Archive of SID

ارایه الگویی برای طراحی شبکه مسیرهای دوچرخه‌سواری: مطالعه موردی شهر قم

رضا اسدالهی، دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمود صفارزاده*، استاد، دانشکدهٔ عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
امیررضا ممدوحی، استادیار، دانشکدهٔ عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail:rezaasadollahi@yahoo.com
دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۱۶- پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۰۹

چکیده

امروزه استفاده از دوچرخه‌سواری به‌عنوان یک وسیله حمل و نقل عمومی، موضوعی است که در کشورهای پیشرفته مورد توجه قرار گرفته است. نبود زیرساخت‌های مناسب و مطمئن در کشور، عاملی است که موجب شده تا استقبال چندانی از این شیوه حمل و نقل صورت نگیرد. ارایه یک مدل که بتواند شبکه مناسب حمل و نقل دوچرخه‌سواری را در شهرها تعیین کند و قابلیت اجرایی داشته باشد، کمک شایانی در جهت بهبود برنامه‌ریزی دوچرخه‌سواری خواهد کرد. در این مقاله مدلی ارایه می‌شود که براساس شاخص‌های امکان‌سنجی دوچرخه‌سواری شامل شاخص‌های دیویس، شاخص سازگاری دوچرخه و سطح سرویس دوچرخه، قادر به طراحی و تعیین مسیرهای شبکه دوچرخه‌سواری است. الگوی ارایه شده را می‌توان در مقیاس هر شهر با ابعاد واقعی پس از گردآوری اطلاعات مورد نیاز، اجرا و شبکه پیشنهادی را ارزیابی کرد. تابع هدف مدل، شامل کاهش هزینه‌های اجرایی، کاهش زمان سفر، افزایش میزان تناسب مسیر و کاهش تعداد تقاطعات واقع در مسیر دوچرخه است. مدل ارایه شده در قالب یک نمونه واقعی برای شهر قم پیاده‌سازی و شبکه دوچرخه‌سواری برای این شهر، طراحی و ارزیابی می‌شود. از خصوصیات مدل پیشنهادی این است که مسیرهای انتخابی به پارامترهای هندسی و مشخصات ترافیکی معابر وابسته است و مسیرهایی را انتخاب می‌کند که از لحاظ ایمنی، هندسی و امکان‌پذیری، مناسب دوچرخه‌سواری باشد و این مسیرها لزوماً بر مسیرهای کوتاه مبدأ- مقصد منطبق نیست.

واژه‌های کلیدی: الگوی تعیین مسیر، شبکه حمل و نقل، مسیر دوچرخه‌سواری

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، راهبرد جهانی پذیرفته‌شده برای حل مشکلات حمل و نقل شهری کشورهای در حال توسعه، تأکید بر پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل و نقل عمومی در سامانه حمل و نقل شهری بوده است. بعد از سال ۱۹۷۰ که با افزایش بهای نفت، بحران انرژی و زیست‌محیطی به‌وجود آمد، موضوع صرفه‌جویی در مصرف سوخت، کاهش استفاده از خودرو شخصی و افزایش استفاده از دوچرخه به‌عنوان بخشی از سامانه حمل و نقل شهری و ایجاد تسهیلات لازم برای استفاده ایمن از دوچرخه در کشورهای توسعه‌یافته مطرح شد (مهندسین مشاور گذرراه، ۱۳۸٤). دوچرخه ماشین ساده‌ای است که تقریباً هر کسی می‌تواند مکانیسم و طرز استفاده از آن را به‌راحتی فرا گیرد و نیز به‌علت ارزان بودن، اغلب افراد جامعه قادرند آن را تهیه کنند. استفاده از وسایل نقلیه دیگر به سادگی دوچرخه نیست و برای گروه‌های خاصی از جامعه، نظیر نوجوانان یا افراد کم درآمد، دوچرخه شاید تنها وسیله‌ای باشد که بتوانند به‌کار برند (شیخ‌الاسلامی، ۱۳۷٤) دوچرخه وسیله نقلیه‌ای کم هزینه، مناسب و ارزان است

* نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

که از آن می‌توان برای مسیرهای کوتاه و متوسط شهری، خیابان‌های محلی و تردد در شهرک‌ها استفاده کرد.

گسترش دوچرخه‌سواری مستلزم رفع موانع توسعه آن است. این موانع به‌طور عمده شامل مسایل فرهنگی، کمبود تسهیلات دوچرخه‌سواری و ملاحظات اقتصادی است (مهندسین مشاور گذرراه، ۱۳۸٤). طراحی یک الگوی تعیین شبکه مسیرهای دوچرخه‌سواری یکی از اقدامات زیربنایی در جهت توسعه و گسترش استفاده از دوچرخه نسبت به سایر شیوه‌های متداول حمل و نقلی است. ضرورت این الگو به آن جهت است که می‌تواند با بررسی خصوصیات شبکه معابر یک شبکه مسیرهای دوچرخه را پیشنهاد کند و در قالب برنامه‌ریزی و مدیریت حمل و نقل شهری و مدیریت تقاضای سفر (TDM) از حجم تقاضای سفرهای موتوری بکاهد.

عواملی همچون شکل دوچرخه، قابلیت‌های انسانی، توپوگرافی منطقه، آب و هوای مساعد، ملاحظات شهری، ایمنی، امنیت، ملاحظات اجتماعی و عوامل اقتصادی در کاربرد دوچرخه مؤثرند (کنف، ۱۳۸۱). برای گسترش استفاده از دوچرخه‌سواری باید تمامی عوامل مؤثر در کاربرد آن مورد بررسی قرار گیرد. برخی از این عوامل مانند معیارهای هندسی و فیزیکی مسیرهای دوچرخه، شامل شیب منطقه، عرض معبر، رویه مسیر، تعداد تقاطع‌ها، حجم و سرعت ترافیک، حجم عبور عابر پیاده و یک‌طرفه بودن خیابان‌ها به‌صورت کمّی و برخی دیگر، مانند پارامترهای شهرسازی، شامل وضوح، ایمنی و امنیت، کیفیت هوا، سرپناه، نگهداری و نظافت، جاذبه و تمایل به‌صورت کیفی مطرح هستند. برای طراحی یک شبکه دوچرخه‌سواری، لازم است تمامی معابر مستعد و دارای پتانسیل دوچرخه‌سواری ارزیابی شوند. بررسی تک‌تک معابر هر شهر براساس پارامترهای مذکور می‌تواند کمان‌های بالقوه مسیر دوچرخه‌سواری را تعیین کند که دارای حداقل معیارهای موردنظر باشد.

با توجه به خصوصیات یک شبکه دوچرخه‌سواری شامل پیوستگی، کوتاهی، دسترسی مناسب به کلیه مقاصد اصلی و استفاده از تسهیلات خاص از جمله پارکینگ، می‌توان مسیرها را مورد ارزیابی قرار داد و با رعایت مشخصات و خصوصیات، آن را به‌عنوان یک شبکه حمل و نقل طراحی کرد.

۲- متدولوژی تحقیق

براساس روش تحقیق این مقاله، ابتدا از آیین‌نامه‌های مورد قبول ایران و جهان مانند AASHTO، معیارهای یک مسیر دوچرخه‌سواری استخراج می‌شود. برای این کار از چهار شاخص سنجش امکان‌پذیری راه‌ها برای دوچرخه‌سواری، شامل شاخص سازگاری دوچرخه[1]، سطح سرویس دوچرخه[2]، شاخص قطعه راه[3] و شاخص ارزشیابی تقاطع[4] استفاده می‌شود. در ادامه، این شاخص‌ها برای هر یک از کمان‌های شبکه معابر یک شهر مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد و کمان‌های با قابلیت و امکان احداث مسیر دوچرخه (براساس این شاخص‌ها) انتخاب و روی یک پلان به‌نام کمان‌های بالقوه قرار می‌گیرند. با اعمال محدودیت‌ها و پارامترهای یک شبکه دوچرخه‌سواری، شامل پیوستگی، کوتاهی مسیر و عبور از مراکز مورد نظر برای کمان‌های کاندید، مسیرهای مناسب دوچرخه‌سواری مشخص می‌شود. فرآیند طراحی شبکه مسیرهای دوچرخه‌سواری شامل جمع‌آوری اطلاعات هندسی، فیزیکی و حمل و نقلی از محدوده مورد مطالعه در لایه‌های اطلاعاتی، در قالب یک فلوچارت و محاسبه مقدار عددی هر یک از شاخص‌ها و اعمال ضریب ارزش و توان بالقوه مسیرها برای اولویت‌بندی و قابلیت انتخاب، در شرایط مساوی است. این مسیرها روی پلان خطوط تقاضای دوچرخه‌سواری و نیز کاربری اطراف معابر منطبق شده و مسیرهای منتخب شبکه دوچرخه‌سواری پیشنهاد می‌شود.

در این فرآیند امکان دارد برای دست‌یابی به خصوصیت پیوستگی شبکه، بعضی از کمان‌های غیرمستعد برای دوچرخه‌سواری (که در مراحل قبل انتخاب نشده‌اند) در این مرحله انتخاب شوند، که گاهی این امر، اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین الگوریتم طراحی، به‌گونه‌ای تدوین می‌شود که این کمان‌ها به‌عنوان کمان‌های قابل اصلاح معرفی شوند ولی تعداد آنها کمینه باشد.

به این ترتیب، ورودی‌های این روش، مقادیر عددی شاخص‌های سنجش راه‌ها برای دوچرخه‌سواری، مشخصات هندسی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، کاربری اراضی و نیز تقاضای دوچرخه‌سواری و خروجی آن، شامل یک شبکه معمولاً پیوسته و یکپارچه دوچرخه‌سواری است که معیارها و پارامترهای مورد نیاز شبکه دوچرخه‌سواری را داشته باشند. مشخصه کمان‌های

www.SID.ir

Archive of SID

اصلاحی جهت تکمیل پیوستگی شبکه و نوع اصلاح آنها نیز از خروجی‌های این روش است.

۳- شاخص‌های سنجش امکان‌پذیری دوچرخه‌سواری در معابر شهری

به‌طور عمده چهار شاخص اصلی برای سنجش امکان‌پذیری دوچرخه‌سواری وجود دارد: ۱- شاخص سازگاری دوچرخه‌سواری (BCI)، ۲- سطح سرویس دوچرخه (BLOS)، ۳- شاخص‌های دیویس شامل شاخص قطعه راه (RSI) و ٤- شاخص ارزشیابی تقاطع (IEI) (اسدالهی، صفارزاده و ممدوحی، ۱۳۸۹).

شاخص سازگاری دوچرخه‌سواری مطابق رابطه (۱) که نشان‌دهنده امکان‌پذیر بودن راه‌ها برای احداث مسیرهای دوچرخه‌سواری است.

$$BCI=3.67-0.966(BL)-0.410(BLW)-0.498(CLW)+0.002(CLV)+0.0004(OLV)+0.022(SPD)+0.506(PKG)-0.264(AREA)+AF \quad (۱)$$

که در آن:

BL = اگر دوچرخه‌راه یا شانه روسازی شده بزرگتر از ۰/۹ متر باشد= ۱، در غیر این‌صورت =۰

PKG = در صورت وجود خط پارکینگ با بیش از ۳۰ درصد تملک = ۱، در غیر این‌صورت =۰

BLW = عرض دوچرخه راه یا شانه روسازی شده (متر)

CLW = عرض خط کنار جدول (متر)

CLV = حجم خط کنار جدول در یک جهت (وسیله نقلیه در ساعت)

OLV = حجم خطوط دیگر در جهت مشابه (وسیله نقلیه در ساعت)

SPD = سرعت ترافیک ۸۵ اُمین درصد (کیلومتر در ساعت)

AREA = نوع توسعه کنار راهی: مسکونی=۱، سایر=۰

AF = Ft + Fp + Frt ضریب اصلاح

Ft = ضریب اصلاح برای حجم کامیون

Fp = ضریب اصلاح برای پارکینگ برگشتی

Frt = ضریب اصلاح برای حجم گردش به راست

سطح سرویس دوچرخه‌سواری مطابق رابطه (۲) که کیفیت احداث دوچرخه‌سواری در معابر شهری را مشخص می‌نماید.

$$BLOS = 0.507 \ln(Vol_{15}/L_n) + 0.199 SP_t (1+10.38HV)^2 + 7.066(1/PR_5)^2 - 0.005 W_e{}^2 + 0.760 \quad (۲)$$

که در آن:

Vol_{15} = حجم ترافیک جهتی در ۱۵ دقیقه، برابر $(ADT * D * K_d) / (4 * PHF)$

SP_t = سرعت مجاز مؤثر، برابر $1.1199 \ln(SP_p-20) + 0.8103$

SP_p سرعت مجاز قبلی)

PR_5 = نمره FHWA برای شرایط روسازی (۵ بهترین شرایط روسازی)

ADT = متوسط ترافیک روزانه

D = ضریب جهتی (فرض می‌شود = ۰/٥٦٥)

K_d = اوج ضریب روزانه (فرض می‌شود = ۰/۱)

PHF = ضریب ساعت اوج (فرض می‌شود = ۱/۰)

L_n = تعداد خطوط مستقیم جهتی

HV = درصد وسایل‌نقلیه سنگین

We = میانگین عرض مؤثر خط مستقیم کناری

شاخص قطعه راه مطابق رابطه (۳) که برای هر قسمت از معابر شبکه امتیاز خاصی را اختصاص می‌دهد.

$$RSI=[ADT/(L\times3500)]+(S/56)+[(4.25-W)\times1.635]+\sum PF+\sum LF \quad (۳)$$

که در آن:

ADT= متوسط ترافیک روزانه

L= تعداد خطوط عبور

S= سرعت مجاز(km/h)

W= عرض خط عبور کناری

$\sum PF$= مجموع کمّی مشخصه‌های روسازی

$\sum LF$= مجموع کمّی مشخصه‌های محلی

شاخص ارزشیابی تقاطع مطابق رابطه (٤) که تقاطعات موجود در مسیر دوچرخه‌سواری را از نظر ایمنی امتیازدهی می‌کند.

$$IEI=[(VC+VR)/10000]+[(VR\times2)/(VC+VR)]+\sum GF+\sum SF \quad (٤)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن:

VC= حجم کل ترافیک تقاطع

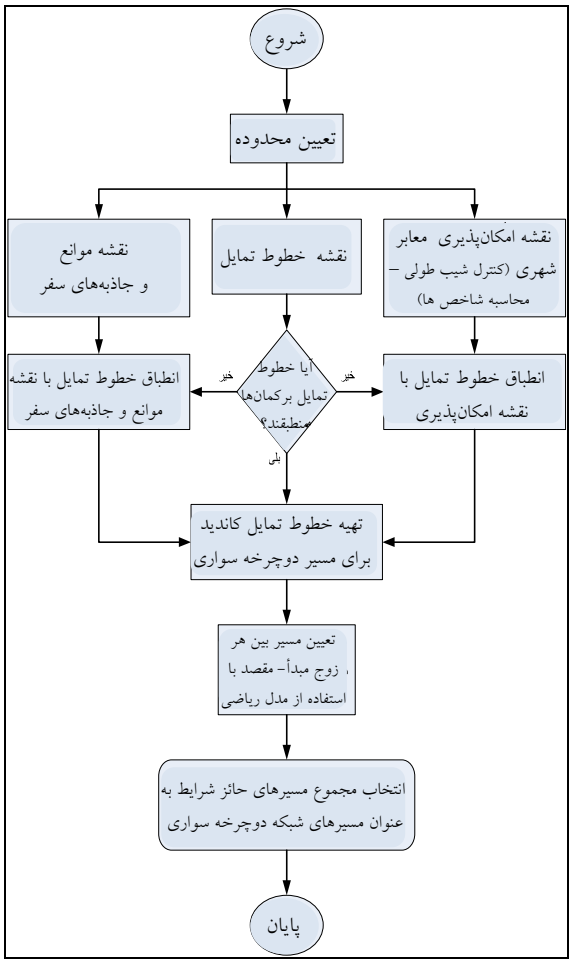
VR= حجم ترافیک مسیری که شاخص آن اندازه‌گیری می‌شود.

∑GF= مجموع مشخصه‌های طراحی

∑SF= مجموع مشخصه‌های چراغ راهنما

٤- الگوی تعیین شبکه مسیرهای دوچرخه‌سواری در کلان‌شهرها

الگوی تعیین مسیرهای دوچرخه‌سواری به‌صورت فلوچارت در شکل ۱ نمایش داده شده است. محاسبه تعیین مسیرهای دوچرخه‌سواری بین یک زوج مبدأ و مقصد، توسط مدل ریاضی خواهد بود که بخش اصلی این الگو را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱. فلوچارت الگوی تعیین مسیرهای حمل و نقل دوچرخه‌سواری

الگوی ارایه شده در شکل ۱ شامل مواردی است که در ادامه بیان می‌شود.

۵- نقشه امکان‌پذیری معابر شهری

برای تهیه نقشه امکان‌پذیری معابر، هر یک از آنها از نقطه‌نظر هندسی، فیزیکی و ترافیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا شیب طولی کمان‌ها طبق جدول ۱ کنترل شده و سپس شاخص‌ها در هر دو جهت رفت و برگشت معابر محاسبه می‌شوند و در نقشه مجزایی به‌نام نقشه امکان‌پذیری برای دوچرخه‌سواری معابر شهری ترسیم می‌شوند. طبق تعریف شاخص‌های سازگاری دوچرخه و سطح سرویس دوچرخه‌سواری عددی بین صفر (بدترین) و ۵ (بهترین) و شاخص‌های دیویس هم که شامل شاخص قطعه راه و شاخص ارزشیابی تقاطع است، عددی بین صفر (بدترین) و ٦ (بهترین) می‌باشد که میزان امکان ایجاد مسیرهای دوچرخه‌سواری را بیان می‌کند (AASHTO, 2006). جهت همسان‌سازی دامنه تغییرات این دو شاخص با دو شاخص اول از عدد ۱/۲ در محاسبات استفاده می‌شود. در حالتی که مقدار عددی شاخص‌ها برابر صفر است، برای جلوگیری از مخرج صفر از مقدار مثبت یک (در مخرج) استفاده می‌شود. خروجی این بخش، نقشه امکان‌پذیری معابر شهری که حاوی مقدار شاخص‌ها در جهات رفت و برگشت معابر است.

این نقشه همان نقشه کمان‌های محدوده مورد مطالعه است که اولاً برای تمام کمان‌ها، مقدار شاخص‌ها در جهات مختلف ترسیم شده و ثانیاً ضخامت کمان‌ها متناسب با مقدار شاخص است.

جدول ۱. حداکثر طول کمان با شیب‌های مختلف برای امکان دوچرخه‌سواری

ردیف	شیب طولی کمان (درصد)	حداکثر طول مجاز (متر)
۱	٦-۵	۲٤۰
۲	۷	۱۲۰
۳	۸	۹۰
٤	۹	٦۰
۵	۱۰	۳۰
٦	۱۱	۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

٦- نقشه خطوط تمایل، موانع و جاذبه‌های سفر

نقشه خطوط تمایل نشانگر تقاضای مبدأ- مقصد دوچرخه‌سواری برای محدوده مورد مطالعه است که براساس ماتریس تقاضا ترسیم می‌شود. معمولاً برای هر مبدأ و مقصد، تقاضای دوچرخه‌سواری با قضاوت مهندسی به عنوان سهمی از تقاضای سفر تعیین می‌شود. مثلاً می‌توان از تقاضای سفر با طول بیش از ٤ کیلومتر برای دوچرخه صرف‌نظر کرد و یا تقاضای بالای ۲۰۰ سفر در روز را در محاسبات در نظر گرفت. بر این اساس اولاً با کنترل اطلاعات ورودی، بخش عمده‌ای از انتخاب مبادی و مقاصد سفر مشخص و ثانیاً از تراکم نسبی تقاضا کاسته می‌شود و خطوط تمایل زاید از شبکه دوچرخه‌سواری حذف می‌گردد.

نقشه موانع و جاذبه‌های سفر، نقشه‌ای است با موقعیت جغرافیایی موانع دوچرخه‌سواری برای پرهیز از آنها و نیز محیط‌های جاذب و جالب برای دوچرخه‌سواری برای عبور از آنها، که این موانع و جاذبه‌ها، می‌تواند به‌طور مجزا یا در یک نقشه ارایه شود. موانع دوچرخه‌سواری شامل خیابان‌های یک‌طرفه، شیب‌های تند، نقاط حادثه‌خیز، رودخانه‌ها، بزرگراه‌ها، شهرهای صنعتی، خط راه‌آهن، مناطق دارای حجم پیاده بالا و معابر با سرعت بالای حرکت خودروهاست. محل‌های جاذب سفر نیز شامل مدارس و دانشگاه‌ها، مراکز تفریحی، پارک‌ها، فضاها و بلوارهای سرسبز، ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی، مراکز فروشگاهی و مراکز عمده اداری و استخدامی می‌باشد.

۷- خطوط تمایل کاندید برای مسیر دوچرخه‌سواری و تعیین مسیر مناسب

خطوط تمایل بر نقشه امکان‌پذیری معابر منطبق شده و خطوطی که در مناطق با عدم امکان صددرصد باشد و یا معبری که بدون خطوط تمایل باشد تا حد ممکن حذف خواهد شد. همچنین این خطوط تمایل را بر نقشه موانع و جاذب سفر منطبق می‌کند و خطوط تمایلی که بر نقاط موانع مماس هستند، حذف می‌شود. در صورت عبور نکردن خطوط تمایل از نقاط جاذب، اقدام به ترسیم خطوط تمایل مجازی برای آن قسمت می‌شود. به‌طور قطع، در تمام مراحل تهیه این نقشه‌ها و انطباق و بررسی آنها، قضاوت مهندسی حرف اول را می‌زند و باید دقت شود که این قسمت از الگوی ارایه شده در شکل (۱) را به‌صورت کارشناسی و با دید و نظر مهندسی تهیه و برای مدل آماده کرد. خطوط تمایل کاندید، حاصل انطباق و اشتراک دو مرحله قبل خواهد بود. در دو مرحله قبل دو نوع خطوط تمایل ناشی از انطباق آنها به ترتیب با نقشه کمان‌های مستعد و نیز نقشه موانع و جاذب سفر به‌دست آمد که در این مرحله با هم به اشتراک گذاشته شده و به عنوان خطوط تمایل کاندید برای مسیر دوچرخه‌سواری ارایه می‌شود.

برای هر یک از خطوط تمایل مندرج در مرحله قبل یک مسیر با استفاده از مدل ریاضی که براساس شاخص‌های هزینه و امکان‌پذیری معابر مسیر مناسب را محاسبه می‌کند، تعیین می‌شود. در این قسمت با توجه به انواع تسهیلات دوچرخه‌سواری شامل دوچرخه‌راه، خط دوچرخه، مسیر مشترک و استفاده مشترک، برای هر کمان منتخب و واقع شده در مسیر دوچرخه‌سواری که منطبق بر خطوط تمایل منتخب نیز می‌باشد، یک نوع تسهیلات دوچرخه‌سواری تخصیص خواهد یافت.

مجموعهٔ مسیرهای تعیین شده، پلانی را تشکیل می‌دهند که تمامی مسیرهای محاسبه شده توسط مدل بوده و نیز بر نقشه‌های خطوط تمایل، موانع دوچرخه‌سواری و مراکز مهم و جذاب برای دوچرخه‌سواری منطبق می‌باشند. این نقشه قابل ارایه به‌عنوان مسیرهای یک شبکه حمل و نقل دوچرخه‌سواری خواهد بود؛ چراکه اولاً دارای شرایط حاکم بر معیارهای طراحی مسیرهای دوچرخه‌سواری است، دوماً دارای شرایط و خصوصیات شبکه حمل و نقلی است که منطبق بر تقاضای دوچرخه‌سواری است و سوماً دارای شرایط یک شبکه معابر تفریحی، ورزشی، حمل و نقلی، ایمن و ... است.

در روش ارایه شده این مقاله، ابتدا پارامترهای مؤثر در مسیر دوچرخه‌سواری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، سپس برای هریک از کمان‌های جابه‌جایی، این پارامترها اعمال می‌شود و در ادامه کمان‌های بالقوه شناسایی و برای حضور در شبکه حمل و نقل دوچرخه، کاندید می‌شوند. در نهایت با اعمال محدودیت‌ها و ضوابط شبکه حمل و نقل، از میان کمان‌های کاندید مسیرهای دوچرخه‌سواری تعیین و به‌عنوان شبکه حمل و نقل دوچرخه ارایه می‌شوند. به‌طور قطع در طراحی این شبکه، پارامترهای متعددی دخیل هستند و برای هر شهر و کشوری این پارامترها دارای مقادیر متفاوتی می‌باشند. در این مقاله مهم‌ترین و

www.SID.ir

Archive of SID

اساسی‌ترین پارامترهای معرفی شده توسط منابع نام برده، در نظر گرفته شده است و به طور حتم روش ارایه شده، این قابلیت را دارد که بتواند اثر پارامترهای جدید و یا خاص را در طراحی شبکه اعمال کرده و نتیجه مطلوبی را ارایه نماید.

۸- مدل ریاضی تعیین مسیر دوچرخه‌سواری بین یک زوج مبدأ- مقصد

در این مدل هدف پیدا کردن مجموعه کمان‌هایی است که نقاط مبدأ و مقصد را به ازای هر تقاضا متصل نماید. این عمل به‌وسیله یک مدل ریاضی صورت می‌گیرد. هزینه جابه‌جایی به‌صورت زیر مطرح می‌شود:

- هزینه ناشی از زمان سفر،
- هزینه ساخت و تجهیز مسیر،
- هزینه ناشی از قابلیت مورد استفاده بودن مسیر.

زمان سفر، همان کوتاه بودن مسیر است که موجب کاهش زمان جابه‌جایی می‌شود. برای هر تقاضا بین دو نقطه مبدأ و مقصد، زمان سفر از زمان سپری شدن جهت طی کمان‌های انتخابی به‌دست می‌آید. به‌عبارتی هرچه مجموع طول کمان‌های انتخاب شده برای یک مسیر کوچک باشد، زمان لازم برای طی‌کردن آن مسیر کمتر خواهد بود. هزینه ساخت و تجهیز انواع مسیرهای دوچرخه به‌وسیله متره و برآورد، قابل محاسبه است. برای هر نوع مسیر دوچرخه‌سواری هزینه اجرایی آن متفاوت خواهد بود. انتخاب نوع مسیر بستگی به شرایط کمان مورد استفاده دارد. هر یک از کمان‌ها دارای شرایط مختلفی هستند و پتانسیل طراحی نوع خاصی از مسیر دوچرخه‌سواری را دارند. برخی از آنها قابلیت ایجاد چندین و شاید تمام انواع مسیرهای دوچرخه را دارند و برخی دیگر یک و شاید هیچ‌کدام از انواع مسیر را شامل نشوند. استفاده از نوع مسیر و ایجاد آن برای هر کمان در هزینه کلی ساخت و تجهیز مسیر دوچرخه‌سواری مؤثر است. با توجه به تابع هدف که کاهش هزینه مورد نظر است، استفاده از کمان‌هایی مورد نظر خواهد بود که هزینه نهایی ساخت و تجهیز مسیر را کاهش دهد. بنابراین، برای این مورد باید مجموع هزینه کمان‌های انتخابی را کمینه کرد. هزینه ناشی از قابلیت مورد استفاده بودن مسیر، افزایش میزان استفاده بسته به شرایط و مشخصات موجود مسیر است. به‌عبارتی مسیرهایی که دارای شرایط تعریف شده باشند، بیشتر از مسیرهای دیگر مورد استفاده خواهند بود. هدف اصلی ایجاد یک شبکه دوچرخه‌سواری، انتخاب مسیرهایی است که به‌وسیله استفاده‌کنندگان مورد استفاده و انتخاب قرار می‌گیرد، با این تفاوت که انتخاب این مسیرها با هدف مشخص و در تعامل با سایر مسیرها صورت پذیرد.

معیارهای طراحی مسیرهای مناسب دوچرخه‌سواری در شاخص‌های مذکور مورد استفاده واقع شده‌اند، ولی یکی از مهم‌ترین آنها که محدودیت شیب طولی است، در هیچ‌یک از شاخص‌های مورد بحث در نظر گرفته نشده است. در این روش شیب طولی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم، قبل از انتخاب هر کمان کنترل و سپس سایر شاخص‌ها اعمال خواهند شد. شاخص‌های ارایه شده در قسمت قبل دارای مقادیر کمّی هستند که نحوه تبدیل آنها از سطح سرویس A تا F به اعداد صفر تا ۵ مطابق با تعریف آنها خواهد بود. برای پیدا کردن کمان‌های بالقوه دوچرخه‌سواری، مراحل به شرح زیر خواهد بود:

۱. مقادیر شاخص‌های تعریف شده برای هر کمان به‌صورت مجزا در مسیرهای رفت و برگشت محاسبه می‌شود.
۲. مقادیر به‌دست آمده برای سطح سرویس، از صفر تا ۵ به‌ترتیب برای F تا A نمره‌دهی می‌شود.
۳. معیار شیب طولی برای هر کمان کنترل می‌شود. به این ترتیب که اگر شیب طولی کمان بیش از ۱۱ درصد باشد کمان موردنظر، برای دوچرخه‌سواری غیرقابل استفاده خواهد بود. اگر بین ۵ تا ۱۱ درصد باشد، باید طول آن قسمت از کمان، نسبت به شیب طولی آن به شرح جدول (۱) باشد و اگر کمتر از ۵ درصد باشد، از نظر شیب طولی مناسب خواهد بود.
٤. برای هر کمان در دو امتداد رفت و برگشت، مقدار عددی شاخص‌ها محاسبه می‌شود. هر قدر مجموع نمره کمان بزرگ‌تر باشد، دارای قابلیت و امکان ایجاد مسیر دوچرخه‌سواری بهتری خواهد بود. برای مقادیر شاخص صفر، امکان ایجاد مسیر دوچرخه‌سواری وجود ندارد، مگر اینکه اصلاحات هندسی و ترافیکی صورت پذیرد. این اصلاحات مربوط به معیارهایی خواهد بود که در محاسبات شاخص‌ها موجب کاهش نمره کلی آن شده‌اند.

لزوماً برای هر تقاضا که توسط خطوط تمایل مشخص خواهد شد، مبدأ و مقصد بر نقاط ابتدا یا انتهای کمان‌ها منطبق نخواهد بود. ممکن است مبادی و مقاصد، در موقعیتی باشند که کمان‌های منتخب، به آنها منتهی نشوند. برای این امر، در محل‌هایی که

www.SID.ir

Archive of SID

تقاضا بر کمان‌ها منطبق نباشند، اقدام به تعریف کمان‌های رابط خواهد شد که این کمان‌ها، نقاط مبدأ و مقصد را به کمان‌های اصلی متصل نماید. هزینه این کمان‌ها صفر خواهد بود تا در محاسبه کوتاه‌ترین فاصله و حداقل کردن هزینه‌ها که هدف تابع است، مؤثر واقع نشوند.

به‌دلیل عدم هم‌پوشانی شاخص‌ها در وزن مؤثر معیارها، در این روش ارتباط بین شاخص‌ها به‌صورت مجزا بوده و هر شاخصی دارای وزن واحد خواهد بود. این بدین معنی است که اهمیت هر شاخص در تأثیر آن بر ارایه مسیر مناسب در حد کامل و به‌صورت صددرصد دیده شده است و این امر کمک خواهد کرد که تمامی معیارها با ضریب مؤثر در نظر گرفته شده در شاخص مربوطه، در مدل ارایه شده نیز مؤثر باشد.

فرآیند مسیریابی توسط مدل، به این ترتیب است که برای هر کمان خارج شده از گره مبدأ، پارامتر شیب طولی کنترل می‌شود. در صورتی که کمان مورد نظر از لحاظ شیب طولی جواب‌گو نباشد، همان لحظه از مدار خارج شده و برای ادامه مسیریابی، سایر کمان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در غیر این‌صورت (جواب‌گویی کمان از لحاظ شیب طولی)، کمان مورد نظر برای شاخص‌های ارایه شده، مورد ارزیابی قرار گرفته و هزینه استفاده از آن کمان محاسبه می‌شود و این عمل برای گره منتهی به کمان و کمان‌های شروع شده از آن گره ادامه پیدا می‌کند. در این فرآیند از هر مبدأ تا مقصد کمان‌هایی که دارای هزینه پایین و شرایط امکان‌پذیری مناسب باشند، نمره یک گرفته و انتخاب می‌شوند و در عوض سایر کمان‌های موجود در مسیر که این شرایط را ندارند، دارای مقدار صفر بوده و از مدار انتخاب خارج خواهند شد. مجموع هزینه کمان‌های انتخاب شده برای هر مسیر از مبدأ تا مقصد، در نهایت حداقل خواهد بود. هدف، کاهش هزینه از این طریق است؛ به‌طوری که کمان‌هایی در مسیر مبدأ- مقصد انتخاب شوند که کمترین هزینه را داشته باشند.

به این منظور مجموعه‌های زیر تعریف می‌شوند:

مجموعه گره‌های مبدأ: کلیه گره‌های تولید سفر به‌عنوان گره‌های مبدأ در مجموعه‌ای به شکل زیر تعریف می‌شوند. با در نظر گرفتن n گره مبدأ داریم: A1= {1, 2, 3… n}

مجموعه گره‌های مقصد: همه گره‌های جذب سفر به‌عنوان گره‌های مقصد در مجموعه‌ای به شکل زیر تعریف می‌شوند. با در نظر گرفتن m گره مبدأ داریم: A2={1, 2, 3… m}

مجموعه کمان‌های کاندید: همه کمان‌های انتخابی به‌عنوان کمان کاندید در مجموعه‌ای به شکل زیر تعریف می‌شوند. با در نظر گرفتن t کمان داریم: A3= {1, 2, 3… t}

مجموعه هزینه واحد تسهیلات دوچرخه‌سواری: همه هزینه تسهیلات دوچرخه‌سواری در مجموعه‌ای به شکل زیر تعریف می‌شوند. با در نظرگرفتن g هزینه داریم: A4= {1, 2, 3… g}

هدف تصمیم‌گیری عبارت است از حداقل کردن هزینه در کل مسیر و هزینه عبارت است از هزینه واحد هر کمان ضرب در حجم جریان. اگر هزینه واحد هر کمان را با $\mathbf{c}_{ij}$ و حجم جریان در کمان را با $V_{ij} \geq 0$ نشان دهیم، هزینه هر کمان برابر است با:

$$C_{ij} = c_{ij} \times V_{ij} \qquad \forall j \qquad (۵)$$

که در آن i هزینه واحد نوع تسهیلات مورد استفاده دوچرخه‌سواری و j کمان کاندید است. حجم جریان برابر مقدار مخرج مشترک شاخص‌های مورد نظر است:

$$V_{ij} = \left(\frac{1}{1 + BCI_{ij}} + \frac{1}{1 + BLOS_{ij}} + \frac{1}{1 + \frac{RSI_{ij}}{1.2}} \right) \qquad \forall j \qquad (۶)$$

هزینه یک مسیر دوچرخه‌سواری از یک مبدأ تا مقصد برابر با هزینه کمان‌ها به اضافه هزینه تقاطع‌های موجود در مسیر است. برای شاخص IEI هر گره انتهای کمان، هزینه هر تقاطع به شکل زیر است:

$$I_{ij} = 1 + \frac{IEI_m}{1.2} \qquad \forall j, m \qquad (۷)$$

که در آن m گره انتهای کمان j با هزینه اجرایی i است.

برای برآورده کردن تصمیم مسئله متغیر *تصمیم‌گیری* زیر تعریف می‌شوند:

$$X_{ij} = \begin{cases} ۱ & \text{اگر مسیر } i \text{ به } j \text{ از کمان } t \text{ می‌گذرد} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

حالت بهینه حالتی است که هزینه کل مسیر دوچرخه‌سواری حداقل شود. بنابراین تابع هدف عبارت است از:

$$\min C_{ij} = \sum_{i=1}^{g=4} \sum_{j=1}^{t} c_{ij} \times x_{ij} \times l_{ij} \times \left(\frac{1}{1 + BCI_{ij}} + \frac{1}{1 + BLOS_{ij}} + \frac{1}{1 + \frac{RSI_{ij}}{1.2}} \right) + \sum_{m=1}^{m} x_{ij} \times \left(1 + \frac{IEI_m}{1.2} \right) \quad \forall path \qquad (۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت‌های تصمیم‌گیری این مدل عبارتند از:

الزامات مدیریتی: محدودیت الزامات مدیریتی به معنی این است که مثلاً کمان t باید در مسیر دوچرخه باشد یا نباید باشد. این امر با قراردادن مقدار عددی صفر یا یک برای متغیر x_{ij} در مدل امکان‌پذیر است.

تعداد جریان اختصاص یافته برای هر کمان حداکثر برابر یک خواهد بود. بنابراین برای هر کمان داریم:

$$\sum_{i=1}^{4} x_{ij} \le 1 \qquad \forall i \qquad (۹)$$

تعداد کمانی که می‌تواند انتخاب شود برابر Ψ خواهد بود. به‌عبارتی برای هر مسیر از مبدأ تا مقصد مشخص داریم:

$$\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{t} x_{ij} \le \Psi \qquad \forall j \qquad (۱۰)$$

مجموع هزینه‌های یک مسیر از یک عدد مشخص σ کوچکتر باشد. با این فرض داریم:

$$\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{t} c_{ij} x_{ij} l_{ij} \le \sigma \qquad \forall i,j \qquad (۱۱)$$

تعداد کمان‌هایی از مسیر که هر سه شاخص آنها برابر صفر باشد، کمتر از ۲ کمان در طول یک مسیر منتخب شود. این محدودیت به آن معنی است که اگر کمان‌هایی وجود داشته باشند که اصلاً مناسب استفاده برای دوچرخه‌سواری نیستند با اصلاح و تغییرات در شرایط و مشخصات فیزیکی و ترافیکی آنها، می‌توان مسیر جابه‌جایی را در حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. بدین منظور اگر شاخص‌های BCI ، $BLOS$ و RSI هر کمان را به ترتیب با پارامترهای α ، β و γ مشخص کنیم، خواهیم داشت:

$$\sum_{j=1}^{t} x_{ij} \le 2 \qquad \forall j \in (\alpha=0, \beta=0, \gamma=0) \qquad (۱۲)$$

که در آن:

C_{ij} = هزینه جابه‌جایی از مبدأ تا مقصد به ازای یک مسیر متشکل از کمان‌های j با هزینه واحد i ؛

c_{ij} = هزینه واحد i کمان j ؛

x_{ij} = (۱ = اگر کمان شماره j برای تسهیلات نوع i ساخته شود، صفر= در غیر این‌صورت)؛

l_j = طول کمان j ؛

BCI_j = شاخص سازگاری دوچرخه‌سواری کمان j ؛

$BLOS_j$ = سطح سرویس دوچرخه‌سواری کمان j ؛

RSI_j = شاخص قطعه راه کمان j ؛

IEI_m = شاخص ارزشیابی تقاطع گره m ؛

Ψ = حداکثر ممکن تعداد کمان انتخابی برای یک مسیر؛

σ = حداکثر هزینه تخصیص یافته برای یک مسیر، و

α ، β و γ = شاخص BCI_j ، $BLOS_j$ و RSI_j هر کمان.

مدل ارایه شده یک مدل برنامه‌ریزی خطی، عدد صحیح صفر و یک است. برای اجرای الگو از برنامه‌نویسی در زبان VB، C++ و ... استفاده می‌شود، ولی می‌توان از نرم‌افزارهایی که بر پایه لایه‌های اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) هستند، استفاده کرد. نرم‌افزارهای ArcGIS، ArcView، TransCAD، CSDPMAP و ... از این قرارند. برای حل مدل ریاضی نیز می‌توان از نرم‌افزار LINGO و یا توأمان از نرم‌افزار TransCAD استفاده کرد.

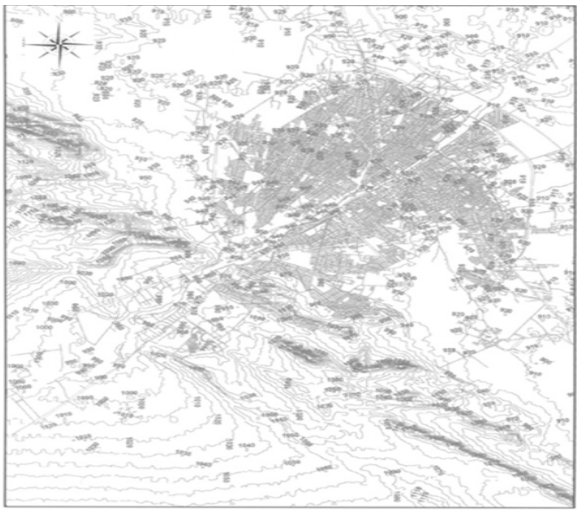
۹- مطالعه موردی شهر قم

در این بخش، یکی از شهرهای کشور ایران مورد مطالعه موردی قرار گرفته است. از آنجا که شهرستان قم، هم یک شهر زیارتی با جمعیت و سفرهای درون‌شهری بالا در حد کلان‌شهر است و هم یک نمونه مناسب در مقیاس تاحدودی پایین‌تر از یک کلان‌شهر، بنابراین به نظر می‌رسد مناسب مطالعه موردی باشد. بنابراین الگو و مدل ارایه شده در این مقاله برای شهر قم و داده‌های در دسترس و موجود، حل شده و نتایج آن مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. براساس تجربیات سایر کشورها، عمده سفرهای انجام گرفته با شیوه دوچرخه‌رانی، توسط افراد در گروه سنی ۱۵ تا ۵۰ سال انجام می‌گیرد. سفرهای افراد زیر ۱۵ سال، بیشتر با هدف تفریحی انجام می‌گیرد. در شهرهایی که علاوه بر دوچرخه معمولی استفاده از دوچرخه برقی نیز رایج بوده، برای افراد بالای ۵۰ سال معمولاً استفاده از دوچرخه برقی، مطلوب‌تر است. بالغ بر ۵۰ درصد از جمعیت شهر قم در سنین مناسب دوچرخه‌سواری ۱۵ تا ۵۰ سال قرار دارند. از دیگر عوامل تأثیرگذار بر سیستم دوچرخه‌سواری، شرایط جوی و ویژگی‌های اقلیمی ناحیه می‌باشد. جریانات مرطوب و بارانزا در این شهر در حد مطلوب برای دوچرخه‌سواری است. نقشه خطوط هم‌تراز شهر قم در شکل (۲) نشان داده شده است. خطوط به‌هم پیوسته، خطوط هم‌تراز و بیانگر نقاطی است که از لحاظ ارتفاعی در ارقام یکسان قرار دارند. در اکثر نقاط داخل مسیر کمربندی شهر قم، تغییرات ارقام ارتفاعی نقاط، نسبت به تغییرات فاصله آنها کمتر از یک درصد می‌باشد، بنابراین شیب عمومی زمین غیرقابل توجه است. با توجه به تعریف منطقه دشت که محدوده زمینی است که

www.SID.ir

Archive of SID

شیب عمومی منطقه در آن، کمتر از ۳ درصد است، شهر قم در یک منطقه دشت واقع شده و معیار شیب طولی در این منطقه برای تمامی کمان‌ها جواب‌گو خواهد بود. بنابراین در الگوی ارایه شده، شیب طولی که باید از جدول ۱ کنترل شود، برای تمام کمان‌های شهر قم دارای جواب یکسان و امکان‌پذیر است. تعداد سفرهای زیر ٤ کیلومتر در شهر قم به تفکیک اهداف سفر، در ساعت اوج صبح در جدول ۲ ارایه شده است. برای محاسبه تقاضای دوچرخه‌سواری از این مقادیر استفاده خواهد شد. هزینه اجرای مسیرهای دوچرخه، طبق جدول ۳ برآورد شده است.



شکل ۲. نقشه توپوگرافی شهر قم

برای حل الگو و مدل ریاضی ارایه شده در این مقاله از نرم‌افزار TransCAD استفاده شده است. با توجه به اینکه بهترین راه حل برای ورود اطلاعات و پردازش آن برای مسیریابی استفاده از نرم‌افزارهایی بر پایه GIS است، در نتیجه این نرم‌افزار انتخاب شد. نرم‌افزار TransCAD توسط شرکت آمریکایی Caliper ارایه شده و شاخصه‌اش GIS-based بودن و نیز سهولت کار با آن است. این نرم‌افزار عملیات ذخیره‌سازی، نمایش، مدیریت و تحلیل داده‌های حمل و نقل را در هر mode و با هر مقیاس و سطح جزئیات، روی یک شبکه و مبتنی بر GIS انجام می‌دهد و با در اختیار داشتن مدل‌های مختلف برآورد تقاضا، حمل و نقل همگانی، لجستیک و ...، محیطی مناسب برای بانک اطلاعات پویای حمل و نقل فراهم می‌کند.

شکل (۳) گره‌ها و کمان‌های محدوده مورد مطالعه موردی را نمایش می‌دهد. هر یک از معابر شهری یکی از المان‌های معابر حمل و نقلی را تشکیل می‌دهد که به ترتیب جدول ٤ کد گذاری شده است.

۱۰- محاسبه شاخص‌های اندازه‌گیری امکان‌پذیری

الگوی ارایه شده در این مقاله بر مبنای چهار شاخص BCI، BLOS، RSI و IEI امکان ایجاد مسیرهای دوچرخه‌سواری را اندازه‌گیری و بیان می‌کند. با توجه به اطلاعات موجود و در دسترس محدوده طراحی و نیز پارامترهای مورد نیاز هر یک از شاخص‌های نام برده، در این مطالعه موردی، تنها شاخص‌های BCI و BLOS محاسبه شده و مدل ارایه شده در الگوی طراحی، براساس این شاخص‌ها محاسبه و مسیریابی شده است. در صورت تکمیل اطلاعات مورد نیاز برای سایر شاخص‌ها، الگوی ارایه شده دارای این قابلیت هست که مقادیر آن شاخص‌ها را نیز در مسیریابی شبکه دوچرخه‌سواری دخیل نماید. این شاخص‌ها برای محدوده طراحی، محاسبه و در شکل‌های ٤ و ٥ نشان داده شده است.

۱۱- تحلیل خطوط تمایل (تقاضا)

یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی و تعیین مسیرهای حمل و نقل دوچرخه‌سواری به روش الگوی ارایه شده در این مقاله، تحلیل و تجزیه دقیق و مهندسی خطوط تمایل است. چرا که اساس این الگو بر پایه خطوط تمایل بوده و حساسیت بیشتری نسبت به تقاضا دارد. در الگوی ارایه شده، خطوط تمایل نقش عمده‌ای دارند. علاوه بر نقش تقاضای دوچرخه‌سواری، عبور یا عدم عبور از مراکز و موقعیت‌های مورد نظر توسط خطوط تمایل مشخص می‌شود. در این روش خطوط تمایل، بر نقشه موانع و جاذبه‌های سفر منطبق می‌شود. در صورتی که مناطق مانع در مسیر و کریدور مورد نظر، موجود باشد با حذف خط تمایل در آن قسمت، اقدام به حذف مسیرهای احتمالی گذرنده از آن نقاط و همچنین در صورت عدم انطباق خطوط تمایل با مراکز جذاب و جالب، نسبت به تعریف و تعیین خطوط تمایل مجازی اقدام خواهد شد. پایه و اساس الگو و مدل ارایه شده، نقاط ابتدا و انتهای خطوط تمایل و یا مبدأ- مقصد است که توسط خطوط تمایل تعریف می‌شود. برای محدوده مورد مطالعه (شهر قم) خطوط تمایل برای سفرهای زیر ٤ کیلومتر که بیش از ۱۵۰ سفر در ساعت اوج صبح انجام می‌شود، تهیه و در شکل ٦ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. تعداد سفرهای زیر ٤ کیلومتر در شهر قم به تفکیک اهداف سفر در ساعت اوج صبح

سال		هدف سفر	تعداد کل سفرها	تعداد سفرهای زیر ٤ کیلومتر	درصد سفرهای زیر ٤ کیلومتر
۱۳۸۲	سفرهای خانه ابتدا	کار	٦۲۱۸۳	٤٤۷۱۰	۷۲
		تحصیل	٤۲٦۳۳	۳۳۷۸۹	۷۹
		خرید و کار شخصی	۸۷۷۹	٦٦۷۹	۷٦
		تفریح و بازدید	٤۰۵۷	۳۲۱۱	۷۹
		زیارت	۲۸۹۹	۱۹۹۵	٦۹
	هیچ سرخانه		۳٦۸۵	۲۸۱۰	۷٦
	جمع کل		۱۲٤۲۳٦	۹۳۱۹٤	۷۵
۱۳۸۲	سفرهای خانه ابتدا	کار	۷۳۲۸۱	٤۹٦٤۰	٦۸
		تحصیل	۵۵۲۱۵	٤۱۰٦۷	۷٤
		خرید و کار شخصی	۱۱۵۹۸	۷۹۰۱	٦۸
		تفریح و بازدید	٤۹۷۳	۳۵۲۱	۷۱
		زیارت	۳۳٤۳	۲۱۵۵	٦٤
	هیچ سرخانه		٤۲۱۰	۳۰۹۸	۷٤
	جمع کل		۱۵۲٦۲۰	۱۰۷۳۸۲	۷۰

جدول۳. هزینه‌های مربوط به ساخت انواع مختلف تسهیلات دوچرخه‌سواری در سال ۱۳۸۵

ردیف	تسهیلات دوچرخه	هزینه‌های برآورد شده در هر کیلومتر به میلیون ریال	نوع معبر
۱	دوچرخه راه	۳۹/۲۵۰	شریانی درجه ۲
۲	خط دوچرخه	٤۳/۰۰۰	شریانی درجه ۱
۳	سواره‌رو مشترک	۱۲/۰۰۰	جمع کننده
٤	استفاده مشترک	۷/۲۵۰	محلی و دسترسی

جدول ٤. کد نوع کمان (نوع معبر)

ردیف	مشخصات کمان	کد کمان	ردیف	مشخصات کمان	کد کمان
۱	دسترسی	۱	۹	جاده اصلی ٤ خطه	۱۳
۲	جمع کننده	۲	۱۰	تندراه برون‌شهری	۱٤
۳	شریانی درجه ۲	۳	۱۱	آزادراه برون‌شهری	۱۵
٤	شریانی درجه ۱	٤	۱۲	رمپ	۷
۵	تندراه شهری	۵	۱۳	خیابان خاکی	۱۰
٦	آزادراه	٦	۱٤	ریل	۸۸
۷	جاده فرعی	۱۱	۱۵	پیاده	۹۸
۸	جاده اصلی ۲ خطه	۱۲	۱٦	اتصال به مرکز ناحیه	۹۹

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲- انطباق خطوط تمایل منتخب بر نقشه امکان‌پذیری

پس از اینکه شاخص‌های مورد نیاز مدل شامل BCI و BLOS برای یکایک کمان‌های کاندید در شبکه محاسبه شد، نتیجه حاصل از آن روی پلان محدوده طراحی، نمایش داده می‌شود. سپس خطوط تمایل منتخب برای مسیریابی، در لایه‌ای جداگانه روی آن منطبق می‌گردد. در شکل ۷ انطباق خطوط تمایل منتخب روی نقشه امکان‌پذیری BCI نشان داده شده است.

۱۳- تعیین مسیرهای شبکه برای هر مبدأ- مقصد

مدل ارایه شده برای هر مبدأ- مقصد یک بار اجرا شده و مجموعه جواب‌های آن برابر جواب شبکه حمل و نقل دوچرخه‌سواری خواهد بود. روش کار به این صورت است که با توجه به خطوط تمایل منتخب، به ازای هر خط تقاضا که دارای یک مبدأ- مقصد است، نقاط شروع (مبدأ) و پایان (مقصد) هر مسیر، برای اجرای مدل ریاضی تعیین و به نرم‌افزار معرفی می‌شود. در شکل ۸، برای نمونه دو نقطه ۱ و ۲ که بیانگر یک مبدأ و مقصد مسیر است، نشان داده شده است. این نقاط همان نقاط دو سر پاره خط تقاضای موجود بین این نقاط است.

رابطه $C_{ij} = c_{ij} x_{ij} l_j \left(\frac{1}{1+BCI_j} + \frac{1}{1+BLOS_j} \right) + c_{jm} x_{ij}$ برای یکایک کمان‌ها در ستون مجزا محاسبه و در اطلاعات پایه نرم‌افزار وارد می‌شود. هدف کمینه‌کردن مجموعه هزینه این کمان‌هایی است که در یک مسیر ۱ تا ۲ انتخاب شده و مقدار متغیر تصمیم آنها برابر $\sum_{i=1}^{4} x_{ij} = 1$ است.

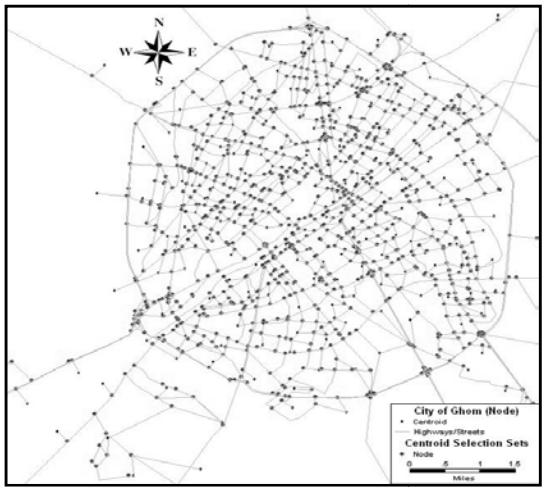
با اجرای این مدل در سیستم، کوتاه‌ترین مسیر (Shortest path) توسط نرم‌افزار، مسیر مناسب دوچرخه‌سواری حد فاصل نقاط مبدأ و مقصد به‌دست می‌آید. این مسیر برای نقاط ۱ و ۲ تعیین شده در شکل ۸ محاسبه و در شکل ۹ نشان داده شده است.

۱٤- تشکیل مسیرهای شبکه دوچرخه‌سواری از نتایج اجرای مدل

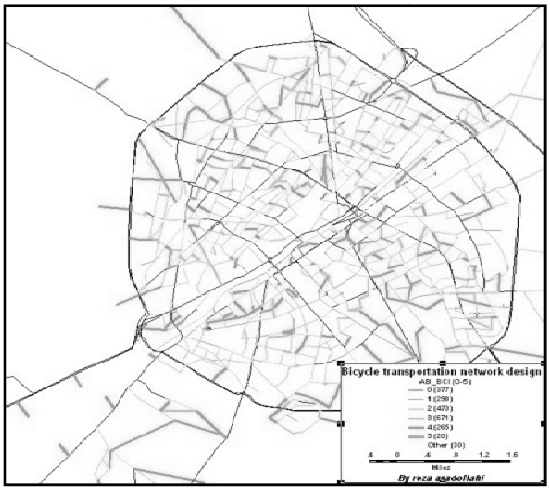
مراحل بخش قبل برای یکایک خطوط تمایل منتخب در شبکه توسط مدل ارایه شده، اجرا می‌شود. برای اجرای همزمان این مدل، از تکنیک ماکرونویسی در نرم‌افزار استفاده شده است.

در مجموع ۱۲ نقطه برای خطوط تمایل در این مطالعه موردی انتخاب شد که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

این نقاط، ابتدا و انتهای خطوط تمایل و نقاط مشخص شده برای اجرای مدل است. برای این نقاط و خطوط تمایل منتخب، مجموعه مسیرهای به‌دست آمده از کمینه کردن مدل توسط نرم‌افزار تهیه و در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مسیرهای شبکه برای هر دو جهت رفت و برگشت طراحی و ارایه شده است. به‌عبارتی خطوط تمایل در دو جهت رفت و برگشت در نظر گرفته شده است. با توجه به نزدیک بودن مقادیر ماتریس تقاضا بین نقاط مبدأ- مقصد در ابتدا و انتهای خطوط تمایل، این عمل انجام شد. می‌توان مسیرهای رفت و برگشت را به‌صورت مجزا هم در مدل اجرا کرد و ارایه داد.



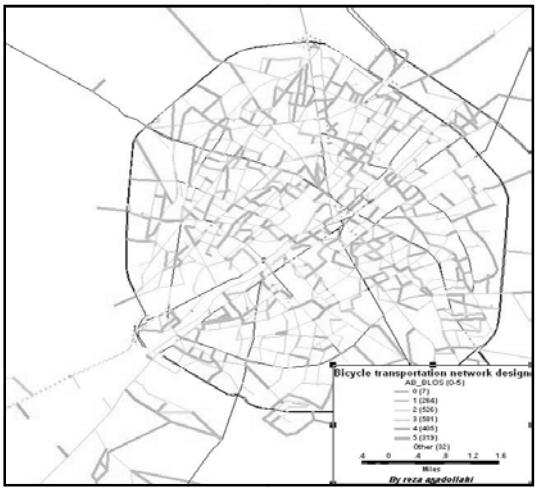
شکل ۳. گره‌ها و کمان‌های شبکه معابر شهر قم



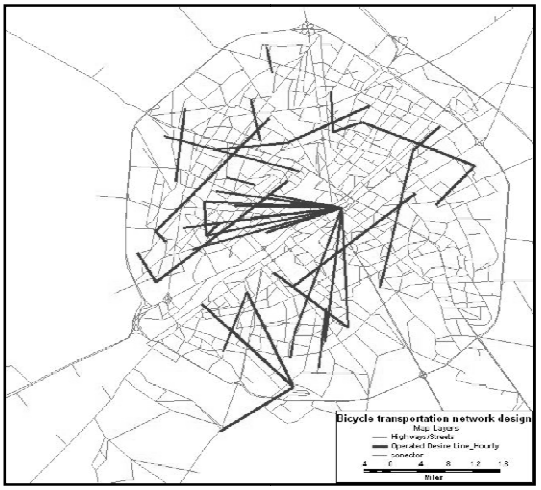
شکل ٤. نمره کمان‌های کاندید براساس شاخص BCI

www.SID.ir

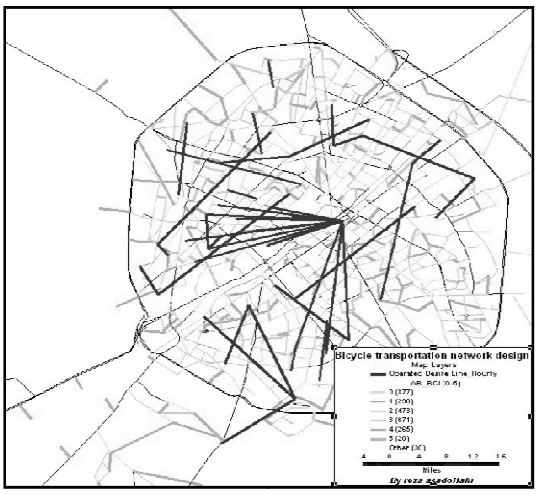
Archive of SID



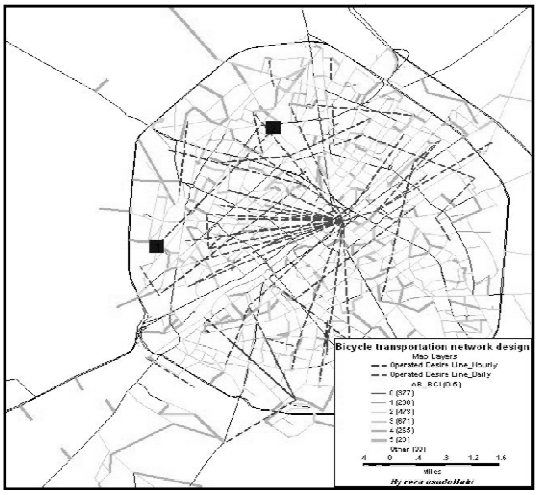
شکل ۵. نمره کمان‌های کاندید براساس شاخص BLOS



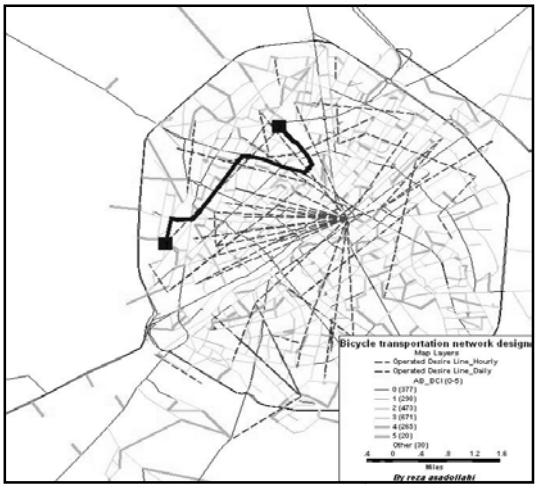
شکل ٦. خطوط تمایل سفرهای زیر ٤ کیلومتر با بیش از ۱۵۰ سفر در ساعت اوج صبح در شهر قم



شکل ۷. انطباق خطوط تمایل بر نقشه امکان‌پذیری شاخص BCI



شکل ۸ . تعیین نقاط مبدأ- مقصد برای اجرای مدل ریاضی



شکل ۹. اجرای مدل ریاضی برای نقاط مبدأ- مقصد تعیین شده

۱۵- تحلیل نتایج

همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده شد، به نظر می‌رسد مسیرهای انتخاب شده توسط مدل، بسیار تحت تأثیر شرایط ترافیکی موجود شهر باشد.

برای مقایسه مسیرهای انتخاب شده با اعمال نکردن شرایط مربوط به مسیرهای دوچرخه‌سواری، شکل ۱۲ کوتاه‌ترین مسیر بین نقاط کاندید را براساس طول، نمایش می‌دهد. با مقایسه شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان گفت که هرچند کلیات جابه‌جایی بین نقاط هم‌خوانی دارد ولی با اعمال شرایط حاکم بر مسیرهای دوچرخه‌سواری به معابر شهری، شرایط جابه‌جایی کاملاً متفاوت خواهد بود. این امر اجتناب‌ناپذیر و قابل قبول است؛ چرا که هدف همین بوده است تا مسیرهای انتخاب شده نه تنها کوتاه بوده بلکه شرایط مسیر دوچرخه‌سواری را داشته باشد.

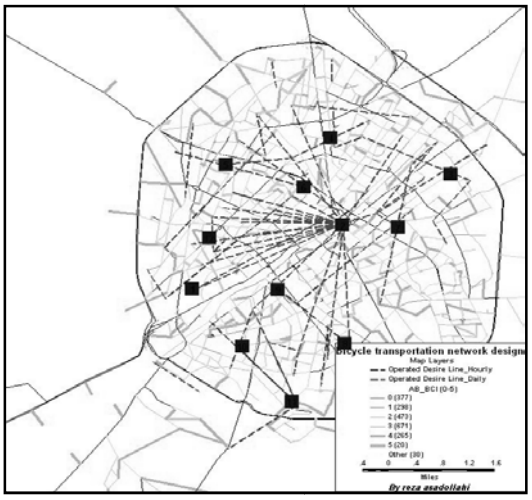
www.SID.ir

Archive of SID

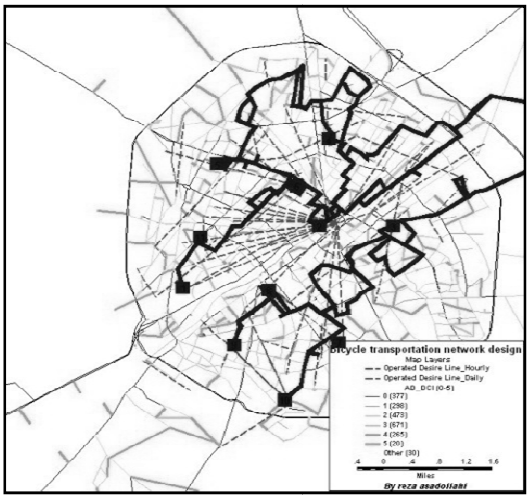
۱۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله شاخص‌های سازگاری دوچرخه، سطح سرویس دوچرخه، شاخص قطعه راه و ارزشیابی تقاطع، مبنای تصمیم‌گیری در مورد میزان مناسبت کمان‌ها برای دوچرخه‌سواری منظور شده‌اند که براساس آنها کاندید حضور در شبکه مسیرهای دوچرخه می‌شوند. معیارهایی که در این شاخص‌ها تأثیرگذارند، متفاوت‌اند، بنابراین استفاده همزمان از این شاخص‌ها موجب دید جامع‌تری می‌شود. طراحی مسیرهای دوچرخه همچنین، متأثر از معیارهایی همچون تقاضا، کاربری محیط اطراف، نوع معابر شهری و مشخصات هندسی و ترافیکی این معابر است. شیب طولی، اصلی‌ترین معیار است، ولی اثر آن در هیچ یک از شاخص‌ها دیده نشده است. فرض شاخص‌ها این است که هر معبر (کمان) حتماً از نظر شیب طولی جواب‌گو است، در صورتی که می‌توان اثر نسبی آن را در شاخص‌ها اعمال کرد.

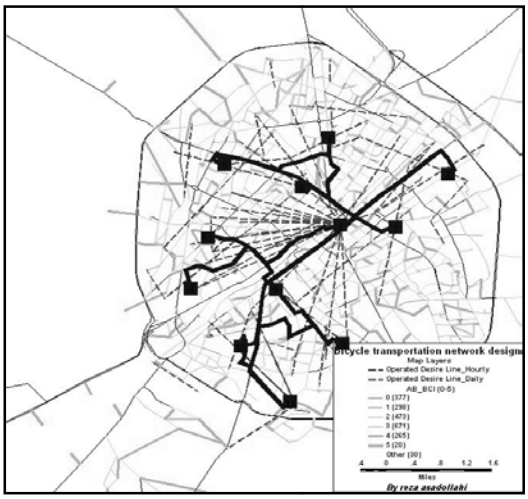
نوع کاربری مجاور معابر و موقعیت مکانی مراکز تفریحی، فروشگاهی و ... تأثیر بسزایی در مسیریابی جریان شبکه دارد؛ همچنین الگوی ارایه شده از مراکز با پتانسیل خطرات بالا و ایمنی پایین، دوری می‌جوید. مدل ارایه شده در الگو بر پایه الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر با هدف کاهش هزینه می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی این مدل این است که مدل ارایه شده، دارای قابلیت ارتقا به شاخص‌های اضافی و نیز هزینه‌های جدید بوده و برای هر شهری قابل اجرا است. مسیرهای انتخاب شده به‌وسیله این الگو برای حمل و نقل دوچرخه، هرچند از نظر طول مشابه مسیر کوتاه می‌باشد ولی تحت تأثیر عمده مقدار عددی شاخص‌های تعریف شده است. این عوامل عموماً باعث می‌شوند تا مسیر طولانی‌تری نسبت به مسیر کوتاه، از نظر طول، از مبدأ به مقصد پیموده شود. در تجمیع مسیرهای محاسبه شده برای هر خط تقاضا و ارایه مجموعه آن به‌عنوان مسیرهای منتخب شبکه حمل و نقل دوچرخه‌سواری، امکان وجود کمان‌های مشترک در بین مسیرها وجود دارد که در شبکه نهایی هر کمان فقط یک‌بار انتخاب می‌شود. تعیین مسیرهای شبکه دوچرخه‌سواری برای یک شهر، به پارامترهای هندسی معابر، سرعت و حجم ترافیکی آن معبر، حجم تقاضا و سایر پارامترهای شهرسازی بستگی دارد و تقاضا، نقش اصلی در تعیین و طراحی این مسیرهاست.



شکل ۱۰. نقاط کاندید جهت شبکه حمل و نقل دوچرخه‌سواری براساس خطوط تمایل



شکل۱۱. شبکه حمل و نقل دوچرخه‌سواری در محدوده طراحی



شکل ۱۲. کوتاه‌ترین مسیر ترافیکی از لحاظ طول بین نقاط کاندید

www.SID.ir

Archive of SID

برای شهرهایی که وضعیت توپوگرافی مطلوب و طول مسیرهای شیب‌دار محدود به مقادیر آیین‌نامه است، طراحی شبکه دوچرخه‌سواری با توجه به مزایای آن، روش مناسب حمل و نقل عمومی است. در محدوده‌هایی که شیب طولی زیاد است، می‌توان با انحراف یا افزایش طول مسیر، استفاده از دوچرخه برقی، استفاده از ترکیب ناوگان حمل و نقل و غیره از شبکه دوچرخه‌سواری استفاده کرد. همچنین استفاده از ریل‌های بالابرنده در کناره مسیر سربالایی خیابان‌ها که در کشورهای پیشرفته استفاده شده است، می‌تواند از انتخاب نکردن مسیر مناسب به‌علت شیب نامناسب طولی، جلوگیری کند.

پیشنهاد می‌شود نقش دوچرخه‌های برقی و ریل‌های بالابرنده دوچرخه سوار در الگوی ارایه شده، دیده شود. بر این اساس شیب طولی که یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین مسیرهای دوچرخه‌سواری است، اثر کمتر و یا قابل مرتفع شدن در تعیین مسیرها خواهد داشت. همچنین می‌توان نقش مدیریت هزینه و زمان را با دقت و اهمیت بیشتر در انتخاب مسیرهای دوچرخه‌سواری دید.

۱۷- پی‌نوشت‌ها

1. Bicycle Compatibility Index (BCI)
2. Bicycle Level Of Service (BLOS)
3. Road Safety Index (RSI)
4. Intersection Evaluation Index (IEI)

۱۸- مراجع

- اسدالهی، ر، صفارزاده، م و ممدوحی، ا، ر، (۱۳۸۹) "مطالعه و بررسی تطبیقی شاخص‌های سنجش راه‌ها برای امکان دوچرخه‌سواری"، فصلنامه مدیریت ترافیک، شماره ٦، تابستان ۱۳۸۹، ص ۱-۱۰.
- شیخ‌الاسلامی، ع، (۱۳۷٤) "مطالعات طرح ایجاد شبکه دوچرخه‌سواری به‌عنوان یک روش حمل و نقل شهری"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
- کنف لاخر، ه، (۱۳۸۱) "اصول برنامه‌ریزی (طراحی) تردد پیاده و دوچرخه"، انتشارات دانشگاه تهران، ترجمه دکتر فریدون قریب.
- مهندسین مشاور گذرراه (۱۳۸٤) "تسهیلات دوچرخه‌سواری، مبانی و معیارهای فنی برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری"، معاونت آموزش سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران.
- AASHTO (2006) "Federal highway administration, university course on bicycle and, pedestrian transportation", Publication No. FHWA-HRT-05-133.
- AASHTO (2006) "The bicycle compatibility index: A level of service concept", Implementation Manual. FHWA-RD-98-095.
- AASHTO (2010) "Guide for the development of bicycle facilities", American Association of Highway and Transportation Officials.
- CHEN Xiaoming , SHAO Chunfu , YUE Hao (2007) "Influence of bicycle traffic on capacity of typical, signalized intersection". TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY ISSN 1007-0214 10/14 pp. 198-203 Vol. 12, No. 2, April 2007.
- ALTA (2007) "Riverside bicycle master plan", Department of Transportation in Riverside, Adopted May 22, 2007.
- Fang Zhao (2006) "Large-scale transit network optimization by minimizing user cost and transfers", Florida International University.
- Huber, T. (2003) "Wisconsin bicycle planning guidance, guidelines for metropolitan planning organizations & communities in planning & developing bicycle facilities", Wisconsin Department of Transportation.
- Metro (2007) "A profile of the regional bicycle system in the portland metropolitan region", 2035 Regional Transportation Plan Update, February 14, 2007. Website: www.metro-region.org.
- Minnesota State Department of Transportation (2007) "Mn/DOT Bikeway Facility Design Manual", Transit Office.
- Rybarczyk, G. and Milwaukee (2006) "Bicycle Facility Planning Using GIS and Multi-Criteria Decision Analysis", Department of Geography, University of Wisconsin.
- Shawn M. Turner, P.E., C. Scott Shafer, William P. Stewart, (1997), "Bicycle suitability criteria: literature review, and state of the practice survey", Research Report 3988-1, Texas Department of Transportation.

www.SID.ir

Archive of SID

Introducing a Model for Bicycle Route Network Design (Case Study of Qom City)

R. Asadollahi, M.Sc. Grad., Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

M. Saffarzadeh, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

A. R. Mamdoohi, Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail:rezaasadollahi@yahoo.com

ABSTRACT

Bicycles, as a non-motorised transportation mode, have been widely used in developed countries. Riding a bicycle not only yields benefits to the rider, but also to society as a whole due to reduced fossil fuel consumption and pollution levels. Several factors have hindered the wide-spread use of bicycles as a mode of transport in developing countries, the most important one being the lack of infrastructure. In this research, a model is proposed to assign bicycle routes based on feasibility criteria, including BCI, BLOS, RSI, and IEI. The proposed model is implemented to assign the bicycle routes in a city that has the information required by the model. The objective function of the model is defined as the minimization of the total cost of implementation, including capital costs, costs from travel time, safety considerations and environmental costs. The model is evaluated based on the actual data collected from the city of Qom, and the results show that the proposed model is sensitive to the geometry and traffic specification of roads.

Keywords: Path Selection Pattern, Bicycle Transportation Network, Bicycle Route

www.SID.ir