نشریه علمی – پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

سال چهل و پنج، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۲۵ تا ۳۳
Vol. 45, No.1, Summer 2013, pp. 25-33

مدل مکان‌یابی ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی شهری در محیط *GIS*

شهریار افندی‌زاده[۱]*، مهرداد شریعت [۲]

۱ دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران
۲ کارشناس ارشد دانشکده فنی و مهندسی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

(دریافت۱۳۸۷/۱/۲۶، پذیرش۹۰/۹/۸)

چکیده

تعیین محل‌های مناسب برای قرار گرفتن ایستگاه‌ها در راستای یک مسیر ریلی، یکی از مهم ترین مراحل طراحی و برنامه ریزی در سیستم‌های حمل و نقل ریلی است. در این مقاله مدل جدیدی برپایه GIS[۱] برای مکان‌یابی ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی شهری با هدف بیشینه نیم فاصله شدن جذب مسافر در مسیر ریلی ارائه شده است. در این مدل با در نظر گرفتن محل‌های بالقوه برای قرارگیری ایستگاه ریلی، در گام اول انواع چیدمان‌ها (ترکیبات مکانی ممکن) در طول خط تشکیل می‌گردد. در گام‌های بعدی چیدمان ها بر اساس مقدار جذب مسافر از نواحی تحت پوشش ایستگاه‌ها، اولویت بندی می‌شوند و بهترین مکان‌های ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی شهری تعیین خواهد شد. مدل ارائه شده نسبت به ویژگی‌های محیط، کاربر و سیستم ریلی حساس است.

کلمات کلیدی

ایستگاه حمل و نقل ریلی، مکان‌یابی، پوشش دهی، انحراف تقاضا، خطوط هم تراز

* نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email: zargari@iust.ac.ir

۱- مقدمه

ایستگاه ها که مکان های ارتباط مسافران به سیستم ریلی هستند [۲]، یکی از مهم ترین عوامل در کارایی سیستم حمل و نقل ریلی محسوب می شوند و لازم است موقعیت این نقاط طبق نیاز واقعی مسافران تعیین گردد. تغییر محل ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی پس از احداث آنها، بسیار پرهزینه بوده و با مشکلات اجرایی فراوان روبرو خواهد بود. لازم است قبل از ساخت این سازه‌ها در مرحله برنامه ریزی و طراحی دقت کافی شود تا بهترین طبق نیازهای خاص منطقه انتخاب گردد. بنابراین توسعه مدل‌های مناسب برای ارزیابی مناسب بودن محل ایستگاه‌ها با نیازهای جابجایی اهمیت پیدا می‌کند.

استفاده از مدل‌های ریاضی برای مکان‌یابی تسهیلات حمل و نقل بطور فروان از دهه ۷۰ میلادی آغاز شد. تلاش شده است تا بسیاری از این مدل‌ها میزان تقاضای پوشش داده شده بوسیله تسهیلات بیشینه باشد. به عنوان مثال تعدادی از مدل‌هایی که برای مکان‌یابی تسهیلات اضطراری (مانند پایگاه آمبولانس، ایستگاه پلیس، ایستگاه آتش نشانی و...) بکار برده می‌شوند، محل‌هایی را تعیین می‌کنند که دسترسی به بیشترین تقاضا در کمترین زمان ممکن باشد [۴].

مساله مکان‌یابی ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی با سایر مسائل مکان‌یابی تسهیلات دارای تفاوت‌هایی دارد. در این مسائل پس از نقاط دارای تقاضای سفر به ایستگاه حمل و نقل ریلی، لازم است سایر ایستگاه‌ها در محلی مناسب و طبق مقصد مسافر باشد. بنابراین چگونگی دسترسی از ایستگاه پیاده شدن تا محل مورد نظر مسافر، نیاز به ارزیابی خواهد داشت. هم چنین توجه به تبادل سفر بین نواحی تحت پوشش ایستگاه‌ها، در مکان‌یابی امری ضروری است.

در برخی از مدل‌های مکان‌یابی رابطه میان زمان سفر و فاصله ایستگاه‌ها تشکیل شده و با مساوی صفر قرار دادن مشتق زمان سفر به فاصله ایستگاه‌ها مقادیر بهینه فاصله ایستگاه‌ها، برای کمینه سازی کل زمان سفر تعیین می‌گردد [۲]. تعدادی از مدل‌ها نیز در جستجوی یافتن فواصل بهینه ایستگاه‌های همگانی با هدف کمینه سازی هزینه کل (مجموع هزینه های کاربر و گرداننده) هستند. در این مدل‌ها هزینه های زمانی نیز به مقادیر پولی آن تبدیل می‌شوند [۵].

برای مدل نمودن نحوه دسترسی مسافران به ایستگاه‌ها اکثر مدل ها ساختار واقعی شبکه معابر را در نظر نمی‌گیرند. شطرنجی فرض نمودن شبکه معابر یا در نظر گرفتن فاصله هوایی بین نقاط سفر و ایستگاه‌ها بجای فواصل واقعی را می‌توان از فرضیات ساده کننده بکار رفته در اغلب مدل ها دانست [۶] و[۸].

برای مکان‌یابی ایستگاه‌های ریلی در ابعاد واقعی، بیش ترین نقص دراغلب مدل‌های نظری، در نظر گرفتن تقاضای واقعی بین مبدا و مقصد سفر و توجه نکردن به خطوط تمایل سفرهای سیستم ریلی است.

در این مقاله یک مدل کاربردی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های ریلی ارائه می‌شود، بطوری که معایب فوق را ندارد. بدیهی است که با مکان یابی مناسب ایستگاه های حمل و نقل ریلی و جذب تعداد بیشتری مسافر به این سیستم، نه تنها میزان بهره دهی سیستم ریلی افزایش یافته بلکه این باعث ارتقاء بسیاری از شاخص‌های کارایی در مجموعه سیستم های حمل و نقل فعال در شهر می‌شود.

۲- اثر محل ایستگاه‌ها بر میزان جذب مسافران

افزایش زمان سفر یکی از عوامل مهم نارضایتی در کاربران حمل و نقل همگانی است [۲]. با کاهش فاصله ایستگاه‌ها در طول مسیر ریلی، زمان دسترسی به ایستگاه کاهش یافته و زمان سفر در طول خط افزایش می‌یابد.

سهم سفرهای جذب شده به یک شیوه (مد) حمل و نقل، به طور معمول با مدل‌های تفکیک وسیله و بر اساس توابع مطلوبیت تعریف شده برای هر شیوه تعیین می‌شود. در شرایطی که مقدار مطلوبیت یک شیوه برای یک زوج مبدا-مقصد ارتقاء می‌یابد، احتمال انتخاب آن افزایش یافته و سفرهای بیشتری جذب آن می‌شود. برای محاسبه مقدار تابع مطلوبیت سیستم ریلی، ابتدا لازم است اجزای زمان سفر با این شیوه محاسبه گردد. زمان انجام یک سفر ریلی از رابطه (۱) محاسبه شود و از چهار جزء اصلی تشکیل می‌شود:

$$RTT = T_a + T_w + T_V + T_e \qquad (۱)$$

متغیرهای این رابطه عبارتند از:

RTT : زمان انجام یک سفر ریلی (دقیقه)

T_a: زمان دسترسی از مبدا سفر به ایستگاه ریلی (دقیقه)

T_w : زمان انتظار در ایستگاه (دقیقه)

T_v : زمان داخل وسیله (دقیقه)

T_e : زمان سفر از محل ایستگاه پیاده شدن به مقصد پایانی سفر (دقیقه)

مقدار T_V، از حاصل جمع زمان سفر در بین ایستگاه‌های پیموده شده در طول مسیر قابل محاسبه است [۳]:

$$T_v = \sum_{j=1}^{k}\left(\frac{S_j}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{2}\left(\frac{1}{\bar{a}} + \frac{1}{\bar{b}}\right) + t_s\right) \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) متغیرها به شرح زیر می‌باشد:

k : تعداد قطعات بین ایستگاه ابتدا و انتهای سفر

S_j : طول قطعه j ام (متر)

v_{max} : حداکثر سرعت مجاز وسیله (متر بر ثانیه)

$\bar{a}$: متوسط شتاب افزاینده وسیله (متر بر مجذور ثانیه)

$\bar{b}$: متوسط شتاب کاهنده وسیله (متر بر مجذور ثانیه)

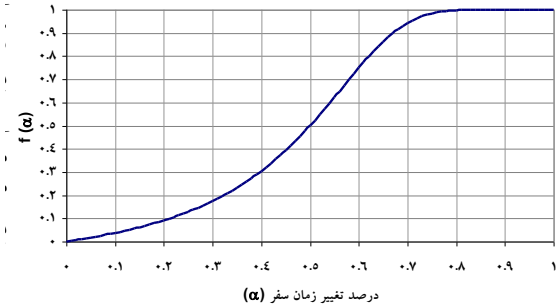
t_s : زمان توقف در ایستگاه (ثانیه)

با تغییر محل ایستگاه‌ها در طول یک خط ریلی، با اینکه هزینه بلیط برای سوار شدن ثابت می‌ماند، اما زمان سفر بطور قابل توجهی تغییر می‌کند. برای مطالعه میزان تغییرات سهم سفرهای جذب شده به سیستم ریلی با تغییر محل یک ایستگاه، می‌توان اجزای زمان سفر ریلی در زوج‌های مبدا- مقصد را قبل و بعد از تغییر محاسبه نموده و با جایگذاری در تابع مطلوبیت، سهم شیوه ریلی را محاسبه نمود و تغییرات آن را بدست آورد.

اگر در یک محل، سیستم حمل و نقل ریلی راه اندازی نشده باشد، یکی از روش‌های برآورد تقاضای جذب شده به وسیله سیستم حمل و نقل همگانی با روش جدید استفاده از تابع انحراف تقاضا است. از آنجا که این سیستم‌ها باعث کاهش زمان سفر برای تعدادی از زوج‌های مبدا – مقصد می‌شوند، انتظار می‌رود بخشی از مسافرین بین این زوج به این سیستم رو آورند [۱]. برای برآورد این تقاضا با فن آوری جدید می‌توان از رابطه (۳)، یا رابطه ای مشابه که برای محاسبه سهم گرایش یافته به سیستم جدید در ناحیه مورد مطالعه تشکیل شده باشد، استفاده نمود.

$$f(\alpha)=\frac{1-e^{-\frac{a\alpha}{1-\alpha}}}{1+be^{-\frac{a\alpha}{1-\alpha}}} \qquad (۳)$$

$f(\alpha)$ سهمی از سفرهای با انواع وسایل نقلیه است که جذب سیستم حمل و نقل همگانی جدید می‌شود. پارامتر α نشان دهنده درصد تغییرات زمان سفر بین مبدا و مقصد نسبت به وضعیت قبل از راه اندازی سیستم سریع است. در رابطه (۳)، a و b عوامل تابع هستند. نمودار $f(\alpha)$ در شکل (۱) برای a=۲ و b=$e^{-۲}$ نشان داده شده است [۱].



شکل (۱): تابع تغییرات سهم سفرهای انتقالی به سیستم حمل ونقل همگانی جدید بر حسب تغییرات زمان سفر

۳- مروری بر مطالعات پیشین

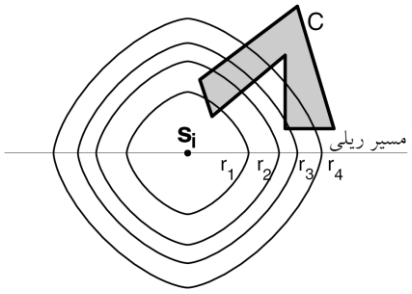
برای اندازه گیری میزان پوشش دهی[۲] جمعیت به وسیله ایستگاه‌ها، یکی از روش‌ها استفاده از اشکال هندسی متحدالمرکز با ضرایب جذب کاهش یابنده (با افزایش فاصله از ایستگاه) است.

برنامه ریزان اغلب اطلاعات ارائه شده برای نواحی آماری (بلوک‌های جمعیتی) شهر را برای ارزیابی جمعیت تحت پوشش هر ایستگاه بکار می‌برند. هر ناحیه آماری یک چندضلعی است و کاربران طبق یک مدل جاذبه به وسیله یک ایستگاه جذب می‌شوند (شکل (۲)) [۶].

با فرض $C=\{C_h : h=1,\ldots,H\}$ که C مجموعه ای از نواحی آماری است و ρ_h تراکم جمعیت (جمعیت در واحد سطح) هر ناحیه C_h برای $h=1,\ldots,H$ است، پوشش دهی R(i) که بوسیله ایستگاه S_i تولید می‌شود، بصورت رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$R(i)=\sum_{h=1}^{H}\sum_{k=1}^{K}\frac{a\rho_h}{r_k^{-2}}Area\left((B_k \setminus B_{(k-1)})\cap c_h\right);\quad i=1,\ldots,n \qquad (۴)$$

که k یک حلقه شاخص بوده و K تعداد حلقه های هر ایستگاه است. $B_k / B_{(k-1)} \equiv B(s_i,r_k)/B(s_i,r_{k-1})$ حلقه ایست به مرکز S_i و بین شعاع r_k , r_{k-1} تشکیل شده است. $\overline{r_k}$ مقدار متوسط بین شعاع‌های r_k , r_{k-1} است و a عاملی است که برای کالیبره شدن در نظر گرفته شده است.

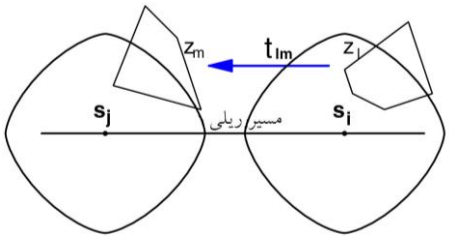


شکل (۲): نواحی تحت پوشش ایستگاه Si

یکی از مهم ترین نقایص مدل جذب این است که از تقاضای سفر ایستگاه به ایستگاه صرف نظر می‌کند. گفتنی است که اگر شخصی در راستای محور شمال به جنوب حرکت می‌کند، جذب به وسیله ایستگاهی که در مسیر شرق به غرب قرار گرفته احتمال ندارد. برای حل این مشکل، استفاده از الگوی سفرهای مبدا- مقصد، در محاسبات تعداد سفرهای جذب شده به وسیله ایستگاه‌ها پیشنهاد گردید. برای ترکیب الگوی مبدأ- مقصد مسافران با مفهوم پوشش‌دهی ایستگاه‌ها، مزا و ارتگا[۳] مدلی را

ارائه دادند [۷]. در این مدل نواحی تحت پوشش ایستگاه به وسیله حلقه های متحد المرکز به اجزاء کوچکتری تقسیم می‌شوند. هر یک از این اجزاء متناسب با سهم سطح خود از کل مساحت ناحیه و مجذور عکس فاصله از ایستگاه در تبادل سفر بین دو ایستگاه تاثیر گذار خواهند بود.

در این مدل فرض می‌شود t_{lm} تعداد سفرهای پیش بینی شده ای باشد که بین ناحیه تولید سفر Z_l و ناحیه جذب Z_m تبادل می‌شود (شکل (۳)) [۸]. هر جفت ایستگاه $(i\ ,\ j)$ یک ماتریس وابسته k×k دارد که با OD_{ij} نشان داده می‌شود. هر عضو این ماتریس $OD_{ij}(k\ ,\ k')$ نشان دهنده مجموع وزنی مقادیر t_{lm}، برای همه $(l,m=1\ ,\ ...\ ,\ L)$ است که بیانگر تعداد سفرهای جذب شده از حلقه k ام ایستگاه i به حلقه 'k ام ایستگاه j است. وزن‌ها با درنظر گرفتن شعاع جذب r_k ، $r_{k'}$ (به ترتیب در ایستگاه مبدأ و مقصد) تعریف می‌شوند. مقادیر $OD_{ij}(k\ ,\ k')$ از رابطه (۵) بدست می‌آیند:



شکل (۳): جریان مسافران میان یک جفت از ایستگاه‌ها

$$OD_{ij}(k,k') = \sum_{l,m=1,(l\neq m)}^{H}\left(\frac{a^2}{\overline{r_k}^2\,\overline{r'_k}^2}\frac{Area\left((B_{ik}\setminus B_{i(k-1)})\cap z_l\right)}{Area(z_l)}\times \frac{Area\left((B_{jk'}\setminus B_{j(k'-1)})\cap z_m\right)}{Area(z_m)}t_{lm}.\right) \qquad (۵)$$

بنابراین سفرهای تحت پوشش fij بوسیله یک جفت از ایستگاه‌های مختلف (S_i ، S_j) می‌تواند با جمع کردن تمام اعضای ماتریس به دست آید.

$$f_{ij} = \sum_{k,k'} OD_{ij}(k,k') \qquad (۶)$$

از نقایص مدل مزا و ارتگا، روش وزن دهی به حلقه های پوشش دهی است که به تناسب مجذور فاصله انجام شود. از طرف دیگر اگر ساختار شبکه معابر در اطراف ایستگاه‌ها نامتقارن باشد، تعریف ناحیه تحت پوشش و حلقه‌های پوشش دهی در قالب یک شکل منتظم با معادلات ریاضی، توصیف مناسبی از چگونگی دسترسی مسافران به ایستگاه ارائه نمی‌دهد.

۴- مدل مکان‌یابی ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی شهری در محیط GIS

برای مکان‌یابی ایستگاه، با بکاربردن مفاهیم یاد شده، مدلی جدید در این مقاله ارائه شده است. در شکل (۴) ورودی‌ها و خروجی‌های مدل پیشنهادی آورده شده است.

۴- ۱- داده های ورودی به مدل

لازم است اطلاعات و داده ها به صورت قابل تفسیر به وسیله مدل تهیه شوند.

۴- ۱- ۱- اطلاعات ایستگاه‌ها

در این مدل ایستگاه‌های بالقوه به محل‌هایی گفته شود که بر اساس نظر کارشناسی شرایط لازم برای ایستگاه شدن را دارند. عوامل کیفی می‌تواند قبل از مدل سازی بررسی شده و نقاطی که شرایط لازم را دارند به وسیله مدل در قالب کمی ارزیابی شوند. فواصل ایستگاه‌ها اثر زیادی روی عملکرد سیستم ریلی به ویژه سرعت سیستم و پوشش دهی ایستگاه‌ها می‌گذارد. به همین دلیل می‌توان حداقل فاصله لازم بین ایستگاه‌ها برای تامین سرعت عملکردی مورد نظر و بیش ترین فاصله ایستگاه‌ها به برای تامین پوشش‌دهی، با توجه به نوع شهر، تراکم جمعیت نواحی و سیاست گذاری‌ها، تعیین و وارد مدل گردد تا در مکان‌یابی این محدودیت‌ها در نظر گرفته شود. هم چنین ممکن است به دلایل مختلفی برخی از ایستگاه‌ها به عنوان ایستگاه‌های اجباری در نظرگرفته شده باشند که در این محل‌ها نیازی به مکان‌یابی ایستگاه‌های دوباره نیست اما محل این ایستگاه‌ها بر مکان‌یابی ایستگاه‌های قبلی و بعدی تاثیر گذار می گذارند.

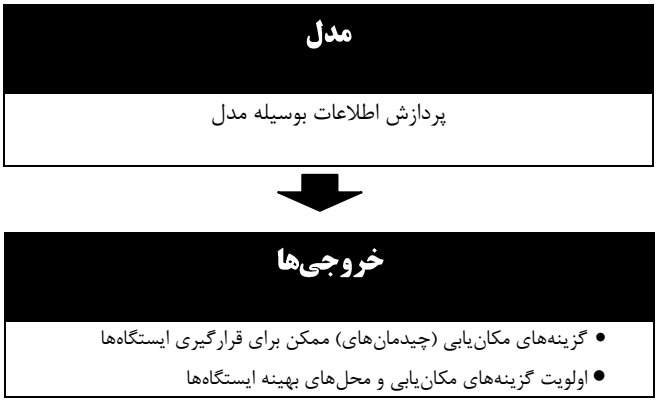
ورودی

اطلاعات ایستگاه ها
- مجموعه محل‌های بالقوه برای احداث ایستگاه
- حداقل و حداکثر فاصله مجاز بین ایستگاه ها
- ایستگاه‌های اجباری

ماتریس‌های خصوصیات سفرها
- ماتریس‌های تقاضای سفر مبدا مقصد به تفکیک اهداف سفر
- ماتریس‌های زمان سفر بین نواحی ترافیکی برای شیوه‌های مختلف حمل و نقل

بانک‌های اطلاعاتی
- بانک اطلاعاتی مجموعه نواحی ترافیکی
- بانک اطلاعاتی شبکه معابر

مشخصات سیستم ریلی و کاربر
- **شتاب وسیله سرعت وسیله، سرعت پیاده‌روی ...**



شکل (۴): ورودی‌ها و خروجی‌های مدل

۴- ۱- ۲- ماتریس‌های خصوصیات سفر

از این اطلاعات برای محاسبه میزان تبادل سفر میان نواحی تحت پوشش ایستگاه‌ها استفاده می‌شود. سهم سفرهای انجام شده با سیستم ریلی به میزان ارتقاء زمان سفر با این شیوه، نسبت به سایر شیوه های حمل ونقل ارتباط دارد.

۴- ۱- ۳- بانک‌های اطلاعاتی

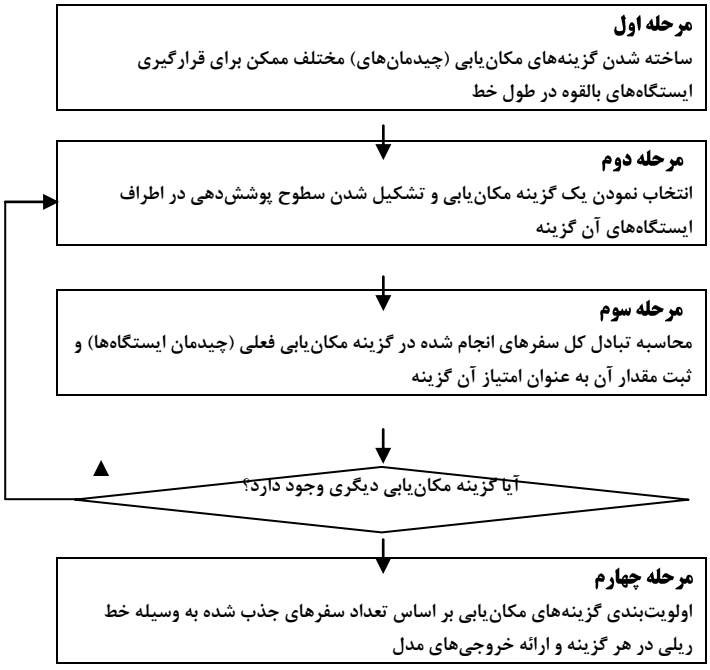
شکل هندسی و مساحت نواحی ترافیکی ($TAZs^{۴}$) منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات مورد نیاز در مدل سازی است. این اطلاعات می‌تواند در قالب داده کامپیوتری قابل تفسیر در محیط GIS تعریف شود. هم چنین با توجه به اینکه دسترسی به ایستگاه‌ها از طریق شبکه معابر انجام شود، لازم است شبکه معابر محدوده تاثیر کریدور ریلی با جزئیات دسترسی‌های محلی و مسیرهای پیاده روی مدل شود. شبکه معابر به صورت مجموعه ای از گره ها و کمان ها مدل خواهد شد، بطوری که کمان‌ها همان قطعات تشکیل‌دهنده معابر در واقعیت هستند. گره‌ها (نقاط ابتدا و انتهای کمان‌ها) نیز بیانگر نقاط تقاضای سفر یا نقاط مبدا و مقصد سفرها می‌باشند.

۴- ۱- ۴- مشخصات سیستم ریلی و کاربر

اطلاعات لازم برای سیستم ریلی عبارت است از بیش ترین سرعت مجاز وسیله، متوسط شتاب افزاینده، متوسط شتاب کاهنده، زمان توقف وسیله در یک ایستگاه خواهد بود. سرعت متوسط پیاده روی برای دسترسی به ایستگاه ریلی نیز از اطلاعات مورد نیاز است. برای محاسبه سهم سفرهای انجام شده با سیستم جدید ریلی، این اطلاعات در محاسبه زمان سفر مسافر بکار برده می‌شود.

۴- ۲- ساخت مدل

ساختار کلی مدل در شکل (۵) در قالب یک جدول نشان داده شده است.



شکل (۵): جدول مدل مکان‌یابی ایستگاه‌های ریلی شهری در محیط GIS

مدل ارائه شده در این مقاله یک مدل ترکیبی است. روش کار با مدل به این صورت است که در مرحله نخست بر اساس داده های ورودی محل ایستگاه‌های بالقوه، محدودیت‌های فاصله ایستگاه‌ها و نقاط اجباری، کلیه ترکیبات مکانی ایستگاه‌ها (که هر یک از آنها تحت عنوان یک گزینه مکان یابی نام گذاری می‌شوند) تشکیل می‌گردد. در مراحل بعد پتانسیل جذب سفر هر گزینه مکان یابی (چیدمان ایستگاه‌ها) محاسبه شود. در پایان گزینه‌های مکان‌یابی بر اساس پتانسیل جذب سفر اولویت‌بندی می‌شوند و اولین اولویت آن چیدمانی از ایستگاه‌ها است که با بکارگیری آن بیش ترین تعداد مسافر از نواحی تحت پوشش ایستگاه‌ها جذب کریدور ریلی شود.

در ادامه مراحل ذکر شده در جدول شکل (۵) را توضیح داده خواهد شد.

۴- ۲-۱- مرحله اول: ساخته شدن گزینه‌های مکان‌یابی (چیدمان‌های) مختلف ممکن برای قرار گیری ایستگاه‌های بالقوه در طول خط

ایستگاه های بالقوه به شکل های مختلفی می‌توانند در طول کریدور ریلی چیده شوند. هر مجموعه شامل ترکیبات ایستگاه ها در کل طول مسیر یک گزینه است.

اگر تعداد ایستگاه های بالقوه در طول مسیر n باشد، تعداد مجموعه ایستگاه های m عضوی از این n ایستگاه برابرخواهد بود با:

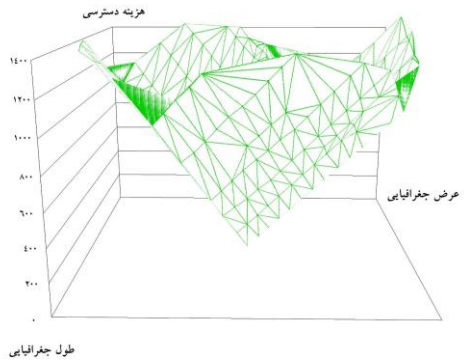
$$N = C_n^m = \binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

اما در عمل تعداد گزینه های مکان‌یابی کمتر خواهد بود زیرا باید محدودیت های مانند حداقل و حداکثر فاصله بین دو ایستگاه در نظر گرفته شود. به طور معمول ایستگاه ابتدایی نیز محل انباشت بوده و در تمام سناریو ها شرکت دارد. بطور کلی، مجموعه های مختلف ممکن برای چیدن ایستگاه‌ها در طول مسیر (گزینه های مکان یابی) می تواند از روش های مختلفی مانند محاسبه دستی چیدمان های منطقی و روش های بداعی یا برنامه نویسی، به دست آید.

۴- ۲- ۲- مرحله دوم: انتخاب نمودن یک گزینه مکان‌یابی و تشکیل شدن سطوح پوشش دهی در اطراف ایستگاه‌های آن گزینه

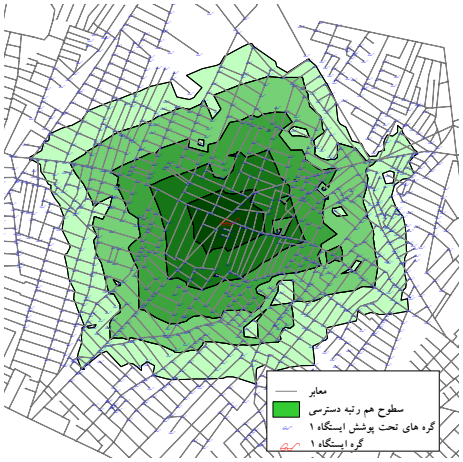
پس از آنکه ترکیبات مختلف ممکن برای قرار گرفتن ایستگاه‌ها در طول خط در قالب گزینه های مکان‌یابی ارائه شد، برای ارزیابی گزینه فعلی لازم است ابتدا حوزه های جذب مسافر ایستگاه‌های قرار گرفته روی خط مشخص گردد. همچنین با توجه به اینکه با افزایش هزینه دسترسی به ایستگاه احتمال انتخاب ایستگاه و میزان جذب مسافر کم می‌شود، لازم است حوزه های جذب ایستگاه‌ها به شکل مناسبی دسته بندی شوند و اثر هزینه دسترسی در کاهش یا افزایش جذب مسافر در نظر گرفته شود. در نتیجه در اطراف هر یک از ایستگاه‌ها مکان هندسی نقاط دارای هزینه دسترسی یکسان به یک ایستگاه، به وسیله خطوط هم هزینه مشخص می‌شوند. برای تشکیل خطوط هم هزینه، مانند روش تشکیل خطوط هم تراز[۵] در نقشه‌های توپوگرافی عمل شده است. به این ترتیب که ابتدا هزینه دسترسی هر یک از گره ها (نقاط) واقع در شعاع پوشش ایستگاه تا آن ایستگاه ریلی، به عنوان ارتفاع آن گره در نظر گرفته شده است. در ادامه با تشکیل شبکه نامنظم مثلث‌بندی شده[۶] میان این نقاط، امکان تشکیل شکلی سه بعدی از میزان هزینه (ارتفاع) به ازای نقاط مختلف دارای طول و عرض جغرافیایی متفاوت بوجود می‌آید (مشابه شکل عوارض و پستی و بلندی‌های سطح زمین در توپوگرافی). این عمل با نرم افزارهای مبنی بر GIS امکان پذیر بوده و پس از تشکیل شبکه نامنظم مثلث‌بندی شده امکان ساخت خطوط هم هزینه و هم چنین سطوح هم رتبه بین این خطوط ممکن خواهد شد.

برای افرادی که با شیوه‌های غیر موتوری به ایستگاه‌ها دسترسی دارند، محل ایستگاه از اهمیت بسیار بالاتری برخوردار خواهد بود. بطوریکه برای افرادی که خانه، محل کار، تحصیل، اشتغال و یا نقاط سفر آنها نزدیک یک ایستگاه بالقوه قرار دارد، انتخاب یا عدم انتخاب آن ایستگاه تاثیر قابل توجهی بر نحوه انجام سفرهای آنها خواهد داشت. فرض قابل قبول این است که افرادی که از شیوه های حمل و نقل غیر موتوری برای دسترسی به ایستگاه استفاده می‌کنند در انتخاب مسیر دسترسی به گونه ای رفتار کنند که زمان (یا هزینه) سفرشان کمینه شود. به همین دلیل برای محاسبه هزینه دسترسی به ایستگاه، هزینه کوتاهترین مسیر از هر گره واقع در شعاع پوشش ایستگاه به آن ایستگاه در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۶) شبکه نامنظم مثلث بندی شده و در شکل (۷) سطوح هم رتبه اطراف یک ایستگاه فرضی نمایش داده شده است.



شکل (۶): شبکه نامنظم مثلث بندی شده (TIN) در اطراف ایستگاه

گفتنی است که هدف مدل ارائه شده در این مقاله برآورد تقاضای سفر ریلی نیست بلکه تعیین محل بهینه ایستگاه‌ها بوده که با مقایسه نسبی ایستگاه‌ها و سنجیدن میزان برتری ترکیبات مکانی نسبت به یکدیگر، نتیجه لازم به دست خواهد آمد. با دور شدن فاصله از ایستگاه و افزایش سرعت وسیله دسترسی نقش فواصل و محل ایستگاه‌ها کم تر خواهد شد، اما با نزدیکتر شدن به محل ایستگاه و کاهش سرعت شیوه دسترسی نقش محل و فاصله ایستگاه‌ها بیش تر می‌شود.



شکل (۷): سطوح هم رتبه اطراف ایستگاه

۴- ۲- ۳- مرحله سوم: محاسبه نمودن تبادل کل سفرهای انجام شده در گزینه مکان‌یابی فعلی (چیدمان ایستگاه‌ها) و ثبت مقدار آن به عنوان امتیاز آن گزینه

برای محاسبه میزان جذب سفر در طول خط برای یک گزینه مکان‌یابی مشخص، لازم است تعداد کل سفر های تبادل شده بین ترکیبات دو تایی ایستگاه‌ها محاسبه شده و با هم جمع زده شود.

سفرهای تبادل شده بین دو ایستگاه، مجموعی از سفرهای تبادل شده بین نواحی ترافیکی تحت تاثیر آنها است. سفرهای بین دو ناحیه ترافیکی نیز مجموع سفرهای تولید شده از هر جزء (المان) مبدا و سفرهای جذب شده در اجزاء مقصد است (به شکل (۸) و شکل (۹) توجه شود). علت اینکه نواحی ترافیکی، به وسیله خطوط هم هزینه به اجزاء کوچک تری تقسیم شده اند، حساس شدن مدل به زمان پیاده روی است. زیرا برای دسترسی از مبدأ به ایستگاه و از ایستگاه به مقصد هر سطح هم رتبه دسترسی، دارای زمان سفر جداگانه‌ای است.

تعداد سفرهای تبادل شده بین دو جزء تحت پوشش از ایستگاه مبدا به مقصد بر مبنای میزان انحراف تقاضای سایر شیوه های حمل و نقل (با در نظر گرفتن اهداف مختلف سفر) که به سمت سیستم جدید ریلی گرایش پیدا می‌کنند محاسبه شود. تعداد کل سفرهای تبادل شده از حوزه های تحت پوشش ایستگاه‌های هر گزینه مکان‌یابی از رابطه (۷) محاسبه می‌شود، مقدار حاصل به عنوان امتیاز آن گزینه برای اولویت بندی ثبت می‌گردد.

اندیس‌ها ایستگاه مبدا

j: اندیس ایستگاه مقصد

o: اندیس ناحیه ترافیکی مبدا

d: اندیس ناحیه ترافیکی مقصد

k: اندیس سطح هم رتبه ایستگاه مبدا

k': اندیس سطح هم رتبه ایستگاه مقصد

a: اندیس گزینه مکان‌یابی

m: اندیس شیوه حمل و نقل

p: اندیس هدف سفر

SC_a: امتیاز گزینه مکان‌یابی a

n_{st}: تعداد ایستگاه‌های گزینه مکان‌یابی a

n_o: تعداد نواحی ترافیکی دارای اشتراک با ایستگاه مبدا i

n_d: تعداد نواحی ترافیکی دارای اشتراک با ایستگاه مقصد j

n_k: تعداد سطوح هم رتبه ایستگاه مبدا i

$n_{k'}$: تعداد سطوح هم رتبه ایستگاه مقصد j

A_{ik}: سطح هم رتبه k ام از ایستگاه مبدا i

$A_{jk'}$: سطح هم رتبه k' ام از ایستگاه مقصد j

TAZ_o: ناحیه ترافیکی o ام از نواحی ترافیکی دارای هم پوشانی با حوزه پوشش ایستگاه مبدا i

TAZ_d: ناحیه ترافیکی d ام از نواحی ترافیکی دارای هم پوشانی با حوزه پوشش ایستگاه مقصد j

t_{od}^{p}: تقاضای سفر از TAZo به TAZd برای هدف سفر p

Pr_{od}^{mp}: سهم سفرهای شیوه حمل و نقل m با هدف p در سفرهای انجام شده از TAZ_o به TAZd قبل از راه اندازی سیستم ریلی جدید

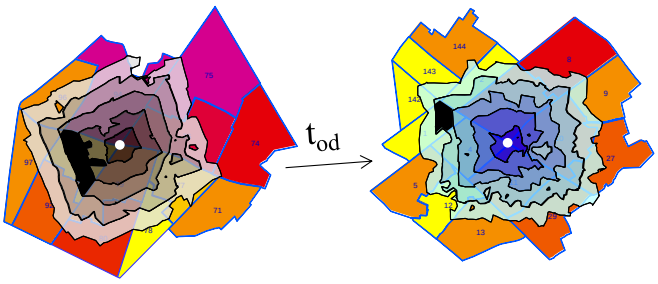
f(α): سهم سفرهای انتقالی به سیستم ریلی جدید

α: درصد تغییر زمان سفر

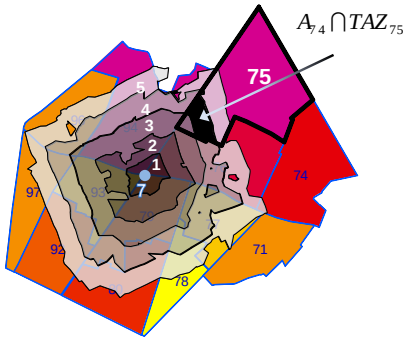
n_m: تعداد شیوه های حمل و نقل قبل از راه اندازی سیستم ریلی جدید

n_p: تعداد اهداف سفر

در رابطه $Area(A_{ik} \cap TAZ_o)$ بیانگر سطح مشترک میان سطح هم رتبه k ام از ایستگاه مبدا i با ناحیه ترافیکی o ام از نواحی ترافیکی اطراف ایستگاه مبدا است. به همین ترتیب عبارت $Area(A_{jk'} \cap TAZ_d)$ بیانگر سطح مشترک میان سطح هم رتبه k' ام از ایستگاه مقصد j با ناحیه ترافیکی d ام از نواحی ترافیکی اطراف ایستگاه مقصد می‌باشد. برای مثال در شکل (۹) ناحیه مشترک سطح هم رتبه چهارم از ایستگاه فرضی شماره ۷ با ناحیه ترافیکی شماره ۷۵ نمایش داده شده است.



شکل (۸): ایستگاه‌های مبدا و مقصد، سطوح هم رتبه اطراف آنها و نواحی ترافیکی دارای اشتراک با حوزه پوشش اطراف این ایستگاه‌ها



شکل (۹): نمایش یک جزء تحت پوشش ایستگاه

عبارت $\frac{Area(A_{ik} \cap TAZ_o)}{Area(TAZ_o)}$ درصد اشتراک جزء $A_{ik} \cap TAZ_o$ با TAZ_o،

عبارت $\frac{Area(A_{jk'} \cap TAZ_d)}{Area(TAZ_d)}$ درصد اشتراک جزء $A_{jk'} \cap TAZ_d$ با TAZ_d،

و عبارت $\sum_{p=1}^{n_p}\sum_{m=1}^{n_m} f(\alpha)\,\mathrm{Pr}_{od}^{mp}\,t_{od}^{p}$ تقاضای سفر از ناحیه ترافیکی مبدا به ناحیه ترافیکی مقصد برای خط ریلی جدید است.

در رابطه (۷) مقدار t_{od} (تعداد سفرهای تبادل شده بین نواحی ترافیکی TAZ_o و TAZ_d) از ماتریس تقاضای سفر مبدا مقصد به دست می‌شود. $f(\alpha)$ سهم سفرهای انتقالی به سیستم ریلی جدید است که از رابطه (۳) قابل محاسبه است. از آنجا که این سهم انتقالی تابعی از درصد تغییرات زمان سفر است، لازم است ابتدا زمان سفر با سیستم ریلی جدید محاسبه شود. بر اساس رابطه (۱) این زمان مجموع زمان‌های دسترسی از مبدا به ایستگاه T_a، زمان انتظار T_w، زمان داخل وسیله T_v و زمان سفر از محل ایستگاه پیاده شدن به مقصد سفر T_e است. زمان‌های T_a و T_e با توجه به اینکه هر سطح هم رتبه و متغیرهای این رابطه عبارتند از:

i: اندیس

پوشش دهی، یک زمان مختص به خود را دارد، قابل محاسبه است. بنابراین، بر اساس اینکه جزء مبدا و مقصد در کدام یک از سطوح هم رتبه پوشش دهی قرار دارند، زمان‌های T_a و T_e محاسبه شوند. به این ترتیب اثر دور شدن از ایستگاه‌ها و کاهش جذب سفر در نواحی دورتر در نظر گرفته خواهد شد. زمان داخل وسیله T_v از رابطه (۲) محاسبه شود. با محاسبه زمان سفر به وسیله سیستم ریلی جدید امکان محاسبه درصد تغییر زمان سفر نسبت به شیوه‌های حمل و نقل موجود و هم چنین میزان انحراف تقاضا $f(\alpha)$ از هر شیوه به شیوه حمل و نقل جدید امکان پذیر خواهد شد. به این ترتیب مقدار $\mathrm{Pr}_{od}^{mp}\,t_{od}^{p}$ که تعداد سفرهای انجام شده با وسیله نقلیه m با هدف p از ناحیه ترافیکی مبدا به مقصد و مقدار $\left(\sum_{p=1}^{n_p}\sum_{m=1}^{n_m} f(\alpha)\,\mathrm{Pr}_{od}^{mp}\,t_{od}^{p}\right)$ که میزان تقاضای سفر از ناحیه ترافیکی مبدا به مقصد برای خط ریلی جدید است، قابل محاسبه خواهد بود.

همان طور که دیده می‌شود سمت چپ رابطه (۷) شش سیگما دارد که مقدار متغیر شمارش گر آنها به ترتیب از چپ به راست مربوط می‌شوند به شماره ایستگاه مبدا، شماره ایستگاه مقصد، شماره ناحیه ترافیکی مبدا، شماره ناحیه ترافیکی مقصد، شماره سطح هم رتبه مبدا و شماره سطح هم رتبه مقصد. بنابراین به ازای کلیه ترکیبات دوتایی ایستگاه‌ها انواع تبادلات سفر ممکن بین اجزاء پوشش دهی محاسبه خواهد شد.

۴- ۲- ۴- مرحله چهارم: اولویت بندی گزینه‌های مکان‌یابی یابی بر اساس تعداد سفرهای جذب شده به وسیله خط ریلی در هر گزینه و ارائه خروجی‌های مدل

در این مرحله گزینه‌های مکان‌یابی با توجه به امتیاز ثبت شده برای آنها (مقدار حاصل از رابطه (۷)) اولویت‌بندی می‌شوند. خروجی اصلی مدل جدول اولویت‌بندی گزینه‌های مکان‌یابی ایستگاه‌ها است. پس از پایان این مرحله فرآیند تحلیل مدل به تمام می شود و از خروجی‌های آن می‌توان برای تصمیم گیری در تعیین محل ایستگاه‌ها استفاده نمود.

۵- نتیجه گیری

هدف اصلی این مقاله، ارائه یک مدل جدید برای مکان‌یابی ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی شهری است. این مدل می تواند با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، مساله را در ابعاد واقعی حل نماید. یکی از نوآوری این مقاله ترکیب مناسب عوامل تاثیر گذار بر محل ایستگاه‌ها است. از دلایل مهم بودن مدل پیشنهادی این مقاله، حذف تعدادی از فرضیات ساده کننده و جایگزینی شبیه سازی‌های واقع بینانه است که باعث توصیف مناسب تری از عملکرد سیستم شده است.

در این مدل تقاضای جذب شده به وسیله ایستگاه‌ها با استفاده از تابع انحراف تقاضا (به تناسب بهبود زمان سفر با استفاده از سیستم ریلی) برآورد گردید، دسته بندی نواحی پوششی بر اساس زمان سفر واقعی انجام گرفت که این موارد از مهم ترین عوامل تمایز مدل پیشنهادی با مدل‌های پیشین است. مدل پس از پردازش ورودی‌ها بهترین ترکیبات یا چیدمان‌های ایستگاه‌ها را به ترتیب اولویت به عنوان خروجی ارائه می‌دهد.

۶- مراجع

[۱] مرکز تحقیقات و مطالعات حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف؛ گزارش حمل و نقل همگانی سریع شیراز، مطالعات جامع حمل و نقل شیراز، ۱۳۷۹.

[۲] Vuchic, V.R.; Urban Transit Operations, Planning and Economics, John Wiley & Sons, INC, 2004.

[۳] Vuchic, V.R.; Urban Transit Systems and Technology, John Wiley & Sons, INC, 2007.

[۴] Daskin, M.S., Owen, S.H.; "Location Models in Transportation", Handbook of Transportation Science, Second Edition, Kluwer Academic Publishers, pp. 320-371, 2003.

[۵] Chien, S.I.; Qin, Zh.; "Optimization of Bus Stop Locations for Improving Transit Accessibility", Transportation Planning and Technology 27, pp.211–227, 2004.

[۶] Laporte, G., Mesa, J.A., Ortega, F.A.; "Locating Stations on Rapid Transit Lines", Computers & Operations Research 29, pp.741–759, 2002.

[۷] Mesa, J.A. and F.A. Ortega.; "Park-and-Ride Station Catchment Areas in Metropolitan Rapid Transit Systems.", Mathematical Methods on Optimization in Transportation Systems, Kluwer, Dordrecht, pp. 81–93, 2001.

[۸] Laporte, G., Mesa, J.A., Ortega, F.A., Sevillano, I.; "Maximizing Trip Coverage in the Location of a Single Rapid Transit Alignment", Annals of Operations Research 136, pp. 49–63, 2005.

۷- پی نوشت ها

۱ Geographic Information Systems
۲ Coverage
۳ Mesa and Ortega
۴ Traffic Analysis Zones
۵ Contours
۶ Triangulated Irregular Network (TIN)