

سلام افلاک

۱۳۸۲ / ۱۵ / ۳۰

کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران  
تاسیس ۱۳۰۲



۱۳۸۲ / ۱۵ / ۳۰

طراحی متدولوژی تعیین ماتریس مبدأ-مقصد کالا بر اساس  
آمار شمارش ترافیک در راه‌های کشور

سید مهدی یدی همدانی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته برنامه‌ریزی حمل و نقل

استاد راهنما

دکتر شهریار افندیزاده

۴۹۴۲۹

بهمن ۱۳۸۱

**تقدیم به پدر و مادرم .**

**معماران و اولین معلمان زندگیم .**

## چکیده

تعیین میزان تقاضا و الگوهای مربوط به آن در یک سیستم، نقشی مهم در تحلیل آن سیستم دارد. در سیستم حمل و نقل اساس نمایش تقاضا و تحلیل های مربوط به آن بر پایه ماتریسی به نام ماتریس مبدأ-مقصد بنیانگذاری می شود. از آنجا که روش های مرسوم و متداول در استحصال این ماتریس که مبتنی بر انجام مصاحبه و آمارگیری در محل های مشخص هستند علاوه بر هزینه بر و وقت گیر بودن، موجبات مزاحمت برای مردم را نیز در پی دارند، روش های ریاضی مبتنی بر آمار شهودی مانند حجم ترافیک (آمار تردد شماری در معابر) روز به روز محبوبیت بیشتری در مطالعات جامع حمل و نقل می یابند. در حقیقت مسأله برآورد ماتریس مبدأ-مقصد در اکثر موارد به این صورت تعریف می شود که با در دست داشتن یک ماتریس مبدأ-مقصد اولیه (عموماً دور از واقعیت کنونی) و نیز اطلاعات تردد شماری در تعدادی از معابر شبکه (که در وضع موجود برداشت شده اند) بدنبال برآورد ماتریسی هستیم که با داشتن کمترین فاصله از ماتریس اولیه، در صورت تخصیص به شبکه، حجم های مشاهده شده را بازتولید کند.

هدف از انجام این پایان نامه طراحی پروسه ای برای برآورد ماتریس مبدأ-مقصد حقیقی جابجایی بار بر اساس آمار موجود بارنامه و نیز اطلاعات تردد شماری در جاده های کشور می باشد. در این راستا پس از اتمام مطالعات زمینه ای، بعلت الگوی خاص انتخاب مسیر رانندگان وسایل نقلیه سنگین در جاده های کشور، با استفاده فرمولاسیون لاجیت، چند مدل تخصیص احتمالی متناسب با شرایط مسأله ایجاد گردید. همچنین بعلت وجود خطا در هر دو منبع اطلاعاتی بارنامه و تردد شماری، به منظور انتخاب بهترین مدل برآورد ماتریس مبدأ-مقصد بار، پس از تعیین میزان خطا در هر یک از این منابع اطلاعاتی، مدلی آنتروپی با تابع هدف مرکب مورد کالیبراسیون قرار گرفت.

## تشکر و قدردانی

به بار نشستن این پایان نامه علاوه بر مساعی محقق، بدون کمک اساتید گرانقدر و تعدادی از دوستان کارشناس و صاحب نظر میسر نمی نمود. بر خود لازم می دانم که نهایت سپاسگذاری خود را از استاد ارجمند جناب آقای دکتر افندیزاده که مرا در به ثمر رساندن این پایان نامه راهنمایی نموده اند ابراز دارم. همچنین از مساعدت صمیمانه آقای دکتر ممدوحی، عضو محترم هیأت علمی مؤسسه عالی آموزش و پژوهش در مدیریت و برنامه ریزی که از انتقال اندوخته علمی خود در راستای پیشبرد این پایان نامه دریغ نورزیدند تشکر و قدردانی می نمایم. بی شک خود را مدیون کمک ها و راهنمایی های مدیران و کارشناسان سازمان حمل و نقل و پایانه های کشور خصوصاً آقایان مهندس حکیم هاشمی و ولی زاده می دانم که منتهای کمک فکری و اطلاعاتی را در این زمینه مبذول داشته اند. در نهایت از تمامی همکاران و دوستانم در شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشگاه صنعتی شریف که با مساعدت های علمی و فکری خود راهگشای این تحقیق بوده اند تشکر می کنم.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
<b>فصل اول : پیشگفتار و تعریف مسأله</b> .....	۱
۱-۱. پیشگفتار .....	۱
۲-۱. تعریف مسأله .....	۳
<b>فصل دوم : مروری بر پروسه برنامه ریزی و مدل سازی حمل و نقل</b> .....	۷
۱-۲. مقدمه .....	۷
۲-۲. مدل ها و نقش آن ها .....	۹
۳-۲. مشخصات مسائل حمل و نقل .....	۱۱
۴-۲. مشخصات تقاضا در سیستم حمل و نقل .....	۱۲
۵-۲. مشخصات عرضه در سیستم حمل و نقل .....	۱۳
۶-۲. تعادل عرضه و تقاض .....	۱۶
۷-۲. ساختار مدل کلاسیک حمل و نقل .....	۱۸
۸-۲. اطلاعات مورد نیاز در مطالعات جامع حمل و نقل .....	۲۵
۹-۲. جمع آوری اطلاعات و مدل سازی در سطوح Aggregate و Disaggregate .....	۳۰
۱۰-۲. مزایای استفاده از GIS در تحلیل و برنامه ریزی در سیستم حمل و نقل .....	۳۰
<b>فصل سوم : آشنایی با تفصیص ترافیک و الگوریتم های تعریف شده برای آن</b> .....	۳۲
۱-۳. مقدمه .....	۳۲
۲-۳. منحنی های سرعت-جریان و هزینه جریان .....	۳۵
۳-۳. روش های تخصیص ترافیک .....	۴۱

- ۳-۳-۱. روش تخصیص همه یا هیچ ..... ۴۵
- ۳-۳-۲. روش های تخصیص اتفاقی محض ..... ۴۶
- ۳-۳-۱. روش های مبتنی بر شبیه سازی ..... ۴۷
- ۳-۳-۲. روشهای اتفاقی مبتنی بر نسبت ..... ۵۰
- ۳-۳-۳. روش های تخصیص تعادلی ..... ۵۳
- ۳-۳-۱. مفاهیم تعادل Wardrop ..... ۵۳
- ۳-۳-۲. فرمولاسیون مفهوم تعادل در شبکه ..... ۵۶
- ۳-۳-۳. بکارگیر اصل اول Wardrop در مدل تخصیص ..... ۵۹
- ۳-۳-۳-۱. روش تخصیص افزایشی ..... ۵۹
- ۳-۳-۳-۲. روش متوسط های متوالی ..... ۶۱
- ۳-۳-۴. روش تخصیص تعادل اتفاقی ..... ۶۲
- ۳-۴. چندگانگی نوع وسایل نقلیه ..... ۶۵

## فصل چهارم : برآورد ماتریس مبدأ-مقصد از آمار شمارش ترافیک و مدل های ارائه

### شده در زمینه آن ..... ۶۷

- ۴-۱. مقدمه ..... ۶۷
- ۴-۲. تعریف ریاضی مسأله ..... ۷۴
- ۴-۳. متدهای برآورد ماتریس مبدأ-مقصد از آمار شمارش ترافیک ..... ۷۷
- ۴-۳-۱. روش های بهینه سازی مبتنی بر اصول تخصیص تعادلی ..... ۷۷
- ۴-۳-۲. روش های مبتنی بر مفاهیم مدل سازی ترافیک ..... ۷۹
- ۴-۳-۳. روش های مبتنی بر استنتاجات آماری ..... ۸۰
- ۴-۴. تکنیک های حل مبتنی بر گرادیان ..... ۸۱

فصل پنجم : تفاوت‌های دو شبکه حمل و نقل درون‌شهری و برون‌شهری ..... ۸۷

۱-۵. مقدمه ..... ۸۷

۲-۵. تفاوت در فضای محدوده مورد مطالعه و ناحیه‌بندی آن ..... ۸۸

۳-۵. تفاوت در اصول تولید و جذب حوزه‌ای ..... ۸۹

۴-۵. تفاوت در اصول توزیع سفر ..... ۹۰

۵-۵. تفاوت در انتخاب مد سفر ..... ۹۱

۶-۵. تفاوت در انتخاب مسیر و مدل تخصیص ترافیک ..... ۹۳

فصل ششم : روش‌های انتخاب فردی و کاربرد آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های سفر ..... ۹۹

۱-۶. مقدمه ..... ۱۰۰

۲-۶. فرضیات عمومی مدل‌های انتخاب فردی ..... ۱۰۰

۳-۶. تئوری مطلوبیت تصادفی ..... ۱۰۳

۴-۶. مروری کوتاه بر روش رگرسیون لوجستیک ..... ۱۰۴

۵-۶. خانواده مدل‌های لوجیت ..... ۱۰۸

۶-۶. بررسی جوانب مختلف در مسأله انتخاب مسیر ..... ۱۱۱

۷-۶. تعیین گزینه‌های تصمیم و ضوابط آن در مسأله انتخاب مسیر ..... ۱۱۳

۸-۶. استفاده از مدل Logit در انتخاب مسیر ..... ۱۱۴

۹-۶. استفاده از مدل C-Logit در انتخاب مسیر ..... ۱۱۵

۱۰-۶. اعتبار مدل‌های مبتنی بر لوجیت ..... ۱۱۶

۱۱-۶. نرم افزارهای قابل استفاده در کالیبراسیون مدل‌های لوجیت ..... ۱۱۸

۱-۱۱-۶. ارزیابی نرم‌افزار SPSS ..... ۱۱۹

۲-۱۱-۶. ارزیابی نرم‌افزار STATISTICA ..... ۱۲۳



۱۲۴..... STATGRAPHICS نرم افزار ۳-۱۱-۶

۱۲۵..... GAUSS نرم افزار ۴-۱۱-۶

### فصل هفتم : آشنایی با روش پیشینه سازی آنتروپی ۱۲۹.....

۱۲۹..... ۱-۷. مقدمه

۱۳۳..... ۲-۷. برآورد ماتریس سفر از آمار شمارش ترافیک بر اساس روش پیشینه سازی آنتروپی

۱۴۰..... ۳-۷. راهکارهای افزایش دقت مدل برآورد ماتریس سفر

۱۴۴..... ۴-۷. شرایط مترتب در تردد شماری

۱۴۴..... ۱-۴-۷. استقلال در تردد شماری

۱۴۵..... ۲-۴-۷. ناسازگاری در تردد شماری

۱۴۶..... ۵-۷. محدودیتهای مدل برآورد ماتریس سفر مبتنی بر بیشترین آنتروپی (ME2)

۱۴۷..... ۶-۷. بررسی عوامل مؤثر در بروز عدم قطعیت در اطلاعات ورودی مسأله برآورد

۱۴۸..... ماتریس سفر

۱۵۰..... ۷-۷. برآورد ماتریس سفر با استفاده از تابع هدف مرکب (برنامه ریزی چندهدفه)

### فصل هشتم : طراحی مدل تفصیص متناسب با جریان ترافیک بین شهری در ایران ۱۵۹.....

۱۵۹..... ۱-۸. مقدمه

۱۵۹..... ۲-۸. ارزیابی مدل های موجود تخصیص ترافیک در قالب حمل و نقل بین شهری

۱۶۲..... ۳-۸. تحلیل پارامترهای مؤثر در انتخاب مسیر رانندگان وسایل نقلیه سنگین

۱۶۳..... ۱-۳-۸. طراحی فرم آمارگیری

۱۶۷..... ۲-۳-۸. مشخصات مسیرهای شرکت داده شده در پرسشگری

۱۷۰..... ۴-۸. تحلیل اولیه اطلاعات حاصل از آمارگیری انتخاب مسیر

۱۷۳..... ۵-۸. ارائه مدل های کالیبره شده برای تخصیص سفر وسایل نقلیه سنگین

۱۷۶..... ۱-۵-۸. مدل‌های ارائه شده برای دسته اول (دو آلترناتیو غیر آزادراه)

۱۷۶..... ۱-۱-۵-۸. مدل‌های ساخته شده با SPSS

۱۷۹..... ۲-۱-۵-۸. مدل‌های ساخته شده با GAUSS

۱۸۳..... ۲-۵-۸. مدل‌های ارائه شده برای دسته دوم (یکی از دو آلترناتیو آزادراه است)

۱۸۴..... ۳-۵-۸. مدل‌های ارائه شده برای دسته سوم (سه آلترناتیو غیر آزادراه)

## فصل نهم : ارائه و کالیبراسیون مدل آنتروپی با تابع هدف مرکب بر پایه میزان دقت

اطلاعات بارنامه و تردد شماری ..... ۱۸۹

۱-۹. مقدمه ..... ۱۸۹

۲-۹. ارزیابی منبع اطلاعاتی بارنامه ..... ۱۹۰

۳-۹. ارزیابی منبع اطلاعاتی تردد شماری ..... ۱۹۲

۴-۹. ارزیابی مطلوبیت آمار تردد شماری و بارنامه براساس روش AHP ..... ۱۹۳

۵-۹. الگوریتم برآورد ماتریس صحیح مبدأ - مقصد کالا ..... ۲۰۳

## فصل دهم : استفاده عملی از مدل آنتروپی کالیبره شده برای برآورد ماتریس صحیح

مبدأ-مقصد استان کردستان ..... ۲۱۳

۱-۱۰. تعریف مسأله و گردآوری اطلاعات اولیه مورد نیاز ..... ۲۱۳

۲-۱۰. حل مدل برنامه ریزی غیر خطی با تابع هدف آنتروپی مرکب برای شبکه استان

کردستان ..... ۲۲۸

## فصل یازدهم : خلاصه، نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

۱-۱۱. خلاصه پایان نامه و نتیجه گیری ..... ۲۳۲

۲-۱۱. ارائه پیشنهادات ..... ۲۳۵

فهرست مراجع ..... ۲۳۸

- پیوست یک : نمونه فرم مورد استفاده در بررسی الگوی انتخاب مسیر رانندگان وسایل  
نقلیه سنگین ..... ۲۴۲
- پیوست دو : نمونه ای از ورودی و خروجی نرم افزار Gauss برای مدل سازی الگوی  
تفصیص ترافیک مبتنی بر فرمولاسیون لامیت ..... ۲۴۶
- پیوست سه : نمونه فرم طراحی شده برای سنجش میزان دقت منابع اطلاعاتی بارنامه و  
تردد شماری ..... ۲۵۲
- پیوست چهار : ورودی و خروجی نرم افزار Lingo در حل مدل غیرخطی مسئله برآورد  
ماتریس مبدأ-مقصد بار در استان کردستان ..... ۲۵۵

## فهرست شکل ها

- شکل (۱-۲). تراکم و اثرات خارجی آن بر زمان سفر ..... ۱۶
- شکل (۲-۲). ساختار مدل کلاسیک چهار مرحله ای ..... ۲۰
- شکل (۳-۲). نمونه‌ای از مدل کردن یک شبکه حمل و نقل بر حسب گره و کمان ..... ۲۹
- شکل (۱-۳). منحنی سرعت-جریان در هر کمان از شبکه ..... ۳۵
- شکل (۲-۳). نمایه‌ای کلی از منحنی زمان-سفر حجم ..... ۳۶
- شکل (۳-۳). توزیع نرمال خطای ادراک رانندگان ..... ۴۸
- شکل (۴-۳). نمایه‌ای از یک گره با کمان‌های ورودی و خروجی آن ..... ۵۰
- شکل (۱-۶). منحنی لوجستیک و کران‌های آن ..... ۱۰۵
- شکل (۲-۶). خواص افزایشی تابع لوجستیک ..... ۱۰۶
- شکل (۳-۶). بخشی از خروجی نرم‌افزار SPSS در حل یک مسأله فرضی رگرسیون لوجستیک
- چندجمله‌ای ..... ۱۲۳
- شکل (۱-۷). یک شبکه ساده دارای مقادیر تردد شماری ..... ۱۳۷
- شکل (۲-۷). تعریف مسأله و گزارش‌گیری از جواب آن در محیط نرم‌افزار LINGO ..... ۱۳۹
- شکل (۳-۷). نمایی از یک تردد شماری وابسته ..... ۱۴۴
- شکل (۴-۷). جواب‌های مؤثر در یک مسأله برآورد ماتریس O-D با تابع هدف مرکب ..... ۱۵۸
- شکل (۱-۹). فرایند سلسله مراتبی در تعیین مطلوبیت هر یک از دو منبع اطلاعاتی موجود .... ۱۹۷
- شکل (۱-۱۰). نقشه راه های استان کردستان در محیط GIS ..... ۲۱۴
- شکل (۲-۱۰). ساختار گره-کمانی شبکه جاده ای استان کردستان در مطالعات جامع ۱۳۷۰ .... ۲۱۵

## فهرست جداول

- جدول (۱-۳). ضرایب مورد استفاده در مدل تخصیص اداره حمل و نقل انگلیس ..... ۴۰
- جدول (۲-۳). طبقه‌بندی روش‌های مختلف در مدل‌های تخصیص ترافیک ..... ۴۵
- جدول (۱-۴). معرفی محققینی که به مسأله برآورد ماتریس O-D پرداخته‌اند ..... ۷۴
- جدول (۱-۵). درصد انتخاب مد سفر مسافران در ایالات متحده در سال ۱۹۹۵ ..... ۹۲
- جدول (۱-۷). ماتریس‌های دارای شرایط مثال و مقدار آنتروپی آن‌ها ..... ۱۳۷
- جدول (۲-۷). حل مسأله مربوط به شکل (۱-۷) در حالت وجود تنها ۲ تردد شماری در آن ..... ۱۴۳
- جدول (۳-۷). نتایج متفاوت حل مدل آنتروپی با تابع هدف مرکب در یک شبکه فرضی برای مقادیر مختلف  $\gamma$  ..... ۱۵۷
- جدول (۱-۸). مبادی و مقاصد انتخاب شده برای پرسشگری مسیر ..... ۱۶۴
- جدول (۲-۸). ویژگی‌های مهندسی مسیرهای انتخاب شده در آمارگیری ..... ۱۶۹
- جدول (۳-۸). درصد انتخاب مسیرهای آلترناتیو در مبادی و مقاصد انتخاب شده ..... ۱۷۱
- جدول (۴-۸). پارامترهای تفاضلی بکار رفته در مدل‌های ساخته شده با SPSS ..... ۱۷۷
- جدول (۵-۸). ضرایب برآورد شده در تابع مطلوبیت و وضعیت آماری مدل‌های ساخته شده با نرم افزار SPSS ..... ۱۷۷
- جدول (۱-۹). نظرات کارشناسی متفاوت در رابطه با میزان مطلوبیت منابع آماری تردد شماری و بارنامه ..... ۲۰۰
- جدول (۲-۹). میانگین هندسی وزن هریک از دو منبع اطلاعاتی و مقدار نرمال شده آن‌ها ..... ۲۰۱
- جدول (۱-۱۰). مشخصات کمان‌های تشکیل دهنده شبکه معابر استان کردستان در وضعیت استفاده در مدل ..... ۲۱۷
- جدول (۲-۱۰). ظرفیت عملی و متوسط سرعت آزاد کمانهای شبکه بر حسب کد انواع راه و کد نوع سرزمین ..... ۲۲۰

- جدول (۱۰-۳). ترافیک ساعتی مشاهده شده در معابر انتخابی استان کردستان (مطالعات جامع  
حمل و نقل سال ۱۳۷۰) ..... ۲۲۲
- جدول (۱۰-۴). ماتریس تقاضای ساعتی بدست آمده از مطالعات جامع حمل و نقل استان کردستان  
در سال ۱۳۷۰ ..... ۲۲۳
- جدول (۱۰-۵). ماتریس تقاضای ساعتی برآورد شده با استفاده از مدل آنتروپی با تابع هدف مرکب  
برای استان کردستان ..... ۲۳۰
- جدول (۱۰-۶). ترافیک ساعتی برآورد شده در معابر انتخابی استان کردستان ..... ۲۳۱

## فصل اول

### پیشگفتار و تعریف مسأله

#### ۱-۱. پیشگفتار

روش‌های مرسوم برای جمع‌آوری اطلاعات مبدأ-مقصد<sup>۱</sup> سفر (یا اصطلاحاً ماتریس O-D) که معمولاً آمارگیری‌های مبتنی بر مصاحبه در منزل و یا کنار راه‌ها هستند موجب صرف هزینه‌های بالا، زحمات انسانی فراوان و گرفتن وقت مصاحبه شوندگان می‌شوند. از آنجا که این اطلاعات در پروسه برنامه‌ریزی حمل و نقل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند، برای دستیابی به اطلاعات ماتریس مبدأ-مقصد و در کنار آن، فائق آمدن بر مشکلات مطرح شده در این زمینه، تلاش‌های فراوانی برای ایجاد و توسعه روش‌های کم‌هزینه و کم‌دردسر انجام گرفته است. از این رو تاکنون محققان زیادی در رابطه با مسأله برآورد ماتریس مبدأ-مقصد از آمار شمارش ترافیک<sup>۲</sup> (آمار مشاهدات تردد شماری) فعالیت کرده‌اند که حاصل این تحقیقات انواع متدولوژی و مدل‌هایی است که در منابع به آنها اشاره شده است.

نکته قابل توجه در این می‌باشد که اکثر این مطالعات در بعد حمل و نقل شهری صورت گرفته‌اند و تاکنون توجه کافی برای کالیبره کردن مدل‌هایی اینچنین در بخش حمل و نقل بین شهری بعمل نیامده است. نمونه‌ای از مطالعات انجام گرفته در سطح کشوری در رابطه با تقاضای سفر در بخش سیستم حمل و نقل برون شهری در کشور کانادا صورت پذیرفته است که می‌تواند الگوی خوبی برای استفاده در کشور ما باشد [۲۸].

---

۱-Origin-Destination

۲-Traffic count