سنجش آثار سیاست توسعه شهری سیستم حمل‌ونقل عمومی انبوه (T.O.D)[1] بر کارایی مجتمع‌های ایستگاهی مترو

دکتر ناصر پورمعلم [2]
مهندس محمد کیانپور [3]
مهندس محمدجواد بنگش [4]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۱۴
تاریخ‌پذیرش: ۱۳۸۷/۰۵/۰۶

چکیده

الگوی توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی انبوه (T.O.D) روشی کارا در کاهش عواقب منفی و هزینه‌های ناشی از آثار متقابل حمل‌ونقل- کاربری زمین است. این الگو براساس افزایش تراکم اشتغال و جمعیت در اراضی همجوار ایستگاه‌های خطوط حمل‌ونقل عمومی انبوه (مترو، قطار سبک شهری و...) استوار است. توابع مطلوبیت تقاضای سفر شامل مدل تولید و جذب سفر، مدل توزیع سفر، مدل انتخاب وسیله نقلیه و مدل تخصیص سفر در این میان با شاخص‌های انتخاب متغیرهای کاربردی تعریف می‌شود؛ عدم دخالت آثار تغییرات، قابلیت دسترسی بر ظرفیت تولید و جذب سفر نواحی ترافیکی، غیر پویایی توزیع سفرهای بین نواحی با روش موجود فراتر، عدم دخالت دو متغیر هزینه سفر و سطح درآمد مسافران در توابع مطلوب بودن، دخالت آثار تغییر قابلیت دسترسی بر تولید و جذب سفر با ساخت تابع جدید دسترسی جهت در نظرگیری سفرهای القایی، ساخت مدل توزیع سفر جاذبه دو قیدی با به کارگیری مطلوبیت متوسط وسیله سفر، اصلاح مدل انتخاب وسیله با ورود دو متغیر هزینه سفر و سطح درآمد مسافران در توابع مطلوبیت است. جهت اصلاح، روش پیش‌بینی تغییر کارایی ایستگاه‌های خطوط حمل‌ونقل عمومی انبوه ارائه می‌شود.

کلید واژه‌ها: *حمل‌ونقل عمومی، کاربری زمین، مدل تقاضای سفر، مدل‌های مطلوبیت، توسعه شهری*

1- *Transit Oriented Development*

۲- دکترای حمل و نقل و ترافیک، استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۳- کارشناس ارشد حمل‌ونقل و ترافیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۴- کارشناس ارشد حمل‌ونقل و ترافیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

مقدمه

الگوی توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی (T.O.D) با توجه به موقعیت و امکانات محیطی شهری با پشتیبانی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی معرفی شده است. T.O.D بخشی از سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل است که در راستای سیاست و سیستم‌های نوین شهرسازی و ارتباط نزدیک آنها با هم می‌تواند راه‌حلی را کلی برای مشکل پراکندگی کلانشهرها به ارمغان آورد.

به بیان دیگر، T.O.D همچون توسعه بر مبنای حمل‌ونقل عمومی[1]، توسعه با پشتیبانی حمل‌ونقل عمومی[2] و دهکده حمل‌ونقل عمومی برای ایجاد ناحیه‌ای با تراکم زیاد شامل مناطق مسکونی، تجاری، اداری و عمومی با هسته مرکزی تجاری در فاصله مناسب از ایستگاه حمل‌ونقل عمومی [۱] و در طول راهروهای حمل‌ونقل [۲] که باعث تشویق ساکنان، شاغلان و اصناف ناحیه به استفاده بیشتر از حمل‌ونقل عمومی می‌شود، است. آثار به کارگیری سیاست T.O.D می‌توان به صرفه‌جویی در وقت، کاهش مصرف سوخت، کاهش ترافیک، کاهش آلودگی هوا و کاهش نفوذ توسعه شهر در زمین‌های کشاورزی اطراف شهرها اشاره کرد.

عواملی مانند تراکم جمعیت، اشتغال و قابلیت دسترسی بر پیش‌بینی تقاضای سفر با وسایل حمل‌ونقل عمومی به ویژه مترو جهت کارایی یا عدم کارایی در T.O.D اهمیت ویژه‌ای دارند. از این سیاست می‌توان برای متمرکز کردن تراکم جمعیت و اشتغال در نواحی همجوار ایستگاه‌های وسایل حمل‌ونقل عمومی جهت ساماندهی سفرهای شهری و هدایت توسعه شهری استفاده کرد.

روش‌هایی که برای تخمین آثار سیاست T.O.D می‌توان استفاده کرد شبیه‌سازی، تحلیل‌های هم‌فزون، تحلیل‌های ناهم‌فزون، مدل‌های انتخاب و تحلیل فعالیت‌محور است [۳].

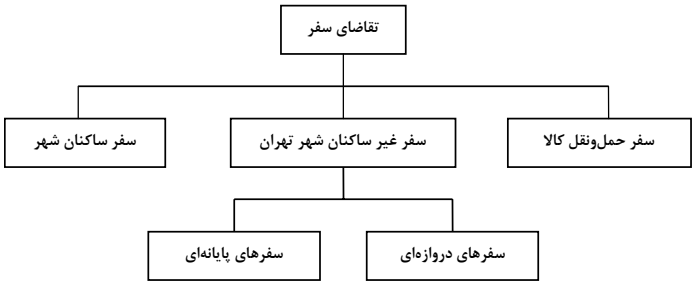
پرتال جامع علوم انسانی

1-Transit Focused Development
2-Transit Supportive Development.

اصول مبانی کاربردی

ساختار مدل تقاضای سفر موجود شهر تهران

برآورد تقاضای سفر موجود شهر تهران بر اساس فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل (U.T.P.S) با ساختاری در نمودارهای یک و دو ارائه شده است.



نمودار یک- تقسیم‌بندی تقاضای سفر شهر تهران

نمودار دو- فرآیند تقاضای سفر ساکنان شهر تهران

تقسیم‌بندی تقاضای سفر ساکنان شهر تهران

الف) سهم دوره زمانی ساکنان شهر تهران: فرض شده است نحوه توزیع ساعتی روزانه سفرها در سال‌های آینده همانند نحوه توزیع ساعتی سفرها بر اساس آمارگیری خواهد بود. از

اعمال این سهم‌ها بـه نتـایج تفکیـک (انتخـاب) وسـیله، سـهم دوره زمـانی t (T_{ij}^{pmt}) از سفرهای بین مبدا i و مقصدj به هدف p و با وسیله m مشخص می‌شود.

ب) سفرهای بازگشت به خانه (مدل‌های انتخاب وسیله و سهم دوره زمـانی): از آنجـا کـه بیشتر افراد در این سفرها از وسایل نقلیه سفر رفـت از خانـه را اسـتفاده مـی‌کننـد، ترانهـاده (Transpose) ماتریس سهم وسایل نقلیه در سفرهای خانه بر مبنای تفکیک هدف سفر بـه عنوان سهم سفرهای بازگشت به خانه در نظر گرفته شده است. همچنین سـهم دوره زمـانی در سال افق برابر با سال آمارگیری فرض شده است.

تقاضای سفر غیر ساکنان شهر تهران

پیش‌بینی میزان سفر غیرساکنان شهر تهران با تعیین ضرایب (نرخ) رشد سالانه برای حجـم سفرها در سال برداشت اطلاعات در ساعت‌های هفت تا نه صبح انجام می‌شود[1]. تعیین نـرخ رشد سالانه هر بخش از سفرهـا (r) و نـرخ رشـد n سـال بعـد از سـال آمـارگیری از رابطـه $R = (1 + r)^n$ تعیین می‌شود. این سفرها شامل: سـفرهـای پایانـه و سـفرهـای دروازه‌ای (مسافری و باری) بوده که در نمودار یک نشان داده شده است.

الف) سفرهای پایانه‌های حمل‌ونقل: این سفرهـا شـامل سـفرهای از درون شـهر تهـران بـه پایانه‌های محورهای ارتباطی و برعکس است. برآورد تقاضا در سال افق با برآورد نـرخ رشـد سالانه و اعمال آن بر آمار سال آمارگیری به دست می‌آید. نرخ رشد سالانه سفرهای پایانه‌ای (r) برابـر $r = \alpha_1 r_1 + (1 \quad \alpha_1) r_2$ اسـت کـه در آن، r_1 نـرخ رشـد جمعیـت در شـهر تهران، r_2 نرخ رشد جمعیت همه نقاط کشور غیر از محدوده مورد مطالعه (تهران و ناحیه‌های اطراف) و α_1 سهم سفرهای ساکنان تهران از کل سفرهای پایانه‌ها (۰/۳۳۹)[2] است.

ب) سفرهای دروازه‌ای: این سفرها سه دسته‌اند که هر یک به طور جداگانه برآورد می‌شوند.

۱- اطلاعات سفرهای انجام شده از تهران به سایر نقاط یا بالعکس که خود شامل درون شهری و برون شهری است در گزارش وضع موجود سال آمارگیری آمده است.

۲- از جدول (۱۱) گزارش «نتایج آمارگیری پایانه‌ها»، مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران.

* سفرهای ناحیه‌های درونی تهران (۱تا۵۶۰) به ناحیه‌های اطراف (۵۶۱– ۵۷۵): در این گروه، نرخ رشد سالانه سفرها برابر $r = \alpha_2 r_1 + (1 \quad \alpha_2) r_3$ است که در آن r_3 نرخ رشد جمعیت در ناحیه‌های اطراف و α_2 نسبت تعداد سفرها از نواحی درونی به نواحی اطراف در آمارگیری مبدا– مقصد ساکنان در سال آمارگیری به تعداد سفرهای مسافری از نواحی درونی به نواحی اطراف در آمارگیری دروازه‌ای در یک دوره زمانی است.

– سفرهای نواحی اطراف به نواحی درونی: اگر α_3 نسبت تعداد سفرهای مسافری از نواحی اطراف به نواحی درونی در آمارگیری مبدا– مقصد ساکنان سال آمارگیری به تعداد سفرهای مسافری از ناحیه‌های اطراف به ناحیه‌های درونی در آمارگیری دروازه‌ای سال آمارگیری در یک دوره زمانی باشد، نرخ رشد برابر $r = \alpha_3 r_1 + (1 \quad \alpha_3) r_3$ است.

– سایر سفرهای دروازه‌ای: اگر نسبت تعداد سفرهای مسافری از نواحی درونی به محورهای ارتباطی (۵۷۶ تا ۵۸۳) و برعکس در آمارگیری مبدا– مقصد ساکنان سال آمارگیری به تعداد سفرهای مسافری از ناحیه‌های درونی به ناحیه‌های خارجی و برعکس در آمارگیری دروازه‌ای سال آمارگیری در یک دوره زمانی باشد، نرخ رشد سالانه سفر برابر $r = \alpha_4 r_1 + (1 \quad \alpha_4) r_2$ است.

ج) سفرهای باری دروازه‌ای: حجم این سفرها به تفکیک نوع وسیله نقلیه در یک دوره زمانی برای هر یک از وسایل نقلیه مورد استفاده و هر زوج مبدا– مقصد با نرخ رشد $r = r_1$ برآورد شده است.

فرآیند تقاضای سفر ساکنان

مراحل پیش‌بینی تقاضا در این مدل عبارتند از: ساخت مدل کاربری زمین (اشتغال و جمعیت)، ساخت مدل مالکیت وسیله نقلیه شخصی، ساخت مدل‌های تولید و جذب سفر، ساخت مدل توزیع سفر، ساخت مدل انتخاب وسیله نقلیه سفر، ساخت مدل تخصیص سفر و تقاضای سفر غیر ساکنان شهر تهران که با تعیین ضرایب رشد تعیین می‌شوند.

الف) مدل کاربری زمین: برای مدل کاربری زمین سه مدل ایجاد شده که دو مدل از آنها مدل‌های بلندمدت نامیده شده است که مورد نقد قرار می‌گیرند. یکی از این مدل‌ها به روش

قضاوتی به برآورد متغیرهای مدل تولید و جذب برای بلندمدت (سال ۱۳۹۰) می‌پردازد و دیگری، جمعیت شاغل و سطح اشتغال ناحیه مورد مطالعه را با استفاده از مدل گارین- لوری برآورد می‌کند. در مدل گارین- لوری، ظرفیت جمعیتی نواحی ترافیکی به شرح زیر برآورده می‌شود:

$$C_i^P = \begin{cases} C_i^{P_1} & \text{اگر} \quad r_i^{65\ 75} \le 0 \\ 1.15 C_i^{P_1} & \text{اگر} \quad r_i^{65\ 75} \ 0 \end{cases}$$ رابطه ۱

که در آن C_i^P: ظرفیت جمعیتی ناحیه i برای سال‌های آینده، $C_i^{P_1}$: ظرفیت جمعیتی ناحیه i در مطالعه سال ۱۳۸۰ و $r_i^{65\ 75}$: نرخ رشد جمعیت در ناحیه i در دهه ۶۵-۷۵ است.

ب) مدل مالکیت وسیله نقلیه (برآورد سرانه): از هر یک از دو رابطه زیر می‌توان سرانه مالکیت سواری شخصی را برای شهر تهران تعیین کرد:

$$Co^t = Co^0 + \frac{0.0016\ t^{2.0999}}{1 + 1.3912\ e^{0.0928\ t}} = Y^{1t}$$ رابطه۲

$$Co^t = Co^0 \left(1 + \frac{0.0161 t^{2.0999}}{1 + 1.3912 e^{0.0928 t}}\right) = Y^{2t}$$ رابطه۳

می‌توان ترکیب دو ساختار معادلات ۱ و ۲ را به صورت زیر در نظر گرفت:

$$Co_i^t = \alpha\left[Y_i^{1t}\right] + (1 \quad \alpha)\left[Y_i^{2t}\right]$$ رابطه ۴

در روابط بالا Co^t و Co^0 به ترتیب برآورد سرانه مالکیت سواری شخصی در سال t و سال مبنا، Y^{1t} ساختار حاصل جمعی، Y^{2t} ساختار حاصل ضربی و α برابر ۰/۸ است که سهم ساختار حاصل جمعی را در برآورد سرانه مالکیت سواری شخصی همه نواحی تهران نشان می‌دهد [۵].

ج) مدل‌های تولید و جذب سفر: این مدل‌ها به تفکیک پنج هدف سفر شامل سفرهای شغلی، آموزشی، خرید کالا و خدمات، تفریح و سایر و هیچ سرخانه ارائه شده‌اند. متغیرهای مختلفی جهت این مدل‌ها در ابتدا فرض شده‌اند که پس از کالیبره شدن مدل اولیه ارائه‌شده و مدل‌های نوع دوم و سوم نیز مجددا اصلاح شده است. در حال حاضر

مدل نوع دوم که مدلی خطی است به علت دارا بودن R^2 بالاتر به کار مـی‌رود. مـدل نـوع دوم در جدول یک و دو نشان داده شده است.

جدول یک- مدل تولید نوع دوم

مدل‌های تولید سفر	هدف سفر
$T_i^w = .569VP_i \times ER_i + 1.107ER_i$	شغلی
$T_i^s = 3.07VP_i \times STR_i + 0.903STUR_i + 0.020DIST_i \times P_i$	آموزشی
$T_i^{sh} = 0.061P_i + 0.414VP_i * P_i$	خرید کالا و خدمات
$T_i^{sr} = 0.073P_i + 0.373VP_i * P_i$	تفریح و سایر
$T_i^{shb} = 0.490EMPE_i + 10.213VP_i * SHOP_i + 14485DB_i + 951dQ_i$	هیچ سرخانه

جدول دو- مدل جذب نوع دوم

مدل‌های جذب سفر	هدف سفر
$TA_i^w = 1.620EMPE_i + 2.420SHOP_i + 62694DB_i$	شغلی
$TA_i^s = 3.833VP_i * ST_i + 0.500STU_i + 26789DT_i + 9299D_{128i}$	آموزشی
$TA_i^{sh} = 15.760VP_i * SHOP_i + 0.195EMPE_i + 0.825HOSB_i + 15456DB_i + 3469DQ_i + 7474DF_i + 4607D_{444i} - 0.889SHOP_i * DRA_i$	خرید کالا و خدمات
$TA_i^{sr} = 122.140PARK_i + 0.040P_i + 7.364VP_i * SHOP_i + 0.304EMPE_i + 4098DR_i + 1937DF_i + 1532DQ_i - 0.279SHOP_i * DRA_i - 0.208EMPE_i * DRA_i$	تفـــریح و سایر
$TA_i^{shb} = 0.458EMPE_i + 11.526VP_i * SHOP_i + 11706DB_i + 1173DQ_i$	هیچ سرخانه

P_i = جمعیت ناحیه ترافیکی i

VP_i = سرانه مالکیت سواری شخصی ناحیه ترافیکی i

ER_i = اشتغال ساکن ناحیه ترافیکی i

STR_i = تعداد دانش آموزان ساکن ناحیه ترافیکی i

$STUR_i$ = تعداد دانشجویان ساکن ناحیه ترافیکی i

$EMPE_i$ = تعداد کارمندان در محل شغل ناحیه ترافیکی i

$SHOP_i$ = تعداد واحد کسبی ناحیه ترافیکی i

ST_i = تعداد دانش‌آموزان در محل تحصیل ناحیه ترافیکی i

STU_i = تعداد دانشجویان در محل تحصیل ناحیه ترافیکی i

$HOSPB_i$ = تعداد تخت بیمارستان ناحیه ترافیکی i

$PARK_i$ = تعداد پارک ناحیه ترافیکی i

$DIST_i$ = فاصله هوایی ناحیه ترافیکی i تا مرکز شهر

DRA_i = متغیر کمکی ناحیه های ترافیکی داخل محدوده طرح ترافیک

DB_i = متغیر کمکی بازار تهران(ناحیه ترافیکی ۱)

DT_i = متغیر کمکی دانشگاه تهران(ناحیه ترافیکی ۱۵۰)

DQ_i = متغیر کمکی میادین اصلی شهر (امام حسین، انقلاب، ولیعصر، خراسان، تجریش و امام خمینی در ناحیه های ترافیکی ۱۷۴،۱۵۱،۱۲۱،۴۰۱،۵۳۷،۱۶

DF_i = متغیر کمکی میدان قزل‌قلعه، بازار فلکه دوم صادقیه و بازار دوم نازی آباد در ناحیه های ترافیکی۲۳۲،۱۳۹ و۱۹۷

DR_i = متغیر کمکی پارک ملت، پارک لاله، شاه‌عبدالعظیم و بهشت زهرا در ناحیه های ترافیکی ۴۵۲و۲۷،۱۴۸،۴۴۴

D_{128i} = متغیر کمکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشگاه هنر و دبیرستان البرز(ناحیه ترافیکی ۱۲۸)

D_{444i}= متغیر کمکی شهر ری (ناحیه ترافیکی ۴۴۴)

د) مدل توزیع سفر: توزیع سفر به تفکیک هدف سفر صورت می‌گیرد. این مدل از نوع فراتر است و به روش تعامل دو بعدی (توازن ماتریسی دو بعدی) یا سه بعدی در محیط نرم‌افزار EMME/2 توزیع صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از این مدل به صورت پنج ماتریس ۵۶۰ در ۵۶۰ سفرهای مبدا- مقصد روزانه به تفکیک هدف سفر ($\mathbf{T_{ij}^p}$) است.

و) مدل انتخاب (سهم) وسایل نقلیه: با وجود تنوع وسایل نقلیه موجود، مدل لاجیت به علت سهولت بیشتر انتخاب شده است. در مدل لاجیت چندگانه، احتمال انتخاب یک گزینه به صورت تابعی از مطلوبیت آن گزینه در مقایسه با دیگر گزینه‌ها سنجیده می‌شود:

$$\mathbf{P_m} = \frac{\mathbf{e^{U_m}}}{\sum_{\mathbf{k}} \mathbf{e^{U_k}}}$$

که در آن $\mathbf{P_m}$ احتمال انتخاب گزینه m و $\mathbf{U_m}$ مطلوبیت گزینه است. این مطلوبیت به صورت تابعی خطی از ویژگی‌های گزینه m و انتخاب‌کننده (مسافر) گزینه m قابل بیان است.

مدل‌های مطلوبیت ساخته شده برای سفر با وسیله نقلیه مربوط به اهداف پنج‌گانه به شرح جداول سه تا هفت است.

جدول سه- توابع مطلوبیت انتخاب وسیله نقلیه سفر با هدف شغلی

آشیانه	نوع وسیله نقلیه	تابع مطلوبیت
پایین	اتوبوس واحد	$U^q_{bus} = 0.33393_0.2389 * Tim^q_{bus}_0.026496 Tim^q_{bus}$
	تاکسی و مسافرکش	$U^q_{taxi} = _0.048415 * Tim^q_{taxi} + 3.100169 CO^q$
بالا	سواری شخصی	$U^q_{auto} = _0.697568_0.034575 * Tim^q_{auto} + 9.008179 * CO^q_0.588829 * DF^q$
	موتورسیکلت و دوچرخه	$U^q_{bike} = _0.697568_0.034575 * Tim^q_{bike} + 9.008179 * CO^q_0.588828 * DF^q$
	حمل‌ونقل عمومی	$U^q_{bus_tr} = 0.865682 * Ln\left[\exp(u^q_{bus}) + \exp(U^q_{tr})\right]$

جدول چهار- توابع مطلوبیت انتخاب وسیله نقلیه سفر با هدف آموزشی

نوع وسیله نقلیه	تابع مطلوبیت
اتوبوس واحد	$U^{ij}_{Bus} = 0.881690_0.012004 * (Tim_{Bus}ij + Tim_{Bust}ij)$
تاکسی و مسافرکش	$U^{ij}_{Tax} = _0.365572_0.030786 * Tim^{ij}_{Tax} + 8.253227 * CO^{i}$
سواری شخصی	$U^{ij}_{Car} = _1.044833_0.041592 * Tim^{ij}_{Car} + 11.324762 * CO^{i}_0.582493 * DF^{i}$
مینی‌بوس	$U^{ij}_{Min} = _0.104768 * DT^{ij} + 6.648515 * CO^{i}$

جدول پنج- توابع مطلوبیت انتخاب وسیله نقلیه سفر با هدف خرید کالا و خدمات

نوع وسیله نقلیه	تابع مطلوبیت
اتوبوس واحد	$U^{ij}_{Bus} = 2.725886_0.009414 * (Tim^{ij}_{Bus} + Tim^{ij}_{Bust})$
تاکسی و مسافرکش	$U^{ij}_{Tax} = 2.3932.2_0.033543 * Tim^{ij}_{Tax} + 5.379732 * CO^{i}$
سواری شخصی	$U^{ij}_{Car}\ \ _0.015111 * Tim^{ij}_{Car} + 13.957626 * CO^{i}_0.374195 * DF^{i}$

جدول شش- توابع مطلوبیت انتخاب وسیله نقلیه سفر با هدف تفریح و سایر

نوع وسیله نقلیه	تابع مطلوبیت
اتوبوس واحد	$U^{ij}_{Bus} = 2.725886_0.009414 * (Tim^{ij}_{Bus} + Tim^{ij}_{Bust})$
تاکسی و مسافرکش	$U^{ij}_{Tax} = 2.3932.2_0.033543 * Tim^{ij}_{Tax} + 5.379732 * CO^{i}$
سواری شخصی	$U^{ij}_{Car}\ \ _0.015111 * Tim^{ij}_{Car} + 13.957626 * CO^{i}_0.374195 * DF^{i}$

جدول هفت- توابع مطلوبیت انتخاب وسیله نقلیه سفر با هدف هیچ سرخانه

نوع وسیله نقلیه	تابع مطلوبیت
اتوبوس واحد	$U^{ij}_{Bus} = 0.039003_0.008689 * Tim^{ij}_{Bus}_0.041852 * Tim^{ij}_{Bust}$
تاکسی و مسافرکش	$U^{ij}_{Tax} = _0.334293_0.020176 * Tim^{ij}_{Tax}$
سواری شخصی	$U^{ij}_{Car} = _0.012662 * Tim^{ij}_{Car}\ \ 0.405396 * DF^{i}$

** منبع: برآورد تقاضای سفر، گزارش شماره ۱۲۴، شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران

آمار و اطلاعات

آمار و اطلاعات براساس مطالعات شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران در سال ۱۳۷۳تهیه شده است. این شرکت به دو روش تکمیل پرسشنامه و خطوط برش آمارگیری را انجام داده است. این آمار در دوره‌های مختلف زمانی به تفکیک منطقه مبدا- مقصد سفر جهت تعیین تعداد و سهم ساعتی سفرهای مختلف مدل‌سازی شده است. در این پروسه، شهر تهران به ۵۶۰ ناحیه ترافیکی (۱تا۵۶۰)، مناطق اطراف آن به ۱۵ ناحیه (۵۶۱ تا ۵۷۵) و محورهای ارتباطی آن به هشت محور (۵۷۶ تا۵۸۳) تقسیم شده است [۴]. این مدل‌ها به تفکیک پنج هدف سفر و طی یک مرحله در سال ۱۳۷۵ (مدل نوع اول) کالیبره شده و در سال ۱۳۷۸ (مدل نوع دوم) و سال ۱۳۸۰ (مدل نوع سوم) مجددا اصلاح شده است.

تحلیل و بررسی

بررسی و نقد مدل تولید و جذب سفر

با جمع‌بندی نتایج مطالعات و بررسی آثار توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی انبوه، مشخص می‌شود که اشتغال، جمعیت و نحوه توزیع آنها تعیین‌کننده‌ترین متغیر در نمایش سیاست T.O.D است.

بررسی و نقد مدل توزیع سفر

در مدل کردن توزیع ترافیک شهر تهران از روش فراتر استفاده شده است. همانگونه که مشخص است استفاده از این روش در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت مناسب است از این رو اتکا به مشاهدات سال ۱۳۷۳ برای پیش‌بینی وضعیت سفرها در سال‌های آتی بالاخص سال‌های ۱۳۹۰ یا ۱۴۰۰ که افق برآورد این مطالعه است. همچنین سیاست‌های توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی انبوه در صورت تحقق کامل منجر به غیر استفاده شدن روش فراتر خواهد شد.

بررسی و نقد مدل انتخاب وسیله نقلیه

با توجه به مدل انتخاب وسیله نقلیه، فرض شده است سهم وسایل نقلیه در سفر با هر هدفی طی روز تفاوتی ندارد و از تعمیم مدل مربوطه به ساعت اوج صبح به کل روز استفاده شده است. در مدل مطلوبیت موجود، هزینه مقایسه وسایل نقلیه مختلف به کار نرفته است و توجه به هزینه سفر در مدل‌های مطلوبیت ضروری به نظر می‌رسد. در محاسبه تعداد سفرها، مجموع سهم سفرهای با وسیله نقلیه اصلی (مدل شده) در منطقه K (شامل ناحیه ترافیکی مبدا i) مبنا قرار گرفته است در حالی که می‌توان چنین عنوان کرد که مجموع سهم سفرهای با وسایل موجود در مدل مطلوبیت از منطقه K لزوما با مجموع سهم سفرهای با وسایل موجود در مدل مطلوبیت از ناحیه i به ناحیه j یکسان نیست. همچنین مجموع سهم سفرهای با وسایل مدل شده با مبدا i می‌تواند از سال آمارگیری به بعد تغییر کند در حالی که سهم وسایل مدل‌شده و مدل‌نشده در طول زمان پس سال آمارگیری یکسان در نظر گرفته شده است. در این روابط، توجهی به تفاوت سهم مجموع وسایل در منطقه مبدا K و سهم وسایل از سفرهای تبادلی بین مبدا i و هر ناحیه j دیگر نشده است. جهت ساده‌سازی، مجموع سهم سفرهای با مبدا منطقه K به مجموع سفرهای توزیعی به نواحی j تعمیم داده شده است. عدم توجه به رابطه بین سیستم تقاضا و سیستم عرضه را ضعف اصلی مدل موجود می‌توان ذکر کرد.

اثر قابلیت دسترسی بر تولید و جذب سفر

جذب سفر به صورت خاص و تولید سفر کمتر می‌تواند تحت تاثیر ساختار ارتباطات بین نواحی ترافیکی باشد اما در این سیستم مدل‌سازی از این تاثیر صرفنظر شده است. در صورت اصلاح مدل‌های تولید و جذب سفر، می‌توان ساختار مدل اصلاح‌شده را چنین تعریف کرد:

$$TA_i^{X1} = TA_i^{X0} * f\left(A_i^0, A_i^1\right) \quad \text{و} \quad T_i^{X1} = T_i^{X0} * f\left(A_i^0, A_i^1\right)$$

که در آن، T_i^{X0} و TA_i^{X0} تولید و جذب سفر ناحیه ترافیکی i با هدف x بدون در نظر گرفتن اثر تغییر قابلیت دسترسی، T_i^{X1} و TA_i^{X1} تولید و جذب سفر ناحیه ترافیکی i با

هدف x با در نظر گرفتن اثر تغییر قابلیت دسترسی، $f(A_i^0, A_i^1)$ تابع مبین آثار تغییر قابلیت دسترسی بر میزان تولید و جذب ناحیه ترافیکی، A_i^0 و A_i^1 قابلیت دسترسی اولیه (قبل از تغییر: در سال برداشت اطلاعات) و ثانویه (بعد از تغییر سیستم عرضه: در سال افق یا برنامه‌ریزی) ناحیه ترافیکی i خواهد بود:

$$f_{1_0}(A_i^0, A_i^1) = 1 + g \quad (\frac{A_i^1 - A_i^0}{A_i^0})$$

البته این تابع نیاز به تحقیق جداگانه‌ای خواهد داشت. بحث در خصوص این تابع با توجه به بستگی زیاد آن به تابع توزیع، پس از بحث در مورد تابع توزیع قابل طرح است.

بررسی مدل توزیع سفر مناسب بلندمدت

الف) انتخاب مدل: رویکردهای متفاوتی برای توزیع سفر ارائه شده که در قالب سه بخش قابل تقسیم هستند؛ مدل‌های تقاضای مبدا- مقصد، مدل‌های انتخاب، مدل‌های فیزیکی آثار متقابل. ساختار کلی اکثر این مدل‌ها چنین است: $T_{ij} = f(A_i, B_i, C_{ij})$ که در آن، A_i و B_j توابع تولید سفر در i و جذب سفر در j و تابع جذابیت سفر بین دو نقطه یا سختی سفر بین مبدا i و مقصد j است. با بررسی نمونه‌های مختلف هر یک از سه گروه فوق، می‌توان عنوان کرد اکثر این مدل‌ها قابل تبدیل به مدل جاذبه از مدل‌های نوع سوم (مدل‌های فیزیکی آثار متقابل) خواهند بود. به بیان دیگر «مدل» فرصت‌های بینابینی (مداخله‌گر) است که می‌توان اثبات کرد که قابل تبدیل به مدل جاذبه است.

ب) تعریف ساختار مدل: ساختار مدل جاذبه دو قیدی که به عنوان مدل، مناسب تشخیص داده شده به این شرح است: $t_{ij} = k_i * a_i * k_j * b_j * C_{ij}$ که در آن، a_i و b_j مقادیر تولید سفر در i و جذب سفر در j، k_i و k_j شاخص‌های قابلیت دسترس‌پذیری نواحی i، j و C_{ij} تابع جذابیت دو ناحیه ترافیکی است. مقادیر k_i و k_j را می‌توان از روابط بعد و با استفاده از یک روش تکراری تعیین کرد:

$$k_i = 1 \Big/ \sum_i k_i . a_i . C_{ij} \qquad \text{و} \qquad k_j = 1 \Big/ \sum_j k_J . b_j . C_{ij}$$

تابع C_{ij}، تابعی است که با توجه به زمان سفر و هزینه سفر بین نـواحی ترافیکـی i وj قابـل تعریف است:

$$C_{ij} = f\left(Tim_{in}^{i,j}, Tim_{out}^{i,j}, C^{i,j}\right)$$

که در آن، $Tim_{in}^{i,j}$ زمان سفر بین i و j در داخل وسـیله نقلیـه، $Tim_{out}^{i,j}$ زمـان خـارج از وسیله نقلیه شامل زمان دسترسی، پیاده‌روی و انتظـار و $C^{i,j}$ نیـز هزینـه سـفر خواهـد بـود. می‌توان به جای سه متغیر $Tim_{in}^{i,j}$ و $Tim_{out}^{i,j}$ و $C^{i,j}$ از توابـع مطلوبیـت مـدل موجـود برای شهر تهران استفاده کرد. بنا به توجیه گزارش‌های موجود، هزینه سفر به علت سهم کم هزینه‌های حمل‌ونقل از کل هزینه‌های فرد یا خانواده از متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت سفر بـا هر وسیله نقلیه خارج شده است. در صورت وارد کردن هزینه سفر در تـابع مطلوبیـت هزینـه سفر می‌توان توابع مطلوبیت مربوط به سفرهای انجام شـده بـا متـرو و اتومبیـل شخـصی را چنین پیشنهاد داد:

$$U_{C+M+W}^{ij} = e_1 + e_2 * Tim_C^{is} + e_3 * CO^i + e_4 * DF^{sm} + e_5 * Tim_M^{sj} + e_6 * Tim_W^j + \frac{e_7 * C_C^{is} + e_8 * C_M^{sj}}{M}$$

$$U_{T+M+W}^{ij} = b_1 + b_2 * Tim_T^{is} + b_3 * CO^i + b_4 * Tim_M^{sj} + b_5 * Tim_W^j + \frac{b_6 * C_T^{is} + b_7 * C_M^{sj}}{M}$$

$$U_{Car}^{ij} = c_1 + c_2 * Tim_{Car}^{ij} + c_3 * CO^i + c_4 * DF^j$$

که در روابط فوق، U_{C+M+W}^{ij} تابع مطلوبیت انتخـاب وسـیله متـرو بـا دسترسـی از مبـدأ i توسط اتومبیل شخصی و دسترسی به مقـصد j بـا پیـاده‌روی، U_{T+M+W}^{ij} تـابع مطلوبیـت انتخاب وسیله مترو با دسترسی از مبدا i توسط تاکسی و مسافربر و دسترسی به مقـصد j بـا پیاده‌روی، U_{Car}^{ij} تابع مطلوبیت انتخاب اتومبیل شخـصی و e_1 تـا e_8، b_1 تـا b_8 و c_1 تا c_8 ضرایب ثابت توابع مطلوبیت مزبور، Tim_c^{is} زمان دسترسی (دقیقه) بـه نزدیـک‌تـرین ایستگاه مترو از مبدأ با اتومبیل شخصی، CO^i سرانه مالکیت اتومبیل شخـصی ناحیـه i بـه عنوان مبدأ سفر، DF^{sm} شاخص امکان پارک در ایستگاه مبدأ مترو، Tim_M^{sj} زمان سـفر از ایستگاه مبدأ به ایستگاه مقصد مترو، Tim_W^j زمان پیاده‌روی از ایستگاه مقصد متـرو جهـت دسترسی به مقصد سفر، C_C^{is} هزینه سفر (ریال) از مبدأ سفر تا ایستگاه مبدأ مترو با اتومبیـل

شخصی، C_M^{sj} هزینه سفر با مترو، M ارزش متوسط (ریال) یک دقیقه وقت تلف‌شده در سفر، Tim_T^{is} زمان دسترسی (دقیقه) به نزدیک‌ترین ایستگاه مترو از مبدأ با تاکسی، C_T^{is} هزینه سفر (ریال) از مبدأ سفر تا ایستگاه مبدأ مترو با تاکسی، Tim_{Car}^{ij} زمان سفر از مبدأ i تا مقصد j با اتومبیل شخصی و DF^j شاخص امکان پارک در مقصد سفر j است. به این ترتیب با توجه به نقش تعیین‌کننده مترو در انتخاب وسیله نقلیه سفر و از آنجا که عموما مترو وسیله‌ای است که در ترکیب با سایر وسایل نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان تعداد گزینه‌های وسایل نقلیه سفر را در مدل انتخاب وسیله نقلیه ۲۵ گزینه مطرح کرد. ۲۰ گزینه از این گزینه‌ها به علت حضور مترو به عنوان وسیله نقلیه قابل انتخاب مطرح هستند و عدد ۲۰ با توجه به تعداد وسایل نقلیه اصلی دسترسی‌دهنده به مترو از مبدأ سفر و دسترسی‌دهنده از مترو به مقصد سفر (چهار عدد) به دست می‌آید. پنج گزینه دیگر از مجموع ۲۵ گزینه نیز شامل: اتومبیل شخصی، اتوبوس، تاکسی، موتور، دوچرخه و مینی‌بوس است. جهت ساده‌سازی کار می‌توان ۲۰ گزینه ناشی از حضور مترو را به یک گزینه تقلیل داد که آن هم مترو خواهد بود. بر این اساس، شاخص مطلوبیت سفر بین ناحیه ترافیکی مبدأ i به مقصد j را می‌توان چنین تعریف کرد:

$$U^{ij} = \frac{U_C^{ij} * e^{U_C^{ij}} + U_M^{ij} * e^{U_M^{ij}} + U_B^{ij} * e^{U_B^{ij}} + U_T^{ij} * e^{U_T^{ij}} + U_{Mot}^{ij} * e^{U_{Mot}^{ij}} + U_{Mib}^{ij} * e^{U_{Mib}ij}}{e^{U_C^{ij}} + e^{U_M^{ij}} + e^{U_B^{ij}} + e^{U_T^{ij}} + e^{U_{Mot}^{ij}} + e^{U_{Mib}^{ij}}}$$ که در

رابطه فوق، U^{ij} شاخص مطلوبیت سفر از ناحیه ترافیکی مبدأ i به مقصد j و U_c^{ij}، U_M^{ij}، U_B^{ij}، U_T^{ij}، U_{Mot}^{ij}، U_{Mib}^{ij} به ترتیب شاخص‌های مطلوبیت سفر با مجموعه وسایل نقلیه قابل انتخاب شامل اتومبیل شخصی، مترو، اتوبوس، تاکسی، موتورسیکلت، دوچرخه و مینی‌بوس است. رابطه قبل، پیشنهادی جهت محاسبه شاخص متوسط مطلوبیت سفر بین دو ناحیه ترافیکی است. در اکثر مدل‌های جاذبه، متغیر اصلی مؤثر در تابع f هم جنس زمان سفر است که افزایش آن منجر به کاهش جذابیت بین دو ناحیه یا افزایش دافعه دو ناحیه ترافیکی در تبادل سفر می‌شود. بر این اساس بهتر است متغیر اصلی

بیان‌کننده ساختار ارتباط حمل‌ونقلی بین نواحی را با شاخص جدیدی به نام متغیر دافعه (I^{ij}) تعریف کرد. این متغیر خود به عنوان تابعی از مقادیر توابع مطلوبیت سفر با وسایل نقلیه مختلف بین نواحی ترافیکی قابل بیان است. شکل ارتباط بین متغیر دافعه و مقادیر توابع مطلوبیت سفر بحثی تعیین‌کننده خواهد بود. روابط زیر پیشنهاد اولیه جهت I^{ij} است:

$$I^{ij} = \frac{U_C^{ij} * e^{U_C^{ij}} + U_M^{ij} * e^{U_M^{ij}} + U_B^{ij} * e^{U_B^{ij}} + U_T^{ij} * e^{U_T^{ij}} + U_{Mot}^{ij} * e^{U_{Mot}^{ij}} + U_{Mib}^{ij} * e^{U_{Mib}ij}}{e^{U_C^{ij}} + e^{U_M^{ij}} + e^{U_B^{ij}} + e^{U_T^{ij}} + e^{U_{Mot}^{ij}} + e^{U_{Mib}^{ij}}}$$

$$I^{ij} = \ln \sum_{m' \in J_m} e \quad U_{xm'}^{ij}$$

رابطه فوق با این فرض پیشنهاد شده که مطلوبیت سفر توسط انواع وسایل نقلیه به اندازه سهم هر وسیله از کلیه سفرها بین دو ناحیه ترافیکی در تعیین مطلوبیت سفر مؤثرند این رابطه نوعی میانگین‌گیری از عدم مطلوبیت است که به Logsum معروف است و مطلوبیت مرکب را به دست می‌دهد.

با مشخص بودن متغیر دافعه سفر از ناحیه ترافیکی مبدأi به مقصد j (I^{ij}) می‌توان تابع جذابیت سفر (C_{ij}) را به این شکل تعریف کرد: $C_{ij} = f(I^{ij})$ که در این صورت، رابطه اصلی مدل جاذبه مورد استفاده جهت انجام توزیع سفر براساس متغیرهای مدل موجود جهت شهر تهران چنین خواهد بود:

$$T_{ij}^p = K_i^p * T_i^p * K_j^p * TA_j^p * f(I_p^{ij})$$

که p هدف سفر، T_{ij}^p حجم سفر توزیع‌شده بین ناحیه ترافیکی مبدأ i و مقصد j، K_i^pو K_j^pشاخص عکس قابلیت دسترسی نواحی i و j، T_i^p حجم سفر تولیدشده در ناحیه ترافیکی مبدأ i، T_j^p حجم سفر جذب‌شده به ناحیه ترافیکی مقصد j و $f(I_p^{ij})$ تابع جذابیت سفر از ناحیه ترافیکی مبدأ i به مقصد j است. شکل کلی تابع جذابیت سفر را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد:

$$f(I_p^{ij}) = \theta * (I_p^{ij})^{\beta} * e^{[\alpha * (I_p^{ij})]}$$

البته تعیین شکل تابع نیاز به تحقیق خاصی خواهد داشت.

مقادیر K_i^p و K_j^p با استفاده از دو رابطه بعدی و روشی تکراری قابل تعیین است:

$$K_i^p = \frac{1}{\sum_j K_j^p * TA_j^p * f(I_p^{ij})} \quad \text{و} \quad K_j^p = \frac{1}{\sum_i K_i^p * T_i^p * f(I_p^{ij})}$$

به این ترتیب شاخص قابلیت دسترسی نواحی ترافیکی i و j به شرح روابط زیر خواهد بود:

$$A_j^p = \frac{1}{K_j^p} \quad \text{و} \quad A_i^p = \frac{1}{K_i^p}$$

تعیین شکل دقیق توابع $f(I_p^{ij})$ و I_p^{ij} نیاز به مطالعه و پژوهشی جداگانه خواهد داشت.

روش سنجش آثار سیاست توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی انبوه بر کارایی سیستم مترو تهران با امکانات موجود

الف) چارچوب کار: با اذعان به وجود نواقصی در مدل موجود جهت تخمین تغییر سهم مسافر مترو از آن بدون انجام تغییرات پیشنهادی در مدل توزیع سفر جهت تعیین آثار سیاست توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی انبوه بر کارایی سیستم مترو می‌توان استفاده کرد.

ب) نواحی ترافیکی همسایه ایستگاه‌های مترو: در تغییر میزان متغیرهای موثر بر مدل‌های تولید و جذب سفر، نواحی ترافیکی همسایه با توجه به فاصله پیاده‌روی مناسب جهت مسافران تعریف می‌شود.

ج) سناریوی تغییر حداکثر: در این سناریو، جمعیت و اشتغال در نواحی ترافیکی همسایه ایستگاه‌های خطوط یک و دو مترو به میزان دو برابر عدد پیش‌بینی شده برای سال مبنا (۱۳۹۰) خواهد شد و سایر متغیرهای تحت تاثیر آنها که پیشتر تعیین شده‌اند با توجه به رابطه آنها با این دو متغیر، تغییر می‌کنند.

د) سناریوی تغییر متوسط: در این سناریو، جمعیت و اشتغال در نواحی ترافیکی همسایه ایستگاه‌های خطوط یک و دو مترو به میزان دو برابر عدد پیش‌بینی شده برای سال مبنا (۱۳۹۰) خواهد شد. سایر متغیرهای تحت تاثیر آنها که پیشتر تعیین شده‌اند با توجه به رابطه آنها با این دو متغیر تغییر می‌کنند.

تفاوت این سناریو با سناریوی تغییر حداکثر در این است که در نواحی ترافیکی کـه سـاخت و ساز زیادی در نواحی همسایه ایستگاه مترو وجود دارد، متغیرهای لازم به تغییـر بـه جـای دو برابر بین ۱ تا۱/۵ برابر می‌شوند. در نواحی ترافیکی که جمعیت پـیش‌بینـی شـده از ظرفیـت پذیرش کمتر است. مقدار جمعیت به ماکزیمم دو برابـر جمعیـت پـیش‌بینـی‌شـده و ظرفیـت جمعیت و متغیرهای متاثر از جمعیت نیز با توجه به مقدار تغییر آن تغییر می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج زیر در خصوص برنامه‌ریزی توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی انبوه و آثار سیاسـت توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی انبوه در شهر تهران مطرح می‌شود [۱].

اغلب آثار توسعه‌ای، بلندمدت هستند و بدون تردید در بلندمدت، سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی شهری، تاثیر عمیقی بر توسعه شهری می‌گذارند. سیـستم‌هـایی کـه بیـشترین تـاثیر را روی توسعه‌های موجود شهری داشته‌اند، فرآیندی طولانی را از برنامه‌ریزی شـهری در تلفیـق بـا سیستم ریلی طی کرده‌اند. توسعه سریع و کارا نیازمند برنامه‌ریزی قبلی است [۲].

با رشد شهر تهران و تشدید رقابت برای تملک زمین، الگوی متمرکز رشد شکل گرفته که در آن وجه تمایز هسته شهر همان تمرکز فعالیت‌های کسب و کـار و وجـه مشخـصه پیرامـون، سیطره کاربری مسکونی است که در کناره‌های شهر شکل آبادی‌های کوچک و شهرک‌های کوچک را به خود می‌گیرد. از دیگر مشخصه‌های ساختار فضایی شهر، وجود دو محور اصـلی در جهت شرقی- غربـی و شـمالی- جنـوبی اسـت [۳]. توجـه بـه تفکیـک درون‌منطقـه‌ای کاربری‌های متفاوت ضروری به نظر می‌رسد [۴].

سیستم مترو به عنوان مبنا و استخوان‌بندی شهر، اثر اجتناب‌ناپذیری بر کاربری زمـین دارد و تأثیر قابل تأملی از آن می‌پذیرد. در صورت هدایت این آثار و استفاده مناسب از ارزش‌افـزوده در حیطه تأثیر سیستمی همچون مترو می‌توان به منظور توسـعه مجـدد آن اقـدام کـرد [۵]. نحوه اثر ساختار شهر بر سفرهای حمل‌ونقـل عمـومی در قالـب هفـت عامـل اصـلی تـراکم جمعیت، تراکم اشتغال، عرضـه حمـل‌ونقـل عمـومی، مالکیـت عمـومی، مالکیـت اتومبیـل، ویژگی‌های اجتماعی- اقتصادی، قابلیت دسترسی و طرح شبکه حمل‌ونقل متجلی می‌شود.

با جمع‌بندی نتایج مطالعات بررسی آثار سیاست توسعه شهری با محوریت حمل‌ونقل عمومی انبوه، مشخص می‌شود که اشتغال و جمعیت و نحوه توزیع آنها، تعیین‌کننده‌ترین متغیرهـا در نمایش آثار این سیاست است. در خصوص مدل موجود برای شهر تهران، ورود تابع جدیـدی به نام قابلیت دسترسی که ارتباط بین تغییرات قابلیت دسترسی و پـیش‌بینـی تولیـد و جـذب سفر نواحی ترافیکی بدون دخالت تغییرات مزبور را فراهم می‌کند، راهگشا خواهد بود.

منابع

1- Calthorpe .P. The next american metropolis: ecology, community and the american dream. New York: Princeton architectural press; 1993.

2- Lefaver. s. private land with public partnerships for transit-based development. san jose. C.A Mineta international institute for surface transportation policy studies; 1997.

3- Susan. H. Methodologies exploring the link between urban from and travel behavior, school of architecture. Texas: University of texas; 1996.

۴- شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران؛ برآورد تقاضای سـفر، ۱۳۷۵، تهـران: مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک؛ ۱۳۷۵.

۵- شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران؛ برآورد اطلاعات اجتماعی- اقتصادی و تقاضای سفر شهر تهران تا سال ۱۴۰۰؛ ۱۳۸۲. گزارش شماره ۰۱-۶۵۹. پروژه تعیین مسیر و ایستگاه‌های خطوط ۶، ۷، ۸، ۹ و خطوط مصوب مترو و تعیین اولویت ساخت آنها.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی