دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست

گروه مهندسی برنامه‌ریزی و حمل‌ونقل

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران- گرایش مهندسی برنامه‌ریزی و حمل‌ونقل

# تصحیح ماتریس مبداء– مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان‌های شبکه به‌روش جریان فازی ترافیک؛ نمونه موردی شهر مشهد

نگارنده

**محمد یوسفی‌کیا**

استاد راهنما

**دکتر امیررضا ممدوحی**

استاد مشاور

**دکتر محمود صفارزاده**

بهار ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد یوسفی کیا پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان تححیح ماتریس مبداء – مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان های شبکه با روش TFlowFuzzy :

نمونه موردی شهر مشهد مقدس در تاریخ ۱۳۹۱/۳/۲۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – راه و ترابری پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما | دکتر امیر رضا ممدوحی | استادیار | |
| استاد مشاور | دکتر محمود صفارزاده | استاد | |
| استاد ناظر | دکتر سیداحسان سید ابریشمی | دانشیار | |
| استاد ناظر | دکتر میقات حبیبیان | استادیار | |
| مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر سیداحسان سید ابریشمی | دانشیار | |

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه رساله مورد تأییداست

امضای استاد راهنما:

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

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

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱-** حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

**ماده ۲-** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

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

**ماده ۳-** انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

**ماده ۵-** این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی محمدرضا [illegible]

امضاء ۹۱/۱۰/۱۵

# آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به‌طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل است، که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر امیررضا معدی ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمدرضا رضازاده و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به‌علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمدرضا رضا دانشجوی رشته مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: محمدرضا رضا

تاریخ و امضا: ۹۱/۸/۱۵

دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست

گروه مهندسی برنامه‌ریزی و حمل‌ونقل

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران- گرایش مهندسی برنامه‌ریزی و حمل‌ونقل

# تصحیح ماتریس مبداء– مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان‌های شبکه به‌روش جریان فازی ترافیک؛ نمونه موردی شهر مشهد

نگارنده

**محمد یوسفی‌کیا**

استاد راهنما

**دکتر امیررضا ممدوحی**

استاد مشاور

**دکتر محمود صفارزاده**

بهار ۱۳۹۱

تقدیم به معلّم عشق و ایمانم

فرناز سلطانی‌نیا

که مرا بر خویشتنم شوراند

بر خود واجب می دانم از استاد گرانقدر دکتر ممدوحی سپاس بسیار بگزارم، که اگر راهنمایی های مشفقانه ایشان نبود این پژوهش چنان که اینک هست نمی بود. توصیه ها و ارشادات استاد ارجمند دکتر صفارزاده نیز در نگارش این پژوهش بسی مفید و کارگر افتاد. سپاس بسیار من برای هر دو بزرگ و برای اساتید و بزرگانی که همکاری ها، تذکارها و توصیه هاشان به نحوی در تکمیل این مطالعه سهمی داشته است.

در انتظار نقدها و تذکارهای سودمند خوانندگان مسئول و نیک خواه هستم و پیشاپیش سعی آنان را در این طریق ارج و سپاس می نهم.

# چکیده

از جمله داده‌های پایه در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، ماتریس‌های تقاضای مبداء- مقصد سفر هستند. استخراج این ماتریس‌ها توسط آمارگیری و انجام مصاحبه‌های مبداء- مقصد با مسافرین مستلزم صرف وقت، هزینه و نیروی انسانی زیادی است. از این رو در سال‌های اخیر روش‌های برآورد ماتریس تقاضا با استفاده از اطلاعات حجم شبکه مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این روش‌ها با در دست داشتن اطلاعات شمارش حجم برخی کمان‌های شبکه و یک ماتریس اولیه، سعی می‌شود ماتریس تقاضایی برآورد شود که تخصیص آن به شبکه حجم‌های مشاهده شده در کمان‌ها را باز تولید کند و تا حد امکان به ماتریس اولیه نزدیک باشد. در این پژوهش به بررسی یکی از روش‌های برآورد ماتریس مبداء- مقصد (جریان فازی ترافیک[1]) بر مبنای روش بی‌نظمی بیشینه[2] که با لحاظ نمودن عدم قطعیت در اطلاعات شمارش حجم شبکه سعی در برآورد نزدیک‌ترین ماتریس سفر به حالت واقعی را دارد پرداخته می‌شود. این مدل در قالب یک مسئله بهینه‌سازی دو سطحی ارائه می‌شود، که در سطح بالاتر به برآورد ماتریس تقاضا و در سطح پایین‌تر، با روشی تکراری به تخصیص تعادلی کاربر می‌پردازد.

برای آشنایی بیشتر با مدل پیشنهادی و روش حل آن به حل مثالی ساده به‌صورت دستی پرداخته شده است. به منظور بررسی کارآیی مدل جریان فازی ترافیک بر روی شبکه‌های واقعی، الگوریتم این روش بر روی شبکه شهر مشهد پیاده شده است. به منظور افزایش دقت برآورد ماتریس سفر، ماتریس اولیه پس از تصحیح در هر تکرار مجددا به شبکه تخصیص داده می‌شود تا سهم کمان‌ها از تقاضای مبداء- مقصد به‌روز شود. با مقایسه پراکنش حجم‌های شمارش شده و حجم‌های حاصل از تخصیص ماتریس مبداء- مقصد، قبل و بعد از اعمال روش جریان فازی ترافیک، ضریب خوبی برازش در حدود ۵۵٪ (از ۰/۲۸ به ۰/۸۲) افزایش نشان داد. سپس برای بررسی تاثیر تراکم ترافیک در تعیین سهم کمان‌های شمارش شده از تقاضای هریک از مبادی و مقاصد، از دو روش تخصیص مختلف در سطح پایین‌تر مدل استفاده شد. مشاهده شد که با استفاده از تخصیص تعادلی کاربر (با منظور کردن محدودیت ظرفیت در کمان‌های شبکه) در برابر تخصیص احتمالی محض (که در آن سهم هر کمان از تقاضا مستقل از حجم جریان در کمان‌ها محاسبه می‌شود) ضریب خوبی برازشِ حجم‌های مشاهده شده در برابر حجم‌های حاصل از تخصیص مدل به شبکه در حدود ۱۰٪ افزایش یافت (از ۷۲٪ به ۸۲٪). در انتها، دقت برآورد روش جریان فازی ترافیک برای فرض‌های مختلفِ عدم قطعیت در حجم‌های شمارش شده، مورد مطالعه قرار گرفت، که نتایج نشان دهنده ۵٪ کاهش ضریب خوبی برازش در اثر ۱۰ برابر شدن دامنه تغییرات حجم ترافیک[3] در کمان‌های شمارش شده است.

**کلمات کلیدی**: برآورد ماتریس مبداء- مقصد، حجم جریان مشاهده شده، نظریه مجموعه‌های فازی، شهر مشهد

---

[1] TFlowFuzzy
[2] Maxmimum Entropy
[3] Bandwidth

# فهرست مطالب

عنوان | شماره صفحه


**۱- مقدمه ..... ۱**

۱-۱- پیش‌گفتار ..... ۲

۱-۲- انگیزه پژوهش ..... ۳

۱-۳- تعریف مسئلهٔ پژوهش ..... ۵

۱-۴- محدوده و اهداف پژوهش ..... ۸

۱-۵- ساختار پایان‌نامه ..... ۹

**۲- مرور ادبیات پژوهش ..... ۱۰**

۲-۱- مقدمه و ساختار فصل ..... ۱۱

۲-۲- تعاریف و مفاهیم ..... ۱۳

۲-۲-۱- تخصیص ترافیک ..... ۱۳

۲-۲-۲- نظریه مجموعه‌های فازی ..... ۱۵

۲-۲-۲-۱- مفاهیم اولیه مجموعه‌های فازی ..... ۱۵

۲-۲-۲-۲- انواع توابع عضویت فازی ..... ۱۸

۲-۳- چهارچوب کلی مطالعات در زمینهٔ تصحیح ماتریس تقاضا از روی حجم کمان‌های شبکه ..... ۲۱

۲-۴- روش‌های برآورد تقاضا از روی اطلاعات کمان‌ها با توجه به عملکرد شبکه ..... ۲۲

۲-۴-۱- روش‌های برآورد تقاضا در شبکه‌های خلوت ..... ۲۴

۲-۴-۲- روش‌های برآورد تقاضا در شبکه‌های شلوغ ..... ۲۵

۲-۵- روش‌های برآورد تقاضا از روی اطلاعات کمان‌های شبکه با رویکرد فازی ..... ۲۸

۲-۶- خلاصه و جمع‌بندی ..... ۲۹

**۳- روش‌شناسی پژوهش ..... ۳۱**

۳-۱- مقدمه و ساختار فصل ..... ۳۲

۳-۲- اطلاعات ورودی جهت انجام مدل‌سازی ..... ۳۳

۳-۲-۱- بررسی عوامل موثر در بروز عدم قطعیت در اطلاعات ورودی مسئله ..... ۳۳

۳-۳- روش بی‌نظمی بیشینه ..... ۳۴

۳-۳-۱- مفاهیم اولیه در روش بی‌نظمی بیشینه ..... ۳۵

۳-۳-۲- برآورد تقاضای سفر به‌روش بی‌نظمی بیشینه براساس شمارش حجم کمان‌ها ..... ۳۸

۳-۳-۳- محدودیت‌های مدل برآورد ماتریس سفر به‌روش بی‌نظمی بیشینه ..... ۴۲

۳-۴- بررسی یک مثال ساده از مدل برآورد تقاضا به‌روش بی‌نظمی بیشینه ..... ۴۴

۳-۵- رویکرد فازی به مسئله برآورد ماتریس تقاضا به‌روش بی‌نظمی بیشینه ..... ۴۶

۳-۶- برآورد ماتریس مبداء- مقصد به‌روش جریان فازی ترافیک ..... ۴۸

۳-۶-۱- فرمول‌بندی اولیه مدل ..... ۴۹
۳-۶-۲- رویکرد فازی به مدل اولیه ..... ۵۲
۳-۷- بررسی روش جریان فازی ترافیک در قالب یک مثال ساده ..... ۵۴
**۴- پیاده‌سازی مدل بر روی شبکه شهر مشهد و تحلیل نتایج ..... ۵۶**
۴-۱- مقدمه و ساختار فصل ..... ۵۷
۴-۲- مشخصات شبکه حمل‌ونقل (عرضه) ..... ۵۷
۴-۲-۱- ویژگی‌های اصلی شهر مشهد ..... ۵۷
۴-۲-۲- بررسی اطلاعات ورودی شبکه برای مدل‌سازی ..... ۶۱
۴-۳- مشخصات تقاضا ..... ۶۳
۴-۳-۱- تابع عملکرد کمان برای وسائل نقلیه شخصی ..... ۶۴
۴-۴- پیاده‌سازی روش جریان فازی ترافیک بر روی شبکه شهر مشهد ..... ۶۵
۴-۴-۱- نتایج به‌هنگام سازی ماتریس مبداء- مقصد به روش جریان فازی ترافیک ..... ۶۵
۴-۵- تاثیر فرض‌های عملکردی شبکه بر روی دقت برآورد ماتریس تقاضا ..... ۷۱
۴-۶- اثر سنجی میزان عدم قطعیت حجم‌های شمارش‌شده بر دقت برآورد ماتریس تقاضا ..... ۷۵
۴-۷- خلاصه و جمع‌بندی ..... ۸۰
**۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۸۱**
۵-۱- خلاصهٔ پژوهش ..... ۸۲
۵-۲- نتیجه‌گیری ..... ۸۳
۵-۳- پیشنهادات ..... ۸۴
**۶- مراجع ..... ۸۵**

# فهرست جداول

عنوان جدول | شماره صفحه


جدول ۳-۱- جدول سفر، بیانگر نرخ جریان بین مبادی و مقاصد مختلف ..... ۴۴
جدول ۳-۲- مولفه‌های ماتریس تخصیص..... ۴۵
جدول ۴-۱- توزیع سهم هر یک از معابر در سیستم عملکردی..... ۶۱
جدول ۴-۲- واحدهای معادل همسنگ سواری ..... ۶۴
جدول ۴-۳- پارامترهای تابع BPR کمان برای معابر شبکه شهر مشهد ..... ۶۵
جدول ۴-۴- حجم ترافیک در کمان‌های شبکه پیش و پس از به‌هنگام سازی ماتریس مبداء- مقصد..... ۶۷
جدول ۴-۵- دسته‌بندی انواع مدل‌های تخصیص ترافیک بر مبنای تاثیر محدودیت ظرفیت و اثرات تصادفی..... ۷۲
جدول ۴-۶- بررسی تاثیر دامنه مجاز تغییرات کمان شمارش‌شده بر دقت تصحیح ماتریس تقاضا ..... ۷۹

# فهرست اشکال

عنوان شکل | شماره صفحه


شکل ۱-۱- عملکرد متقابل برآوردگر مبداء- مقصد و مدل تخصیص ترافیک ..... ۶
شکل ۱-۲- شمایی از جریان اطلاعات در مدل عمومی برآورد تقاضای مبداء- مقصد ..... ۷
شکل ۲-۱- تابع عضویت مثلثی ..... ۱۹
شکل ۲-۲- تابع عضویت ذوزنقه‌ای ..... ۱۹
شکل ۲-۳- تابع عضویت گاوسی ..... ۲۰
شکل ۲-۴- تابع عضویت زنگوله‌ای ..... ۲۰
شکل ۲-۵- طبقه‌بندی‌های مختلف مطالعات برآورد ماتریس تقاضا با استفاده از اطلاعات شمارش حجم ..... ۲۳
شکل ۳-۱- فرآیند کلی در به‌روز کردن ماتریس تقاضا به روش جریان فازی ترافیک ..... ۳۲
شکل ۳-۲- شبکه ساده با حجم جریان مشاهده شده در کمان d ..... ۴۴
شکل ۳-۳- فرآیند صورت گرفته بر روی داده‌ها برای به‌روز کردن ماتریس تقاضا در روش جریان فازی ترافیک ..... ۴۹
شکل ۴-۱- نواحی ترافیکی ۱۴۱ گانه‌ی شهر مشهد ..... ۶۲
شکل ۴-۲- شبکه معابر شهر مشهد به همراه کمان‌هایی که حجم ترافیک در آن‌ها شمارش شده ..... ۶۳
شکل ۴-۳- پراکندگی حجم جریان در کمان‌های شمارش شده شبکه در اثر تخصیص ماتریس اصلاح نشده ..... ۷۰
شکل ۴-۴- پراکندگی حجم جریان در کمان‌های شمارش شده شبکه در اثر تخصیص ماتریس برآورد شده ..... ۷۱
شکل ۴-۵- پراکندگی حجم جریان در کمان‌های شمارش‌شده شبکه با فرض تخصیص تعادلی کاربر ..... ۷۴
شکل ۴-۶- پراکندگی حجم جریان در کمان‌های شمارش‌شده شبکه با فرض تخصیص احتمالی محض ..... ۷۵
شکل ۴-۷- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۲ ..... ۷۶
شکل ۴-۸- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۳ ..... ۷۶
شکل ۴-۹- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۴ ..... ۷۶
شکل ۴-۱۰- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۵ ..... ۷۶
شکل ۴-۱۱- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۶ ..... ۷۷
شکل ۴-۱۲- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۷ ..... ۷۷
شکل ۴-۱۳- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۸ ..... ۷۷
شکل ۴-۱۴-پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۰/۹ ..... ۷۷
شکل ۴-۱۵- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۱/۰ ..... ۷۷
شکل ۴-۱۶- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۱/۲ ..... ۷۷
شکل ۴-۱۷- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۱/۴ ..... ۷۸
شکل ۴-۱۸- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۱/۶ ..... ۷۸
شکل ۴-۱۹- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۱/۸ ..... ۷۷
شکل ۴-۲۰- پراکنش مشاهده- برآورد با عرض باند ۲/۰ ..... ۷۸
شکل ۴-۲۱- بررسی تاثیر دامنه مجاز تغییرات کمان شمارش‌شده بر دقت تصحیح ماتریس تقاضا ..... ۷۹

# فصل اول

# مقدمه

## ۱-۱- پیش‌گفتار

در طول تاریخ توجه به نیازها، مظاهر و پدیده‌های انسانی باعث پیدایش علوم و فنون مختلفی گشته است. یکی از نیازهای لاینفک دنیای انسانی حمل‌ونقل است. این مساله از گذشته‌های دور تا حال حاضر همواره بخشی از دغدغه بشر به‌شمار می‌رفته است. در قرن اخیر، همواره با رشد چشم‌گیر سایر علوم و به‌وجود آمدن وسایل جدید حمل‌ونقل، به مسئله‌ی حمل‌ونقل با رویکردی علمی‌تر و به‌صورت جدی‌تری پرداخته شده است. امروزه افراد و خانواده‌ها به دلایل مختلف سفر می‌کنند، به محل کار خود آمد و شد می‌کنند، خریدهای منزل را انجام می‌دهند و در فعالیت‌های تفریحی شرکت می‌کنند. حمل‌ونقل در شهرها معمولا به دو بخش حمل‌ونقل کالا و مسافر تقسیم می‌شود که در این میان حمل‌ونقل انسان از پیچیدگی زیادی برخوردار است، زیرا در این حمل‌ونقل نهادها هریک تصمیم خود را می‌گیرند و براساس پارامترهای محیطی و خاص خود عمل می‌کنند.

پیچیدگی قابل ملاحظه‌ای در عملکرد متقابل بخش‌های مختلف در حمل‌ونقل جاده‌ای وجود دارد. در این سیستم‌ها افراد نیاز دارند تا به‌طور پیوسته وسیله نقلیه خود را کنترل کنند. همچنین باید به‌طور پیوسته تصمیماتی مرتبط با انتخاب خط و مسیر، افزایش و کاهش سرعت و سبقت گرفته و به اطلاعات و پیام‌های کنترلی پاسخ دهند. رفتار راننده در شرایط ترافیکی مختلف (نظیر راه‌بندان، تاخیر و تصادف) و شرایط فردی (مثل رسیدن به یک قرار ملاقات) متفاوت بوده و از بعدی دیگر به پیچیدگی‌های سیستم می‌افزاید. بنابراین، سیستم‌های حمل‌ونقل باید برنامه‌ریزی شده باشند و با هدف حفظ جریان آرام مدیریت شوند. این امر همچنین بدون لحاظ نمودن تقاضای مورد انتظار، پارامترهای تصادفی و برآشفتگی بالقوه امکان‌پذیر نیست. پیچیدگی‌های این سیستم محققان را برآن داشته است تا به‌دنبال روش‌هایی باشند که در به‌کارگیری بهتر زیرساخت‌های حمل‌ونقلی موجود از طریق بهبود مدیریت آن به مجریان و گردانندگان سیستم‌ها کمک نمایند (بن آکیوا ۱۹۸۷، بیرلایر و توینت ۱۹۹۵).

در راستای انجام مطالعات و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز محققین دانستن تعداد سفرهای انجام شده بین مراکز مختلف شهری است که از آن به عنوان اطلاعات تقاضای سفر یاد

می‌شود. اطلاعات تقاضای سفر به صورت ماتریس‌های مبداء- مقصد از جایگاه و اهمیت خاصی در علم حمل‌و-نقل برخوردار است به‌نحوی که می‌توان گفت سایر کارها و برنامه‌ریزی‌های بعدی منوط به دانستن این ماتریس است. با توجه به اینکه هرچه اطلاعات از دقت و تازگی بیشتری برخوردار باشد به همان اندازه امکان برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری دقیق‌تری را در آینده فراهم می‌سازد. امروزه از مسائل مطرح در علم حمل‌ونقل بدست آوردن ماتریس‌های تقاضا و به‌هنگام‌سازی ماتریس‌های قبلی توسط کم‌هزینه‌ترین و سریع‌ترین روش‌ها است. از اینرو گرایش به تصحیح و برآورد این ماتریس‌ها با استفاده از اطلاعات حجم شبکه که از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های تصحیح و برآورد ماتریس‌های سفر است مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است (رابیلارد ۱۹۷۵، نگوین ۱۹۸۴).

## ۱-۲- انگیزه پژوهش

روش معمول بیان تقاضای حمل‌ونقل، استفاده از ماتریس‌های مبدا- مقصد سفر است. در حالت کلی ماتریس مبداء- مقصد سفر ممکن است به یکی از سه روش زیر برآورد شوند (بیرلایر و توینت ۱۹۹۵).

۱. برآورد مستقیم نمونه
۲. مدل‌های برآورد تقاضا
۳. و مدل‌های برآورد ماتریس مبداء- مقصد با استفاده از اطلاعات حجم کمان‌های شبکه

روش‌های مستقیم سعی در دنبال کردن مسافر یا وسیله‌نقلیه از مبداء به مقصد را دارند. در این روش‌ها سعی می‌شود از طریق پرسش یا مشاهده‌ی نمونه‌ای از سفرها توسط آمارگران، و تعمیم این اطلاعات به کل جمعیت، به برآوردی از تعداد سفرهای مبداء- مقصد دست پیدا کرد. از آنجا که این نوع آمارگیری‌ها بسیار وقت‌گیر و پرهزینه هستند، انجام هرساله‌ی آن‌ها جهت دستیابی به اطلاعات به‌هنگام تقاضا تقریبا غیرممکن است. از این رو، از این نوع روش‌ها تنها جهت دستیابی به اطلاعات پایه برای تقاضا استفاده می‌شود، که معمولا هر چند دهه (۱۰ الی ۲۰ سال) یک‌بار انجام می‌شود (شفی ۱۹۸۴).

روش دوم برآورد ماتریس تقاضا موسوم به مدل‌های تقاضا است. در این روش ماتریس تقاضا با به‌کارگیری سیستمی از مدل‌ها، سفرهای انجام شده توسط شیوه خاصی از وسائل حمل‌ونقل را در یک بازه زمانی خاص برآورد می‌کند. در این روش معمولا مدل‌های تقاضا برای برقراری ارتباط بین ویژگی‌های جغرافیایی، اجتماعی- اقتصادی و سیستم عرضه شبکه معلوم و ماتریس مبدا- مقصد مجهول فرض می‌شوند. پارامترهای این مدل‌ها ممکن است براساس پیمایش‌های پیشین صورت گرفته در همان ناحیه یا مدل‌های موجود در شرایط مشابه پرداخت شوند. عدم وجود اطلاعات پایه از سفرهای مبداء- مقصد برای پرداخت مدل‌ها، مطلوب نبودن مدل‌های محل‌های جغرافیایی دیگر، یا نبود مدل‌های قبلی برای همان مناطق، باعث شده که گرایش به سمت استفاده از مدل‌های دسته سوم، که به برآورد ماتریس تقاضا بر اساس اطلاعات ترافیکی می‌پردازند بیشتر شود (نگوین ۱۹۸۴).

انگیزه اساسی در گرایش به روش سوم برآورد ماتریس تقاضا که به برآورد این ماتریس از روی اطلاعات حجم کمان‌های شبکه می‌پردازد، واقعیت‌های عملی نظیر محدودیت فراهم بودن اطلاعات و راحتی نسبی دسترسی به حجم کمان‌های شمارش شده نسبت به استخراج مستقیم این اطلاعات است. علاوه بر این، با افزایش به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل[1] در سال‌های اخیر، اطلاعات جریان ترافیک در شبکه‌ها به‌صورت پیوسته و بدون هزینه اضافی گردآوری می‌گردد که این امر با تامین داده‌های مورد نیاز، برآورد ماتریس سفر با کمترین هزینه و در کمترین فاصله‌ی زمانی را ممکن می‌سازد (کاستا ۱۹۸۴).

به‌منظور بازسازی دقیق پدیده‌ها و نزدیکی بیشتر آن‌ها به واقعیت، پژوهشگران همواره برآنند تا از روش‌ها و ابزارهای محاسباتی و مدل‌سازی دقیق‌تری در تحقیقات خود استفاده کنند. در دهه‌های اخیر، دانشمندان بر اساس مشاهداتی که از طبیعت داشته‌اند، روش‌های جدیدتری برای مدل‌سازی پیشنهاد نموده‌اند. یکی از این روش‌ها، با مقبولیت زیادی در علوم مهندسی، نظریه فازی است. توانایی سیستم‌های مبتنی بر این نظریه در استفاده از دانش بشری و به‌کارگیری مفاهیم زبانی مبهم و غیرقطعی که در گذشته قابل تبدیل به مفاهیم ریاضی نبوده از مشخصه‌های این روش است (نظری، ۱۳۸۱). از نظریه فازی می‌توان در

[1] Inteligent Transportation Systems

تعریف متغیرهای موثر در مدل‌ها بر اساس مفاهیم زبانی استفاده کرد. در بسیاری از مباحث حمل‌ونقل، ماهیت تصادفی و غیرقطعی تصمیم‌گیری، انتخاب و رفتار ترافیکی انسان‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای تاثیرگذار در سفر قابل مشاهده است. بر این اساس به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری مفاهیم فازی می‌تواند در بهبود مدل‌سازی و تعریف واقعی‌تر متغیرها کارگشا باشد (تئودورویچ ۱۹۹۹).

در رابطه با ارائه راه حل برای مسئله برآورد ماتریس تقاضای سفر با استفاده از اطلاعات جریان مشاهده شده در کمان‌ها، تلاش‌های قابل توجهی در سال‌های اخیر صورت گرفته است، ولی با توجه به اهمیت مسئله هنوز جای خالی مطالعات بیشتر احساس می‌شود. همچنین کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی در مسئله برآورد ماتریس تقاضا به پژوهش‌های انگشت شماری محدود بوده و نیاز به توسعه این گستره تحقیقاتی کاملا محسوس است. پژوهش حاضر با رویکرد فازی به حل مسئله برآورد تقاضای سفر می‌پردازد.

## ۱-۳- تعریف مسالهٔ پژوهش

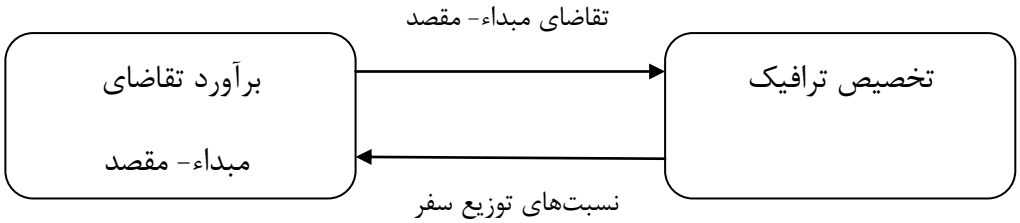
مسئله مورد نظر این مطالعه را می‌توان به‌نوعی انجام عکس فرآیند تخصیص ترافیک نام برد. در تخصیص ترافیک با توجه به ماتریس تقاضای سفر بین زوج‌های مبداء و مقصد و اطلاعات ساختار شبکه (گره‌ها، کمان‌ها، توابع زمان سفر- حجم) مقدار جریان در کمان‌های شبکه محاسبه می‌شود. در اینجا عکس این عمل انجام می‌شود، یعنی با استفاده از اطلاعات حجم جریان در کمان‌های شبکه و ساختار شبکه، ماتریس تقاضای مبداء-مقصد بدست می‌آید (ردی و چاکروبورتی ۱۹۹۸). به بیان ساده‌تر، هدف برآورد (یا تصحیح) ماتریس تقاضای مبداء- مقصد بر اساس اطلاعات در دسترس شبکه (حجم جریان ترافیک در کمان-های شبکه) است. بدیهی است پس از تخصیص ماتریس مبداء- مقصد بدست آمده بر روی شبکه، انتظار می-رود جریان در هر کمان تقریبا برابر جریان مشاهده شده شود. لازم به ذکر است که این برابری به معنای برابری مطلق ریاضی نبوده، منظور نزدیک بودن آماری دو مقدار به یکدیگر است (شفی ۱۹۸۴).

برآورد تقاضای مبداء- مقصد اساسا از دو فرآیند مجزا تشکیل می‌شود:

۱. تخصیص ترافیک برای توزیع تقاضا در شبکه

۲. محاسبه یک ماتریس تقاضای جدید بر اساس اطلاعات ورودی موجود

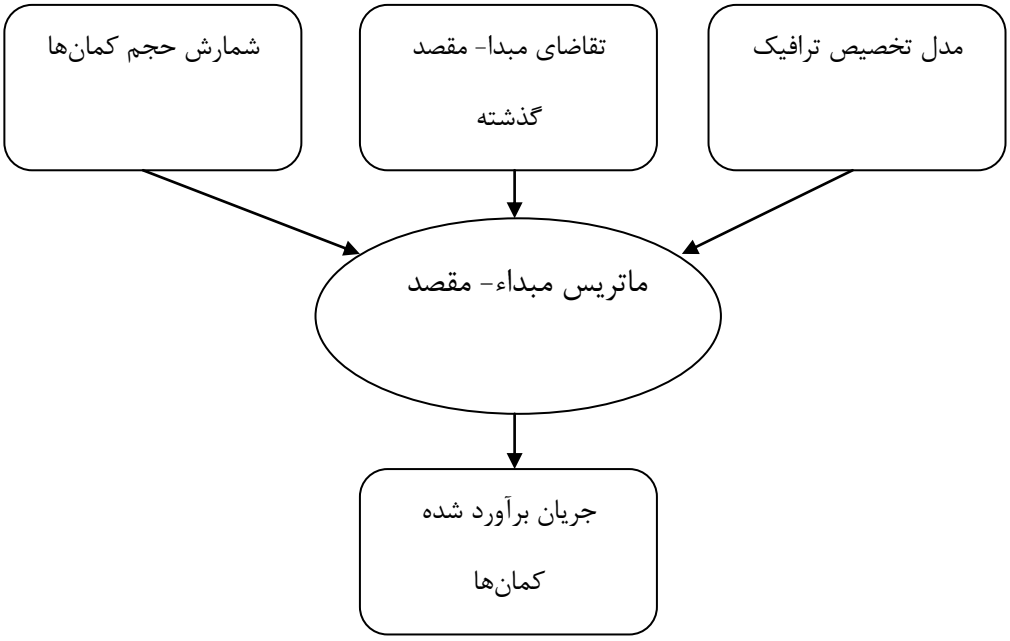
تهاتر بین این دو فرآیند در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است. خروجی تخصیص ترافیک در بیشتر روش‌ها به‌صورت یک ماتریس تخصیص[1] در برآورد تقاضای جدید استفاده می‌شود. در ادامه این ماتریس با جزئیات دقیق‌تری معرفی می‌شود (اشک و بن‌آکیوا ۲۰۰۲).




**شکل ۱-۱- عملکرد متقابل برآوردگر مبداء- مقصد و مدل تخصیص ترافیک**

برای برآورد یک ماتریس تقاضای مبداء- مقصد، ورودی‌های متعددی مانند: مدل شبکه، اطلاعات ترافیکی (جریان ترافیک مشاهده شده) مدل‌های انتخاب مسیر (تعیین بهترین مسیر در شبکه براساس شرایط ترافیکی و مولفه‌های جریان) نیاز است. بنابراین، اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم تقاضا که عمدتا با شمارش حجم روی کمان‌ها صورت می‌گیرد برای دستیابی به برآورد یکتا ناکافی است. روش معمول برای تکمیل اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها استفاده از اطلاعات اضافی به‌صورت ماتریس‌های تقاضای پیشین است تا به‌این شکل الگوی تقاضای موجود مشخص گردد. هدف فرآیند تخصیص ترافیک محاسبه سهم کمان‌ها از تقاضای مبادی و مقاصد مختلف است. شکل ۱-۲ اطلاعات ورودی اساسی و اطلاعات خروجی یک مدل برآورد تقاضای مبداء- مقصد را نشان می‌دهد. این مدل، تقاضای مبداء- مقصد گذشته[2] را از پایگاه داده و جریان ترافیک مشاهده شده در کمان‌ها را جمع‌آوری کرده و ماتریس‌های مبداء- مقصد برآورد شده را در خروجی ارائه می‌دهد (یانگ و همکاران ۱۹۸۵، فیسک ۱۹۸۹، ژی- کوکلمن ۲۰۱۰).

[1] Assignment Matrix
[2] Outdated origin-destination matrix




**شکل ۱-۲- شمایی از جریان اطلاعات در مدل عمومی برآورد تقاضای مبداء- مقصد**

بسته به نوع استفاده از انواع مختلف اطلاعات، خطاهای مختلفی در فرآیند برآورد وجود خواهد داشت. خطای اول به عدم دقت یا تقریب در مدل ریاضی بر می‌گردد که رابطه بین اندازه‌گیری (شمارش حجم) و متغیرهای نامعلوم (تقاضای مبداء- مقصد) را نشان می‌دهد، که همین امر انگیزه ارائه مدل‌های برآورد دقیق‌تر را در پژوهشگران ایجاد نموده است. منبع دوم خطا، عدم دقت در مقادیر متغیرها و پارامترهای استفاده شده در مدل تخصیص ترافیک است. زمان سفر، پارامترهای موثر در انتخاب مسیر و ماهیت تصادفی مدل‌های تخصیص ترافیک از جمله عواملی هستند که ما را به استفاده از تکنیک‌های نوین نظیر فازی رهنمون می‌کنند. منبع سوم خطا، خطای اندازه‌گیری است. نمونه روشن این خطا، خطای شمارش حجم است (هِن ۲۰۰۱).

مسئله عمومی برآورد ماتریس مبداء- مقصد به‌صورت ترکیب کارآمد اطلاعات حجم جریان در شبکه و ماتریس‌های تقاضای گذشته به شیوه کمینه نمودن هم‌زمان انحراف جریان ترافیک تخصیص یافته از جریان ترافیک مشاهده شده و تقاضای برآورد شده از تقاضای گذشته موجود است. فرمول کلی مسئله می‌تواند به‌صورت زیر باشد: