



شناسایی پارامترهای موثر بر مدل خرد شبیه سازی (مطالعه موردی عوارضی آزادراه تهران - ساوه)

محمود صفار زاده، استاد دانشکده عمران دانشگاه تربیت مدرس
علیرضا نوری، دانشجوی دکترا تخصصی راه و ترابری دانشگاه صنعتی امیر کبیر
حامد پورعلی، دانشجوی کارشناسی ارشد حمل و نقل دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

چکیده:

یکی از مهمترین و در عین حال سودمندترین روشهای شناسایی رفتار ترافیکی یک زیرساخت حمل و نقلی استفاده از روش شبیه سازی خرد نگر یا میکروسکوپی است. این مدلها باید تطابق قابل قبولی با واقعیتهای اندازه گیری شده بیرونی داشته باشند و به نحوی مدل نرم افزاری می باید برای محل مورد بررسی کالیبره شود. جهت دستیابی به بهترین نتیجه در حالتی که ورودی های مدل ساخته شده زیاد باشد باید موثرترین پارامترهای ورودی جهت برداشت با حساسیت بیشتری، به نوعی ارزیابی و مشخص شوند. انجام چنین فرآیندی بدون استفاده از یک روش مناسب ریاضی مستلزم صرف وقت بسیار زیادی می باشد. در این مقاله مدل شبیه سازی درگاه اخذ عوارض ابتدای آزاد راه تهران ساوه در محیط نرم افزار AIMSUN ساخته شد. پس از ساخت مدل اولیه، بر اساس مطالعات انجام شده، در حدود یازده پارامتر اصلی تاثیرگذار بر مدل انتخاب شده و با توجه به برداشتهای صورت گرفته از محل پروژه بازه ای برای هر یک از پارامترها تعیین گردید. سپس با در نظر گرفتن حد بالا و پایین بازه و تخصیص هر یک از حدود به یک سطح با روش پلاکت بورمن طراحی آزمایشات انجام گرفت. سپس با انجام 36 شبیه سازی از مدل و میانگین گیری، خروجیهای مورد نظر برای تکمیل جدول پلاکت بورمن و تخمین حساسیت به دست آمد. در پایان نتیجه حاصل جهت مقایسه موثرترین پارامترهای ورودی برای دو فاکتور خروجی زمان سفر و تاخیر کل ایجاد شده ارائه شد و بر اساس آن موثرترین پارامترها بر زمان سفر و زمان تاخیر در مدلها میزان زمان انتظار در پشت گیتهای عوارضی و منطقه دوم مدل بودند. منطقه دوم مدل شاخصی از تصمیم گیری رانندگان جهت انتخاب گیت برای پرداخت عوارض می باشد. بر اساس این دو پارامتر موثر می توان اینگونه تخمین زد که در صورت تبدیل گیتها به گیت های خودکار، عملاً هر دو پارامتر زمان سفر و زمان تاخیر به نحو موثری کاهش خواهد یافت.

کلمات کلیدی: شبیه سازی خرد نگر، عوارضی، پلاکت بورمن، طراحی آزمایشات، اتوبان



یکی از مهمترین و در عین حال سودمند ترین روش های شناسایی رفتار ترافیکی یک زیرساخت حمل و نقلی استفاده از روش شبیه سازی خرد نگر یا میکروسکوپییک است. فارق از اینکه چه نرم افزاری در عملیات شبیه سازی میکروسکوپییک مورد استفاده قرار می گیرد ، باید تطابق قابل قبولی میان نتایج خروجی نرم افزار با واقعیت های اندازه گیری شده بیرونی وجود داشته باشد و به نحوی مدل نرم افزاری برای محل مورد بررسی کالیبره شود. با توجه به این موضوع که اکثر مدل های شبیه سازی میکروسکوپییک پارامترهای بسیار زیادی را به عنوان ورودی دریافت می کنند و از سوی دیگر پرهزینه بودن کالیبره نمودن تمامی پارامترهای ورودی نرم افزار ، می بایست موثر ترین پارامترها بر خروجی ها را یافته و سپس با برداشت موثرترین پارامترها ، مدل با کمترین هزینه کالیبره گردد. بدیهی است که حالت ایده آل زمانی رخ می دهد که تمامی پارامترها برداشت شوند و در نرم افزار قرار گیرند. برای یافتن میزان تاثیر تک تک پارامترها می توان هر یک از پارامترها را با ثابت بودن سایر پارامترها تغییر داد و نهایتا تاثیر آن را بر خروجی سنجید و در نهایت موثرترین پارامتر را اعلام نمود. اما همانگونه که خواهیم دید، این عملیات خود بسیار وقتگیر و هزینه بر بوده و حتی می تواند از تدقیق و کالیبراسیون تمامی پارامترها زمان بیشتری را صرف نماید و موجب افزایش قابل توجه در آزمایشات مدل گردد[1]. برای پیشگیری از افزایش فزاینده آزمایشات مدل و در عین حال یافتن موثر ترین پارامترهای تاثیر گذار بر آن ، روشهای ریاضیاتی نوینی به عرصه علم وارد شده اند که دو روش از مهمترین آنها روشهای طراحی آزمایشات فکتوریال¹ و روشهای طراحی آزمایشات پلاکت بورمان² است. در مستندات مربوط به نرم افزار SAS روش پلاکت بورمان یکی از روشهای غربالی شناخته شده است که یکی از مزایای اصلی آن قابل تفکیک به مضارب عدد چهار بودن است در حالی که روش فکتوریال صرفا توانهای عدد دو را در بر می گیرد.[2]. شناخت پارامترهایی که نیاز است از نرم افزار استخراج شوند و همچنین متغیرهایی که بر خروجی های مذکور تاثیرگذار هستند و دانستن میزان تاثیرگذاری هر یک از پارامترها بر خروجیهای نرم افزار یکی از مهمترین گامهای افزایش دقت یک مدل شبیه سازی میکروسکوپییک است. آنالیز حساسیت را برای هر دو حالت مدل های تحلیلی و شبیه سازی می توان بکار برد. علاوه بر بیان مهمترین پارامترها از طریق آنالیز حساسیت، مشکل کمبود اطلاعات را نیز می توان پوشش داد.

¹ fractional design

² Plackett-Burman Design



در مقاله حاضر نیز باتوجه به اهمیت شناخت پارامترهای موثر در مدل شبیه سازی خرد نگر¹ زیر ساخت های حمل و نقلی از روش پلاکت بورمن استفاده شده است و پس از تعیین حدود قابل قبول هر یک از پارامترهای موثر بر مدل، موثرترین پارامترها بر مدل شناسایی شده است. مدل بکار رفته در این تحلیل در نرم افزار AIMSUN 7 ساخته شده است و دقیقاً بر اساس موقعیت و فرم شبکه و ترافیک عبوری از درگاه اخذ عوارض آزادراه تهران-ساوه شکل گرفته و حدود مشخص شده در روش پلاکت بورمن بر اساس مشاهدات و اندازه گیریهای دقیق میدانی انتخاب شده است.

2- مرور منابع:

2-1- معرفی روش پلاکت بورمن:

در بسیاری از شاخه های علوم و مهندسی، آزمایشات، نقطه اتصال علوم نظری و علوم عملی می باشند و اهمیت آزمایش و طرح آزمایش به گونه ای دقیق و بهینه، چه از نظر اقتصادی، و چه از منظر علمی بر کسی پوشیده نیست. پیش از شکل گیری طراحی آزمایشات به شیوه امروزی برای یافتن تاثیر هر پارامتر بر خروجی، آزمایشگر مجبور به ثابت فرض نمودن تمامی پارامترها (فاکتورها) و تغییر تنها یک پارامتر و ارزیابی پاسخ بود که عملاً علاوه بر در نظر نگرفتن تداخلات میان فاکتورها و تاثیر فاکتورها بر عملکرد یکدیگر، منجر به بالا رفتن تعداد آزمایشات به نحوی چشمگیر می شد.

پلاکت و بورمن در سال 1946 مقاله خود را تحت عنوان "طراحی بهینه آزمایشات چند فاکتوری" ارائه کردند این مقاله ساختار یک طراحی اقتصادی با تعداد آزمایش مورد نیاز بیشتر از 4 تکرار (نسبت به توان 2) بیان می کرد. از این روش برای اولین بار در 1947 جهت تعیین فاکتورهای مهم تولید اتانول از مولفه های غیر اصلی غیر ارگانیک توسط پلاکت و بورمن استفاده شد و در ادامه در بسیاری از شاخه های مختلف علوم که به نوعی نیازمند تعداد وسیعی آزمایش ها جهت تهیین موثرترین پارامترها جهت تولید محصول یا انجام فرآیندهای شبیه سازی بود استفاده شد. بطور کل هر دو این روش ها جهت بیان مهمترین پارامترهای تولید و مدلسازی می توانند به کار گرفته شود. اما روش پلاکت بورمن برای اولین بار جهت تعیین فاکتورهای مهم تولید اتانول از مولفه های غیر اصلی غیر ارگانیک استفاده شد و براساس روش پلاکت بورمن هر متغییر معرف دو سطح بالا (+1) و سطح پایین (-1) بوده است [3] آناستازیا و کاروالهو از روش پلاکت بورمن در دو مورد یکی تحت عنوان مطالعه تعدادی از فاکتورها به وسیله تعداد کمی از آزمایشها و در مورد دیگر، تعیین برهم کنش دو فاکتور نسبت به هم استفاده کردند [4].

¹ Microscopic



یونگ یو و جینگ لیانگ از روش PB,ANNGA,CCD جهت ارزشگذاری متغیرهای مهم مرتبط با بهینه سازی متابولیزم محصولات استفاده کردند. بطورمشخص پژوهش آنها نیز از پلاکت بورمن جهت بیان فاکتورهای مهم استفاده شد. درآزمایش این دو پژوهشگر 7 متغیر تخصیص داده شده با 4 متغیر مجهول توسط 12 آزمایش تست شده اند تا میزان خطای استاندارد محاسبه شود. ازمقداری تحت عنوان R2 به عنوان ضریب سازگاری طرح پلاکت بورمن استفاده شد و متوسط میزان اتانول به عنوان پاسخ برداشت شد و در ادامه متغیرهای با سطح اطمینان بالای 90% به عنوان متغیرهای مهم جهت تولید الکل اتانول انتخاب شدند[3]. زیامینگ و همکاران در سال 2012 از مطالعه پلاکت بورمن جهت نشان دادن فاکتورهای تمرکزچربی، فاکتورهای دارو و پارامترهایی از این دست استفاده کردند و این پارامترها، پارامترهایی بود که فرض میشد مهمتر از سایر پارامترها در آنالیز حساسیت باشند. به علاوه از رگرسیون چند خطه و آنالیز واریانس¹ ویکسری از گرافها برای نشان دادن تغییر هر پارامتر استفاده شده است[5].

ویانگ و همکاران نیز به توسعه روش رنگ شناسی با استفاده از غربالگری کامپیوتری و روش تجربی پلاکت بورمن پرداخته اند. دراین مقاله به توصیف سه مرحله روش بهینه سازی پرداخته شده که شامل بهینه سازی تفکیک با استفاده از چند تعدیل کننده ارگانیک در فاز حرکت بود و چند فاکتور توسط روش پلاکت بورمن در آن بهینه سازی شده اند[6]. ملاء ونزال نیز از روش پلاکت بورمن جهت ارائه مدل تاثیر پولیاکس کربنها بر روی داروهای آرامبخش استفاده کردند که نشان دهنده تغییر در نرخ محلولهایشان بود[7].

علاوه بر مقالات و تحقیقات ذکر شده، تحقیقات بسیار زیاد دیگری در دنیا با استفاده از این روش مفید و موثر انجام گرفته است که متاسفانه به دلیل ناشناخته ماندن این روش توسط مهندسیین عمران و به خصوص مهندسیین حمل و نقل و ترافیک، هنوز هم در بسیاری از ارزیابیهای سنجش حساسیت از روش مستقیم که وقتگیر و هزینه بر است استفاده می گردد. در بخشهای بعدی به مقایسه ای اجمالی میان تعداد آزمایشات لازم در این روش سنجش حساسیت و روش مستقیم خواهیم پرداخت و پس از آن مدل شبیه سازی ساخته شده را توسط این روش حساسیت سنجی نموده و نهایتاً موثرترین پارامترها را معرفی خواهیم کرد.

2-2- معرفی شبیه سازی و نرم افزار مورد استفاده:

شبیه سازی میکروسکوپی ترافیک قابلیت ارزیابی شرایط رانندگی به صورت لحظه به لحظه و آمار برداری از سرعت و شتاب خودروها را در تمامی بازه های شبیه سازی دارا می باشد. هر یک از

¹ ANOVA



نرم افزارهای شبیه سازی ترافیک از اجزاء اولیه و زیرساخت های حمل و نقلی تشکیل شده اند که نحوه رفتار رانندگان در مدل را کنترل و آن را با رفتار واقعی رانندگان منطبق می کنند. از مهمترین این اجزاء مدل هایی تحت نام (Car following models) یا مدل های تعقیب هستند که مشخص می سازند که یک راننده چگونه راننده جلویی را تعقیب می کند و سرعت خود را با او مطابقت می دهد و نهایتاً سرعت و شتاب هر وسیله در هنگام تردد در شبکه، از این مدل به دست می آید [8].

نرم افزاری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، از مدل تعقیب Gipps استفاده می کند که اطلاعات سرعت، شتاب و شتاب کاهنده را فراهم می سازد و از دو جزء اصلی شتاب و شتاب کاهنده تشکیل شده است. شتاب گیری با تعریف یک سرعت مطلوب برای رانندگان انجام می شود، که هر راننده تلاش می کند به سرعت مطلوب تعریف شده برای خود دست یابد. در هر گام شبیه سازی سرعت نهایی گام محاسبه می شود و به سرعت قبلی خودرو افزوده می گردد. عملیات شتاب گیری تا جایی پیش می رود که یا حضور خودروی دیگری در مقابل خودروی مورد بررسی مانع افزایش سرعت گردد و یا خودرو به سرعت مطلوب خود دست یابد.

در مدل Gipps، ماکزیمم سرعت قابل دستیابی در بازه زمانی $(t, t+T)$ برای وسیله نقلیه شماره n از فرمول (1) به دست می آید:

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)}\right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}} \quad (1)$$

که در آن، $V(n, t)$ ، سرعت وسیله نقلیه n در زمان t ، $V^*(n)$ ، سرعت مطلوب وسیله نقلیه n در مقطعی از راه که در آن قرار دارد، $a(n)$ ، شتاب بیشینه برای وسیله نقلیه n و T ، زمان عکس العمل خودروها می باشد [8]

از سوی دیگر، بیشینه سرعتی که وسیله نقلیه شماره n در همان بازه زمانی بیان شده در فرمول (1) ولی این بار با حضور یک خودرو در مقابل آن (خودروی شماره $n-1$) و در همان لین و در بازه زمانی $(t, t+T)$ می تواند به آن برسد، بر اساس مشخصات خودروها از فرمول (2) به دست می آید:

$$V_b(n, t + T) = d(n)T + \quad (2)$$

$$\sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2 \left\{ \frac{x(n-1, t) - s(n-1)}{-x(n, t)} \right\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d(n-1)} \right]}$$

که در آن $d(n) (< 0)$ ، بیشینه شتاب کاهنده مطلوب برای وسیله نقلیه n ، $x(n, t)$ ، محل قرارگیری وسیله نقلیه n در زمان t ، $x(n-1, t)$ ، محل قرارگیری وسیله نقلیه مقابل $(n-1)$ در زمان t ، $s(n-1)$ ، طول موثر وسیله نقلیه $n-1$ و $d'(n-1)$ ، تخمین از شتاب کاهنده وسیله نقلیه $n-1$ می باشد [8].

در هر یک از خودروها، سرعت نهایی لحاظ شده برای خودروی n در مدل، در بازه زمانی $(t, t+T)$ از فرمول (3) به دست می آید:



$$V(n, t + T) = \min\{V_a(n, t + T), V_b(n, t + T)\} \quad (3)$$

سپس محل قرار گیری خودرو در مدل توسط فرمول (4) محاسبه گردیده و به روز رسانی می شود:

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T)T \quad (4)$$

پارامتر بسیار مهم دیگری که در تنظیم پارامترهای شبیه ساز اهمیت دارد، پارامتر زمان عکس العمل ترمز گیری (BRT) بوده که در برخی از مطالعات پیشین نیز بررسی شده است. زمان عکس العمل ترمزگیری فاصله زمانی بین مشاهده ترمز گیری ماشین جلویی یا عبور خودروی در حال عبور از مسیر مقابل در یک تقاطع و آغاز ترمز گیری توسط خودروی مورد بررسی است [8].

زمان عکس العمل رانندگان در حالتی که می خواهند از حالت توقف شروع به حرکت نمایند قطعا با زمان عکس العمل رانندگان در هنگام تبدیل وضعیت از حرکت به توقف متفاوت می باشد که در نرم افزار این پارامتر نیز به صورت کاملا مجزا قابل تعریف می باشد. این پارامتر در هنگامی که خودروها در حال حرکت از پشت چراغ راهنمایی هستند نیز با حرکت عادی خودروها در حال تعقیب یکدیگر متفاوت می باشد و با توجه به این موضوع که برای شبیه سازی گیت های ترافیکی از ابزار چراغ نرم افزار شبیه ساز استفاده شده است زمان عکس العمل خودروها در پشت چراغ راهنمایی¹ نیز پارامتر مهمی قلمداد می شود. همچنین رانندگان پیش از ورود به گیتها از بزرگراه اصلی اقدام به انتخاب مسیر می نمایند که این موضوع را نرم افزار با مدل های رمپ خروجی² شبیه سازی می کند. در این مدلها دو پارامتر اساسی منطقه زمانی 1³، منطقه زمانی 2⁴ کنترل کننده رفتار رانندگان در تصمیم گیری برای خروج از بزرگراه و انتخاب خطوط می باشند. همچنین واضح است که زمان توقف رانندگان در پشت گیتها می تواند پارامتر موثری بر زمان سفر و زمان تاخیر خودروها (که خروجیهای مبنای این مدلسازی هستند) باشد. علاوه بر این با توجه به تعداد قابل توجه کامیونها تخمین زده شد که تاثیر پارامترهای کامیونها بر مدل چشمگیر باشد و بتواند تغییرات قابل توجهی را در نتایج خروجیهای مدل به وجود آورد. لذا پارامترهای کامیونها و سواریهای به طور مجزا دیده شده است.

بر اساس موارد ذکر شده و بررسیهای صورت گرفته بر روی نرم افزار AIMSUN، نرم افزار توان دریافت بیش از 30 پارامتر مختلف به عنوان ورودی را دارد که بر اساس مطالعات کتابخانه ای صورت گرفته و مدل های فوق الذکر در صورتی که شبیه سازی گیت دریافت عوارض مد نظر باشد، در حدود 11 پارامتر اصلی بر عملیات تاثیرگذار خواهد بود. لذا بر این اساس پارامترهای سرعت مطلوب

¹ reaction time at traffic light

² off ramp

³ freeway distance zone 1

⁴ freeway distance zone 2





خودروهایی سواری¹ و کامیون²، ماکزیمم شتاب برای خودروهای سواری³ و کامیون⁴، شتاب کاهنده نرمال خودروها⁵، گام شبیه سازی⁶، زمان عکس العمل خودروها در هنگام توقف⁷، زمان عکس العمل خودروها در پشت چراغ راهنمایی⁸ (که در این تحقیق گیتها توسط چراغ شبیه سازی شده اند)، منطقه زمانی 1، منطقه زمانی 2 و همچنین زمان توقف پشت هر گیت⁹ به عنوان پارامترهای مورد بررسی در این طراحی آزمایشات انتخاب گردیدند.

3- روش شناسی تحقیق:

3-1- منطقه مورد بررسی:

منطقه مورد بررسی، عوارضی اتوبان تهران ساوه است که در فاصله حدود چهار و نیم کیلومتری از تقاطع بزرگراه آزادگان قرار دارد. این عوارضی بیش از ده سال است که مورد بهره برداری قرار دارد و خودروهای عبوری در آن جهت پرداخت عوارض مجبور به توقف هستند. همچنین ساکنین شهر جدید پرند مجبور به تردد روزانه از عوارضی و پرداخت عوارض می باشند که برخی از راهکارها توسط مسئولین جهت کاهش مشکلات استفاده کنندگان از این عوارضی ارائه شده است. شبیه سازی این عوارضی در نرم افزار و کالیبره نمودن آن می تواند ابزاری مفید و موثر در اختیار مسئولین قرار دهد تا بتوانند با کمترین هزینه ممکن راهکارها را ارزیابی نمایند. برداشت ترافیک در بازه های 3 دقیقه ای، در دو مسیر رفت و برگشت و توسط دوربین انجام گرفت که نمونه ای از نتایج آن در جدول شماره (1) ارائه شده است.

¹car max desired speed

²truck max desired speed

³car max acceleration

⁴truck max acceleration

⁵normal deceleration for truck and car

⁶simulation step

⁷reaction time at stop

⁸reaction time at traffic light

⁹stop time behind the gate

جدول شماره (1): نتایج برداشتهای محلی

مسیر از تهران به ساوه					
	بازه اول برداشت	بازه دوم برداشت	بازه سوم برداشت	بازه چهارم برداشت	بازه پنجم برداشت
car	93	62	33	45	233
track	5	21	26	24	76
Bus	-	-	1	1	2
مسیر از ساوه به تهران					
	بازه اول برداشت	بازه دوم برداشت	بازه سوم برداشت	بازه چهارم برداشت	بازه پنجم برداشت
car	82	73	37	29	221
track	9	13	22	27	71
bus	-	-	1	-	3

پس از برداشت ترافیک، مدل بر اساس اطلاعات برداشت شده از منطقه و پس از به مقیاس در آوردن تصاویر هوایی محل، ساخته شد. تصویر هوایی منطقه مورد شبیه سازی در شکل شماره (1) مشاهده می گردد.



انجمن مهندسان ترافیک



انجمن مهندسان ترافیک



شکل شماره (1): نمایی از منطقه مورد شبیه سازی



3-2 - شبیه سازی و دریافت خروجی های شبیه سازی :

همانگونه که بیان شد، پیش از ارائه روشهای نوین ریاضیاتی و با استفاده از روشهای قدیمی، آنالیز حساسیت یک خروجی خاص از مدل شبیه سازی به پارامترهای ورودی، می تواند با ساخت مدل، ثابت نگاه داشتن تمامی پارامترها و تغییر تنها یکی از پارامترها در هر مرحله و انجام محاسبات و نهایتا دریافت و مقایسه خروجیها صورت پذیرد که همانگونه که عنوان شد در مواردی که با تعداد زیادی از پارامترهای مواجه هستیم می تواند فرایندی بسیار زمانبر و هزینه بر باشد. به طور مثال اگر تنها دو پارامتر (فاکتور) A و B بر مدل موثر باشند و بخواهیم میزان تاثیر آنها را مقایسه نماییم، ساده ترین راه آن است که مدل با قرار دادن هر یک از پارامترها در دو سطح بالا (+ یا 1) و پایین (- یا -1) آزمایش گردد و نتیجه خروجی مدل (R) برای تمامی آزمایشات مقایسه گردد. بدیهی است این مجموعه برای دو فاکتور و دو سطح مذکور نیازمند انجام 2^2 آزمایش خواهد بود. در صورتی که بخواهیم به روش آنالیز حساسیت بیان شده عمل نماییم و هر پارامتر را تنها در دو سطح بررسی کنیم نیازمند 2^{11} آزمایش خواهیم بود که شامل 2048 آزمایش خواهد بود. با توجه به اینکه نرم افزار مذکور به منظور تدقیق خروجیها نیازمند حداقل 3 تکرار به ازای هر خروجی است و همچنین 2 خروجی اصلی نرم افزار مدنظر پژوهشگران می باشد، تعداد Run گرفته شده از نرم افزار به 12228 خواهد رسید که با احتساب 3 دقیقه برای هر Run و 8 ساعت کاری برای هر روز، انجام این پژوهش به بیش از 75 روز زمان نیاز خواهد داشت. که هزینه و زمان انجام این عملیات وسیع می تواند با هزینه و زمان جمع آوری اطلاعات مورد نیاز برای کالیبره نمودن تمامی پارامترهای مدل برابر کند.

به این منظور جهت پیشگیری از افزایش فزاینده آزمایشات مدل، روشهای ریاضیاتی نوینی به عرصه علم وارد شده اند که دو روش از مهمترین آنها روشهای طراحی آزمایشات فکتوریال¹ و روشهای طراحی آزمایشات پلاکت بورمان² است. جدول شماره (2) تعداد تکرار آزمایشات مورد نیاز برای هر یک از روشهای مذکور و همچنین روش پیشنهادی برای طراحی آزمایشات را نشان می دهد.

جدول (2): تعداد شبیه سازی لازم و روش پیشنهادی بر اساس تعداد فاکتورها

Factor	Runs	Type	FT is Irreducible
2^1	2	One level Factorial	One level effect
2^2	4	Two level Factorial	One level effect
2^{k-1}	2^k	Plackett-Burman	One level effect
2^{k-1}	2^k	Two level Factorial	One level effect
2^{k-1}	2^k	Plackett-Burman	One level effect
2^{k-1}	2^k	Plackett-Burman	One level effect
2^{k-1}	2^k	Plackett-Burman	One level effect
2^{k-1}	2^k	Two level Factorial	One level effect

¹fractional design

²plackett-burman design



به دلیل آنکه تعداد پارامترها در این تحقیق نسبتاً زیاد بوده و تعداد سطوح آزمایشات کم است ، و از سوی دیگر 11 فاکتور در این تحقیق مورد بحث و بررسی قرار می گیرند ، بر اساس جدول (2) ، روش پلاکت بورمان به منظور ارزیابی خروجیهای زمان تاخیر و زمان سفر نهایی (دو خروجی اصلی در نظر گرفته شده برای قضاوت در مورد گیتها) مورد استفاده قرار گرفته است. طراحی آزمایشات در این تحقیق بر اساس جدول شماره (3) انجام گرفته است که در این جدول عدد (1) بیانگر سطح بالای آزمایشات و عدد (-1) بیانگر سطح پایین آزمایشات می باشد.

جدول (3) : سطوح بالا و پایین آزمایشات در طراحی پلاکت بورمن با 11 فاکتور

Run	Factors										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
2	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
3	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

همانگونه که بیان شد، بر اساس تحقیقات به عمل آمده ، پارامترهایی که بیشترین تاثیر را بر خروجیهای مدل ساخته شده از گیتها دارند به شرح جدول شماره (4) می باشند. همچنین بر اساس تحقیقات به عمل آمده میدانی، مطالعات پیشین و برخی پارامترهای مفروض نرم افزار، بازه تغییراتی برای هر یک از فاکتورها تعریف گردید که احتمال رخداد سطحی از پارامتر در خارج این بازه بسیار اندک می باشد. به عنوان مثال بر اساس تحقیقات Zerrill در سال 1997 زمان سرویس برای خطوط ETC تا 3 ثانیه برآورده شده و زمان جهت خطوط دستی پرداخت 7 ثانیه برآورده شده است [9]. همچنین بر اساس اندازه گیریهای انجام گرفته، به طور عادی این زمان تا 10 ثانیه نیز قابل افزایش است لذا بازه مربوط به این پارامتر از 3 الی 10 ثانیه فرض گردید و سطح پایین (-1) برای آن 3 ثانیه و سطح بالا (+1) برای آن 10 ثانیه در نظر گرفته شد. تمامی این پارامترهای در نظر گرفته شده، در جدول شماره (4) به همراه سطوح آنها ارائه گردیده و به منظور پیشگیری از طولانی شدن مقاله حاضر از شرح مبسوط تک تک پارامترها خودداری شده است. پس از قرارگیری هر ردیف از



پارامترها در مدل، از هر مدل یک Run با سه تکرار¹ گرفته شد که این نتایج در مقابل هر یک از سری پارامترهای مدل شبیه سازی نوشته شده است.

جدول شماره (4): بیان هر یک از سطوح فاکتورها و مقدار بالا و خروجیهای مدل برای هر یک از ترکیب های سطوح

Run	فاکتورها											خروجی مدل برای 3 تکرار	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	تاخیر	زمان سفر
1	140	80	2.6	1.8	4.5	1	0.75	0.75	50	30	3	17.31	8.89
2	50	80	3.4	0.6	4.5	1	1.65	0.75	50	5	10	90.14	21.79
3	140	20	3.4	1.8	3.5	1	1.65	1.65	50	5	3	21.93	13.55
4	50	80	2.6	1.8	4.5	0.3	1.65	1.65	100	5	3	16.73	13.94
5	50	20	3.4	0.6	4.5	1	0.75	1.65	100	30	3	23.23	19.92
6	50	20	2.6	1.8	3.5	1	1.65	0.75	100	30	10	82.5	24.03
7	140	20	2.6	0.6	4.5	0.3	1.65	1.65	50	30	10	126.51	24.06
8	140	80	2.6	0.6	3.5	1	0.75	1.65	100	5	10	136.39	22.49
9	140	80	3.4	0.6	3.5	0.3	1.65	0.75	50	5	3	22.22	10.04
10	50	80	3.4	1.8	3.5	0.3	0.75	1.65	50	5	10	108.51	22.98
11	140	20	3.4	1.8	4.5	0.3	0.75	0.75	100	5	10	95.21	22.4
12	50	20	2.6	0.6	3.5	0.3	0.75	0.75	50	5	3	20.23	17.15

ماکزیمم سرعت مطلوب خودروهای سواری

ماکزیمم سرعت مطلوب کامیونها

ماکزیمم شتاب برای خودروهای سواری

ماکزیمم شتاب برای کامیونها

شتاب کاهنده نرمال خودروها

گام شبیه سازی

زمان عکس العمل خودروها در هنگام توقف

زمان عکس العمل خودروها در پشت چراغ راهنمایی

منطقه زمانی 1

منطقه زمانی 2

زمان توقف پشت هر گیت

¹ Replication

4 - تحلیل و ارزیابی

4-1 - تحلیل به روش پلاکت بورمن:

با استفاده از معادلات پلاکت بورمن و نتایج خروجی ارائه شده در جدول شماره (4) تحلیل حساسیت انجام پذیرفت و هر یک از فاکتورها در برابر خروجیها اثر سنجی شدند. نتایج مربوط به آنالیز حساسیت خروجی "زمان تاخیر" نسبت به هر یک از فاکتورها و آنالیز حساسیت خروجی "زمان سفر" نسبت به هر یک از فاکتورها در جدول شماره (5) ارائه شده است. همانگونه که پلاکت و بورمن در مقاله خود متذکر شده اند، هر اندازه قدر مطلق اعداد مربوط به یک فاکتور کوچکتر باشد، تاثیر آن بر خروجیهای مدل کمتر خواهد بود.

جدول شماره (5): خروجی های معادلات پلاکت بورمن برای هر یک از پارامترها

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
زمان سفر نهایی	-3.06	-3.50	0.02	-1.61	0.13	0.02	-1.07	2.11	-2.61	-11.24	9.04
زمان تاخیر	13.04	3.62	-6.41	-12.76	-3.78	-2.99	-6.81	17.62	-8.80	-43.64	86.27
نام پارامتر	ماکریم سرعت مطلوب خودروهای سواری	ماکریم سرعت مطلوب کامیونها	ماکریم شتاب برای خودروهای سواری	ماکریم شتاب برای کامیونها	شتاب کاهنده نرمال خودروها	گام شبیه سازی	زمان عکس العمل خودروها در هنگام توقف	زمان عکس العمل خودروها در پشت چراغ راهنمایی	منطقه زمانی 1	منطقه زمانی 2	زمان توقف پشت هر گیت

بنابر این بر اساس موارد ارائه شده در جدول شماره (5) ترتیب تاثیر پنج پارامتر اول بر زمان سفر به شرح ذیل است:

$$J > K > B$$

همانگونه که مشاهده می گردد ، بر این اساس زمان سفر وابستگی بسیار زیادی به منطقه زمانی تصمیم گیری راننده خواهد داشت. این موضوع تلویحا به معنای آن است که مهمترین پارامتری که به منظور بررسی زمان سفر نیاز به بررسی و کالیبره نمودن بر اساس واقعیت را دارد پارامتر منطقه زمانی



2 می باشد. همچنین می توان اینگونه استنباط نمود که پس از کالیبراسیون نهایی مدل، در صورتی که بتوان تصمیم گیری را به نحوی برای رانندگان آسانتر نمود تا زودتر گیت مورد نظر خود را انتخاب نمایند، عملاً زمان سفر در محدوده گیتها کاهش خواهد یافت. این موضوع حتی از کاهش زمان توقف پشت گیتها نیز تاثیر بیشتری بر روی زمان سفر خواهد داشت. این موضوع کاملاً منطقی به نظر می رسد، چرا که زمان سفر پارامتری وابسته به تمامی طول منطقه شبیه سازی است و تصمیم گیری رانندگان در تمامی طول منطقه بررسی بر آن تاثیرگذار خواهد بود. همچنین ترتیب تاثیر پنج پارامتر اول بر زمان تاخیر به شرح ذیل خواهد بود :

$$K > J > H$$

این موضوع بیانگر آن است که موثرترین پارامتر بر زمان تاخیر وارد شده به هر خودرو، در اثر قرارگیری در صف و در پشت گیتها، پارامتر زمان توقف در پشت هر گیت است و منطقه تصمیم گیری رانندگان تاثیر کمتری بر آن خواهد داشت. بنابر این در صورتی که خروجی زمان تاخیر در دست بررسی است، اگر بخواهیم مدلی صحیح ارائه نماییم، مهمترین پارامتری که می باید بر اساس شبکه واقعی اندازه گیری شود و در مدل قرار گیرد، زمان توقف متوسط خودروها در پشت گیتها است.

4 - نتیجه گیری :

یکی از مهمترین عملیات پیش از کالیبراسیون مدل شبیه سازی خرد، تعیین این موضوع است که نهایتاً چه خروجی هایی از مدل مورد انتظار خواهد بود. همچنین می باید بر اساس این خروجی مورد انتظار پارامترهای گوناگون مدل را اثر سنجی نمود و ترتیب تاثیر آنها را بر مدل یافت. برای اثر سنجی فاکتورها و پارامترها می باید حدود تغییرات منطقی این پارامترها را به نحوی مهندسی تخمین زد و نهایتاً به جای استفاده از روشهای قدیمی برای این موضوع از روشهای ریاضیاتی سود برد. چرا که در بسیاری از روشهای قدیمی نه تنها تداخلات پارامترها به هیچ عنوان بررسی نمی گردید، بلکه تعداد بسیار زیاد آزمایشات، عملاً بالا بردن تعداد فاکتورها را کاملاً محدود می نمود. همچنین بر اساس اعمال روش پلاکت بورمن بر خروجیهای یک مدل عوارضی مشخص گردید که مهمترین پارامتری که به منظور بررسی زمان سفر در محدوده یک گیت، نیاز به بررسی و کالیبره نمودن بر اساس واقعیت را دارد پارامترهای مربوط به تصمیم گیری راننده برای تغییر خط و انتخاب گیت نهایی برای عبور می باشد. علاوه بر این، در صورتی که خروجی زمان تاخیر در یک مدل شبیه سازی با AIMSUN در منطقه عوارضی بررسی می گردد، اگر بخواهیم مدلی صحیح ارائه گردد، مهمترین پارامتری که می باید بر اساس شبکه واقعی اندازه گیری شود و در مدل قرار گیرد، زمان توقف متوسط خودروها در پشت گیتها است.

بنابراین موثرترین پارامترها بر زمان سفر و زمان تاخیر در مدلها میزان زمان انتظار در پشت گیت‌های عوارضی و منطقه دوم مدل هستند. بر اساس این دو پارامتر موثر همچنین می‌توان اینگونه تخمین زد که در صورت تبدیل گیتها به گیت‌های خودکار، عملاً هر دو پارامتر زمان سفر و زمان تاخیر به نحو موثری کاهش خواهد یافت.

شایان ذکر است که با توجه به تغییر رژیم جریان ترافیک و تعداد خودروهای سبک و سنگین و همچنین تاثیر گذاری برخی پارامترهای هندسی بر مدل، توصیه می‌گردد که عملیات محاسبات پلاکت بورمن برای هر شبکه و مدل به صورت مجزا صورت گیرد.



انجمن مهندسان حمل و نقل ایران



انجمن مهندسان حمل و نقل ایران

5 - منابع:

- [1] Ecological Modelling, 2001, Plackett–Burman technique for sensitivity analysis of many-parametered models, vol 141, 171–183
- [2] SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513. 1st printing, August 2005
- [3] Bioresource Technology, 2010, Medium optimization for ethanol production with Clostridium autoethanogenum With carbon monoxide as sole carbon source, vol 101, 8784–8789
- [4] Industrial Crops and Products, 2013, Phenolics extraction from sweet potato peels: Key factors screening a Plackett–Burman design through, vol 43, 99–105
- [5] International Journal of Pharmaceutics, 2012, A quality by design (QbD) case study on liposomes containing hydrophilic API: II. Screening of critical variables, and establishment of design space at scale laboratory, vol 423, 543–553
- [6] Journal of Chromatography, 2003, Strategy for developing and optimizing liquid chromatography method sinpharmaceutical development using computer-assisted screening and Plackett-Burman experimental design, vol 1016, 165–180
- [7] International Journal of Pharmaceutics, 2006, Hydrophilic matrices: Application of Plackett–Burman screening Design to model the effect of POLYOX–carbopol blends on drug release, vol 309, 163–170
- [8] مقدس نژاد، ف، گل بابایی، ف، نوری، ع، بکارگیری شبیه سازی نرم افزار در شناسایی میزان آلاینده تولید شده در یک بزرگراه شهری، 1390، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران
- [9] Indian journal of biotechnology, 2007, statistical evaluation of medium components by plackett-burman experimental design and kinetic modeling of lipase production by pseudomonas fluorescens

Identification of the most effective parameters in microsimulation models (case study of Tehran-saveh freeway toll collection gates)

Mahmoud Saffarzadeh, Professor, Tarbiat Modares University
Alireza Noory, PhD Student, Department of civil engineering , Amirkabir
University of Technology

Hamed pourali, Transportation master student of islamic azad university-science
and research branch

Abstract:

Using microsimulation is one of the most important beneficial methods for evaluation of a transportation facility in term of service level. This model must have an acceptable accordance with reality and with the other expression the model should be calibrated with field measurements. To achieve the best results when the number of input factors is considerable, the most effective parameters should be identified. Finding the most effective parameters in traditional maner and without using a suitable mathematical method is a time consuming and expensive. In this article, model of toll collection gates in Tehran saveh freeway was simulated in aimsun software .After preparing model eleven effective parameters were selected and the ranges has been defined based on the field observations. Then with respect to maximum and minimum of each factor and the levels ,design of the experiment has been done. After 36 simulation runs and calculating average of them ,the outputs of model for using placket burman method were derived. Finally, the results has been compared together. Based on this research effort, the most effective two factors were waiting time behind the gates and distance zone 2 . Distance zone 2, was a factor based on the drivers desission making .with these two impressive parameters it is possible to say that with application of electronic toll instead of manual payment, total travel time and delay time will be reduced.

Keywords: *Simulation, toll collection, plucket burman, experiments design, freeway*

