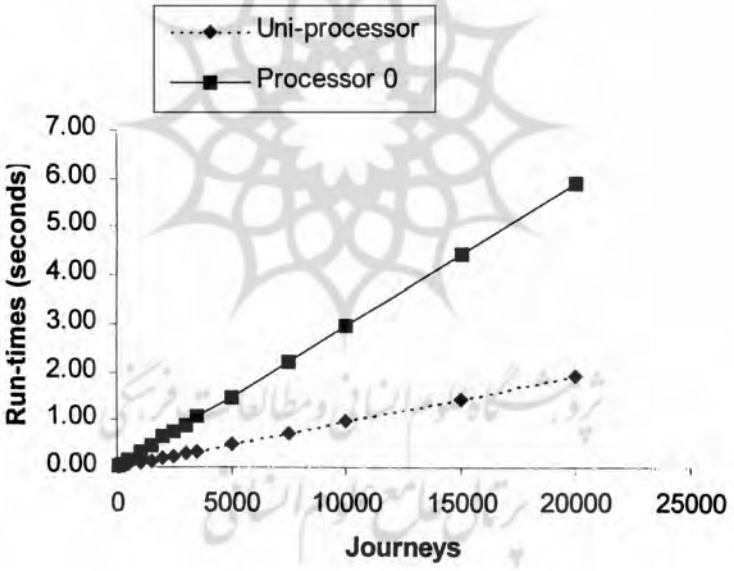
تعداد سفرها	پردازشگر ۰ پروتکلها I	II	III	پردازشگر ۱ پروتکلها I	II	III	پردازشگر ۲ پروتکلها I	II	III
۱۰۰	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۰۴
۲۰۰	۰/۹۲	۰/۶۵	۰/۰۷	۰/۹۲	۰/۶۵	۰/۰۷	۰/۹۲	۰/۶۵	۰/۰۷
۵۰۰	۷/۳۷	۳/۶۵	۰/۱۶	۷/۳۷	۳/۶۴	۰/۱۸	۷/۳۷	۳/۶۴	۰/۱۸
۱۰۰۰	۴۷/۲۲	۱۴/۶۰	۰/۳۲	۴۷/۲۲	۱۴/۶۰	۰/۳۳	۴۷/۲۲	۱۴/۶۰	۰/۳۳
۱۵۰۰	۱۴۵/۸۷	۳۴/۰۵	۰/۴۶	۱۴۵/۸۷	۳۴/۰۷	۰/۴۷	۱۴۵/۸۷	۳۴/۰۷	۰/۴۷
۲۰۰۰	۳۲۳/۳۷	۶۲/۲۵	۰/۶۴	۳۲۳/۳۷	۶۲/۲۶	۰/۶۵	۳۲۳/۳۷	۶۲/۲۶	۰/۶۵
۲۵۰۰			۰/۷۵			۰/۷۹			۰/۶۵
۳۰۰۰			۰/۸۹			۰/۹۲			۰/۹۲
۳۵۰۰			۱/۰۷			۱/۱۰			۱/۱۰
۵۰۰۰			۱/۴۸			۱/۵۱			۱/۵۲
۷۵۰۰			۲/۲۰			۲/۲۶			۲/۲۶
۱۰۰۰۰			۲/۹۵			۳/۰۰			۳/۰۰
۱۵۰۰۰			۴/۴۲			۴/۵۰			۴/۵۰
۲۰۰۰۰			۵/۹۰			۵/۹۸			۵/۹۸

بار پردازشگرها – همان‌طور که از جدول ۱ مشهود و مورد انتظار است کل زمان اجرای هریک از سه پردازشگر شبیه به یکدیگر است، زیرا اولاً نوع وقایع شبیه‌سازی شده به وسیله هر پردازشگر یکسان است و علاوه بر آن سعی شده تا پردازشگرها بار کاری متوازن داشته باشند. جدول حاوی زمانهای سپری شده برای انجام تعداد مشخصی سفر (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰۰) از مبادی تا

مقاصد تعیین شده می‌باشد. خودروها مسیر خود را تا مقصد به صورت پویا انتخاب می‌کنند. این انتخاب عمدتاً تابعی از وضعیت ترافیک موجود در هرلحظه در شبکه است.

جدول (۲) کیلوبایت مبادله شده بین پردازشگرها تحت سه پروتکل.

تعداد سفرها	پردازشگر ۰ پروتکلها			پردازشگر ۱ پروتکلها			پردازشگر ۲ پروتکلها		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
۱۰۰	۵	۳۵۹	۵	۴۶	۳۵۸	۶	۴۷	۳۶۰	۷
۲۰۰	۱۷۸	۱۳۷۳	۱۰	۱۷۹	۱۳۷۸	۱۳	۱۷۸	۱۳۷۶	۱۳
۵۰۰	۱۰۲۳	۷۸۷۰	۲۶	۱۰۲۵	۷۸۷۵	۳۰	۱۰۲۴	۷۸۶۴	۳۲
۱۰۰۰	۳۹۵۳	۳۰۷۸۳	۵۱	۳۹۵۵	۳۰۷۸۷	۶۰	۳۹۵۵	۳۰۷۶۹	۶۴
۱۵۰۰	۸۶۷۸	۶۷۴۳۵	۷۹	۸۶۸۴	۶۷۴۶۳	۹۱	۸۶۸۱	۶۷۴۵۷	۹۷
۲۰۰۰	۱۵۴۵۰	۱۱۳۰۵۴	۱۰۳	۱۵۴۵۹	۱۱۳۰۸۸	۱۲۴	۱۵۴۵۱	۱۱۳۰۸۴	۱۲۷
۲۵۰۰			۱۲۹			۱۴۸			۱۵۶
۳۰۰۰			۱۵۱			۱۷۷			۱۹۰
۳۵۰۰			۱۷۹			۲۱۹			۲۲۷
۵۰۰۰			۲۵۶			۳۰۳			۳۱۵
۷۵۰۰			۴۷۰			۴۵۲			۴۷۰
۱۰۰۰۰			۵۰۷			۶۱۰			۶۴۳
۱۵۰۰۰			۷۶۶			۹۱۱			۹۵۷
۲۰۰۰۰			۱۲۱۴			۱۲۱۴			۱۲۷۱



شکل ۳ - زمانهای اجرا بدون پردازش اضافی.

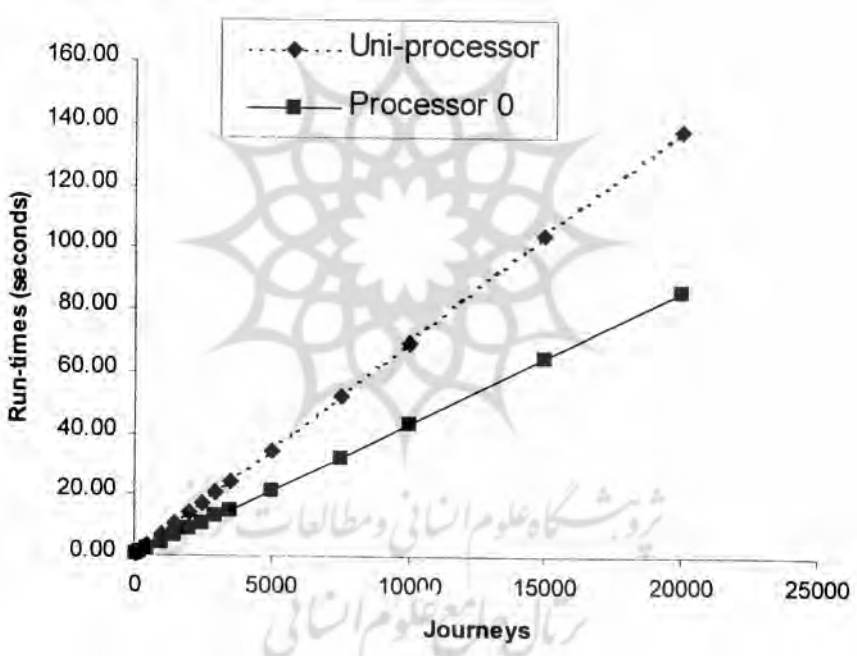
مقایسه با شبیه‌سازی تک پردازنده - در این بخش عملکرد شبیه‌سازی موازی با سه پردازشگر را با شبیه‌سازی تک‌پردازنده مقایسه می‌کنیم. برای این منظور فقط یک پردازنده را با فایل اجرایی برنامه بار کرده و آن را وامی‌داریم تا به‌جای پردازش داده‌های یک منطقه، داده‌های مربوط به کل شبکه جاده‌ای را پردازش کند. شکل (۳) زمان اجرای شبیه‌سازی تک پردازنده و همچنین پردازنده ۰ از شبیه‌سازی سه پردازنده را به ازای تعداد متفاوت سفر نشان می‌دهد. واضح است که شبیه‌سازی تک‌پردازنده به‌مراتب سریعتر از شبیه‌سازی موازی اجرا شده است. امّا چرا؟

با اندکی تأمل در ماهیت شبیه‌سازی روشن می‌شود که هر پردازشگر کار محاسباتی چندانی ندارد. زیرروالهای مربوط به وقایع ازنظر محاسباتی بسیار ساده هستند و فقط خودرو را در صورت امکان در مسیرش به جلو پیش می‌برند. هرچند در یک تقاطع محاسبات مربوط به انتخاب مسیر قدری پیچیده‌تر است، زیرا انتخاب مسیر به صورت پویا انجام می‌شود، امّا این نیز بار محاسباتی چندانی به پردازنده‌ها تحمیل نمی‌کند. بنابراین، حتی وقتی پنجره زمانی اعمال می‌شود و پیام پوچ برحسب تقاضا تبادل می‌شود، چنین به نظر می‌رسد که هر امتیاز محاسباتی تحت‌الشعاع هزینه تبادل پیام قرار می‌گیرد. برای آزمون این وضعیت، زیرروالهای وقایع را به گونه‌ای تغییر دادیم تا هر یک شامل محاسباتی اضافی ولی عملاً غیرضروری گردند. نتیجه این آزمون را در شکل (۴) نشان داده‌ایم که به‌خوبی تفوّق شبیه‌سازی موازی را بر شبیه‌سازی تک‌پردازنده نشان می‌دهد .

اجرای شبیه‌سازی شبکه فرضی حمل و نقل، شرایطی را که تحت آن شبیه‌سازی تردد خودروها در یک شبکه حمل و نقل در یک وضعیت بحرانی با رویکرد موازی سریعتر از شبیه‌سازی آن به وسیله رایانه‌های تک‌پردازنده است، نشان داد. شرایط زیر برای شبیه‌سازی شبکه‌های کوچک حمل و نقل از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند:

- آشنایی با شبکه جاده‌ای در تعیین پنجره زمانی امتیازات قابل توجهی در اجرای سریع شبیه‌سازی موازی به‌وجود می‌آورد. از این رو در تدوین راهبردهای مختلف در تخلیه احتمالی، در صورت امکان باید استقرار یک مکان امن در هر منطقه درنظر گرفته شود.
- حجم داده تبادل شده بین پردازنده‌ها باید کمینه شود. از این رو، چنانچه ارتباطات بسیاری بین هر منطقه با مناطق همجوار وجود داشته باشد، آن‌گاه به‌کارگیری یکی از رویکردهای محافظه‌کارانه در شبیه‌سازی موازی وضعیتهای تخلیه اضطراری امتیازی دربر ندارد.

- همان طور که انتظار می‌رفت، بار کاری پردازنده‌ها باید متوازن باشد به‌گونه‌ای که هیچ پردازنده‌های مداوماً باعث کندی سرعت اجرای شبیه‌سازی نگردد. به منظور تأمین این خواسته می‌توان شبکه جاده‌ای را با توجّه به عواملی از قبیل تراکم جمعیت به چندین زیرمنطقه تقریباً یک اندازه تقسیم کرد.
- اگر شبیه‌سازی شبکه جاده‌ای، مستلزم محاسبات پیچیده باشد مثلاً لازم شود تا راننده به صورت پویا حجم ترافیک را در مسیرها برآوردکند امتیازاتی از شبیه‌سازی موازی حاصل می‌آید. زیرا پردازنده‌ها محاسبات بسیاری را انجام می‌دهند که اگر توسط یک پردازنده انجام شود، کندی اجرای شبیه‌سازی را موجب می‌شود.
- در شبیه‌سازی ترافیک جاده‌ای، رویکرد موازی می‌تواند مفید باشد به‌ویژه اگر در مقایسه گزینه‌های مختلف یک **سیستم هدایت و فرمان**[1] به منظور تعیین استراتژیها و تاکتیکهای بهین مدیریت بحران به‌کار گرفته شود.



شکل ۴ – زمانهای اجرا با محاسبات اضافی.

1 - Command and control system

فهرست منابع

۱. فریبرز ناطقی الهی، مدیریت بحران زمین‌لرزه ابرشهرها. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. ۱۳۷۹.

2. Pidd M., P. N., de Silva, and R. W. Eglese, (1996) *A Simulation model [or emergency evacuation.* European Journal of 0. R., 90: 413-19.

3. FEMA, (1984) *Application of the I-Dynev System to Compute Estimates of Evacuation Travel Times at Nuclear Power Stations.* Washington DC, Federal Emergency Management Agency Report-8.

4. Sheffi Y., H. Mahmassani, and W. B. Powell, (1998) *A transportation network evacuation model.* Transpn. Res. A, 26A.3: 532-541.

5. McLean M. A., M. P. Moeller, A E. Desrosiers, and T. Urbanik, (1983) *CLEAR: A mode! for the calculation of evacuation time estimates in emergency planning zones.* Computer Simulation in Emergency Planning, Simulation Series, 11:

6. Hobeika A. G., and B. Jamie, (1985) *MASSVAC: A model for calculating evacuation times under natural disaster.* Emergency Planning, J. M. Carroll, ed. Simulation Series 15: 23-28.

7. Southworth F., and S. M. Chin (1987) *Network Evacuation Modelling for Flooding as a result of Dam failure.* Environment and Planning A, 19: 1543-1558.

8. Tufekci S., S. J. Jagdev, and A. Albusairi (1993) *Importance of REMS in the aftermath of hurricance Andrew.* Proceedings Simulation Multi-conference on the International Emergency Management and Engineering Conference, San Diego, Society for Computer Simulation: 81-86.

9. Peat M, and M. Company (1973) *Network Flow Simulation for Urban Traffic Control System -Phase II.* Vol 1. Prepared for the Federal Highway Administration. Washington DC. 20590.

10. Rathi A. K., and A. J. Santiago (1990) *The New NETSIM Simulation Model.* TnilTic Engineering and Control 31, No 5: 317-320.

11. Stern E., and Z. Sinuany-Stern (1989) *A Behavioural-based Simulation Model for Urban Evacuation.* Papers of the Regional Science Association 66, 87-103.

12. Kumar V., A. Garma, A. Gupta, and Karypis (1994) *Introduction to parallel computing.* Benjamin/Cummings, Inc.

۱۳. حامدرضا طارقیان، شبیه‌سازی، کاربردها، نرم‌افزارهای کامپیوتری و آینده آن. دانش مدیریت. سال دوازدهم – شماره ۴۴ – بهار ۱۳۷۸.

14. Nicol D., and R. Fujimoto (1994) *Parallel Simulation Today.* Annals of 0. R. 53: 249-25.S.

15. Junchaya T., and G. L. Chang (2000) *Exploring real-time traffic simulation with massively parallel computing architecture.* Transpn. Res. C, 1, 1: 57-76.

16.Chandy K. M., and J. Misra (1979) *Distributed simulation: A case study in design and verification of distributed programs.* IEEE Transactions on Software Engineering 5, 5: 440-452.
17. Fujimoto M. R. (1990) *Parellel Discrete Simulation.* Comm ACM, 33, 10: 30-53.
18-Pidd M. (1998) *Computer Simulation in Management Science.* (Fourth Ed.), John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی