

مدل سازی سیستم حمل و نقل زائرین در اجتماع بزرگ اربعین با استفاده از شبیه سازی

حسینعلی حسن پور^۱، عباس سحرخوان^۲، عادل شنگر^۳

۱- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع و مدیر کمیته ترابری مرکز مطالعات و پژوهش های لجستیک ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی صنایع- دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه جامع امام حسین علیه السلام

چکیده

در این پژوهش، از ابزار شبیه سازی جهت مطالعه و تحلیل عملکرد سیستم حمل و نقل زائرین در اجتماع بزرگ اربعین استفاده شده است. ابتدا فرایندهای مختلف در سیستم حمل و نقل زائرین در اجتماع بزرگ اربعین، شناسایی شده است. ورودی ها، پردازش ها و خروجی های سیستم، مورد بررسی قرار گرفته است به طوری که در این سیستم برای مدت ۲۹ روز (۲۰ روز قبل از اربعین و ۹ روز بعد از آن)، تعداد ورود و خروج زائرین (نهاد سیستم)، تعداد ورود و خروج خودروهای شخصی و اتوبوس ها، تعداد و ظرفیت پارکینگ های شهر مهران، مسیرهای تردد زائرین در بیرون و داخل شهر مهران و نیز تعداد ایستگاه های بازرسی در مرز مهران، ملاحظه شده است. به منظور پیاده سازی مدل، از نرم افزار شبیه سازی آرنا استفاده شده است. برای شبیه سازی سیستم واقعی حمل و نقل زائرین، گام های زیر طی شده است: تعریف مساله، مدل سازی، جمع آوری و تحلیل اطلاعات مورد نیاز (تعیین توابع توزیع از طریق آزمون های زیبندگی)، طرح آزمایش مدل (تعیین زمان گرم شدن سیستم، تعیین طول و تعداد اجزای شبیه سازی)، احراز اعتبار مدل، تجزیه و تحلیل نتایج. در انتها، طی جلسه با خبرگان ترابری، سناریوی تغییر اولویت تکمیل پارکینگ ها (بخاطر ازدحام خودروها در ورودی شهر مهران) به منظور بهبود عملکرد سیستم، بررسی شده است.

واژگان کلیدی: شبیه سازی، اجتماع بزرگ اربعین، بهبود عملکرد، نرم افزار شبیه سازی آرنا

۱- مقدمه

در دنیای صنعتی، امروزه شبیه‌سازی به عنوان یک روش حل مسائل تجزیه و تحلیل سیستم‌ها بوده و از اهمیت خاصی برخوردار است. از یک سو قدرت و توانایی این روش، در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده صنعتی و خدماتی، سادگی مدل‌سازی، سهولت درک مدل، توانایی ایجاد مدل نزدیک به سیستم واقعی و از سوی دیگر، پیشرفت سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای حل مدل‌های ایجاد شده، موجب برتری شبیه‌سازی نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی شده است. با توجه به مأموریتی که در سال‌های قبل از کووید-۱۹ به مجموعه معاونت آماد و پشتیبانی سپاه برای پشتیبانی از اجتماع بزرگ اربعین ابلاغ شده بود، ابتدا فرایندهای سیستم حمل‌ونقل زائرین مورد مطالعه قرار گرفت. بعد از مشخص شدن فرایندها، مولفه‌های موثر در سیستم حمل و نقل زائرین از جمله؛ زمان‌های انتظار، مشاهده نحوه اعزام کاروان‌ها از مسیرهای مختلف و حجم ترافیکی آن‌ها، زمان‌بندی اعزام زائرین احصا شد. به منظور بررسی و تحلیل مشکلات تردد زائرین در این سفر زیارتی، لازم بود فرایندهای سیستم حمل‌ونقل این اجتماع بزرگ مورد واکاوی قرار گیرد. بدایلی که در ادامه بحث می‌گردد، استفاده از ابزار شبیه‌سازی برای این مطالعه، یک راهکار علمی و اجرایی تشخیص داده شد. لذا در این تحقیق، مدل شبیه‌سازی حمل‌ونقل زائرین در اجتماع بزرگ اربعین در شهر مهران تا مرز مهران، مورد تجزیه و تحلیل واقع شده است.

با توجه به تعداد بالای تردد زائرین اجتماع بزرگ اربعین، از مرزهای مختلف و در زمانی بسیار محدود و چند روزه، همچنین اهمیت این موضوع برای کشورهای اسلامی ایران و عراق به جهت معنویت بالای این سفر و نیز موقعیت سیاسی این رویداد در جامعه جهانی، توجه بیشتر به تمرکز بر موضوع حمل‌ونقل زائرین در این اجتماع بزرگ، موضوعی حیاتی و مهم به شمار می‌رود که نباید به فراموشی سپرده شود. محدوده سازمانی مورد مطالعه تحقیق، مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی، اداره ترابری معاونت آماد و پشتیبانی سپاه، سازمان حمل‌ونقل جاده‌ای، اداره گذرنامه جمهوری اسلامی ایران و شهرداری مهران است. هدف از این تحقیق بدست آوردن درک درست از سیستم حمل‌ونقل کنونی می‌باشد تا نیازهای سیستم موجود و نقاط قوت و ضعف آن مشخص گردد. با در نظر گرفتن این نکته که تحقیق حاضر از نیازهای اصلی در زمینه شبیه‌سازی می‌باشد و همچنین مدل ارایه شده در این تحقیق مبتنی بر سازمان مورد مطالعه می‌باشد، این تحقیق از نوع کاربردی است. همچنین اطلاعات مورد نیاز جهت مدل‌سازی از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی کتاب‌ها و پایان‌نامه‌های موجود و نیز مقالات ارائه شده در این زمینه، بدست خواهد آمد و در مطالعات میدانی از افراد خبره و کسانی که به‌طور مستقیم در ارتباط با حمل‌ونقل اربعین فعالیت داشته‌اند، استفاده می‌شود تا نظر خبرگی آن‌ها در سیستم اعمال گردد و نتایج آن در خروجی مشاهده شود.

۲- مفاهیم شبیه‌سازی

از شبیه‌سازی تعاریف زیادی ارائه شده است اما جامع‌ترین و کامل‌ترین تعریف را شانون ارائه داده است. [۱] شانون شبیه‌سازی را چنین تعریف می‌کند "شبیه‌سازی عبارت از فرآیند طراحی مدلی از سیستم واقعی و انجام آزمایش‌هایی با این مدل است که با هدف پی بردن به رفتار سیستم، یا ارزیابی استراتژی‌های گوناگون (در محدوده‌ای که به وسیله معیار یا مجموعه‌ای از معیارها اعمال شده است) برای عملیات سیستم صورت می‌گیرد." بنابراین درمی‌یابیم که فرآیند شبیه‌سازی، هم

شامل ساختن مدل و هم شامل استفاده تحلیلی از آن برای مطالعه یک مسئله است. در تعریف فوق سیستم واقعی به معنای سیستمی که وجود دارد یا قابلیت ایجاد شدن را دارد، به کار گرفته است [۲].

شبیه‌سازی، تقلیدی از عملکرد فرآیند یا مدل واقعی، با گذشت زمان می‌باشد که این ابزار می‌تواند در طراحی سیستم‌های کوچک و بزرگ مورد استفاده قرار گیرد [۳]. شبیه‌سازی، صرف نظر از اینکه با دست یا به وسیله کامپیوتر انجام شود، نتایج متمایزی را می‌توان از آزمایش با مدل شبیه سازی شده به دست آورد و از طریق مقایسه نتایج و بررسی آن، می‌توان به نتیجه‌گیری‌هایی در مورد ویژگی‌های عملکرد سیستم واقعی دست پیدا کرد [۴]. این مدل، معمولاً به شکل مجموعه‌ای از فرض‌های مربوط به عملکرد سیستم می‌باشد. این فرض‌ها در چهارچوب رابطه‌های ریاضی، منطقی و نمادین بین نهادها یا اهداف مورد نظر سیستم نظیر درک رفتار سیستم و یا ارزیابی استراتژی‌های متفاوت برای عملیات سیستم بیان می‌شود. بنابراین ایجاد مدل شبیه‌سازی، هم به منزله‌ی ابزار تحلیل برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات در وضعیت سیستم‌های موجود و هم به عنوان ابزار طراحی برای پیش‌بینی عملکرد سیستم جدید، در شرایط متفاوت، کاربردپذیر است [۵]. شبیه‌سازی، غالباً به عنوان مطالعه کاربردهای عملی در جهت مفروضات مدل تحلیلی قرار می‌گیرد [۶].

در دنیای صنعتی امروز شبیه‌سازی به عنوان یک روش حل مسائل و تجزیه و تحلیل سیستم‌ها بوده و از اهمیت خاصی برخوردار است. قدرت و توانایی این روش در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده صنعتی و خدماتی، سادگی مدل‌سازی، سهولت درک مدل و توانایی ایجاد مدل بسیار شبیه به سیستم واقعی، از یک سو و پیشرفت سیستم‌های سخت افزاری و نرم افزاری برای حل مدل‌های ایجاد شده از سوی دیگر، موجب برتری شبیه‌سازی نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی می‌شود.

در واقع شبیه‌سازی، فرایند طراحی یک مدل از یک سیستم واقعی است که با انجام آزمایش با این مدل می‌خواهیم به رفتار سیستم پی ببریم و آن را در حالت‌های گوناگون ارزیابی کنیم.

تحت یکی از شرایط زیر ممکن است برای حل مسائل از شبیه‌سازی استفاده شود:

۱. یک مدل کامل ریاضی از یک مسئله وجود نداشته باشد.
۲. یک روش تحلیلی برای حل مدل ریاضی، به وجود نیامده باشد.
۳. روش تحلیلی در دسترس بوده ولی استفاده از آن پیچیده و پرهزینه باشد.
۴. به دلیل مشکل بودن انجام آزمایشات و مشاهده پدیده‌ها در دنیای واقعی، شبیه‌سازی تنها راه حل باشد.
۵. روش تحلیلی وجود داشته باشد ولی از توانایی‌های تخصصی افراد در دسترس، خارج باشد.

تقسیم‌بندی‌های زیادی در خصوص مراحل شبیه‌سازی وجود دارد ولی به طور خلاصه می‌توان مراحل زیر را نام برد:

- (۱) تعریف مسئله
- (۲) مدل‌سازی
- (۳) اطلاعات مورد نیاز
- (۴) طرح آزمایش مدل
- (۵) احراز اعتبار مدل

۶) تجزیه و تحلیل نتایج

هر چند شبیه‌سازی کامپیوتری ابزار مناسبی برای تحلیل در بسیاری از موارد است، تحلیل‌گر سیستم، پیش از به‌کارگیری این روش، می‌بایست مزایا و معایب آن را در نظر داشته باشد. از مزایای اساسی شبیه‌سازی به شرح زیر می‌باشد [۷].

۱. پس از ساخت هر مدل می‌توان به منظور تحلیل طرح‌ها و یا خط‌مشی‌های پیشنهادی، بارها آن را به‌کار گرفت.
۲. از روش‌های شبیه‌سازی می‌توان برای تحلیل هر سیستم پیشنهادی استفاده کرد، هر چند که داده‌های ورودی شبیه‌سازی تقریبی و ناقص باشد.
۳. همواره دستیابی به داده‌های شبیه‌سازی بسیار کم هزینه‌تر از فراهم آوردن داده‌های مربوط به سیستم حقیقی می‌باشد.
۴. به‌کار بردن روش‌های شبیه‌سازی در بیشتر مواقع ساده‌تر از روش‌های تحلیلی است.
۵. مدل‌های تحلیلی معمولاً به فرض‌های ساده‌کننده‌ی بسیاری نیاز دارند تا از جنبه ریاضی کاربرپذیر شوند، در صورتیکه مدل‌های شبیه‌سازی، چنین محدودیت‌هایی ندارند. با استفاده از مدل‌های تحلیلی، تحلیل‌گر معمولاً می‌تواند تعدادی محدود از معیارهای سنجش عملکرد سیستم را محاسبه کند، درحالی‌که داده‌های تولید شده از مدل‌های شبیه‌سازی به منظور برآورد هر معیار سنجش متصور عملکرد کاربرپذیر می‌باشد.
۶. در برخی موارد شبیه‌سازی تنها ابزار برای یافتن راه حل مساله است.

اشمید و تیلور فهرستی از معایب شبیه‌سازی که می‌بایست پیش از به‌کارگیری آن بررسی شوند را نیز ارائه کرده‌اند [۸].

۱. ساخت و معتبرسازی مدل‌های شبیه‌سازی مربوط به کامپیوترهای رقمی، به زمان قابل توجهی نیاز دارد، به این منظور ممکن است پرهزینه باشند.
۲. عموماً، به اجراهای فراوانی در مورد هر مدل شبیه‌سازی نیازمندیم و همین مساله ممکن است برای به‌کارگیری کامپیوتر بسیار پرهزینه باشد.
۳. اعتبار روش‌های شبیه‌سازی در مقایسه با روش‌های دقیق کمتر است به این منظور نیازمند اعتبارسنجی و آزمایش مدل می‌باشد.
۴. گاهی شبیه‌سازی را در شرایطی به کار می‌برند که روش‌های تحلیلی کافی به نظر می‌رسد.

۳- پیشینه پژوهش

کابرا و همکاران [۹] در (۲۰۱۱)، مقاله‌ای تحت عنوان بهینه‌سازی بخش اورژانس مراقبت‌های بهداشتی توسط شبیه‌سازی مبتنی بر عامل ارائه داده‌اند. یک شبیه‌سازی به منظور طراحی یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای عملیات مراقبت از بیمار در بخش اورژانس ارائه می‌دهند. بهینه‌سازی به وسیله یک جستجوی کامل برای پیدا کردن ترکیب کارمندان بخش اورژانس اعم از ترکیب پزشکان، پرستاران، پرسنل پذیرش انجام می‌شود. آن‌ها بدنبال کمینه کردن زمان انتظار بیماران و همچنین بیشینه کردن تعداد بیماران جهت پذیرش و بستری شدن در بیمارستان می‌باشند.

سابتیل و همکاران [۱۰] در (۲۰۱۱)، مقاله ای تحت عنوان یک رویکرد عملی برای اعزام کامیون برای معادن گودال باز ارائه داده اند. در پژوهش خود یک الگوریتم به منظور بهینه سازی سیستم حمل و نقل در معادن روباز توسعه می دهند. الگوریتم ارائه شده توسط آن ها یک روش چند مرحله ای با رویکرد چندمعیاره با استفاده از برنامه ریزی خطی، شبیه سازی گسسته پیشامد و روش های فراابتکاری را شامل می شود که برای تخصیص اعزام کامیون برای انجام عملیات در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی آن ها نشان می دهد که رویکرد پیشنهادی آن ها قابلیت ایجاد بازده لازم در خصوص تصمیم گیری برای اعزام کامیون ها جهت انجام عملیات را دارا است. همچنین کاهش هزینه های عملیاتی و افزایش توان عملیاتی سیستم حمل و نقل را در پی دارد.

پاپاچرجیو و همکاران [۱۱] در (۲۰۱۲)، تحقیقی با عنوان مدل سازی، روش های شبیه سازی برای سیستم های حمل و نقل هوشمند ارائه کردند. سیستم های حمل و نقل موثر منجر به حرکت کارآمد کالاها و مردم می شود که به طور قابل توجهی به کیفیت زندگی در هر جامعه کمک می کند. پیشرفت های اخیر در الکترونیک، ارتباطات، کنترل ها، رایانه ها و سنسورها فرصتی را برای توسعه سیاست ها و استراتژی های مدیریت حمل و نقل مناسب به منظور بهره برداری موثر از زیرساخت های موجود و نه ایجاد سیستم های جدید جاده فراهم می کند. استفاده از فناوری ها به ارائه داده های دقیق ترافیک، اجرای اقدامات کنترلی و به طور کلی کاهش سطح عدم اطمینان و تصادفی بودن در شبکه های حمل و نقل کمک می کند. اجرای موفقیت آمیز سیستم های حمل و نقل هوشمند مستلزم درک خوبی از پویایی ترافیک در سطح محلی و همچنین جهانی سیستم و تأثیر پدیده ها و اختلالات مرتبط با آن مانند تولید و انتشار موج شوک، شروع تراکم و غیره است. علاوه بر این، درک تعامل انسان در سیستم حمل و نقل نیز بسیار مهم است.

مارته و همکاران [۱۲] در (۲۰۱۳)، تحقیقی با عنوان مدل سازی سیستم حمل و نقل هوشمند برای راه های حمل و نقل سریع اتوبوس (ITS4BRT) ارائه داده اند. اگرچه سیستم های حمل و نقل هوشمند - برنامه های ITS برای متروها، حمل و نقل هوایی و حالت های حمل و نقل جاده ای کاملاً پیشرفته اتخاذ شده است، اما برای کنار گذرهای BRT نیاز به تعمیق مفاهیم از نظر معماری مرجع، گروه خدمات و ITS به خوبی تثبیت شده است. این مقاله به تعیین چگونگی پشتیبانی سیستم های ITS از اجرای کار گذر های BRT می پردازد. شامل تعریف بازیکنان اصلی است که مستقیماً توسط ITS درگیر یا از آن ها بهره مند می شوند. همچنین پیشنهادی برای استفاده از معماری حمل و نقل شهری عمومی در راهروهای BRT ارائه شده است. برای این کار، یک فرآیند شناسایی سیستماتیک عملکردهای ITS و طبقه بندی آن به گروه های خدماتی اتخاذ شد. این روش می تواند به عنوان مرجعی برای بهبود عملکرد ITS در پروژه های کنار گذر BRT آینده مورد استفاده قرار گیرد.

جیسیا و همکاران [۱۳] در (۲۰۱۴)، تحقیقی با عنوان مدل شبیه سازی سیستم حمل و نقل لهستان به عنوان ابزاری برای توسعه حمل و نقل پایدار ارائه داده اند. مقاله ویژگی های یک مدل شبیه سازی سیستم حمل و نقل طرفدار پایدار در لهستان را ارائه می دهد. این مدل اجازه می دهد تا آزمایش و استنتاج محاسباتی در تقسیم معین حمل و نقل و انتشار آلودگی در سیستم حمل و نقل ملی به عنوان عناصر خاص این مدل مشخص شوند. که شامل شبکه های حمل و نقل برای حالت های مختلف، سهام وسایل نقلیه، مدل تقاضا برای مسافر و حمل و نقل و مکانیزم توزیع مواد و جریان مسافر به یک شبکه می باشند. ویژگی های توصیف زیرساخت ها، وسایل نقلیه و ترکیبات مضر گازهای آگروز آورده شده است. این مدل در PTV VISUM پیاده سازی شده است. وسایل نقلیه جاده ای و ریلی برای حمل و نقل مسافر و بار با توجه به انواع شاخص ها گروه بندی و تقسیم می شوند.

تقاضا برای خدمات حمل و نقل و انتشار قطعات گازهای خروجی در مدل سیستم حمل و نقل طرفدار زیست محیطی لهستان منعکس شده است. بخش آخر مقاله نتایج نمونه ای از تحقیق در مورد برآورد انتشار از فعالیت های حمل و نقل را ارائه می دهد.

گوناون و همکاران [۱۴] در (۲۰۱۵)، تحقیقی با عنوان مدل شبیه سازی ترانزیت سریع اتوبوس ارائه داده اند. سیستم ترانزیت سریع اتوبوس یک راه حل مدرن برای سیستم حمل و نقل انبوه است. این سیستم در مقایسه با سیستم حمل و نقل مبتنی بر ریلی به طور قابل توجهی ارزان تر است و به زمان توسعه کمتری نیاز دارد، اما عملکرد کمتری دارد. عملکرد سیستم BRT به متغیرهای مربوط به طراحی ایستگاه و زیرساخت ها بستگی دارد. یک مدل عددی ابزاری مؤثر و کارآمد برای ارزیابی عملکرد سیستم ارائه می دهد. این مقاله یک مدل عددی دقیق را بر اساس رویکرد رویداد گسسته ارائه می دهد و کاربرد آن را نشان می دهد.

اسکندری و دارابی [۱۵] در (۲۰۱۶) مقاله ای تحت عنوان بهینه سازی شبیه سازی چند هدفه سیستم بیل-کامیون ارائه داده اند. آن ها برای ارزیابی عملکرد سیستم بیل-کامیون در یک معدن روباز، از ابزارهای شبیه سازی گسسته پیشامد و روشهای فراابتکاری استفاده کردند. هدف از مطالعه آن ها شناسایی تعداد بهینه کامیونها و بیل مکانیکی در سیستم اعزام معدن روباز مس سرچشمه در ایران به منظور افزایش توان عملیاتی و کاهش هزینه های حمل و نقل است. برای بهینه سازی از دو روش فراابتکاری II-NSGA و PGA - Fast2 استفاده شده است. آن ها ثابت کردند که با استفاده از روش پیشنهادی خود برخی از راه حل های نزدیک به بهینه میتوانند به طور متوسط ماهانه هزینه حمل و نقل را تا ۱۵ درصد کاهش و متوسط تولیدات را تا ۱۱ درصد افزایش دهند.

صیادی و اواشتی [۱۶] در (۲۰۱۷)، تحقیقی با عنوان یک مدل شبیه سازی مبتنی بر پویایی سیستم برای ارزیابی سیاست های نظارتی برای برنامه ریزی حمل و نقل پایدار ارائه داده اند. حمل و نقل منبع اصلی مصرف انرژی و تولید انتشار دی اکسید کربن است. برای محدود کردن تأثیرات منفی محیطی ناشی از حمل و نقل کالا و مردم، چندین ابتکار و سیاست توسط مدیران شهرداری، دولتهای محلی و دولتهای فدرال اعمال می شود. از آنجا که حمل و نقل یک سیستم پویا است که در آن مؤلفه های فردی و تعامل آن ها با گذشت زمان در حال تغییر است، تصمیم گیرندگان برای بررسی رفتار سیستم و تدوین سیاست های حمل و نقل پایدار به نفع شهر، ساکنان آن و محیط آن ها نیاز به رویکردهای کارآمد دارند. در این مقاله، آن ها یک مدل شبیه سازی مبتنی بر پویایی سیستم را برای ارزیابی تأثیر سیاست های نظارتی برای برنامه ریزی حمل و نقل پایدار پیشنهاد کرده اند. نمودارهای حلقه ای علت برای بررسی عناصر سیستم حمل و نقل، روابط بین آن ها و تکامل رفتار با گذشت زمان ایجاد شده اند. یک مطالعه عددی برای کاهش سفر وسیله نقلیه ارائه شده است. نتایج حاصل از مطالعه شبیه سازی ما نشان می دهد که سیاست تقسیم سفر به طور موثری باعث کاهش ازدحام می شود در حالی که مالکیت خودرو تمایل سفرهای وسایل نقلیه را کاهش داده و سفرهای حمل و نقل عمومی را افزایش می دهد.

محجوب و همکاران [۱۷] در (۲۰۱۷)، تحقیقی با عنوان مدل سازی و ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقل عمومی ارائه داده اند. هدف از این مقاله مدل سازی، تجزیه و تحلیل و ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل عمومی است که با استفاده از دو پدیده انتخاب، همگام سازی و همزمانی با استفاده از دو فرمالیسم مکمل پتری نت (PN) و جبر Dioid مشخص می شود. مشارکت آن ها از طریق این مقاله در ارائه یک روش مدل سازی (max) برای این نوع سیستم با درگیری برای ایجاد برخی کارکردها به نام توابع مسیریابی است که این امکان را می دهد تا مدیریت تمام درگیری های مواجه شده در سیستم را انجام

دهند. پس از آن، زمان عزیمت / ورود وسایل حمل و نقل به ایستگاه های مختلف و همچنین زمان انتظار مسافرانی که قصد، سوار شدن و عزیمت کردن را دارند ارزیابی کرده اند.

سینگ و همکاران [۱۸] در (۲۰۱۹)، تحقیقی با عنوان مدل سازی داده های چند متغیره برای ارزیابی کارایی سیستم حمل و نقل مسیر اتوبوس شهری مبتنی بر اولویت اجتماعی با استفاده از GIS و آنالیز پوششی داده ها ارائه داده اند. مدل سازی داده های چند مرحله ای به عنوان یک پژوهش به سرعت در حال رشد است. ممکن است برای ترکیب اطلاعات از منابع مختلف استفاده شود. در این مطالعه، از داده های چند مدولار برای ارزیابی و طراحی یک نقشه مسیر اتوبوس حمل و نقل عمومی کارآمد برای شهر اله آباد ایالت اوتار پرداش، هند استفاده می شود. آن ها راه هایی را برای بهبود عملکرد مسیرهای اتوبوس بر اساس دیدگاه های اجتماعی با استفاده از داده های چند وجهی پیشنهاد کردند.

کامارودین و همکاران [۱۹] در (۲۰۲۰)، تحقیقی با عنوان ارزیابی عملکرد سرویس مترو دبی با استفاده از مدل SCOR و شبیه سازی ARENA ارائه داده اند. عملکرد خدمات مترو به دلیل پویایی جمعیت، سطح خدمات، دقت و سایر موارد عملیاتی در محیط های شهری مدرن چالش برانگیز شده است. این تحقیق از مدل مرجع عملیات زنجیره تأمین (SCOR) همراه با شبیه سازی مدل ARENA برای بررسی عملکرد خدمات در مترو دبی استفاده می کند. روش پیشنهادی با توجه به جریان واقعی عملیات سرویس مترو مورد توجه قرار گرفته و زمان سرویس دهی مسافران را در ترمینال های منتخب شبیه سازی می کند. محققان زمان واقعی صرف شده توسط مسافران را اندازه گیری می کنند و سناریوهای مختلف ممکن را نتیجه دانند. پیشنهاد توصیه های این پتانسیل برای کمک به بهبود عملکرد خدمات راه آهن مترو است، زیرا دبی قصد دارد روند گسترش عملیاتی خود را به سمت نمایشگاه اکسپو ۲۰۲۰ بگذارد. این تحقیق به تئوری و عملکرد رفتار مسافرتی در سرویس حمل و نقل مترو کمک می کند.

۴- نرم افزار آرنا

پیش از آغاز تحقیق، تحقیقات بر روی نرم افزارهای کاربردی در شبیه سازی گسسته پیشامد انجام شد و نتیجه این شد که از بین نرم افزارهای موجود نرم افزار AWESIM و نرم افزار آرنا برای شبیه سازی گسسته پیشامد مناسب تر از سایر نرم افزارها هستند.

به دلیل وجود رابط کاربری بهتر در نرم افزار آرنا، استفاده از شماهای گرافیکی، مدل سازی آسان و همچنین وجود ورژن های جدید این نرم افزار برای استفاده عموم، در نهایت تصمیم بر این شد که از این نرم افزار برای مدل سازی و حل مدل استفاده کنیم.

نرم افزار آرنا یک نمونه از زبان های شبیه سازی گرافیکی برای شبیه سازی سیستم های گسسته پیشامد است که توسط شرکت Rockwell Software به بازار ارائه شده است. این نرم افزار، به عنوان کاربردی ترین و رایج ترین نرم افزار برای انجام مطالعات شبیه سازی است که تحت سیستم عامل ویندوز بوده و به کاربران این اجازه را می دهد تا مدل شبیه سازی را ایجاد کرده و در عین حال رابط کاربری آسانی دارد. همچنین این نرم افزار با دیگر نرم افزارهایی از جمله پردازشگر لغات، صفحات گسترده و بسته های CAD سازگاری دارد [۲۰].

۵- برخی ویژگی های نرم افزارهای مورد استفاده در تحقیق

- امکان شبیه سازی سیستم های گسسته و پیوسته
- امکان برنامه نویسی به کمک زبان VBA
- امکان تبادل داده با نرم افزارهای EXCEL و ACCESS
- برنامه نویسی ساده به کمک تکنیک Drag & Drop
- امکان برازش بهترین تابع توزیع به کمک ابزار Imput Analyser
- امکان تجزیه و تحلیل به کمک ابزار Out Put Analyser
- امکان یافتن بهترین سناریو از میان بی نهایت سناریو به کمک ابزار Opt Quest
- امکان ممقایسه سناریوها با کمک ابزار Process Analyser
- انیمیشن سازی دو بعدی و سه بعدی
- ساخت داشبوردهای مدیریت
- امکان ایجاد نتایج مدنظر کاربر و هزینه یابی

۶- پیاده روی اربعین حسینی و سیستم حمل و نقل مرتبط

به گفته برخی پژوهشگران، راهپیمایی در روز اربعین از زمان امامان معصوم (ع) در بین شیعیان رایج بوده است. سید محمدعلی قاضی طباطبایی در کتاب تحقیق درباره اول اربعین سیدالشهداء، راهپیمایی اربعین را سنت و رفتار مداوم شیعیان از زمان ائمه دانسته که در زمان بنی امیه و بنی عباس نیز به این حرکت پایبند بوده اند. گفته شده است پس از دوره شیخ انصاری این سنت فراموش شده بود و محدث نوری آن را احیا کرد. نویسنده کتاب ادب الطف در گزارشی از مراسم اربعین در کربلا، اجتماع در این مراسم را به اجتماع مسلمانان در مکه تشبیه و به حضور هیئت های عزاداری در آن اشاره کرده که برخی به ترکی، عربی، فارسی و اردو مرثیه می خوانده اند .

سیستم حمل و نقل زائرین در نزدیکی مرز مهران به گونه ای است که زائرین با خودروهای شخصی و یا عمومی از مسیرهای متفاوت وارد شهر مهران می شوند. زائرینی که با خودروهای شخصی سفر کرده اند باید قبل از شهر مهران و یا داخل شهر، خودروها را در پارکینگ هایی که از قبل تعبیه شده است پارک نموده و از آنجا، از مسیر کمربندی های شرقی و غربی، بوسیله اتوبوس های شرکت واحد تا محلی که معروف به پل زائر می باشد حرکت کنند. از مسیر پل زائر تا مرز مهران تمامی زائرین باید مسیر مشابهی را طی کنند به این صورت که مسیری به طول حدودا ۲۵۰ متر را باید پیاده طی کنند و بعد از آن باید مجددا سوار بر اتوبوس های شرکت واحد شده و تا نزدیکی های پایانه مرزی مهران را با این اتوبوس ها طی کنند. بعد از پیاده شدن از این اتوبوس ها باید تا پایانه مرزی مهران تمامی مسیر باقی مانده را پیاده طی کنند و با قرار گرفتن در گیت های مختلف بازرسی از کشور خارج شوند. لازم به ذکر است که زائرینی که از استان های مختلف با اتوبوس های بین شهری عمومی تا شهر مهران می آیند، در محلی به نام پایانه برکت بین پل زائر و پایانه مرزی از اتوبوس پیاده شده و سوار بر اتوبوس های واحد خط پل زائر تا پایانه مرزی می شوند و خود را به پایانه مرزی می رسانند.

نکته مهمی که در این سیستم باید به آن توجه کرد این است که این سیستم در واقعیت در مدتی حدود ۲۹ روز در سال پیاده می شود و باید برنامه ریزی را برای رفت و برگشت زائرین انجام داد. لذا در ایامی که ورود و خروج زائرین به طور همزمان

انجام می‌شود، برنامه‌ریزی از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا تعداد تردد و تداخل آن‌ها به بالاترین حد رسیده است. لذا باید جزئیات سیستم، مورد مطالعه قرار گیرد و در سیستم شبیه‌سازی لحاظ شود.

۷- مدل‌سازی بخش‌های مختلف سیستم حمل‌ونقل اربعین

مدل‌سازی سیستم حمل‌ونقل اربعین را به دو دسته تقسیم می‌کنیم. مدل‌سازی حمل‌ونقل زائرینی که با خودروی شخصی به مهران می‌آیند و مدل‌سازی حمل‌ونقل زائرینی که با اتوبوس‌های بین شهری به مهران (پایانه برکت) می‌آیند. مدل‌سازی فرایند ایجاد اتوبوس‌های درون شهری را نیز به صورت جداگانه توضیح می‌دهیم.

۷-۱ مدل‌سازی سیستم حمل‌ونقل زائرینی که با خودروی شخصی به مهران می‌آیند

مدل‌سازی قسمت حمل‌ونقل زائرین با خودروهای شخصی را به ۱۱ فرایند اصلی تقسیم بندی شده است که در ادامه به تفصیل هر فرایند را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱. فرایند ورود به شهر و انتخاب کمربندی
۲. فرایند پارک خودرو و رفتن به ایستگاه اتوبوس
۳. فرایند سوار شدن به اتوبوس و پیاده شدن از آن
۴. فرایند سوار شدن به اتوبوس‌های لاین ۳ و رفتن به سمت مرز
۵. فرایند عبور از گیت‌های بازرسی
۶. سفر عراق
۷. عبور از گیت‌های بازرسی در مسیر برگشت
۸. فرایند سوار شدن به اتوبوس‌ها و پیاده شدن از آن‌ها در مسیر برگشت
۹. فرایند تعیین پارکینگ
۱۰. فرایند سوارشدن به خودرو و ترک شهر
۱۱. فرایند ترک سیستم

۷-۲ مدل‌سازی سیستم حمل‌ونقل زائرینی که با اتوبوس‌های بین شهری به مهران می‌آیند.

در این قسمت از مدل‌سازی، فرایندها به سه دسته اصلی که در ادامه بیان می‌کنیم تقسیم بندی شده اند.

- ۱) فرایند ورود به شهر تا پایانه برکت
- ۲) فرایند پیاده و سوار کردن مسافر در پایانه برکت
- ۳) فرایند ایجاد اتوبوس‌های درون شهری

۸- اطلاعات مورد نیاز مدل

نیروی محرکه یک مدل شبیه‌سازی را اطلاعات ورودی تشکیل می‌دهد. به منظور طراحی یک مدل معتبر از نظر ورودی‌های مسئله، پیمودن چهار قدم زیر ضروری است [۲۱]:

- ۱) گردآوری اطلاعات خام
- ۲) تعیین توزیع آماری
- ۳) تخمین پارامترهای مشخص کننده توزیع‌های آماری

۴) آزمون زیبندگی توزیع‌های آماری مفروض همراه با تخمین پارامترهای مربوط به آن‌ها.

در ادامه تحقیق به استفاده از چهار گام بالا برای جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازیم.

۹- تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی شبیه‌سازی

۹-۱ جمع‌آوری داده‌ها

بر اساس منابع موجود و در دسترس، جمع‌آوری داده‌ها به سه شکل زیر در این مقاله به انجام رسیده است:

۱. مشاهده سیستم و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات
۲. مشاوره با کارشناسان و پرسنل درگیر با موضوع حمل‌ونقل زائرین در اربعین با استفاده از جلسات مشترک و همچنین تحویل پرسشنامه به ایشان
۳. مطالعه منابع و گزارشات مربوطه که در اختیار ما قرار داده شد.

برای هر یک از فرایندها و فعالیت‌های سیستم، نمونه داده‌های لازم جمع‌آوری شده است که مهمترین داده‌های گردآوری شده در زیر لیست شده است:

- تردد روزانه زائرین در مسیرهای رفت و آمد در مرز
- تعداد پارکینگ‌ها و ظرفیت هر یک از آن‌ها
- مسیرهای تردد خودروهای شخصی درون شهر مهران از ابتدای ورود به شهر تا پارکینگ‌ها
- ظرفیت پارکینگ‌های موجود در نقاط مختلف شهر
- مسیرهای تردد اتوبوس‌های شهری

۹-۲ نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده

در این قسمت به نتایج حاصل از پردازش داده‌های جمع‌آوری شده و تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌پردازیم. با استفاده از قسمت آنالیز کننده ورودی نرم‌افزار Arena توزیع مناسب برای داده‌های جمع‌آوری شده را برازش می‌دهیم. این نرم افزار با استفاده از آزمون فرض‌های کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون کای-اسکوئر تست زیبندگی را انجام می‌دهد.

مثلا برای تعیین توزیع زمان‌های بین ورود زائرین مطابق نمونه بر اساس آزمون فرض‌های یاد شده تست زیبندگی انجام شده و از میان توابع گوناگون، تابع نمایی با پارامتر ۰,۱۰۵ دقیقه به دلیل میزان مربع خطای کمتر انتخاب شد.

جدول (۱): تعیین توزیع زمان بین ورود زائرین

توزیع منتخب	پارامترهای توزیع	میزان مربع خطا	کای دو	کولموگروف اسمیرنوف	توزیع
	$10 * \text{BETA}(0.85, 42.1)$	0.084680	<0/005	<0/01	Beta
*	$\text{EXPO}(0.105)$	0.004355	<0/005	<0/01	Exponential
	$\text{GAMM}(0.214, 0.489)$	0.063592	<0/005	<0/01	Gamma
	$\text{LOGN}(0.0933, 0.291)$	0.021411	<0/005	<0/01	Lognormal
	$\text{NORM}(0.105, 0.414)$	0.536197	<0/005	<0/01	Normal

	<0/01	<0/005	0.862882	UNIF(0, 10)	Uniform
	<0/01	<0/005	0.072538	WEIB(0.183, 0.735)	Weibull

سایر توابع توزیع نیز به همین صورت مشخص شد که نتایج آن را در جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول: (۲) توزیع ورودی‌های مسئله

متغیر تصادفی	توزیع منتخب	پارامتر توزیع	میزان مربع خطا
زمان بین خروج زائرین سوار بر خودروی شخصی	نمایی	۰,۱۰۵	۰,۰۰۴۳۵۵
زمان بین خروج زائرین سوار بر اتوبوس‌های بین شهری	لاگ-نرمال	(0.344,1.08)	۰,۰۰۰۴۱۱
زمان بین ورود زائرین سوار بر خودروی شخصی	نمایی	۰,۱۰۷	۰,۰۰۰۴۲۶
زمان بین ورود زائرین سوار بر اتوبوس‌های بین شهری	گاما	(1.82,0.741)	۰,۰۰۲۴۳۱

فواصل بین پارکینگ‌ها و گره‌های سیستم به همراه ظرفیت پارکینگ‌ها در جداول زیر به تفکیک کمربندی شرقی و غربی آورده شده است:

جدول (۳): فاصله بین پارکینگ‌ها در کمربندی غربی و ظرفیت آن‌ها

پارکینگ ۱۰	پارکینگ ۱۱	پارکینگ ۱۲	نقطه Arrive in city	پل زائر	ظرفیت
۰	۲۲۰۰	۴۶۰۰	۷۱۰۰	۱۳۰۰	۲۰۰۰
	۰	۳۵۰۰	۶۰۰۰	۲۴۰۰	۱۰۰۰
		۰	۲۵۰۰	۵۹۰۰	۱۰۰۰۰
			۰	۸۴۰۰	
				۰	
					نقطه Arrive in city
					پل زائر

جدول (۴) فواصل بین گره‌های بین شهر تا مرز مهران

نقطه Arrive in city	پل زائر	پایانه برکت از کمربندی شرقی	مرز مهران	پایانه برکت از مسیر امام زاده
۰	۱۰۵۰۰	۱۵۸۰۰	۲۰۸۰۰	۲۰۱۰۰
	۰	۵۳۰۰	۱۰۳۰۰	
		۰	۵۰۰۰	
			۰	
				۰
				پایانه برکت از مسیر امام زاده

با توجه به اینکه فواصل زمانی بین گره‌های شبکه باید در نرم‌افزار آرنا وارد شود با استفاده از فرمول سرعت ($V=x/t$) فواصل زمانی بین گره‌ها محاسبه شده و در نرم‌افزار وارد شده است. (با توجه به مشخص بودن متوسط سرعت در مسیرهای مختلف که درون شهر بین ۵۰-۳۰ کیلومتر در ساعت و خارج از شهر ۸۰-۵۰ کیلومتر در ساعت و مشخص بودن مقدار x مقدار عددی t به راحتی قابل محاسبه است.)

زمان‌های بازرسی افراد به صورت جدول زیر می‌باشد:

جدول (۵): زمان‌های بازرسی افراد در گیت‌ها

ردیف	نام گیت	توزیع زمان بازرسی	یکای زمان	تعداد نفرات به صورت موازی
1	چک کردن پاسپورت	$UNIF(10, 20)$	ثانیه	16
2	چک کردن ویزا	$UNIF(10, 20)$	ثانیه	16
3	چک کردن بار	$UNIF(15, 30)$	ثانیه	6
4	گیت اصلی	$UNIF(30, 90)$	ثانیه	32
5	چک کردن مهر خروج	$UNIF(10, 20)$	ثانیه	8

تعداد و ظرفیت اتوبوس‌ها در هریک از خطوط شبکه به صورت زیر است:

جدول (۶): تعداد و ظرفیت اتوبوس‌های درون شهری

لاین	مسیر	تعداد	ظرفیت
1	کمربندی شرقی	80	60
2	کمربندی غربی	20	60
3	پل زائر تا مرز	100	60

سایر زمان‌های لحاظ شده در مدل به شرح زیر می‌باشد:

جدول (۷): سایر زمان‌های بکار رفته در سیستم مورد بررسی

توضیح عملیات	ثابت یا متغیر	زمان	یکای زمان
زمان پارک خودرو در پارکینگ	متغیر	$UNIF(15, 30)$	دقیقه
زمان توقف هر اتوبوس در ایستگاه	ثابت	2	دقیقه
زمان بین پل زائر تا ایستگاه اجتماع اتوبوس‌ها	ثابت	2	دقیقه
زمان بین پل زائر تا ایستگاه سوار لاین ۳ برای زائرین	ثابت	10	دقیقه
زمان پیاده روی در مرز تا رسیدن به اولین گیت بازرسی	ثابت	30	دقیقه
زمان سفر در عراق	متغیر	$TRIA(4,7,8.5)$	روز
زمان پیاده روی تا رسیدن به اولین گیت برگشت	ثابت	2	دقیقه
زمان پیاده روی تا رسیدن به اولین ایستگاه اتوبوس برگشت	ثابت	10	دقیقه

۱۰- تعیین طول گرم‌شدن سیستم

ولج [۲۲] از طریق هموارسازی خروجی شبیه‌سازی و رسم نمودار سری‌های نتایج، روش ساده ای را برای طول دوره راه‌اندازی مدل شبیه‌سازی پیشنهاد می‌کند. رویکرد اساسی این روش ایجاد تعدادی اجرای آزمایشی از شبیه‌سازی است. هر اجرا باید با اعداد تصادفی مختلف برای هر اجرا در یک تکرار صورت گیرد. این روش، محاسبه سری‌های هموار شده با میانگین‌های مؤثر و سپس استفاده از نمایش سری‌های هموار شده به منظور فراهم کردن یک تصمیم درباره طول دوره راه‌اندازی انجام می‌شود. گام‌های انجام روش ولج به شرح زیر است:

- n اجرای مستقل انجام دهید ($n \geq 5$)، هر یک به طول m که مقادیر Y_i را می‌دهد.

- میانگین هربار مشاهده را محاسبه کنید.
- میانگین مؤثر w را حساب کنید.

نمودار میانگین مؤثر را به ازای $i=w+1, 1, \dots, m-w$ رسم نمایید و گام ۱ را تا زمانی که سری‌های میانگین مؤثر به طور مناسب پوشش داده شوند، انجام دهید.

با توجه به نبود اطلاعات در این مورد (زمان سفر در عراق) و برای سهولت در انجام کار، بنابر نظر کارشناسان، طول گرم شدن سیستم، برابر دو روز (۲۸۸۰ دقیقه) در نظر گرفته شد.

۱۱- طول و تعداد تکرار شبیه‌سازی

۱۱-۱ تعیین طول شبیه‌سازی

برای تعیین طول شبیه‌سازی در هر اجرای برنامه کامپیوتری، باید حداقل تعداد مشاهدات در هر قسمت از مدل شبیه‌سازی را بدست بیاوریم. برای این منظور از فرمول (۱) استفاده می‌کنیم:

$$n = (z_{\alpha/2} * \delta / e)^2 \quad (۱)$$

که در این رابطه ضریب اطمینان $(1-\alpha)$ را برابر با ۹۵ درصد، حداکثر خطای مشاهدات e را برابر با ۱۰ درصد در نظر می‌گیریم و δ نیز انحراف معیار زمان انجام کار فعالیت‌های مختلف است که معلوم است.

۱۱-۲ تعیین تعداد اجراهای برنامه کامپیوتری

اگر μ یک تخمین نااریب برای $\bar{x}$ بوده و واریانس $\bar{x}$ برابر $\frac{s^2}{t}$ باشد، آنگاه تعداد نمونه‌های لازم برای این تخمین I خواهد بود. چنانچه فرض کنیم $p[\bar{x} - g \leq \mu \leq \bar{x} + g] \geq 1 - \alpha$ بوده به طوری که g یک مقدار مشخص باشد، آنگاه با قرار دادن مقدار $Z = \sqrt{I(\bar{x} - \mu) / \delta}$ در رابطه فوق خواهیم داشت:

$$p\left[|Z| \leq \frac{g\sqrt{I}}{\delta}\right] \geq 1 - \alpha \quad (۲)$$

نامعادله (۲) در حالت مساوی، کمترین مقدار I یعنی I^* را نیاز دارد. فرض می‌کنیم I^* آنقدر بزرگ باشد که بتوانیم قضیه حد مرکزی را به کار ببریم. آنگاه خواهیم داشت:

$$I^* = \left(\frac{\delta}{g} Z_{\alpha/2}\right)^2 \quad (۳)$$

در این رابطه $Z_{\alpha/2}$ مقداری از متغیر تصادفی نرمال استاندارد است که سطح زیر منحنی در سمت راست آن برابر با $\alpha/2$ می‌باشد. برای محاسبه I^* به اطلاعات δ نیاز داریم. معمولاً در این مواقع S_x را به جای δ_x به کار می‌بریم. که در این صورت، متغیر تصادفی، $\sqrt{I(\bar{x} - \mu) / S_x}$ تابع توزیع t با $(n-1)$ درجه آزادی خواهد شد. مقدار S_x در این رابطه را با انجام شبیه‌سازی آزمایشی بدست می‌آوریم. روش معمول در این محاسبه، استفاده از قانون توقف پیوسته است. استار [۲۳] نشان داده است که اگر X_i ها متغیرهای تصادفی مستقل گسسته باشند برای

$$p[\bar{x} - g \leq \mu \leq \bar{x} + g] \geq \begin{cases} 0.92 & \text{اگر } 1 - \alpha = 0.95 \\ 0.985 & \text{اگر } 1 - \alpha = 0.99 \end{cases}$$

خواهیم داشت:

$$I^* = \min \left\{ I: I \geq 3 \text{ و } S_x^2 \leq \frac{I g^2}{t_{\alpha/2}^2 (I-1)} \right\} \quad (4)$$

که در رابطه (۴) حداکثر خطا یعنی g را طبق نظر کارشناسان برابر ۰,۱ در نظر می‌گیریم و I شماره اجرای برنامه کامپیوتری است و S_x^2 واریانس متغیر مشاهده شده در اجرای I است.

از آن جایی که اطلاعات داده شده به ما برای شبیه‌سازی اربعین ۲۹ روز (۱۹ روز قبل از اربعین، روز اربعین و ۹ روز بعد از آن) می‌باشد و با توجه به نظر خبرگان و کارشناسان متخصص حمل‌ونقل اربعین، شبیه‌سازی برای این ۲۹ روز ضروری است پس طول شبیه‌سازی را برابر با ۲۹ روز (۴۱۷۶۰ دقیقه) در نظر گرفته ایم.

از طرفی با توجه به حجم بالای اطلاعات ورودی به مدل و تعداد Entity های بسیار زیاد مسئله و حجم محاسبات بسیار بالای سیستم و همچنین ماهیت معادلات شبیه‌سازی آماری که به صورت خطی و وابسته به هم است و امکان موازی کردن پردازنده‌های کامپیوتر برای بالا رفتن سرعت محاسبات و حل مدل وجود ندارد، تعداد تکرار شبیه‌سازی را برابر حداقل تکرارها برای اعتبار سنجی مدل یعنی ۱۰ تکرار در نظر گرفته ایم.

۱۲- صحت سنجی مدل شبیه‌سازی

برای صحت سنجی مدل، از آزمون فرض زیر (مربوط به آزمون مقایسه میانگین دو جامعه آماری مستقل) استفاده می‌کنیم.

$$H_0: \mu_{Y_1} = \mu_{Z_1}$$

$$H_1: \mu_{Y_1} \neq \mu_{Z_1}$$

که در فرمول بالا Y_1 میانگین حاصل از مدل شبیه‌سازی و Z_1 میانگین حاصل از سیستم واقعی می‌باشد.

آماره آزمون نیز به صورت معادله (۵) است:

$$T = \frac{(X_1 - X_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (5)$$

چنانچه فرض H_0 رد نشود، در این صورت دلیلی برای رد برابری میانگین‌های مدل با سیستم واقعی وجود ندارد. چنانچه فرض H_0 رد شود، در این صورت فرض برابری میانگین‌ها رد شده و مدل اعتبار ندارد.

تردد زائرین در مرز مهران طبق تخمین‌های انجام شده بر اساس جدول زیر است:

جدول (۸): تخمین تردد زائرین

تعداد موجودیت‌ها در مرز	اعداد تخمینی
ورود با خودروهای شخصی	280000
خروج با خودروهای شخصی	370000
ورود با اتوبوس	29000
خروج با اتوبوس	112000
جمع تردد	791000

حال از آزمون فرض بالا و با استفاده از آماره بالا به انجام احراز اعتبار مربوط به هر یک از داده‌ها می‌پردازیم.

به عنوان مثال برای احراز اعتبار ورود زائرینی که با خودروهای شخصی به مهران آمده‌اند، داده‌های شبیه‌سازی به صورت جدول زیر بدست آمده است:

جدول (۹): نمونه‌ای از خروجی‌های مدل

شماره تکرار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
تعداد مشاهده شده	280235	280956	280059	280785	280084	280070	279996	280325	280063	278385

به کمک نرم افزار spss و آزمون فرض t به مقایسه میانگین نمونه استخراج شده از مدل با مقدار مشاهده شده در واقعیت می‌پردازیم و درستی نتایج را بررسی می‌کنیم.

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VAR00001	10	280095.8000	685.31271	216.71491

One-Sample Test

Test Value = 280000

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
VAR00001	.442	9	.669	95.80000	-394.4432	586.0432

شکل ۱ نمونه‌ای از آزمون فرض t

مقدار P-Value این آزمون برابر با ۰,۶۶۹، آماره آزمون برابر ۰,۴۴۲ است. این نتیجه دلیلی را برای رد فرض صفر آزمون در سطح اطمینان $\alpha = 0.05$ به همراه ندارد و برابری میانگین دو جامعه پذیرفته می‌شود.

برای سایر داده‌های خروجی مدل نیز آزمون فرض را مطابق نمونه انجام می‌دهیم که اطلاعات آن در پیوست مقاله قابل مشاهده است.

پس از احراز اعتبار مدل، به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌پردازیم و در ادامه یک سناریوی بهبود برای سیستم کنونی پیشنهاد می‌شود.

۱۳- تجزیه و تحلیل نتایج

پس از بررسی‌های بعمل آمده بر روی خروجی‌های مدل مشخص شد که تعداد اتوبوس‌های کمربندی‌های شرقی و غربی و خط شهر مهران تا مرز نسبت به زمان‌بندی موجود زیاد است و به این تعداد اتوبوس نیازی نیست. همچنین پس از مشاهده متوسط تعداد افراد منتظر پشت هر گیت بازرسی متوجه شدیم تعداد منابع در گیت‌های چک کردن پاسپورت، چک کردن بار در مسیر رفت، گیت چک کردن مهر خروج مسیر رفت و گیت چک کردن مهر خروج مسیر برگشت باید افزایش یابد و تعداد کنونی پاسخگویی لازم را ندارد. همچنین تعداد منابع موجود در گیت‌های اصلی و چک کردن بار مسیر برگشت و همچنین چک کردن ویزا می‌تواند کاهش یابد.

۱۴- سناریوی بهبود: تغییر اولویت پر شدن پارکینگ‌ها

یکی از سناریوهای پیشنهادی تغییر در اولویت پر شدن پارکینگ‌ها بود که ما آن را بر خلاف قبل تنظیم کردیم. یعنی بر خلاف گذشته که ابتدا پارکینگ شماره ۱ (نزدیکترین پارکینگ به پل زائر) پر می‌شد، زائرین به اولین پارکینگ که می‌رسند خودرو خود را پارک کرده و از آن‌جا تا پل زائر را با اتوبوس طی می‌کنند. پس مدل را جوری تغییر دادیم که مثلاً در کمربندی شرقی، ابتدا پارکینگ ۹، سپس پارکینگ ۸، و الی آخر تا پارکینگ ۱ پر شود. برای مشخص شدن تاثیر این تغییر بر روی سیستم سایر عوامل را ثابت در نظر گرفتیم.

برای ارزیابی سناریو لازم است پارامتر زمان حضور زائر در سیستم، قبل و بعد از اعمال سناریو با هم مقایسه کنیم. **Error! Reference source not found.** زیر به مقایسه این سناریو با وضعیت قبلی سیستم پرداخته است.

جدول (۱۱) مقایسه نتایج سناریو با قبل

نوع گزارش	میانگین قبل از اعمال سناریو	میانگین پس از اعمال سناریو
زمان خدمت‌گیری	3/113	3/1457
زمان‌های جابه‌جایی	115/44	114/39
کل زمان حضور در سیستم	8597/77	6314/78

همانطور که از نتایج مشخص است، این سناریو بر روی زمان جابجایی و زمان خدمت‌گیری زائرین تاثیری ندارد اما بر روی کل زمان حضور در سیستم تاثیر قابل توجهی دارد و باعث کوتاه‌تر شدن زمان سفر می‌شود که می‌تواند نکته قابل ملاحظه‌ای برای مدیران و تصمیم‌گیران حوزه حمل‌ونقل و لجستیک باشد.

نکته‌ای که قابل توجه است این است که با اعمال این سناریو، ظرفیت پارکینگ‌های یک و دو اصلاً مورد استفاده قرار نگرفته است و در واقع ظرفیتی معادل ۴۰۰۰ خودرو بلا استفاده واقع شده است.

۱۴- نکات برجسته تحقیق حاضر

- ۱- تحقیق حاضر یک تحقیق میان سازمانی است و در واقع نقطه اتصال چندین سازمان مختلف و اجتماع ماموریت‌های آن‌ها با هم است.
- ۲- این تحقیق ضرورت هماهنگی بین بخش‌های مختلف درگیر در موضوع پیاده‌روی اربعین را نمایان می‌کند و می‌توان به آن به صورت کمکی برای مدیریت کل مجموعه، تا حدود زیادی تکیه کرد.
- ۳- شناسایی فرایندهای مختلف سیستم حمل‌ونقل اربعین برای اولین بار در این تحقیق انجام شده است.
- ۴- برای اولین بار در این پژوهش به بحث حمل‌ونقل زائرین اربعین پرداخته شده است. کاری که پیش از این سابقه نداشته است.
- ۵- برای اولین بار در این پژوهش سیستم حمل‌ونقل زائرین اربعین شبیه‌سازی شده است.
- ۶- با توجه به ماهیت شبیه‌سازی، امکان ایجاد تغییرات گوناگون در سیستم حمل‌ونقل اربعین و مشاهده نتایج آن، به راحتی امکان پذیر است. کاری که در مدل‌های بهینه‌سازی با این حجم از متغیرهای در نظر گرفته شده، اصلاً به راحتی انجام نمی‌شود.
- ۷- این تحقیق دید خوبی نسبت به کل سیستم حمل‌ونقل زائرین اربعین ایجاد کرده است که امکان تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی را برای مدیران را به راحتی فراهم می‌کند و اصطلاحاً دست مدیر برای تصمیم‌گیری را باز نگه می‌دارد.

منابع

1. Sadowski, R. P., Kelton, W. D., & Sadowski, R. P., "Simulation with ARENA: McGraw-Hill," 1998.
2. Mishra, M., Chan, F. T., "Impact evaluation of supply chain initiatives: a system simulation methodology," *International journal of production research*, vol. 50(6), pp. 1554-1567, 2012.
3. Mostafa, S., & Chileshe, N, "Application of discrete-event simulation to investigate effects of client order behaviour on off-site manufacturing performance in Australia," *Architectural engineering and design management*, Vols. 14(1-2), pp. 139-157, 2018.
4. Miranzadeh, A., Sajadi, S. M., Tavakoli, M. M., "Simulation of a single product supply chain model with ARENA," *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 19(1), pp. 18-33, 2015.
5. Altioik, T., Melamed, B., "Simulation modeling and analysis with Arena," in *Elsevier*, 2010.
6. Dehaghi, Z. H., Sajadi, S. M., Ahmadabadi, M. N., "Determine the optimal order quantities in lot sizing models regarding minimum order quantity with simulation," *International Journal of*

Engineering, vol. 2(8), pp. 399-403, 2013.

۷. بنکس، ج. کارسن، ج. ترجمه‌ی محلوجی، ه. شبیه‌سازی گسسته پیشامد، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۸.

۸.

9. R. E. Shannon, "Systems Simulation, The Art and Science, Prantice Hall," Inc., Englewood Cliffs, New Yersey, 1975.
10. Cabrera E., Taboda M., Iglesias M., Eplede F., Luque E., "Optimization of Health Care Emergency Department by Agent – Based Simulation," *Procedia Computer Science*, vol. 4, pp. 1880-1899, 2011.
11. Subtil, R. F., Silva, D. M., Alves, J. C., "A Practical Approach to Truck Dispatch for Open pit Mines," *In 35th APCOM symposium*, pp. 24-30, 2011.
12. G. Papageorgiou, A. Maimaris, and A. Abdel-Rahim,, "Modelling, simulation methods for intelligent transportation systems," *in Intelligent Transportation Systems*, no. 4, pp. 101-123: InTech, 2012.
13. C. L. MARTE, L. R. YOSHIOKA, J. E. L. MEDEIROS, C. A. SAKURAI, and C. F. J. R. A. i. E. E. FONTANA, "Intelligent transportation system for bus rapid transit corridors (ITS4BRT)," vol. 23, pp. 242-249, 2013.
14. M. Jacyna, M. Wasiak, K. Lewczuk, and M. J. A. o. T. Kłodawski, "Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport," vol. 31, 2014.
15. F. E. Gunawan and A. A. Gunawan,, "Simulation model of bus rapid transit," *in in EPJ Web of Conferences*, 2015.
16. Eskandari, H. R., Darabi, H., "Multi-objective Simulation Optimization of Shovel-Truck System for Surface Mining," *in Industrial Management Conference*, Tehran, Iran, 2016.
17. R. Sayyadi, A. J. I. J. o. M. Awasthi, "A system dynamics based simulation model to evaluate regulatory policies for sustainable transportation planning," vol. 37, no. 1, pp. 25-35, 2017.
18. Y. I. Mahjoub and A. Nait-Sidi-Moh, "Modeling and performance evaluation of a public transportation system," *in in 2017 14th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, 2017.
19. P. Singh, A. K. Singh, P. Singh, S. Kumari, A. K. J. M. T. Sangaiah, "Multimodal data modeling for efficiency assessment of social priority based urban bus route transportation system using GIS and data envelopment analysis," vol. 78, no. 17, pp. 23897-23915, 2019.
20. Kamarudeen, N., Sundarakani, B. Manikas, I., "An Assessment of the Dubai Metro Service's Performance Using SCOR Model and ARENA Simulation," *FIIB Business Review*, 2020.

۲۱. کلتون، د، سادوسکی، ر، استارک، د. ترجمه‌ی باقری، م، سبویه، ع. حجازی، ط. ح. شبیه‌سازی با نرم افزار ارناس، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۱۳۹۰. p. 1390.
۲۲. ح. حسن‌پور، "بررسی و بهبود بهره‌وری خط تولید شرکت آتور با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری." دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۵.
23. P. D. Welch, "The statistical analysis of simulation results," *The computer performance modeling handbook*, vol. 22, pp. 268-328, 1983.
24. N. Starr, "The performance of a sequential procedure for the fixed-width interval Estimation of the mean," *ann.math.stat*, vol. 37, pp. 36-50, 1966.