دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست

مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران- مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

ارائه و پیاده‌سازی مدل تخصیص ترافیک پویا

مطالعه‌ی موردی شهر مشهد

نگارنده

محسن ناظمی

استاد راهنما

دکتر سید احسان سیدابریشمی

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالي

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضاي هيئت داوران نسخه نهايي پايان‌نامه ٦ واحدی آقای **محسن ناظمی** تحت عنوان **ارائه و پیاده‌سازی مدل تخصیص ترافیک پویا، مطالعه‌ی موردی شهر مشهد** را از نظر فرم و محتوا بررسي نموده و پذيرش آن را براي تكميل درجه كارشناسي‌ارشد تائيد مي‌كنند.

اعضاي هيات داوران	نام و نام‌خانوادگي	رتبه علمي	امضاء
١- استاد راهنما	دكتر سيد احسان سيدابريشمی	استاديار	
٢- استاد مشاور	دكتر اميررضا ممدوحی	استاديار	
٣- استاد ناظر (داخلی)	دكتر محمود صفارزاده	استاد	
٤- استاد ناظر (خارجی)	دكتر هدايت ذكايی آشتيانی	استاد	
٥- نماينده شوراي تحصيلات تكميلي	دكتر محمود صفارزاده	استاد	

آيين نامه چاپ پايان‌نامه (رساله)هاي دانشجويان دانشگاه تربيت مدرس

نظر به اينكه چاپ و انتشار پايان‌نامه (رساله)هاي تحصيلي دانشجويان دانشگاه تربيت مدرس، مبين بخشي از فعاليت‌هاي علمي- پژوهشي دانشگاه است بنابراين به منظور آگاهي و رعايت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان اين دانشگاه نسبت به رعايت موارد ذيل متعهد مي‌شوند:

ماده ١: در صورت اقدام به چاپ پايان‌نامه (رساله)ي خود، مراتب را قبلاً به طور كتبي به «دفتر نشر آثارعلمي» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ٢: در صفحه سوم كتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذيل را چاپ كند:

«كتاب حاضر، حاصل پايان نامه كارشناسي ارشد نگارنده در **رشته مهندسی عمران- برنامه‌ریزی حمل‌ونقل** در دانشكده **مهندسی عمران و محیط زیست** دانشگاه تربيت مدرس به راهنمايي است كه در سال ۹۱ جناب آقاي **دكتر سيد احسان سيدابريشمی** و مشاوره جناب آقاي **دكتر اميررضا ممدوحی** از آن دفاع شده است.»

ماده ٣: به منظور جبران بخشي از هزينه‌هاي انتشارات دانشگاه، تعداد يك درصد شمارگان كتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمي» دانشگاه اهدا كند. دانشگاه مي‌تواند مازاد نياز خود را به نفع مركز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ٤: در صورت عدم رعايت ماده ٣، ٥٠% بهاي شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربيت‌مدرس، تأديه كند.

ماده ٥: دانشجو تعهد و قبول مي كند در صورت خودداري از پرداخت بهاي خسارت، دانشگاه مي‌تواند مذكور را از طريق مراجع قضايي مطالبه و وصول كند؛ به علاوه به دانشگاه حق مي‌دهد به منظور استيفاي حقوق خود، از طريق دادگاه، معادل وجه مذكور در ماده ٤ را از محل توقيف كتابهاي عرضه شده نگارنده براي فروش، تامين نمايد.

ماده ٦: اينجانب **محسن ناظمی** دانشجوي **رشته مهندسی عمران- برنامه‌ریزی حمل‌ونقل** مقطع كارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرايي آن را قبول كرده، به آن ملتزم مي شوم.

نام و نام خانوادگي:

تاريخ و امضا:

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب محسن ناظمی دانشجوی رشته مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۹ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده عمران و محیط زیست متعهد می شوم کِلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و

یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ: .....

دانشکده مهندسی عمران و محیطزیست

مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران- مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

ارائه و پیاده‌سازی مدل تخصیص ترافیک پویا

مطالعه‌ی موردی شهر مشهد

نگارنده

محسن ناظمی

استاد راهنما

دکتر سید احسان سیدابریشمی

استاد مشاور

دکتر امیررضا ممدوحی

بهمن ۱۳۹۱

چکیده

مرحله‌ی تخصیص ترافیک، گام نهایی رویکرد چهار مرحله‌ای سنتی بوده و سیستم عرضه و تقاضای حمل‌ونقل را به یکدیگر مرتبط می‌کند. خروجی‌های اصلی مرحله‌ی تخصیص ترافیک، حجم جریان و زمان‌سفر کمان‌های شبکه است. مدل تخصیص ترافیک پویا در مقایسه با تخصیص ایستا وابسته به زمان بوده و نتایج را در طول یک بازه‌ی زمانی مشخص در اختیار قرار می‌دهد. همچنین علاوه بر ظرفیت و زمان‌سفر جریان آزاد، روابط اساسی حاکم بر جریان ترافیک (حجم، چگالی و سرعت جریان) نیز در محاسبه‌ی زمان‌سفر کمان‌ها در نظر گرفته می‌شود. این ویژگی‌ها باعث شده تا ایجاد و ازبین‌رفتن صف وسایل نقلیه در کمان‌ها مدل شده و طول صف به‌عنوان یکی از خروجی‌های مفید برای شبکه‌های متراکم شهری در اختیار قرار گیرد. از کاربردهای مهم مدل‌های پویا انتقال اطلاعات مدل‌ها از سطح کلان به سطح خرد است بوده و واسطی بین مدل‌سازی حمل‌ونقلی و مدل‌سازی ترافیکی محسوب می‌شوند. یکی از روش‌های تخصیص ترافیک پویا استفاده از شبیه‌سازی با فرض نمونه سیال برای مدل‌سازی جریان ترافیک است. در این مطالعه از پارامترهای وابسته به تقاضا (مانند توزیع زمانی تقاضا) و وابسته به عرضه (مانند ظرفیت گره‌ها، ظرفیت خروجی کمان‌ها، طول متوسط اشغالی وسایل نقلیه و سرعت موج حرکتی) برای پرداخت مدل تخصیص ترافیک پویا در یک شبکه واقعی استفاده شده است. آزمون خوبی برازش، میانگین مجذور خطا و آزمون فرضیه به عنوان معیارهای ارزیابی برای بررسی کارایی روش پرداخت در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد با تغییر پارامترهای پرداخت، ضریب خوبی برازش نسبت به توزیع یکنواخت چهار ۱۵ دقیقه در حدود ۰/۱٤ بهبود پیدا می‌کند.

واژگان کلیدی: تخصیص ترافیک پویا، پرداخت مدل، توزیع تقاضا، شبیه‌سازی ترافیک، شبکه‌های شلوغ

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

1 ۱- مقدمه

2 گفتار ۱-۱- پیش

2 ۱-۲- ضرورت و انگیزه پژوهش

3 ۱-۳- تعریف مسئلهٔ پژوهش

4 ها و محدودیت‌های پژوهش۱-٤- فرض

4 نامه۱-٥- ساختار پایان

6 ۲- مرور ادبیات پژوهش

7 ۲-۱- مقدمه و ساختار فصل

8 های تخصیص ترافیک پویابندی مدل۲-۲- دسته

9 ۲-۲-۱- مدل‌های شبیه‌سازی

9 ۲-۲-۱-۱- مدل‌های شبیه‌سازی کلان

10 ۲-۲-۱-۲- مدل‌های شبیه‌سازی میانی

11 ۲-۲-۱-۳- مدل‌های شبیه‌سازی خرد

13 ونقل‌ریزی حمل۲-۳- جایگاه تخصیص ترافیک پویا در برنامه

15 ۲-٤- خلاصه و جمع‌بندی

16شناسی پژوهش۳- روش

17 ۳-۱- مقدمه و ساختار فصل

17 های تجمعی‌شده بر اساس جریان‌ی امواج حرکتی ساده۳-۲- نظریه

20 ۳-۲-۱- گلوگاه

23 ۳-۲-۲-۳- قطعات

31 ®VISUM۳-۳- تخصیص ترافیک پویا در نرم‌افزار

۳-۳-۱- تقاضا 32
۳-۳-۲- پارامترهای عرضه 32
۳-٤- تخصیص ترافیک شبه پویا در نرم‌افزار VISUM® 34
۳-٥- خلاصه و جمع‌بندی 35
٤- مطالعه‌ی موردی: تخصیص ترافیک پویا در شبکه معابر شهر مشهد 36
٤-۱- مقدمه و ساختار فصل 37
٤-۲- ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه 37
٤-۲-۱- شبکه‌ی معابر (عرضه) 38
٤-۲-۲- تقاضا 41
٤-۳- مدل تخصیص ترافیک پویای شبکه شهر مشهد 42
٤-۳-۱- مدل‌سازی تقاضا 42
٤-۳-۲- مدل‌سازی عرضه 43
٤-٤- تحلیل نتایج 46
٤-٤-۱- معیارهای ارزیابی 46
٤-٤-۲- تحلیل نتایج سناریوهای تقاضا 48
٤-٤-۲-۱- مقایسه‌ی آماری نتایج در حالت همفزون 48
٤-٤-۳- تحلیل نتایج پرداخت مدل 56
٤-٤-۳-۱- مقایسه‌ی آماری نتایج در بازه‌های ۱٥ دقیقه‌ای 56
٤-٤-٤- خلاصه نتایج 57
٤-٥- جمع‌بندی فصل 57
٥- نتیجه‌گیری و پیشنهادات 58
٥-۱- خلاصهٔ پژوهش 59
٥-۲- نتیجه‌گیری 59
٥-۳- پیشنهادات برای تحقیقات آینده 60
مراجع 61

فهرست جداول

عنوان جدول شماره صفحه

13 .....]Wei, 2010جدول ۲-۱- برخی از متداول‌ترین مدل‌ها و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی تخصیص ترافیک پویا [

جدول ٤-۱- زمان‌سفر جریان آزاد و ظرفیت عملیاتی کمان‌ها برای معابر شبکه شهر مشهد [بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل - گزارش بررسی مطالعات شهرسازی ۱۳۸۸] 40

جدول ٤-۲- سهم حجم جریان هریک از بازه‌های زمانی از کل حجم جریان ساعت اوج صبح برای ۲۳ کمان منفرد منتخب 49

55 .....جدول ٤-۳- خلاصه نتایج حاصل از تغییر توزیع زمانی تقاضا برای تخصیص ترافیک پویا

57 .....جدول ٤-٤- مقایسه‌ی نتایج مشاهده و برآورد ۲۳ کمان منفرد منتخب برای مدل پرداخت‌شده

فهرست اشکال

عنوان شکل شماره صفحه

شکل ۲-۱- سهم تقاضا در هر بازه‌ی زمانی ۱۵ دقیقه‌ای از دو ساعت اوج بعدازظهر به تفکیک هدف سفر برای مدل ونماتچی [www.ptvamerica.com] 14

شکل ۳-۱- طبقه‌بندی مدل‌های کلان عملکرد کمان 18

شکل ۳-۲- گلوگاه با ظرفیت ثابت در طول زمان [Cascetta, 2009] 21

شکل ۳-۳- گلوگاه با ظرفیت متغیر [Cascetta, 2009] 22

شکل ۳-٤- نمودار اساسی جریان ترافیک (رابطه‌ی بین حجم جریان و چگالی) [Cascetta, 2009] 24

شکل ۳-٥- سرعت سطح مشترک در صفحه‌ی زمان- مکان [Cascetta, 2009] 28

شکل ۳-٦- سرعت در یک سطح مشترک بر اساس نمودار اساسی [Cascetta, 2009] 29

شکل ۳-۷- جریان عبوری در حالت موج حرکتی زیربحرانی [Cascetta, 2009] 30

شکل ۳-۸- جریان عبوری در حالت موج حرکتی فوق‌بحرانی [Cascetta, 2009] 31

شکل ۳-۹- نمودار اساسی الف) ذوزنقه‌ای و ب) سهمی‌شکل [VISUM 11 basics] 33

شکل ٤-۱- نواحی ترافیکی ۱٤۱ گانه‌ی شهر مشهد [بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل– به نقل از گزارش بررسی مطالعات شهرسازی ۱۳۸۸] 39

شکل ٤-۲- شبکه معابر شهر مشهد به همراه کمان‌های تردد شماری شده (کمان‌های منفرد) [بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل - گزارش بررسی مطالعات شهرسازی ۱۳۸۸] 40

شکل ٤-۳- توزیع زمانی تقاضا در ۲٤ ساعت شبانه‌روز آمارگیری یک روز از آبان ماه ۱۳۸۷ [بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل - گزارش تحلیل نتایج آمارگیری مبدأ- مقصد ساکنین ۱۳۸۹] 42

شکل ٤-٤- توزیع زمانی سهم تقاضا در هر بازه‌ی ۱۵ دقیقه‌ای در ساعت اوج صبح [بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل - گزارش تحلیل نتایج آمارگیری مبدأ- مقصد ساکنین ۱۳۸۹ - داده‌های خام آماربرداری سفر ۱۳۸۷] 42

شکل ٤-٥- نمایش طول صف در کمان‌های شبکه 44

شکل ٤-٦- نمایش خطوط تمایل سفر بین چند ناحیه از شبکه مشهد 45

شکل ٤-۷- نمایش دسته جریان برای یکی از کمان‌های شبکه مشهد 45

شکل ٤-۸- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص ایستا 48

شکل ٤-۹- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص شبه پویا 49

شکل ٤-١٠- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی یکنواخت یک ساعته..... 50

شکل ٤-١١- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی یکنواخت: الف) دو نیم ساعت، ب) چهار ربع ساعت، پ) شش ١٠ دقیقه و ت) ١٢ پنج دقیقه..... 51

شکل ٤-١٢- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی حاصل از تحلیل آمارگیری (٧-٢٤-١٣-٥٦)..... 52

شکل ٤-١٣- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی نمایی: الف) (١٠-٢٠-٣٠-٤٠) و ب) (٥-١٥-٣٠-٥٠)..... 52

شکل ٤-١٤- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی نرمال (١٥-٣٥-٣٥-١٥)..... 53

شکل ٤-١٥- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی نرمال: الف) (٥-٤٥-٤٥-٥) و ب) (١٠-٤٠-٤٠-١٠)..... 53

شکل ٤-١٦- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی نرمال: الف) (١٠-٥٥-٢٥-١٠)، ب) (١٠-٢٥-٥٥-١٠)، پ) (١٠-٤٥-٣٥-١٠) و ت) (١٠-٣٥-٤٥-١٠)..... 54

شکل ٤-١٧- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و محاسبه شده در کمان‌ها حاصل از تخصیص پویا با توزیع زمانی نرمال: الف) (١٥-٢٥-٥٠-١٠)، ب) (٥-٣٥-٥٠-١٠)، پ) (١٠-٣٠-٥٠-١٠)..... 55

شکل ٤-١٨- نمودار پراکنش حجم جریان‌های مشاهده شده و برآورد شده در کمان‌ها برای مدل پرداخت‌شده با توزیع زمانی نرمال (١٠-٣٠-٥٠-١٠)..... 56

فصل اول

مقدمه

پیش‌گفتار

فرآیند پیش‌بینی سفر[1] یکی از پراهمیت‌ترین قسمت‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است. این فرآیند نقش مهمی در برنامه‌ریزی شهری داشته و به‌کارگیری آن در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل با توجه به اطلاعات مؤثر و تحلیل دقیق می‌تواند به عنوان یک شاخص پیش‌بینی برای توسعه‌ی آینده به کار گرفته شود.

امروزه نیاز به اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری برای روشن نمودن خط مشی سیاست‌گذاری در عرصه‌ی حمل‌ونقل وجود دارد. نحوه‌ی تخصیص اعتبار به پروژه‌های حمل‌ونقلی، نحوه‌ی مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقلی و در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی هر پروژه از جمله‌ی مهمترین سوالات پیش روی مدیران است. از این‌رو، پس از انجام مطالعات و پژوهش‌های بسیار، رویکردهای مختلفی برای پاسخ به این نیازها توسط پژوهشگران مطرح گردیده است. هریک از این رویکردها محدودیت‌هایی داشته و با در نظر گرفتن فرض‌هایی ارائه شده‌اند. محققان و پژوهشگران همواره در تلاشند تا با حذف فرض‌های قبلی، رویکردها ومدل‌های موجود را بهبود بخشیده و روش‌های جدیدی برای حل مسئله ارائه دهند.

با توجه به نیاز موجود، مدل‌های پیش‌بینی بسیاری جهت برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به وجود آمده‌است. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان اثرات تغییر جمعیت، تغییر کاربری زمین، احداث یا تخریب زیرساخت‌های حمل‌ونقلی و غیره را در شیوه‌ی عملکرد سیستم حمل‌ونقلی شهر ارزیابی نمود. یکی از انواع این فرآیندها، رویکرد چهار مرحله‌ای سنتی است که با توجه به سادگی و کارایی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [DTA primer, 2011.]

حجم جریان و زمان (یا هزینه‌ی) سفر در کمان‌ها، عوامل بسیار مهمی در حوزه‌ی پیش‌بینی سفر هستند. این دو عامل مهم در گام چهارم رویکرد چهار مرحله‌ای سنتی و توسط مدل‌های تخصیص سفر برآورد می‌شوند. مرحله‌ی تخصیص، گام نهایی رویکرد چهار مرحله‌ای سنتی بوده و تعادلی بین سیستم عرضه و تقاضای حمل‌ونقل ایجاد می‌کند. اهمیت این مرحله از آن‌جا مشخص می‌گردد که نتایج آن، به نوعی بیانگر درستی مدل‌های مراحل پیشین (مدل‌های ایجاد، توزیع و تفکیک طرق سفر) است.

ضرورت و انگیزه پژوهش

از جمله مهمترین فرض‌های مدل تخصیص ترافیک ایستا[2] ثابت بودن میزان تقاضا در طول بازه‌ی زمانی تخصیص بوده و خروجی آن‌ها به زمان وابستگی ندارند. در این مدل، زمان‌سفر هر کمان با استفاده از تابع عملکرد هر کمان مشخص می‌شود. تابع عملکرد، زمان‌سفر هر کمان را به عنوان تابعی از جریان در آن کمان بیان می‌کند. حجم جریان ترافیک نیز از بارگذاری ماتریس مبدأ- مقصد بر روی مسیرهای شبکه به‌دست می‌آید.

مدل تخصیص ایستا، توصیف قابل قبولی از وضعیت جریان در شبکه‌های غیرشلوغ دارد. اما زمانی‌که شبکه شلوغ است محدودیت تابع عملکرد کمان‌ها مشخص شده و توصیف مناسبی از وضعیت جریان در شبکه به‌دست نمی‌آید. یکی از محدودیت‌های تابع عملکرد آن است که تأثیر برخی از متغیرهای ترافیکی مانند سرعت و چگالی جریان در ساختار آن‌ها دیده نشده است [DTA primer, 2011.]

مدل‌های تخصیص ترافیک پویا[3] با هدف بهبود مدل‌های تخصیص ایستا و حذف برخی از محدودیت‌های آن‌ها به‌وجود آمده‌اند. در این مدل‌ها، تقاضا به دو صورت معرفی می‌شود: ورودی مدل در حالت اول به‌صورت تقاضا در ساعت اوج مشابه حالت ایستا و در حالت دوم به‌صورت تقاضا در ساعاتی از شبانه‌روز یا حتی کل ۲۴ ساعت است. مقدار تقاضا در عمل ثابت نبوده و در طول زمان متغیر است. از جمله ویژگی‌های این دسته از مدل‌ها قابلیت تعریف تقاضای متغیر در

---

1 Travel Forecasting Process

2 Static Traffic Assignment Models

3 Dynamic Traffic Assignment Models

طول زمان است. همچنین می‌توان چندین ماتریس تقاضا را در طول زمان روی شبکه بارگذاری نمود (حتی اگر بازه‌های زمانی با یکدیگر تداخل داشته باشند).

در مدل‌های تخصیص پویا، زمان‌سفر هر کمان با در نظر گرفتن حجم، چگالی و سرعت جریان در طول آن کمان محاسبه می‌شود. این موضوع باعث شده تا توصیف دقیق‌تری از نحوه‌ی انتشار جریان1 در کمان‌ها به‌وجود آید. علاوه بر این، کمان‌ها به گونه‌ای مدل می‌شوند که جریان ورودی و خروجی هر کمان در هر بازه‌ی زمانی کنترل شده و شکل‌گیری و از بین رفتن صف در نظر گرفته شود. بنابراین یکی از خروجی‌های مفید اندازه‌ی طول صف در هر بازه‌ی زمانی است [DTA primer, 2011.]

دقت مدل‌های پویا و در نظر گرفتن اثرات پدیده‌های ترافیکی (مانند به‌وجود آمدن صف و پس زدن جریان ترافیک) باعث رشد چشمگیر استفاده از آن‌ها در شبکه‌های متراکم شهری شده است. این مدل‌ها واسط بین مدل‌های ایستا در سطح کلان و مدل‌های شبیه‌سازی در سطح خرد بوده و نحوه‌ی انتخاب مسیر بین هر مبدأ- مقصد، زمان‌سفر و حجم جریان ترافیک کمان‌ها را به عنوان ورودی به مدل‌های خرد منتقل می‌سازند.

علاوه بر قابلیت‌های یادشده، روش‌شناسی مدل‌های پویا باعث شده تا مسائلی مانند طراحی و تحلیل خطوط پرسرنشین2، قیمت‌گذاری تراکم3، تخلیه‌ی شبکه4 در زمان بحران و تغییر زمان‌بندی شروع فعالیت‌های روزانه، در قالب رویکرد پویا قابل تحلیل و بررسی باشند [Wei, 2010; Naser and Birst, 2010]. روش‌شناسی مدل پویا به‌طور مفصل در فصل سوم این گزارش مورد مطالعه قرار گرفته است.

تخصیص ترافیک پویا در فرآیند مدل‌سازی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، کمتر مورد توجه کارشناسان ایرانی قرار گرفته است. هدف این پژوهش، به‌کارگیری و پرداخت این مدل‌ها در قالب یک نرم‌افزار شبیه‌سازی، شناسایی قابلیت‌های آن‌ها و ارائه و پیاده‌سازی یک مطالعه‌ی موردی در مقیاس واقعی بوده است.

تعریف مسئلهٔ پژوهش

يكي از مهم‌ترين مسائل پيش روي مهندسين و برنامه‌ريزان حمل‌ونقل بررسی وضعیت شبکه‌های متراکم شهری در طول روز و همچنین در ساعت‌های اوج است. فرآیند تخصیص ترافیک با بارگذاری تقاضا بر روی شبکه‌ی حمل‌ونقل حجم جریان هریک از کمان‌ها و زمان‌سفر آن‌ها را محاسبه می‌کند. مدل‌های تخصیص ترافیک پویا، در ادامه‌ی مدل‌های تخصیص ایستا مطرح شده و با در نظر گرفتن عامل زمان و همچنین حذف کردن برخی از فرض‌های مدل‌های ایستا، نحوه‌ی انتشار وسایل نقلیه در شبکه را با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می‌دهند.

مدل‌سازی شبکه‌های حمل‌ونقل می‌تواند در سطح کلان یا خرد، یا ترکیب آن‌ها انجام شود. یکی از موارد استفاده‌ی مدل‌های پویا، انتقال مدل از سطح کلان به سطح خرد است. این موضوع، با جزئیات بیشتر، در فصل دوم پژوهش مورد بحث قرار گرفته است.

ویژگی‌های خاص مدل‌های تخصیص ترافیک پویا، باعث شده تا این مدل‌ها ابزار مناسبی برای حل مسائل مختلف پیش روی مهندسان حمل‌ونقل، قرار گیرد. مدل‌سازی شبکه در زمان بحران و تغییر زمان‌بندی شروع فعالیت‌های روزانه، از جمله کاربردهای مدل‌های پویا است.

---

1 Flow Propagation

2 HOV Lanes

3 Congestion Pricing

4 Network Evacuation

ویژگی‌ها و قابلیت‌های مدل‌های پویا باعث گردیده تا استفاده از آن‌ها به سرعت در حال فراگیر شدن باشد. هدف از انجام این پژوهش، پرداخت مدل تخصیص ترافیک پویا برای شبکه‌ی مشهد و شناسایی ویژگی‌ها و محدودیت‌های پیش رو در انجام این فرآیند است.

فرض‌ها و محدودیت‌های پژوهش

مدل‌سازی تخصیص ترافیک پویا در دو بخش تقاضا و عرضه انجام می‌شود. با توجه به این‌که روش‌شناسی تخصیص ترافیک پویا نسبت به روش‌شناسی تخصیص ایستا متفاوت است، نحوه‌ی مدل‌سازی و متغیرها و پارامترهای آن نیز با روش ایستا تفاوت دارد. با توجه به این موضوع، روش پرداخت مدل‌های پویا نیز به مراتب دشوارتر و زمان‌برتر از مدل‌های ایستا بوده و علاوه بر آن نیازمند مهارت و تجربه در مدل‌سازی است. تعاریف مربوط به متغیرها و پارامترها و روش پرداخت مدل مورد استفاده در این پژوهش در فصل‌های سوم و چهارم آورده شده است.

مدل‌های تخصیص ترافیک پویا اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت شبکه در طول زمان در اختیار مدل‌ساز قرار می‌دهند. ارائه‌ی جزئیات دقیق وابسته به در اختیار داشتن ورودی‌های دقیق است که این مسئله تبدیل به یکی از مشکلات فرآیند مدل‌سازی تخصیص ترافیک پویا گردیده است.

از جمله مهمترین فرض‌های انجام تخصیص ترافیک پویا، مشابه تخصیص ترافیک ایستا، فرض اطلاعات کامل استفاده‌کنندگان از زمان‌سفر کمان‌ها و مسیرهای شبکه در طول زمان است. فرض دیگر، انتخاب توزیع زمانی تقاضا1، به معنای نحوه‌ی توزیع جریان در شبکه در طول زمان است. این فرض در بخش مدل‌سازی تقاضا از فصل چهارم با توضیحات بیشتر آورده شده است.

به طور خلاصه می‌توان از موارد ذیل به عنوان مهم‌ترین محدودیت‌های این مطالعه نام برد:

> عدم اطلاع از نحوه‌ی انتشار تقاضا در طول بازه‌ی زمانی تخصیص ترافیک پویا. وجود اطلاعات دقیق درباره‌ی چگونگی توزیع ماتریس تقاضا در طول زمان، تأثیر به‌سزایی در خروجی‌های مدل تخصیص ترافیک پویا برای ساعت اوج دارد. این مشکل باعث گشته تا روش‌های تحلیلی زیادی در پژوهش‌های گوناگون، برای تبدیل ماتریس تقاضای ایستا به ماتریس تقاضای پویا مطرح شوند[Kattan, 2005]. روش دیگر، انجام یک فرآیند تکراری سعی و خطا برای یافتن توزیع زمانی تقاضای بهتر است. با توجه به پیچیدگی و گستردگی مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی روش‌های تحلیلی، فرآیند تکراری مورد استفاده قرار گرفته است.
> بزرگی شبکه شهر مشهد و کم بودن تعداد کمان‌های شمارش حجم (کمان‌های منفرد و خطوط برش). فرآیند پرداخت مدل تخصیص ترافیک پویا، نیازمند بررسی دقیق کمان‌ها و گره‌های شبکه پس از انجام هر مرحله تخصیص است. در این مرحله، نحوه‌ی انتشار جریان ترافیک در کمان‌ها از هر مبدأ به سمت مقصد مورد نظر بررسی می‌شود. پس از آن با تغییر پارامترهای موجود، جریان ترافیک به نحوی هدایت می‌شود که مقادیر برآورد مدل با مقادیر مشاهده‌ی حجم در کمان‌ها مطابقت بیشتری پیدا کند. بنابراین میزان دقت مدل با تعداد کمان‌های شمارش حجم رابطه‌ی مستقیم دارد. در مطالعات به‌هنگام‌سازی حمل‌ونقل شهر مشهد، شمارش حجم تنها برای ۸۷ کمان از حدود ٤٠٠٠ کمان جهت‌دار انجام شده است که این مسئله به دشواری روند پرداخت مدل پویا افزوده است. لازم به ذکر است کنترل و هدایت جریان ترافیک به منظور پرداخت مدل نیز با توجه به بزرگی شبکه دشوارتر گردیده است.

ساختار پایان‌نامه

این پژوهش در پنج فصل تقسیم‌بندي و ارائه گردیده است. پس از بیان مقدمه‌ای از موضوع این پایان‌نامه در فصل جاری، در فصل بعد (فصل دوم) به مرور و بررسی گزیده‌ای از ادبیات در زمینه‌ی موضوع پژوهش و ارائهٔ چارچوبی کلی از این مطالعات پرداخته شده است. در فصل سوم، روش‌شناسی2 پژوهش به‌همراه ابزار نرم‌افزاری مورد نیاز برای

---

1 Demand Temporal Profile

2 Methodology

پیاده‌سازی و اجرای روش پژوهش ارائه شده است. مطالعهٔ موردی و نتایج حاصل از روش پژوهش در فصل چهارم مطرح شده و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در پایان (فصل پنجم) به بحث و نتیجه‌گیری از این پژوهش و ارائ پیشنهاداتی برای مطالعات آینده پرداخته شده است.

فصل دوم

مرور ادبیات پژوهش

پیش از انجام هر پژوهش، به منظور آشنایی با موضوع مورد بررسی و رویکردهای موجود در قبال آن و همچنین مشخص شدن مرزهای دانش در آن زمینه نیاز است تا مطالعات انجام‌شده در حیطه‌های مرتبط با موضوع پژوهش تا حد امکان مرور شده و مورد بررسي قرار گیرند. این مطالعات ممکن است به طور مستقیم به پژوهش مورد نظر مرتبط بوده یا به صورت غیرمستقیم جهت الگوبرداري و ایده‌پردازی قابل‌استفاده باشند. از طرف دیگر، این تحقیقات ممکن است ضرورت انجام پژوهش جدید را مشخص نموده یا لزوم ادامهٔ مطالعات پیشین را برساند. بنابراین، در این فصل به صورت خلاصه به مروری بر مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده در زمینهٔ تخصیص ترافیک پویا پرداخته شده است. لازم به ذکر است که به دلیل تعدد پژوهش‌های انجام‌شده و همچنین توجه به این نکته که این تحقیقات به طور پیوسته و مداوم در حال انجام هستند، نمی‌توان ادعا نمود که تمامی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و در یک فصل جمع‌آوری شده‌اند.

حجم جریان و زمان (یا هزینه‌ی) سفر کمان‌ها، مجهولات اصلی در حوزه‌ی پیش‌بینی سفر هستند. این دو عامل مهم در گام چهارم رویکرد چهار مرحله‌ای سنتی و توسط مدل‌های تخصیص سفر برآورد می‌شوند. این در حالی است که اغلب در این مدل‌ها از متغیرهایی استفاده می‌شود که به زمان وابستگی ندارند. علاوه بر این، تأثیر برخی از متغیرهای خرد ترافیکی مانند سرعت و چگالی جریان در ساختار آن‌ها دیده نشده است.

مدل‌های تخصیص نیز مانند سایر مدل‌ها، دستخوش تغییرات زیادی در طول زمان شده‌اند. نسل دوم این مدل‌ها، مدل‌های تخصیص پویا نام داشته و جهت نمایش دقیق‌تر عوامل و مسائلی مانند رفتار رانندگان، نحوه‌ی انتخاب مسیر، نحوه‌ی انتشار ترافیک (ایجاد و از بین رفتن صف) و زمان‌سفر به‌وجود آمدند. این مدل‌ها متغیر بودن این عوامل در طول ساعت اوج یا ساعات مختلف شبانه‌روز را در نظر می‌گیرند. مهم‌ترین خروجی این مدل‌ها مقدار جریان در طول زمان در کمان است و علاوه بر آن، اطلاعات مفیدی مانند هزینه، زمان‌سفر افراد و اطلاعات کلان مورد نیاز برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقلی یک منطقه را در اختیار کاربر قرار می‌دهند.

یکی دیگر از کاربردهای مدل‌های پویا تعیین سطح سرویس معابر با درنظرگرفتن متغیرهای ترافیکی است. این امر با استفاده از دستورالعمل ظرفیت بزرگراه‌ها (HCM)[1] انجام می‌پذیرد. عدم توانایی مدل‌های ایستا در درنظرگرفتن تراکم بیش از اندازه[2]، پس‌زدگی جریان ناشی از صف[3]، انتخاب مسیر پویا[4] و توزیع ترافیک در

1 Highway Capacity Manual

2 Oversaturation

3 Queue Spillback

4 Dynamic Routing