هفت حصار شماره دوم/ سال اول/ زمستان ۱۳۹۱
صفحات ۷۴-۶۷

یافتن مؤثرترین عوامل در مدل شبیه‌سازی کنترل و مدیریت شیبراهه در بزرگراه‌های درون‌شهری (مطالعه موردی با روش پلاکت بورمن)

سعید حسامی *، حامد زمان پور **، علیرضا نوری***

تاریخ دریافت مقـاله: ۹۱/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۱۲/۱۰

چکیده

با توسعه بزرگراه‌های شهری و به کارگیری ابزارهای کنترل ترافیک بزرگراهی ابزار کنترل شیبراهه نیز به یکی از اصلی‌ترین ابزارها در مدیریت ترافیک شهری در ساعت اوج مبدل شده است. ناگفته پیداست که مهندسی این ابزار مهم مدیریت ترافیک شهری بدون به کار گیری ابزارهای رایانه‌ای حاصلی جز آزمون و خطا نخواهد داشت. یکی از راهکارهای نوین در بررسی و مهندسی ترافیک به‌کارگیری ابزار شبیه‌سازی و مدل‌سازی ترافیک به وسیله این ابزار است که می‌تواند به نوبه خود موجب پیشگیری از آزمون و خطا و اتلاف وقت و سرمایه شود. با این وجود در صورتی که نرم‌افزار شبیه‌ساز به درستی کالیبره نشده باشد، ممکن است با ارائه نتایج نادرست مشکلاتی را به وجود آورد. با توجه به تعداد زیاد عوامل ورودی اغلب نرم‌افزارهای شبیه‌ساز به خصوص نرم‌افزارهای شبیه‌ساز خردنگر از سویی و از سوی دیگر پرهزینه بودن کالیبراسیون تمامی عوامل، لزوم یافتن عوامل مؤثرتر را امری مهم و حیاتی می‌نماید. در این مقاله از روش پلاکت-بورمن که در علوم کشاورزی و بیولوژی متناوبا مورد استفاده قرار گرفته و به عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌های تحلیل حساسیت، در هنگام تعدد عوامل مورد بررسی به شمار می‌رود به منظور تحلیل حساسیت مدل نسبت به عوامل ورودی استفاده شده است. در مدل شبیه‌سازی شده از بزرگراه همت با در نظر گرفتن کنترل شیبراهه پارامتر، طول چرخه، به عنوان مؤثرترین عامل ورودی در مدل شبیه‌سازی شده برای محاسبه سرعت متوسط بزرگراه همت بدست آمد و درنهایت ترتیب اهمیت عوامل مؤثر بر این خروجی حیاتی مشخص گردید.

کلمات کلیدی

شبیه‌سازی ترافیکی، کنترل شیبراهه، پلاکت بورمن، Aimsun

* عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده عمران، گروه راه و ترابری Email: s.hesami@nit.ac.ir
** دانشجوی کارشناسی ارشد، برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب Email: hamedzamanpour@hotmail.com
*** دانشجوی دکتری راه وترابری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران Email: Alireza.noory@gmail.com

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]
[DOR: 20.1 225602.1391.1.2.7.1]

مقدمه

امروزه با رشد بزرگراه‌ها و توسعه بزرگراههای شهری، کنترل و مدیریت ترافیک شهری بدون کنترل و مدیریت ترافیک بزرگراهی موضوعی کاملاً غیرممکن است. با توجه به این‌که مهم‌ترین مشکلات شبکه بزرگراهی در ساعت اوج بروز گلوگاه‌های موضعی در اثر ورود خودروها از رمپ‌های ورودی بزرگراه است، مدیریت و کنترل این رمپ‌ها می‌تواند نقش بسیار مؤثری در مدیریت ترافیک بزرگراهی داشته باشد، چرا که رمپ‌ها نه تنها به جریان ترافیک عبوری از بزرگراه می‌افزایند، بلکه با توجه به رخداد تغییر خط و ایجاد آشفتگی در جریان اصلی، موجب افت سطح خدمت در بزرگراه اصلی به نحو چشمگیری می‌شوند که این مشکل با اتخاذ سیاست‌های صحیح کنترل شیبراهه قابل رفع می‌باشد.

با وجود اثرگذاری بسیار قابل توجه سیاست‌های کنترل شیبراهه، در صورتی که این سیاست‌ها مستقیماً بر روی شبکه اعمال گردند، ممکن است منجر به وخیم‌تر شدن وضعیت شبکه و بروز برخی نارضایتی‌ها از مدیریت ترافیک شهری گردند و در نهایت به آزمون و خطایی بسیار پرهزینه مبدل شوند. بنابراین به منظور پیشگیری از این موضوع و جلوگیری از رخداد این مشکل از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز که عملاً شبکه را با هزینه اندکی در محیط مجازی می‌سازند بهره برده می‌شود. با وجود هزینه نسبتاً پایین‌تر به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، عدم کالیبراسیون این نرم‌افزارها می‌تواند پاسخ‌های غیر قابل اتکا ارائه نماید، بنابراین می‌باید آزمایشاتی بر روی نرم‌افزار ترتیب داده شود تا هم مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل بر روی نرم‌افزار به دست آیند و هم با توجه به قرابت نسبی مدل شبیه‌سازی با شبکه واقعی تخمینی از مؤثرترین عوامل در شبکه واقعی و میزان تأثیر هر یک از عوامل به مدیران شبکه ارائه گردد.

در هر آزمایش تعدادی متغیر[1] وجود دارد که تغییر این متغیرها می‌تواند به تغییر نتیجه‌ای منجر شود که از آزمایش حاصل می‌شود و آن را خروجی آزمایش[2] مینامند. در ابتدا به دلیل کم بودن تعداد عوامل مورد آزمایش و شمار اعدادی که به این عوامل اختصاص می‌یافت که اصطلاحاً سطح[3] نامیده می‌شود، آزمایش‌ها بدون طراحی و مهندسی تعداد و نوع آزمایشات صورت می‌گرفت. اما با توجه به پیشرفت‌های به وجود آمده در ریاضیات و همچنین کمبود منابع، روش‌هایی برای هدفمند نمودن آزمایشات ابداع گردید. این روش‌ها که سعی بر در نظر گرفتن اثر تداخل عوامل بر یکدیگر نیز دارند روشهای طراحی آزمایشات[4](DOE) نامیده می‌شوند. روش‌های طرح آزمایش در بسیاری از نظام‌ها کاربرد وسیع دارند. در واقع، عمل آزمایش را می‌توان به صورت بخشی از فرایند علمی و به صورت یکی از راه‌های فراگیری چگونگی کار سیستم‌ها یا فرایندها در نظر گرفت. آزمایش طرح شده، یک آزمون یا دنباله‌ای از آزمون‌ها است که در آنها تغییرات مورد نظر، در متغیرهای سیستم اعمال می‌شوند به قسمی که می‌توان تغییرات را در پاسخ خروجی مشاهده نمود.

در علم مهندسی ترافیک نیز با توجه به رشد چشمگیر به کارگیری از ابزارهای طراحی آزمایشات، می‌توان از این ابزار مفید به گونه‌ای مؤثر بهره برد. در این مقاله از نرم‌افزار AIMSUN جهت تحلیل حساسیت مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر یک مدل یکپارچه بزرگراهی شامل بزرگراه و تمامی شیبراهه های آن (بخشی از بزرگراه شهید همت و شیبراهه های مربوطه) استفاده شده است. نرم‌افزارAIMSUN یکی از نرم‌افزارهایی است که می‌توان از آن برای بررسی ترافیک در سه سطح کلان نگر، میان نگر و خرد نگر استفاده نمود. در این مقاله از طریق مطالعات کتابخانه‌ای تمامی عوامل مدل کنترل شیبراهه مشخص گردیده و پس از آن یازده عامل که جزء تأثیرگذارترین عوامل بر خروجی‌های مدل دارند انتخاب شده و بر اساس بازه‌های برداشت شده میدانی از منطقه طرح، برای سطوح هر عامل مورد بررسی توسط روش پلاکت بورمن قرار گرفتند. با بررسی تک تک عواملی که ممکن است بر مدل شیبراهه مؤثر باشند، مؤثرترین عوامل که حتماً باید در فرایند کالیبراسیون برداشت شده و تنظیم گردند بر اساس خروجی‌های مربوط به زمان سفر و سرعت مسیر آماری[5] بزرگراه شهید همت مشخص شدند. بر اساس این بررسی‌ها طول چرخه در چراغ کنترل‌کننده شیبراهه‌ها مهمترین عامل تأثیرگذار بر زمان سفر بزرگراه اصلی می‌باشد.

روش‌های طراحی آزمایش‌ها

همانگونه که بیان شد، روش طرح آزمایش در بسیاری از نظام‌ها کاربرد وسیع دارند، در واقع عمل آزمایش را می‌توان به صورت بخشی از فرایند علمی و به صورت یکی از راه‌های فراگیری چگونگی کار سیستم ها یا فرایندها در نظر گرفت. منظور از آزمایش در اینجا ساخت سخت‌افزار و مدل واقعی سیستم‌ها و انجام آزمایش واقعی و یا ساخت مدل ریاضی یا نرم‌افزاری سیستم و تست حالت‌های مختلف سیستم

1-Factor
2-Response
3-Level
4-Design of experiment
5-Statistical Stream

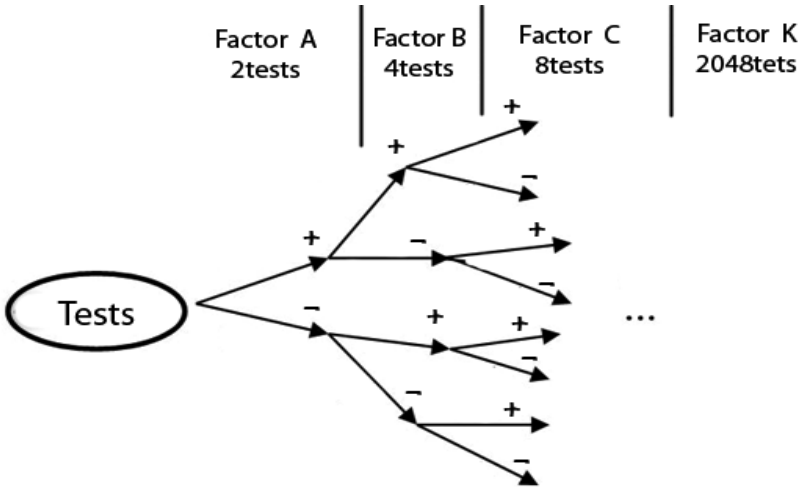
[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1391.1.2.7.1]

می‌باشد. در دنیای مهندسی طرح آزمایش ابزاری فوق‌العاده مهم برای اصلاح عملکرد فرآیند تولید و کار سیستم می‌باشد. همچنین این روش جزء تکنیک‌هایی است که استاندارد QS9000 را جهت بهبود عملکرد سیستمها در نظر می‌گیرد. به طور کلی مهم‌ترین هدف در طراحی آزمایشها تعیین متغیرهایی است که تأثیر بیشتری در پاسخ دارند. پس از این مرحله (آنالیز حساسیت)، بهینه سازی عوامل مؤثر انجام میشود. برای بهینه‌سازی سیستم، باید آزمایشی انجام شود که متغیرهای سیستم تغییر کنند. این نوع آزمایش را آزمایش عاملی میگویند که در مورد آن توضیح داده می‌شود. الگوریتم کلی استفاده از روش طراحی آزمایش به صورت زیر است (محمد پناه و همکاران، ۱۳۸۲): ۱. شناسایی و بیان مسأله؛ ۲. انتخاب عوامل (متغیرهای سیستم) و دامنه تغییرات هر یک از این عوامل؛ ۳. انتخاب متغیر پاسخ یا تابع هدفی که دربارهٔ سیستم تحت مطالعه اطلاعاتی مفید به دست می‌دهد؛ ۴. انتخاب یکی از روش‌های طراحی آزمایش؛ ۵. انجام آزمایش که یا به صورت ساخت و استفاده از مدل واقعی سیستم و یا تهیه مدل ریاضی و نرم‌افزاری سیستم می‌باشد؛ ۶. تحلیل داده‌ها به منظور بررسی تأثیر داده‌ها در تابع هدف؛ ۷. نتیجه‌گیری در مورد سیستم.

بر اساس موارد فوق، انتخاب منطقه طرح و یافتن داده های اولیه از جمله حجم تردد خودروها و مشخصات هندسی منطقه طرح به عنوان گام اول عملیات در نظر گرفته شد. متغیرهای مدل بر اساس بررسی بر روی نرم‌افزار به بیش از ۴۰ متغیر بالغ می‌شد که بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی بر روی مستندات نرم‌افزار و همچنین بهره‌گیری از نظر کارشناسان خبره تعداد ۱۱ عامل اصلی تأثیرگذار بر مدل شناسایی شده و نهایتا آنالیز حساسیت بر روی این تعداد عامل انجام پذیرفت. خروجی‌های اصلی مدل، زمان سفر و سرعت در شبکه اصلی بزرگراهی فرض شدند که به عنوان پاسخ سیستم (R) در تحلیل حساسیت وارد گردید. علل انتخاب روش تحلیل و سایر گام‌ها در بخشهای بعد به تفصیل بیان شده است.

طراحی آزمایش‌ها

با توجه به اینکه تعداد ۱۱ عامل به عنوان اصلی‌ترین عوامل مورد بررسی در مدل انتخاب شدند، با فرض اینکه برای هر عامل تنها دو سطح بالا (+) و پایین (−) در نظر گرفته شود، و صرفاً در هر مرحله یک آزمایش وجود داشته باشد، تعداد آزمایشات در حالت عادی و بر اساس شکل شماره (۱) به ۲۱۱ آزمایش بالغ می‌شود.



شکل شماره (۱): ***تعداد آزمایش‌ها برای ۱۱ عامل در دو سطح***

در صورتی که از روشهای طراحی آزمایشات استفاده نشود و به روشهای موجود آزمایشات انجام گیرند، تعداد زیاد آنها می‌تواند منجر به افزایش هزینه ها و همچنین زمان عملیات گردد که امروزه با ارائه روشهای ریاضی طراحی آزمایش‌ها، این مشکل بر طرف می‌گردد.

طرح‌های منسوب به پلاکت و بورمن[1] (۱۹۴۶) طرح‌های عاملی کسری دو سطحی برای مطالعه K=N-1 متغیر با N اجرا هستند که در آن N مضرب ۴ است. اگر N از توان ۲ باشد این طرحها همان طرح‌های 2^{K-P} است، اما برای N=12,20,24,36 گاهی طرح‌های پلاکت بورمن مزایای خاصی را در بر دارند. جدول شماره(۱) ترکیب سطوح بالا و پایین را نشان می‌دهد که در ساختن طرح پلاکت بورمن N=12,20,24,36 کاربرد دارد.

1-Plackett and Burman

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]
[DOR: 20.1225602.1391.1.2.7.1]

این طرح‌ها با نوشتن سطر مربوطه در جدول شماره (۲) به عنوان یک ستون بدست می‌آیند پس از آن دومین ستون از اولی با انتقال عناصر آن یک مرحله به پایین و قرار دادن آخرین عنصر در اولین موضع بوجود می‌آید. سومین ستون به تشابه از دومی حاصل می‌شود و فرایند تا تولید ستون K ام ادامه دارد سپس یک سطر با علامت‌های منها اضافه می‌گردد و طرح کامل می‌شود.

جدول شماره (۱): ترکیب سطوح بالا و پایین آزمایش‌ها برای طرح به روش پلاکت بورمن

K =۱۱	N =۱۲	+ + − + + + − − − + −
K =۱۹	N =۲۰	+ + − − + + + + − + − + − − − − + + −
K =۲۳	N=۲۴	+ + + + + − + − + + − − + + − − + − + − − − −
K =۳۵	N =۳۶	− + − + + + − − − + + + + + − + + + − − + − − − − + − + + − − + −

در این مقاله به دلیل آن‌که تعداد متغیرها (K) برابر با ۱۱ انتخاب شده است، بنابر این از روش پلاکت بورمن با ترکیب ۱۱ متغیر استفاده شده است که در جدول شماره (۲) مشاهده می‌شود(محمد پناه و همکاران ۱۳۸۲).

جدول شماره (۲): طرح پلاکت بورمن برای N=12 و K=11

اجرا	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	ترکیب تیماری
۱	+	−	+	−	−	−	+	+	+	−	+	acghik
۲	+	+	−	+	−	−	−	+	+	+	−	abdhij
۳	−	+	+	−	+	−	−	−	+	+	+	bceijk
۴	+	−	+	+	−	+	−	−	−	+	+	acdfjk
۵	+	+	−	+	+	−	+	−	−	−	+	abdegk
۶	+	+	+	−	+	+	−	+	−	−	−	abcefh
۷	−	+	+	+	−	+	+	−	+	−	−	bcdfgi
۸	−	−	+	+	+	−	+	+	−	+	−	cdeghj
۹	−	−	−	+	+	+	−	+	+	−	+	defhik
۱۰	+	−	−	−	+	+	+	−	+	+	−	aefgij
۱۱	−	+	−	−	−	+	+	+	−	+	+	bfghjk
۱۲	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	(1)

به طور کلی می‌توان گفت روش پلاکت بورمن برای طرح آزمایشات زمانی که تعداد عامل‌ها بالا و تعداد سطوح ۲ سطح می‌باشد روش ایده‌آلی به حساب می‌آید. در بسیاری از تحقیقات حمل و نقلی و غیر حمل و نقلی از این روش استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به کاهش پدیده Squeal در ترمزهای دیسکی با روش DOE *(Adams, 1999)*، بهینه‌سازی مقطع سیستم تعلیق تیر پیچشی *(Roso, 2001)* به کارگیری روش طراحی آزمایش برای بهبود کیفیت خوش سواری خودرو (محمدپناه و همکاران، ۱۳۸۲)، نمایش عامل های اصلی تأثیر گذار بر استخراج ماده ضد میکروبی بوسیله روش پلاکت بورمن*(Xiao et al., 2005)* و تشخیص عامل های مهم بکار رفته در تبدیل مواد سلولزی ضایعاتی به اتانول اشاره نمود *(LEUŞTEAN, 2010)*.

نرم‌افزار مورد استفاده در مدلسازی

نرم‌افزار Aimsun که مخفف عبارت "شبیه‌سازی میکروسکوپیک تعاملی پیشرفته برای شبکه‌های شهری و غیرشهری" می‌باشد، نرم‌افزاری با هدف مدل‌سازی، تحلیل و مدیریت شبکه حمل و نقل و ترافیک می‌باشد *(Stanescu, 2008)*. این نرم‌افزار توسط دپارتمان پژوهش عملیاتی و آماری دانشگاه پلی‌تکنیک کاتالانیا بارسلونا اسپانیا و با ادغام نرم‌افزار Getram، محیط ویرایشگر شبکه ترافیک

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1391.1.2.7.1]

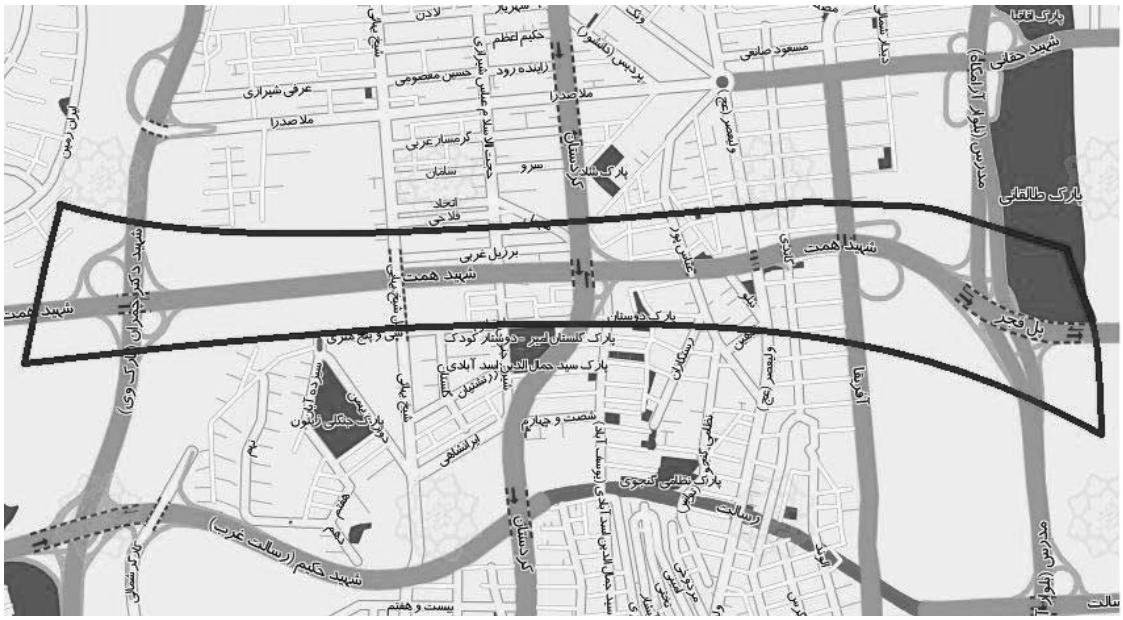
(TEDI)، دیتابیس شبکه، مدول اجرای شبیه‌سازی و رابط برنامه کاربری API با هدف ارتباط با دیگر مدل‌ها طراحی شده است *(Xiao et al., 2005)*. شرکت TSS (سیستم‌های شبیه‌سازی حمل و نقل) که طراحی، توسعه و به روزرسانی نرم‌افزار را بر عهده دارد، در سال ۱۹۹۷ توسط اعضای LIOS دانشگاه کاتالانیا بارسلونا اسپانیا آغاز به کار کرد. هم اکنون حدود ۲۰۰۰ کاربر در ۶۲ کشور مجوز استفاده از نرم‌افزار را دارند که از این تعداد حدود ۴۵ درصد شرکت های خصوصی، ۳۵ درصد مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌ها و ۲۰ درصد شرکت های دولتی می‌باشند. تحقیقات برای طراحی این نرم‌افزار از سال ۱۹۸۶ آغاز شد و از مهم‌ترین توسعه‌های Aimsun در این مدت می‌توان به تخصیص ترافیک دینامیک در سال ۲۰۰۱، استراتژی‌های مدیریت ترافیک و مدیریت سوانح و تصادفات در سال ۲۰۰۲ و چراغ راهنمایی هوشمند در سال ۲۰۰۳ اشاره کرد. استراتژی کنترل رمپ نیز در سال ۲۰۰۱ به آن اضافه شد *(Yung, 2006)*.

منطقه مورد بررسی و عوامل انتخاب شده

درانتخاب مسیر مورد مطالعه توجه به طرح هندسی مسیر دارای اهمیت ویژه است؛ به عبارت دیگر، وجود رمپ‌های با طرح هندسی غیریکنواخت و همین‌طور وجود خطوط کمکی مسیر اصلی که در طول زیادی از مسیر اصلی کشیده شده‌اند باعث پیچیدگی محاسبات و احتمالاً عدم رسیدن به جواب منطقی خواهد شد. از طرفی محدوده مطالعه موردی باید تراکم بالا بوده و فاقد سطح سرویس مطلوب باشد، چرا که در غیراین صورت اعمال محدودیت به سیستم منطقی نخواهد بود. همچنین محدوده مورد مطالعه باید دارای وسعت کافی باشد تا نتایج حاصل از مطالعه موردی به دور از واقعیت نباشد و همچنین وسعت بسیار زیاد محدوده منجر به عدم لحاظ شدن جزئیات خواهد شد. با توجه به توضیحات فوق و مشاهدات میدانی انجام شده، بزرگراه همت رویکرد شرق به غرب حد فاصل بزرگراه مدرس تا خروجی بزرگراه شهید چمران به عنوان محدوده مطالعه موردی انتخاب شده است.

علت این انتخاب احراز ویژگی‌های بزرگراه، حجم جریان بالا به عنوان اصلی ترین کوریدور شرقی-غربی، تراکم شدید ترافیک و نزول سطح سرویس در ساعات اوج ترافیک، گره‌های شدید ترافیکی و کاهش ایمنی در ناحیه ادغام رمپ ورودی و بزرگراه، وجود ناحیه تلاقی به علت فاصله اندک بین ورودی ها و خروجی ها میباشد (ممدوحی و همکاران، ۱۳۹۰).

بزرگراه شهید همت کریدور اصلی شرقی-غربی شبکه ترافیکی شهر تهران به طول ۵۶۶۸ متر می‌باشد که از شرق به بزرگراه شهید زین الدین منتهی شده و از غرب در حال توسعه برای اتصال به آزادراه تهران-کرج می‌باشد. این بزرگراه شامل ۱۱ تقاطع غیرهمسطح، ۱۴ رمپ ورودی و ۱۱ لوپ ورودی و ۱۷ رمپ خروجی و ۱۴ لوپ خروجی در شبکه بزرگراهی شهر تهران می‌باشد و در مسیر ۵ منطقه ۲، ۳، ۴، ۵ و ۲۲ قرار دارد، تصویر شماتیک محدوده مورد بررسی در شکل شماره (۲) نشان داده شده است.



شکل شماره (۲) محدوده مورد مطالعه از بزرگراه شهید همت

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]
[DOR: 20.1225602.1391.1.2.7.1]

مدل‌سازی و تحلیل نتایج

به منظور انجام مطالعه موردی در محدوده مورد مطالعه لازم است داده‌های واقعی ترافیک گردآوری شوند تا بتوان وضعیت یک مسیر را در شرایط واقعی مورد ارزیابی قرار داده و میزان بهبود وضعیت را محاسبه کرد. به همین منظور محدوده مورد مطالعه که دارای پنج رمپ ورودی و چهار رمپ خروجی می‌باشد، به همراه مسیر اصلی و رمپ خروجی مدرس به یازده ایستگاه جهت برداشت تقسیم شده است. به منظور برداشت حجم ترافیک، با استفاده از فیلم‌برداری شمارش حجم جریان شبکه مورد مطالعه برای ساعت اوج ترافیک (۱۶:۳۰ تا ۱۹:۳۰) به تفکیک سواری، ون، اتوبوس، کامیون و موتورسیکلت انجام شده است (مطابق با جدول شماره ۳). به دلیل قابل صرفنظر بودن تعداد خودروهای غیرسواری و در عین حال نیاز به در نظر گرفتن آنها به منظور تدقیق مدل، از ضریب همسنگ سواری (PCU) استفاده گردید برای این منظور از ضرایب همسنگ پیشنهادی در گزارش همسنگ سواری شرکت مطالعات جامع استفاده گردید. همچنین طرح هندسی با استفاده از نقشه‌های Raster در دسترس در نرم‌افزار وارد شد.

جدول شماره(۳): احجام ساعتی ایستگاههای مسیر[۱۰]

ایستگاه	بازه زمانی		
	۱۶:۳۰ تا ۱۷:۳۰	۱۷:۳۰ تا ۱۸:۳۰	۱۸:۳۰ تا ۱۹:۳۰
بزرگراه همت قبل از پل فجر	۶۶۹۸	۷۰۷۱	۷۴۶۴
رمپ خروجی مدرس	۳۴۱۲	۳۳۴۳	۳۳۹۳
رمپ ورودی مدرس جنوب	۱۸۵۰	۲۰۲۰	۲۱۶۳
رمپ ورودی مدرس شمال	۲۷۵۵	۲۵۷۷	۲۶۶۳
رمپ ورودی افریقا	۱۸۶۷	۱۸۷۲	۱۵۰۶
رمپ خروجی کردستان	۱۴۰۸	۱۴۴۱	۱۳۹۸
رمپ خروجی شیخ بهائی	۱۷۹	۲۱۹	۲۰۱
رمپ ورودی شیخ بهائی	۱۹۳۴	۱۹۴۱	۱۹۵۶
رمپ خروجی چمران شمال	۶۱۵	۶۰۴	۶۲۷
رمپ خروجی چمران جنوب	۵۷۵	۹۰۹	۷۶۸
رمپ ورودی چمران شمال	۲۳۱۱	۲۲۴۶	۲۲۹۵

همان‌طور که بیان شد بر اساس مطالعات کتابخانهای، بررسی بر روی مستندات نرم‌افزار و همچنین بهره‌گیری از نظر کارشناسان خبره تعداد ۱۱ عامل اصلی تأثیرگذار بر مدل شناسایی شده و در نهایت تحلیل حساسیت بر روی این تعداد عامل انجام پذیرفت. عوامل در نظر گرفته شده در این بررسی شامل زمان سبز چراغ کنترل شیبراهه[۱]، سیکل چراغ کنترل شیبراهه[۲]، شتاب ماکزیمم[۳]، زمان عکس‌العمل در حالت توقف[۴]، شتاب کاهش سرعت نرمال[۵]، کم‌ترین سرفاصله زمانی[۶]، منطقه زمانی ۲ [۷]، منطقه زمانی ۱ [۸]، فاصله روی رمپ بزرگراه پایین‌دست[۹]، حداکثر سرعت دلخواه خودروهای سواری[۱۰] و زمان عکس‌العمل در حال حرکت رانندگان[۱۱] است. سطوح بالا و پایین مربوط به هر یک از عوامل فوق در جدول شماره (۴) ارائه شده است که محدوده هر یک از عوامل بر اساس برداشت‌های میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای تعیین شده و در نرم‌افزار قرار گرفت.

1- Green time
2- Cycle
3- Max acceleration
4- Reaction Time at Stop
5- Normal deceleration
6- Minimum head way
7- Distance zone 2
8- Distance zone 1
9- Distance on ramps of downstream highway
10- Max of desired speed of cars
11- Reaction Time
12 - Green Time

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]

[DOR: 20.1001.1.23225602.1391.1.2.7.1]

جدول شماره (٤): طراحی به روش پلاکت بورمن و ورودی‌های مربوطه به همراه خروجی‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار

نتایج خروجی از نرم‌افزار	زمان سبز چراغ کنترل شیبراهه	سیکل چراغ کنترل شیبراهه	شتاب ماکزیمم (متر بر مجذور ثانیه)	زمان عکس العمل در حالت توقف (ثانیه)	شتاب کاهش سرعت نرمال	کمترین سرفاصله زمانی	منطقه زمانی ۲	منطقه زمانی ۱	فاصله روی رمپ بزرگراه پایین دست	ماکزیمم سرعت دلخواه خودروهای سواری (کیلومتر بر ساعت)	زمان عکس العمل (ثانیه)
سرعت متوسط بزرگراه	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
ترکیب آزمایشها (عدد ۱ نماینده سطوح بالا و عدد ۱- نماینده سطوح پایین است)											
51.5	۲.۵	۱۰	۲	۱.۵	۳	۱.۳	۸	۲۰	۵	۱۴۰	۱.۴
32.1	۴	۴.۵	۲	۱.۵	۵	۱.۳	۸	۱۰	۲۰	۱۴۰	.۶
26.7	۲.۵	۴.۵	۲	۲.۲۵	۵	۱.۳	۳	۲۰	۲۰	۶۰	۱.۴
69.4	۲.۵	۴.۵	۴	۲.۲۵	۵	.۵	۸	۲۰	۵	۱۴۰	.۶
31.0	۲.۵	۱۰	۴	۲.۲۵	۳	۱.۳	۸	۱۰	۲۰	۶۰	.۶
27.9	۴	۱۰	۴	۱.۵	۵	۱.۳	۳	۲۰	۵	۶۰	.۶
38.9	۴	۱۰	۲	۲.۲۵	۵	.۵	۸	۱۰	۵	۶۰	۱.۴
44.7	۴	۴.۵	۴	۲.۲۵	۳	۱.۳	۳	۱۰	۵	۱۴۰	۱.۴
70.5	۲.۵	۱۰	۴	۱.۵	۵	.۵	۳	۱۰	۲۰	۱۴۰	۱.۴
58.2	۴	۱۰	۲	۲.۲۵	۳	.۵	۳	۲۰	۲۰	۱۴۰	.۶
27.8	۴	۴.۵	۴	۱.۵	۳	.۵	۸	۲۰	۲۰	۶۰	۱.۴
30.7	۲.۵	۴.۵	۲	۱.۵	۳	.۵	۳	۱۰	۲۰	۶۰	.۶

در مدل‌سازی انجام شده، در رمپ ورودی بزرگراه یک چراغ راهنمایی نصب می‌شود و دارای سیکل مرسوم تمامی چراغ‌های راهنمایی یعنی زمان سبز و زرد (به دلخواه) و قرمز می‌باشد. پس از شبیه‌سازی با سه تکرار، نتایجی که در جدول شماره (۴) ارائه شده است برای هر یک از خروجی های نرم‌افزار (پاسخها) به دست آمد. با استفاده از خروجی های به دست آمده از مدل، پس از سه بار تکرار برای شبیه‌سازی هر یک از مدلها، از طریق محاسبات پلاکت – بورمن نتایج ارائه شده در جدول شماره (۵) به دست می‌آید.

جدول شماره (٥): نتایج حاصل از محاسبات پلاکت بورمن

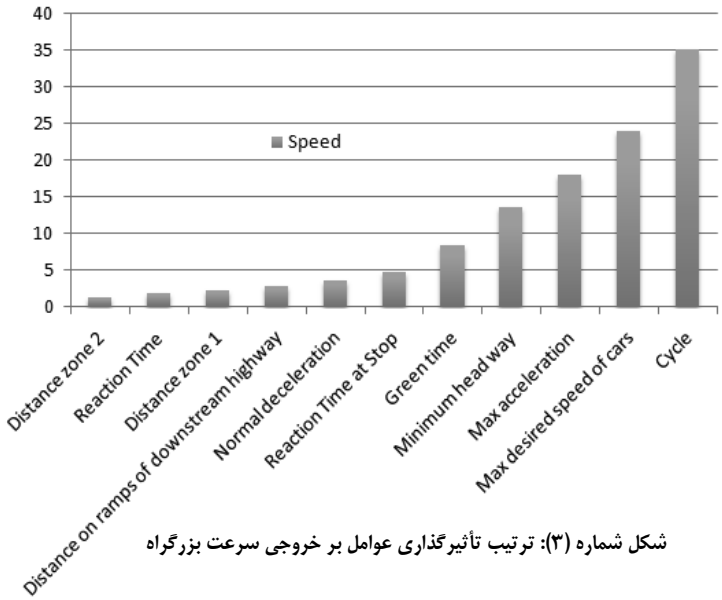
	زمان سبز چراغ کنترل شیبراهه	سیکل چراغ کنترل شیبراهه	شتاب ماکزیمم	زمان عکس العمل در حالت توقف	شتاب کاهش سرعت نرمال	کمترین سرفاصله زمانی	منطقه زمانی ۲	منطقه زمانی ۱	فاصله روی رمپ بزرگراه پایین دست	ماکزیمم سرعت دلخواه خودروهای سواری	زمان عکس العمل
	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
سرعت	-۸	-۳۵	-۱۸	۵	۴	-۱۴	-۱	۲	-۳	۲۴	۲

با توجه به اصول روش مذکور، در صورتی که هر یک از عوامل فوق مقدار قدر مطلق بزرگ‌تری را به خود اختصاص دهند، آن عامل مؤثرتر فرض می‌گردد. بر اساس این موضوع در صورتی که عوامل مؤثر بر سرعت مرتب شوند، مؤثرترین عامل بر این دو خروجی زمان سیکل چراغ راهنمایی کنترل‌کننده رمپ‌ها خواهد بود که می‌باید دقت ویژه‌ای را به آن معطوف داشت. ترتیب تأثیر هر یک از ورودی‌ها بر سرعت مدل در شکل شماره (۳) نمایش داده شده است. از شکل مذکور می‌توان این‌گونه برداشت نمود که از راست به چپ، تأثیر خروجی‌ها بر مدل کاهش می‌یابد.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]
[DOR: 20.1225602.1391.1.2.7.1]

نتیجه‌گیری و ارزیابی

نتایج حاصل از اعمال روش پلاکت بورمن به عنوان یک الگوریتم تحلیل حساسیت نتایج قابل تأملی ارائه می‌کند. طول سیکل چراغ راهنمایی در کنترل شیبراهه با سناریوی چراغ سبز در شبیه‌ساز Aimsun به عنوان مؤثرترین عامل ورودی در مدل شبیه‌سازی شده انتخاب شد. این بدان معنا است که زمان توقف وسایل نقلیه در پشت چراغ رمپ ورودی به عنوان عامل تأثیرگذار در نرخ ورودی خودروها به داخل جریان اصلی بزرگراه نقش تعیین‌کننده‌ای را در زمان سفر کلی بزرگراه و سرعت متوسط و در نتیجه آن تأخیر کلی رویکرد اصلی بزرگراه دارا می‌باشد. این مساله با در نظر گرفتن این که در ساعت اوج، بزرگراه با ظرفیتی نزدیک به اشباع در حال بهره‌برداری است و تلاش خودروهایی که از رمپ ورودی سعی در جای دادن خود در فاصله میان خودروها را دارند باعث آشفتگی جریان بزرگراه می‌شود حائز اهمیت بیشتری می‌شود. این آشفتگی وقتی بیشتر به چشم می‌آید که مانند شرایط این تحقیق تعداد رمپ‌های ورودی بیش از یکی باشد که در نتیجه، اثرات این آشفتگی ها به صورت پس‌زدگی ترافیک در رمپ‌ها و کاهش سرعت متوسط در جریان اصلی بزرگراه و حتی کاهش سطح ایمنی در مدخل ورودی بزرگراه و رمپ می‌شود. لازم به توضیح است که پیدا کردن عوامل مؤثر پایان راه نمی‌باشد، بلکه اکنون که میزان اهمیت عوامل مشخص شد با توجه به میزان حساسیت هر کدام می‌توان اقدام به کالیبراسیون عوامل نمود و برای کالیبره کردن هر یک از عوامل به میزان اهمیت آن عامل وقت و زمان صرف می‌شود. در گام‌های فرا روی تحقیقات آینده می‌توان مدل کالیبره شده را با استفاده از الگوریتم های مختلف و مدل‌های شبیه‌سازی اجرا و نتایج آن را با اطمینان بیشتر مورد استناد قرار داد.



شکل شماره (۳): ترتیب تأثیرگذاری عوامل بر خروجی سرعت بزرگراه

فهرست مراجع

۱. محمد پناه. احمد، (۱۳۸۲) **"به کارگیری روش طراحی آزمایشها (DOE) برای بهبود کیفیت خوش سواری خودرو"**، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی شهرام آزادی. دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

۲. محمدپناه. احمد، (۱۳۸۳) **"آنالیز حساسیت رفتار دینامیکی یک خودرو گازسوز(CNG) با روش طراحی آزمایش‌ها (DOE) و بهینه‌سازی آن با روش الگوریتم ژنتیک"**، اولین همایش سوخت جایگزین (CNG) و خودروهای گازسوز، تهران، ایران.

۳. راکی سلیمی. کریم و حمیدی. زهره، (۱۳۸۸) **"بررسی شرایط مختلف کشت بر تولید آراشیدونیک اسید"**، همایش منطقه ای غذا و بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴. عابدی. علیرضا وخزائی، صابر، (۱۳۹۰)**"تولید اتانول از هیدرولیز آنزیمی پسماند موادغذایی"**، بیستمین کنگره ملی علوم وموادغذایی، تهران،ایران.

۵. ممدوحی. امیررضا، بازرگانی، علیرضا، و صفارزاده. ، محمود، (۱۳۹۰)، **"توسعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی جهت کنترل بهینه رمپ‌ها: مطالعه موردی بزرگراه شهید همت"**، فصلنامه نشریه عمران مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

6. Bie. X., Lu Z., Zeng X.,(2005) **"Screening the main factors affecting extraction of the antimicrobial substance from Bacillus sp. fmbJ using the Plackett–Burman method"** World Journal of Microbiology & Biotechnology.

7. Leustean I. ,Coman G.,Bahrim G., (2010) **"The Plackett-Burman Model- An Improved alternative to identify the significant factors implied in the bioconversion of the complex cellulosic waste to ethanol",** Innovative Romanian Food Biotechnology, Vol. 7, Issue of September.

8. Stanescu M., (2008) **"Adaptive Ramp Metering, Development of an adaptive Capacity-Demand ramp metering method"**, ITS Edulab.

9. Hifeng X. , Ambadipudi R., Hourdakis J., Michalopoulos P., (2005) **"Methodology for Selecting Microscopic Simulators: Comparative Evaluation of AIMSUN and VISSIM"**, University of Minnesota, Center for Transportation Studies".

10. Yung J., Colyar J., (2006) **"Ramp Management and Control Handbook"**, US Department of Transportation, Federal Highway Adminitration.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-02-01]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1391.1.2.7.1]