نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره چهارم، شماره ۱، مرداد ماه ۱۳۹۳

بررسی نقش ساختار مکانی شبکه‌های حمل و نقل شهری بر نحوه عملکرد معابر

عباس شیخ‌محمدزاده*[۱]، محمد علی رجبی[۲]

[۱] استادیار گروه نقشه برداری - دانشکده عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
sh.m.zadeh@gmail.com

[۲] استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران
marajabi@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۲، تاریخ تصویب فروردین ۱۳۹۳)

Archive of SID

چکیده

تردد و مسافرتهای درون شهری افراد از طریق کانالهایی بنام خیابانها صورت می‌پذیرد بطوریکه هر یک از این کانالها به نوبه خود دارای ارتباطات مکانی با سایر کانالهای مجاور بوده و در مجموع یک چیدمان مکانی را تشکیل می‌دهند. نوع و وضعیت این ارتباطات مکانی، ساختار مکانی شبکه مزبور نامیده می‌شود. بر اساس این دیدگاه، ساختار مکانی یک شبکه را می‌توان قیدی مکانی برای حرکت و مسیریابی افراد در شبکه در نظر گرفت که می‌تواند بر نحوه شکل‌گیری الگوی حرکتی آنها تأثیرگذار باشد. در تحقیق حاضر سعی شده است تا کیفیت و چگونگی تأثیرگذاری ساختار مکانی شبکه بر نحوه عملکرد معابر شهری مورد ارزیابی قرار گیرد. برای انجام اینکار معیاری تحت عنوان فرکانس کوتاهترین مسیر (SPF) جهت ارزیابی اهمیت ساختاری معابر شبکه مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن با عملکرد هر معبر در دنیای واقعی (شامل آزادراه، بزرگراه، خیابان اصلی و ...) مقایسه شده است. آزمون آماری انجام شده برای مقایسه، نشان می‌دهد که بین خصوصیات ساختاری هر معبر و نحوه عملکرد آن در توزیع و انتقال ترافیک یک رابطه معنادار با سطح اطمینان ۹۹٪ وجود دارد. بطوریکه معابری که از نظر ساختاری با اهمیت می باشند در محیط شهری نیز جزو معابر شریانی بوده و مشارکت بالایی در توزیع و انتقال ترافیک دارند. تبیین ارتباط بین ساختار مکانی و الگوی شکل‌گیری ترافیک می‌تواند از دیدگاه طراحی شهری و توسعه شبکه‌های حمل و نقل شهری بسیار حائز اهمیت باشد. بدین معنا که می‌توان در خصوص معابر مهم ساختاری پیش بینی‌های لازم در زمینه ویژگیهای فیزیکی لازم و یا طراحی کاربری خاص اراضی بمنظور مدیریت حجم بالای ترافیک مورد انتظار در این قبیل از معابر را پیش از اجرا و پیاده سازی صورت داد.

واژگان کلیدی : ساختار مکانی شبکه‌های حمل و نقل شهری، مدلهای توپولوژیکی شبکه، گراف، شکل‌گیری الگوی ترافیک

* نویسنده رابط

www.SID.ir

۱- مقدمه

هر محیط شهری فارغ از تاریخچه، فرهنگ و جغرافیا مجموعه‌ای است از ساختمانها، تأسیسات، زیرساختها و معابر که بستر فعالیتهای اقتصادی و اجتماعی ساکنین آن می‌باشد. در چنین سیستمی عملکرد و وظیفه هر یک از اجزای محیط شهری در تعامل با سایر اجزا، شکل گرفته و بسته به ظرفیت و قابلیتهای آن در سطح مشخصی از کارآیی به اجرا در می‌آید.

انسان بعنوان تنها عضو هوشمند این مجموعه تعیین کننده بخش عمده‌ای از وظایف و عملکردهای سایر اجزا در این سیستم می‌باشد. اما نکته ظریف در اینجاست که این تأثیرگذاری یک سویه نبوده و انسان نیز در برخی از فعالیتهای خود متأثر از شرایط حاکم بر محیط شهری است [۱].

طبق مطالعات صورت پذیرفته، از جمله ویژگیها و خصوصیات یک محیط شهری که نقش به سزایی در شکل‌گیری فعالیتهای اجتماعی افراد ایفا می‌کند، چیدمان و پیکربندی مکانی[۱] اجزاء و یا بعبارت دیگر ساختار مکانی[۲] آن محیط شهری است [۲]. در اینجا منظور از چیدمان و ترکیب مکانی، چگونگی آرایش اجزا در فضای شهری نسبت به یکدیگر می‌باشد. این پیچیدگیهای توپولوژیکی و هندسی شبکه خیابانهای شهری می‌تواند در راهیابی افراد در این شبکه‌ها مؤثر بوده و عاملی تأثیرگذار در جریانات شهری باشند [۳]. بعبارت دیگر، موقعیت خاص مکانی برخی از خیابانها در شبکه حمل و نقل شهری و نیز وضعیت ارتباطات آنها با سایر خیابانها (یا ویژگی ساختاری آنها) باعث می‌گردد تا مسافرین شهری بمنظور دسترسی به مقاصد خود بطور طبیعی بیشتر این خیابانها را بعنوان مسیر تردد انتخاب نمایند. همین اقبال عمومی که نتیجه ویژگیهای خاص ساختاری خیابان(های) مورد بحث می‌باشد، خود باعث می‌گردد تا در طول زمان، وضعیت تردد در آن خیابان(ها) شکل ویژه‌ای بخود بگیرد [۴]. بطور خلاصه، ساختار و پیکربندی مکانی یک محیط شهری، با تأثیر بر نحوه تردد افراد و در نتیجه شکل‌دهی به مسافرتهای درون شهری - بعنوان نمود فعالیتهای اجتماعی و اقتصادی- خود می‌تواند نقش مؤثری در شکل‌گیری عملکرد سایر اجزا داشته باشد [۴].

بطور کلی در غالب محیط‌های شهری هر مسافر شهری با هدف انجام یک فعالیت[۳] مشخص، از یک مبدأ معلوم، مقصدی را انتخاب و با تعیین مسیر بهینه (از دیدگاه خود) بسمت آن حرکت می‌نماید. برآیند کلیه تصمیمات این مسافرین، تشکیل دهنده الگوی ترافیک درون شهری می باشد. اما آنچه که در این میان در یک محیط شهری بصورت شهودی قابل درک می‌باشد این است که تردد و مسافرتهای درون شهری افراد از طریق کانالهایی بنام خیابانها صورت می‌پذیرد؛ بطوریکه هر یک از این کانالها در موقعیت مکانی خود دارای ارتباطات مشخصی با سایر کانالهای مجاور می باشند؛ این ارتباطات در مجموع، تشکیل دهنده ساختار مکانی شبکه مزبور می باشند. نتیجه اینکه، اصولاً تردد افراد در یک محیط شهری یک حرکت شبکه- مقیّد[۴] (و نه کاملاً آزاد) می‌باشد [۵]؛ بدین معنا که افراد برای رسیدن از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر، مقیّد به انتخاب از میان گزینه‌های (خیابانهای) موجود در شبکه می‌باشند و کسی نمی‌تواند خارج از قیود مکانی (و ترافیکی) موجود در شبکه، مسیر دیگری (مثلاً حرکت در راستای خط راست) را انتخاب نماید. لذا چندان دور از ذهن نیست که ترکیب مکانی و نوع پیکربندی اجزای این شبکه بتواند در رفتار حرکتی مسافرین تأثیرگذار باشد.

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تأثیر خصوصیات ساختار مکانی شبکه‌های حمل‌ونقل شهری در نحوه شکل‌گیری الگوی‌های ترافیکی می‌باشد. برای این منظور ارتباط بین دو پارامتر اهمیت ساختاری هر معبر و میزان مشارکت آن معبر در انتقال ترافیک مورد آزمون قرار خواهد گرفت تا مشخص شود که آیا رابطه معناداری بین موقعیت مکانی یک معبر و اهمیت آن معبر در توزیع و انتقال ترافیک شبکه وجود دارد.

تبیین وجود چنین ارتباطی از منظر مدیریت ترافیک شهری و نیز طراحی شهری می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد چرا که می‌توان هر گونه طرح توسعه و یا اصلاح شبکه حمل و نقل شهری را از منظر ساختار مکانی بگونه‌ای به اجرا درآورد تا با در نظر گرفتن ارتباطات

---

۱ Spatial configuration
۲ Spatial structure
۳ Activity
٤ Network-constrained

www.SID.ir
Archive of SID

مکانی بین معابر از بوجود آمدن گره های ترافیکی در شبکه جلوگیری نمود. ضمن اینکه می توان طراحی موقعیت کاربریهای مسکونی، تجاری، تفریحی و ... در محیط شهری را متناسب با وضعیت ساختار مکانی هر بخش از شبکه به انجام رساند؛ بطوریکه هر کاربری با توجه به ویژگی خود در بخشی از شبکه واقع گردد که بیشترین هماهنگی را با جریانات ترافیکی داشته باشد.

۲- ساختار مکانی در شبکه‌های شهری

بطور کلی مفهوم عمومی ساختار و پیکربندی در امور مختلف زندگی بشری امری بسیار بنیادی است؛ اما غالباً آدمی آن را بدون فکر کردن بکار می‌بندد. در نتیجه عموماً درک آن و یا بیان چیستی آن امری مشکل می‌باشد. بعنوان مثال در محاورات روزمره، علیرغم اینکه ما آگاهانه کلمات را بکار می‌بریم اما درباره ایجاد ساختار دستوری و یا معنایی آنها بگونه‌ای که منجر به یک جمله بامعنا شود ناآگاهانه عمل می‌کنیم یعنی اینکه جملات را عموماً بدون فکر کردن، درست ساختاردهی می‌نماییم [۱]. مشکلی که عموماً ما در درک جنبه‌های مختلف ساختار و پیکربندی پدیده‌ها داریم بیان کننده این حقیقت ساده است که ذهن آدمی با مفهوم ترکیب و پیکربندی بصورت ناآگاهانه برخورد می‌نماید. لذا می‌توان چنین عنوان کرد که پیکربندی یک امر غیر استدلالی[۱] است. یعنی اینکه ما فاقد عبارات و یا مفاهیمی هستیم که بتوان به کمک آنها میزان پیچیدگی ساختاری پدیده‌هایی دنیای واقعی را همانگونه که تجربه می‌کنیم بیان نماییم. در نتیجه می‌توان چنین عنوان کرد که هیچ‌گونه قالب و فرمی برای بیان مفهوم ترکیب و پیکربندی بصورت جامع وجود ندارد [۱].

پیکربندی از دیدگاه مکانی خصوصیتی ساختاری است که به نحوه آرایش و چیدمان مکانی اشیا در فضا اطلاق می‌گردد. موقعیت مکانی قرارگیری اشیا و فضاهای ایجاد شده بین آنها تشکیل یک ترکیب یا پیکربندی مکانی را می‌دهند. مفهوم پیکربندی در اینجا تنها به معنای بیان رابطه مکانی بین دو شیء نیست بلکه به معنای بیان تمامی روابطی است که ممکن است خود بخشی از دیگر روابط باشد [۱]. بدین معنا که خصوصیت پیکربندی مکانی یک مجموعه از اشیاء، از کلیه روابط مکانی موجود بین تمامی اشیاء در آن مجموعه استنباط می‌گردد؛ بعبارت دیگر در بیان خصوصیت پیکربندی مکانی، کل مجموعه در قالبی واحد از روابط مکانی بهم مرتبط در نظر گرفته می‌شود.

بر اساس تعریف کلی که از ساختار مکانی ارائه شد، ساختار مکانی در شبکه‌های حمل و نقل شهری را می‌توان نحوه آرایش و چیدمان مکانی اجزای این شبکه‌ها در نظر گرفت. یک شبکه حمل و نقل شهری متشکل از مجموعه‌ای از اجزا شامل معابر (بزرگراه، خیابان، کوچه، ...) و تقاطعها (میدان، چهارراه، ...) می‌باشد. از اینرو منظور از ساختار مکانی در این شبکه‌ها، نحوه آرایش و چیدمان مکانی معابر سواره رو و کلیه تقاطعها (همسطح و غیر همسطح) می‌باشد.

نتایج تحقیقات اخیر در علوم شناختی[۲] نشان می‌دهند این فرض که انتخاب مسیر بهینه توسط مسافرین شهری بر اساس فاصله متریک صورت می‌پذیرد چندان منطبق بر واقعیت نیست؛ البته این بدان دلیل نیست که مسافرین شهری به دنبال کوتاهترین مسیر هندسی نیستند، بلکه مسئله این است که درک و تصور مسافرین شهری از فاصله در یک شبکه، ترکیبی از خصوصیات توپولوژیکی، هندسی و بصری آن شبکه می‌باشد [۳]. بعبارت دیگر تصور افراد ازکوتاهترین مسیر هندسی در یک شبکه از خیابانها بیشتر نشأت گرفته از خصوصیات توپولوژیک شبکه است تا توانایی دقیق ذهنی آنها در محاسبه و یا اندازه‌گیری طولها در آن شبکه [۳].

در نتیجه چگونگی شکل‌گیری سفرهای درون شهری بیشتر از آنکه متأثر از خصوصیات متریک این شبکه‌ها باشد بر اساس خصوصیات توپولوژیکی و ساختاری آنها شکل می‌گیرد. لذا می‌توان چنین عنوان کرد که ترکیب، فرم و چیدمان مکانی خیابانها یا بعبارت دیگر خصوصیات توپولوژیکی شبکه حمل و نقل شهری عاملی تأثیرگذار در جریانات شهری می‌باشد. در نتیجه می‌توان چنین عنوان کرد که یک پیکربندی مکانی، عاملی است که فعالیتها و درک انسانی را در یک محیط شهری هدایت می‌کند [۶].

اما قضاوت شهودی در زمینه عامل اصلی هدایت جریانات ترافیکی درون شهری این است که غالباً این

۱ Non-discursive

۲ Cognitive science

Archive of SID

www.SID.ir

موقعیت خاص مکانی کاربریهای اراضی در بخشهای مختلف شبکه حمل و نقل شهری است که میزان حرکت افراد در این شبکه‌ها را تعیین می‌کند. توزیع مکانی مراکز تجاری، مسکونی، اداری، تفریحی، فروشگاهها و ... در مناطق مختلف باعث می‌گردد تا مسافرین شهری فراخور نیاز، به یک موقعیت مکانی خاص جذب گردند. در نتیجه چنین بنظر می‌رسد که این ایده با ادعای مطرح شده در زمینه تأثیرگذاری ساختار مکانی شبکه خیابانها بر میزان حرکت افراد در بخشهای مختلف شبکه در تناقض باشد [۷]؛ ولیکن، Hillier و همکاران [۸] نشان دادند که وجود جاذبه‌های کاربریهای اراضی در بخشهای مختلف شبکه، تنها باعث میگردند که رابطه بین ویژگیهای ساختاری و میزان حرکت در بخش های مختلف شبکه، از یک رابطه خطی به یک رابطه لگاریتمی تبدیل گردند. یعنی اینکه این جاذبه‌ها صرفاً بعنوان تشدید کننده[۱] بر روی الگوی اولیه میزان حرکت عمل می‌کنند [۸].

همچنین نتیجه تحقیق Jiang [۹] نشان می‌دهد که الگوی حرکتی در یک شبکه به نوع رفتار حرکتی مسافرین (هدفمند و یا تصادفی) مرتبط نبوده و بیشتر متأثر از ساختار مکانی آن شبکه می‌باشد؛ بدین صورت که الگوی حرکتی تولید شده توسط انسانها، بعنوان مسافرین هدفمند، با الگوی حرکتی تولید شده توسط میمونها، بعنوان مسافرین بی‌هدف، در یک شبکه مفروض تقریباً یکسان می‌باشند.

۳- مروری بر تحقیقات گذشته

در سالهای اخیر، مطالعات مختلفی در زمینه بررسی ساختار مکانی شبکه‌ها صورت پذیرفته‌اند؛ بطور کلی این تحقیقات را می‌توان از نظر محتوایی به بخشهای مختلف تقسیم‌بندی نمود. برخی از این تحقیقات صرفاً به تبیین اصول و مفاهیم مربوط به پیکربندی و ساختار مکانی پرداخته‌اند. دسته‌ای دیگر از تحقیقات که در آنها معیارهایی جهت ارزیابی خصوصیات ساختاری شبکه‌های مختلف ارائه شده است [۱۰, ۱۱].

همچنین شبیه‌سازی و مدلسازی ساختار مکانی در شبکه‌ها، موضوع دسته دیگری از تحقیقات می‌باشد؛ در این تحقیقات عموماً مدلی برای شبیه‌سازی ساختار مکانی یک شبکه (غالباً شبکه حمل و نقل) ارائه شده و بر اساس آن رفتار شبکه مورد نظر (مثلاً از نظر نحوه گسترش مکانی) شبیه‌سازی گردیده است [۱۲-۱۴].

دسته‌ای دیگر از تحقیقات در این زمینه وجود دارند که به مقایسه وضعیت ساختار مکانی شبکه‌های حمل و نقل در شهرهای مختلف دنیا پرداخته‌اند؛ در این دسته از تحقیقات با هدف استخراج الگوی ساختار مکانی شهرهای مختلف دنیا، خصوصیات ساختاری آنها با یکدیگر مقایسه شده‌اند؛ در این گروه از تحقیقات بمنظور اعتبارسنجی، نتایج حاصل از ارزیابی‌های ساختار مکانی با مشاهدات انجام شده در دنیای واقعی مقایسه گردیده‌اند [۱۵-۱۸]. در نهایت دسته‌ای از تحقیقات که در آنها سعی شده است تا مفاهیم مربوط به ساختار مکانی شبکه‌ها در یک کاربرد مانند مدیریت بحران [۱۹] و یا جرم شناسی [۲۰] بکار گرفته شود.

از میان فعالیتهای تحقیقاتی صورت پذیرفته، در این مقاله تنها به آن دسته از مطالعاتی پرداخته می‌شود که دارای ارتباط مستقیم با موضوع این تحقیق می‌باشند که در ادامه به مرور و بررسی آنها پرداخته می‌شود.

مفهوم پایه‌ای چیدمان فضا[۲] در سال ۱۹۷۶ طی مقاله‌ای با همین نام توسط Hillier و همکارانش مطرح گردید. این مقاله در پاسخ به این سؤال که چرا جوامع مختلف ترکیبات متفاوتی از فرم ساختمانها و الگوهای اسکان را ایجاد می‌کنند به ارائه یک تئوری عمومی در زمینه بررسی ترکیبات مکانی[۳] پرداخت. این تئوری در واقع تلاشی بود تا بتوان با تشکیل یک زبان خاص برگرفته شده از زبان محاوره‌ای و ریاضیات به تشریح و بیان خصوصیات مکانی ترکیبات پرداخت [۲۱].

بررسی تأثیرات اجتماعی یک طرح از منظر مکانی موضوعی بود که در سال ۱۹۸۴ توسط Hillier و Hanson بدان پرداخته شد. در این تحقیق ضمن واشکافی اصول و مبانی نظری موضوع چیدمان فضا به بیان منطق اجتماعی مکان پرداخته شد. منظور از منطق اجتماعی مکان تأثیراتی است که یک ترکیب مکانی می‌تواند بر شکل‌گیری فعالیتهای اجتماعی در یک محیط شهری داشته باشد [۲۲].

---

۱ Multipliers

۲ Space Syntax

۳ Syntactic theory of spatial organization

Archive of SID
www.SID.ir

در سال ۱۹۹۸ پروفسور Hillier بعنوان مطرح کننده اصلی مفهوم چیدمان فضا در طی مقاله‌ای ضمن تشریح مفهوم پیکربندی، به تبیین ضرورت بیان کمّی خصوصیات پیکربندی یک شبکه پرداخت. در این مقاله، همچنین پیکربندی بعنوان امری غیر استدلالی معرفی شده است چرا که ما هیچ واژه و یا مفهومی برای توصیف مثلاً میزان پیچیدگی آن نداشته و امکان تجربه آن در دنیای واقعی برای ما وجود ندارد. در این مقاله همچنین عنوان شده است که یکی از نتایج اصلی فرآیند طراحی شهری، ساختار و پیکربندی مکانی شهر است؛ با توجه به اینکه فرآیند طراحی خود امری شهودی[1] است لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که کلیدی‌ترین خصوصیت یک طراحی (پیکربندی مکانی) در حیطه امور غیر استدلالی واقع می‌گردد [۱].

مرکز تحلیلهای پیشرفته مکانی در دانشگاه کالج لندن در سال ۲۰۰۴ توسط Michael Batty تحقیقی را ترتیب داد که در آن به ارائه یک چارچوب در زمینه مدلسازی شبکه‌ها جهت انجام تحلیلهای چیدمان فضا پرداخته شده بود [۲۳]. کتاب ارائه شده توسط Marshall در سال ۲۰۰۴ از دیگر تحقیقات انجام شده در این سال بود که به بررسی ساختار هندسی خیابانها در یک محیط شهری پرداخت [۲۴].

بررسی تأثیرات شبکه و تأثیرات روانشناختی بر حرکت افراد در یک محیط شهری موضوعی بود که در سال ۲۰۰۵ توسط Hillier و Iida انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق دلالت بر سه نکته داشت: اول اینکه ساختارهای هندسی و توپولوژیکی شهرها نقش بسیار مهمی در شکل‌دهی به الگوی ترددهای درون شهری دارند. نکته دوم اینکه گراف مربوط به خطوط محوری خیابانها در شرایط مختلف تخمین بسیار خوبی از تأثیرات ساختاری بر ترددهای درون شهری می‌باشد و سوم اینکه انتظار می‌رود ساختارهای هندسی و توپولوژیکی شبکه‌های حمل و نقل شهری با تأثیرگذاری بر الگوی مسافرتهای درون شهری، الگوی کاربری اراضی نقاط مختلف شهر و در نتیجه کل الگوی زندگی در یک محیط شهری را تحت تأثیر قرار دهد [۳].

از دیگر تحقیقات جامع در زمینه ساختار شبکه‌ها می‌توان به کتاب *ساختار و دینامیک شبکه‌ها* که توسط Newman، Barabasi و همکاران در سال ۲۰۰۶ ارائه گردید، اشاره نمود [۲۵]. در سال ۲۰۰۷، تلاشهای Hillier در زمینه تبیین مفاهیم مربوط به اصول ساختار و ترکیب مکانی شبکه‌ها درکتابی با نام *"فضا یک ماشین است"* جمع‌آوری و ارائه شد [۴]. همانگونه که از نام این کتاب روشن است، Hillier در این کتاب سعی کرده تا با جمع‌آوری کلیه تحقیقاتش در زمینه نقش ساختار مکانی به ارائه یک تئوری تحلیلی جدید از طراحی و درک فضا در زمینه معماری برسد.

از جمله تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه اصول و مبانی تأثیرات ساختار مکانی شبکه‌های حمل‌ونقل شهری که در سال ۲۰۰۸ انجام یافته است می‌توان به کتاب نوشته شده توسط Blanchard و Volchenkov در زمینه تحلیل ریاضی ساختار مکانی این شبکه‌ها اشاره نمود [۲۶]. همچنین کتاب ارائه شده توسط Yin در زمینه بررسی الگوهای توپولوژیک در شبکه‌های حمل و نقل شهری از منظر تحلیلی و بصری را می‌توان یکی از فعالیتهای تحقیقی مطرح در سال ۲۰۰۹ دانست [۲۷].

همانگونه که عنوان شد، محوریت غالب تحقیقات صورت پذیرفته در این دسته، بر ارائه یک چارچوب نظری در جهت بیان خصوصیات ساختاری شبکه‌ها بوده است. نتیجه این تلاشها پی‌ریزی یک زبان ساختاری خاص بمنظور تشریح خصوصیات مورفولوژیکی شبکه‌ها بوده است. پایه و اساس این زبان، تئوری گراف، مفاهیم توپولوژی و اصول مطرح در مورفولوژی می‌باشد.

این دسته از تحقیقات مزبور را می‌توان پایه‌های بنیادی و پیش زمینه نظری موضوع این مقاله دانست. تئوریهای پایه‌ای این تحقیقات در طرح اصل موضوع تأثیرگذاری ساختارهای مکانی بر شکل‌گیری فعالیتها، شالوده اصلی این مقاله بوده است. همچنین دستور زبان پیشنهادی آنها در بیان و ارائه مفهوم ساختار مکانی، الگوی متدولوژی تحقیق حاضر بوده است. بدین معنا که این مقاله با بهره‌گیری از اصول مطرح در تئوری گراف، مفاهیم توپولوژی و اصول مطرح در مورفولوژی –بعنوان اساس زبان ساختاری پیشنهادی این تحقیقات- به بیان خصوصیات ساختاری شبکه‌های حمل و نقل شهری پرداخته است.

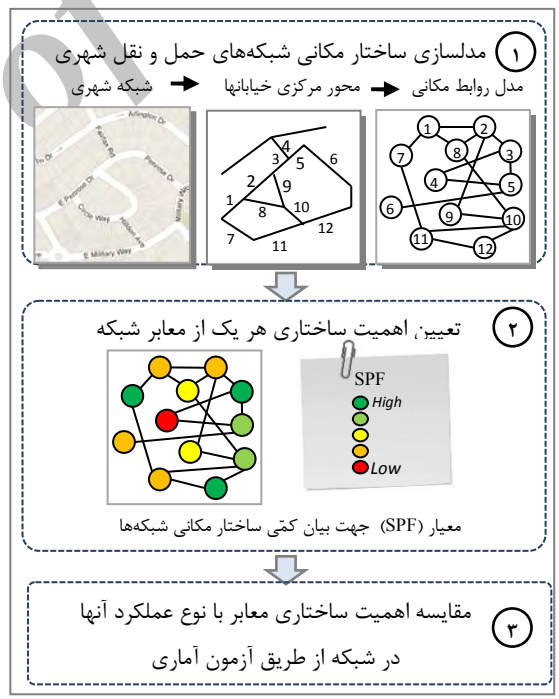
[1] Intuitive

Archive of SID

www.SID.ir

۴- روش تحقیق

همانگونه که پیشتر نیز عنوان شد این تحقیق بدنبال ارزیابی تأثیر خصوصیات ساختار مکانی شبکه‌های حمل‌ونقل شهری در نحوه شکل‌گیری الگوی‌های ترافیکی می‌باشد. روند انجام این کار بصورت شماتیک در شکل ۱ نمایش داده شده است. همانگونه که در قسمت شماره ۱ از شکل ۱ نیز نشان داده شده است بمنظور انجام این کار، ابتدا لازم است تا ارتباطات مکانی (خصوصیات توپولوژیکی) موجود بین اجزای یک شبکه شامل خیابانها و تقاطعها در محیط GIS مدلسازی گردند. روشهای مختلفی جهت انجام این مدلسازی وجود دارد که در ادامه به آنها پرداخته شده است. در این تحقیق پس از استخراج محور مرکزی خیابانها، روابط مکانی موجود بین اجزای شبکه در قالب یک گراف مدلسازی می‌گردند. انتخاب اجزای شبکه در این مدلسازی بنابر اهداف مورد نظر از این تحقیق صورت پذیرفته است.



شکل ۱- نمای شماتیک روند انجام تحقیق

در مرحله بعدی تحقیق لازم است تا ویژگیهای ساختاری معابر مختلف شبکه در قالب یک معیار کمّی مدلسازی شده و بر اساس آن میزان تأثیرگذاری این ویژگیها در شکل‌گیری الگوی ترافیکی مورد ارزیابی قرار گیرد. همانگونه که در قسمت شماره ۲ از شکل ۱ نیز نمایش داده شده است، اهمیت ساختاری هر یک از اجزا بر اساس معیار پیشنهادی ارزیابی می‌گردد. پس از این مرحله بخشهای مهم ساختاری شبکه قابل شناسایی خواهند بود.

در مرحله بعد بمنظور ارزیابی نقش ساختار مکانی معابر در انتقال و توزیع ترافیک، میزان اهمیت ساختاری هر معبر با نوع عملکرد آن در دنیای واقعی (شامل آزادراه، بزرگراه، خیابان اصلی، خیابان فرعی و ...) مورد مقایسه قرار می گیرد تا تعیین شود که آیا رابطه معناداری بین اهمیت ساختاری هر معبر و نوع عملکرد آن در دنیای واقعی وجود دارد.

در ادامه این بخش ابتدا به روش مدلسازی توپولوژیکی شبکه و پس از آن به تشریح معیار توسعه داده شده جهت ارزیابی اهمیت ساختاری هر معبر پرداخته می شود. در نهایت نیز نتایج اهمیت ساختاری معابر با نوع عملکرد هر معبر با بهره گیری از یک آزمون آماری مورد مقایسه قرار می گیرد.

۴-۱- مدلسازی ساختار مکانی شبکه‌ها

اصولاً تحلیلهای توپولوژیکی و بررسی ساختار مکانی شبکه‌ها ریشه در تئوری گراف[۱] دارند. در ریاضیات و علوم کامپیوتری، به مجموعه‌ای از ساختارهای ریاضی که برای مدلسازی روابط موجود بین اجزای یک جامعه بکار گرفته می‌شوند، تئوری گراف گفته می‌شود [۲۸]. منظور از گراف در اینجا مجموعه‌ای از گره[۲]ها و اتصال[۳]های واصل بین آنها است که تشریح کننده ارتباطات موجود بین اجزای جامعه مورد بررسی در دنیای واقعی می‌باشد [۲۹]. بدلیل نزدیکی بسیار زیاد غالب جنبه‌های تئوری گراف با مباحث ریاضی مطرح در مباحث توپولوژی [۲۸]، تمامی تحلیلهای ساختاری و توپولوژیکی در شبکه‌ها از اصول و روشهای مطرح در تئوری گراف بهره‌مند می‌باشند.

بطور کلی مدلسازیهای توپولوژیکی اصولاً بمنظور آشکارسازی خصوصیات ساختاری و مورفولوژیکی شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مدلسازی توپولوژیکی با تأکید کردن بر تعاملات و روابط مکانی بین اشیاء، ارائه دهنده یک الگوی جدید در تحلیلها و مدلسازیهای مکانی می‌باشد [۱۱]. این تحلیل‌های توپولوژیکی کمک می‌کنند تا برخی از ساختارها و الگوهای مخفی در شبکه‌ها که بکمک خصوصیات هندسی قابل بیان نیستند، آشکار گردند [۱۱].

---

۱ Graph theory
۲ Node
۳ Link

Archive of SID
www.SID.ir

بطور خلاصه تفاوت مدلسازی توپولوژیکی با مدلسازیهای مرسوم هندسی شبکه خیابانها - که در آن انجام تحلیلهایی از قبیل تعیین فاصله بین دو نقطه بر روی شبکه، ردگیری یک متحرک و نیز مسیریابی امکانپذیر می‌باشد - در این است که مدلسازی توپولوژیکی قابلیتی را فراهم می‌سازد تا بتوان از طریق آن، ساختار، خصوصیات مورفولوژیکی و نیز الگوهای مستتر در یک شبکه را شناسایی نمود.

نظر به اینکه در این مقاله در نظر است تا خصوصیات ساختار مکانی شبکه‌های حمل و نقل شهری مورد بررسی قرار گیرند لذا در این بخش به بررسی نحوه انجام این مدلسازی پرداخته می‌شود. بطور کلی انجام مدلسازی توپولوژیکی شبکه خیابانها در قالب یک گراف، منوط به اجرای دو مرحله ذیل می‌باشد؛

۱. تعریف المان پایه در شبکه خیابانها
۲. اتخاذ یک شیوه مدلسازی برای المانهای پایه در یک گراف.

تعریف المان پایه‌ای در یک شبکه می‌تواند تأثیر زیادی بر نتایج غالب تحلیلهای آن داشته باشد. از دیدگاه آنتولوژیکی در فرآیند مدلسازی در یک سیستم اطلاعات مکانی (GIS) تمامی موجودیت‌های درگیر می‌بایست دارای تعریف مشخص و دقیقی باشند. از اینرو در مدلسازی شبکه حمل و نقل شهری در GIS، می‌توان دو تعریف متفاوت از خیابان بعنوان المان پایه جهت مدلسازی ارائه نمود.

- استفاده از قطعات[۱] خیابانها بعنوان المان پایه
- استفاده از یک تعریف قراردادی برای موجودیت خیابان بعنوان تعریف المان پایه [۳۰].

منظور از استفاده از قطعات خیابانها بعنوان المان پایه این است که در مدلسازی شبکه حمل و نقل، معبر واصل بین دو تقاطع بعنوان خیابان تعریف و مدلسازی گردد. در حالیکه در مدلسازی بر اساس تعریف قراردادی برای موجودیت خیابان، بر مبنای یک تعریف متداول، یک معبر بعنوان خیابان تعریف و مدلسازی می‌گردد. در این نوع تعریف می‌توان هم از خصوصیات توصیفی (مثلاً نام) و هم از خصوصیات هندسی (مثلاً میزان انحراف راستای خیابان از خط راست) در یک معبر جهت تعریف نمودن یک خیابان استفاده کرد [۱۱].

طبق چنین تعریفی یک معبر تا جاییکه دارای یک نام مشخص بوده و یا از راستای خط راست به اندازه مشخصی منحرف نشده باشد بعنوان یک خیابان در نظر گرفته شده و در قالب یک المان واحد مدلسازی می‌گردد. بعنوان مثال یک خیابان مستقیم با نام a که تنها دارای یک تقاطع در راستای خود می‌باشد، از نظر تعریف اول (قطعات خیابان) در قالب دو خیابان مجزا (قطعات ۱ و ۲) در گراف مدلسازی می‌گردند در حالیکه در حالت دوم (استفاده از تعریف خیابان) هر دو قطعه این خیابان در قالب یک المان واحد (خیابان a) در گراف مدلسازی می‌گردد. چرا که بر اساس تعریف خیابان، قطعات آن دارای یک نام واحد می‌باشند. این دو نوع مدلسازی در بخشهای (ب) و (ج) از شکل ۱ برای شبکه مفروض ترسیم شده در بخش (الف) نمایش داده شده‌اند.

بطور کلی تفاوت عمده بین دو تعریف ارائه شده از المان پایه در مدلسازی شبکه خیابانها ناشی از دو دیدگاه متفاوت کلی نگر و جزئی نگر در شناسایی و تفکیک موجودیت خیابان می‌باشد. در حالیکه در تعریف اول، هر یک از قطعات تشکیل دهنده خیابانها در قالب یک موجودیت مستقل بعنوان المان پایه در نظر گرفته می‌شوند، مبنای تعریف دوم برای المان پایه، خصوصیات شناختی موجودیت خیابانها می‌باشد؛ در این تعریف کل مجموعه قطعات تشکیل دهنده یک خیابان در قالب یک موجودیت مستقل بعنوان المان پایه در نظر گرفته می‌شوند. یعنی یک معبر تا جاییکه از نظر شناختی تغییر هویت نداده، بعنوان یک موجودیت واحد مدلسازی می‌گردد. معیار شناسایی تغییر هویت می‌تواند ویژگیهای توصیفی (مثلاً نام خیابان) و یا ویژگیهای هندسی (مثلاً انحراف از راستای مستقیم) باشد. مبنای این دیدگاه مکتب گشتالت[۲] در روانشناسی است. این مکتب بیان می‌دارد که انسانها دنیا را در کل‌های معنی‌دار تجربه کرده و غالباً محرک‌های جداگانه را نمی‌بینند. بعبارت دیگر هرآنچه که ما در محیط اطراف می‌بینیم محرک‌های ترکیب یافته در سازمان‌ها یا گشتالت‌هایی است که برای ما معنی دارند. طبق این نظریه، "کل" چیزی فراتر از مجموع اجزای آن است [۳۱].

نظر به اینکه هدف این مقاله بررسی و ارزیابی ساختار مکانی شبکه خیابانها می‌باشد لذا لازم است تا کلیه اجزای تشکیل دهنده این شبکه بصورت جزئی (قطعات خیابانها) در مدلسازی حاضر گردند. از اینرو در این تحقیق از قطعات خیابانها بعنوان المان پایه استفاده شده است.

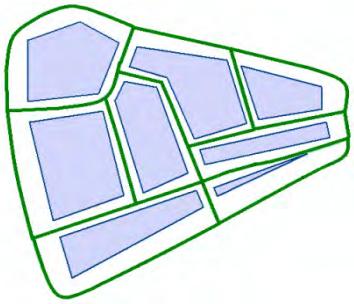
---

۱ Segment

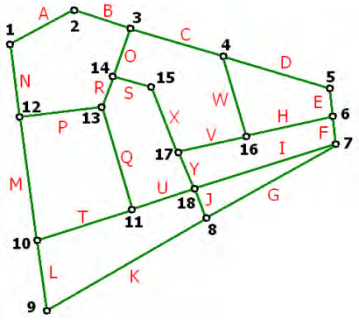
۲ Gestalt

Archive of SID
www.SID.ir

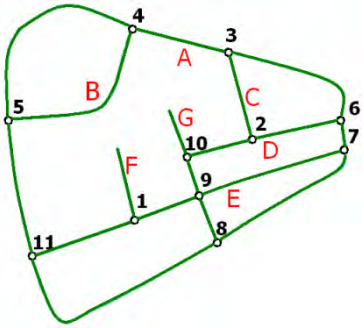
مدلسازی کلی نگر خیابانها بر اساس نام و یا ویژگیهای بصری آنها با موضوع این مقاله مطابقت ندارد. دلیل این مسئله این است که ویژگیهای ساختاری یک خیابان ممکن است در بخشهای مختلف آن متفاوت باشند لذا نمی‌توان کل قطعات آنرا در قالب یک موجودیت واحد مدلسازی نمود.



الف) شبکه فرضی از خیابان ها (مدل هندسی)



ب) مدلسازی بر اساس قطعات خیابانها



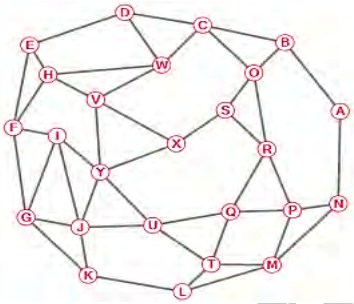
ج) مدلسازی بر اساس مفهوم خیابانها

شکل ۲- المانهای پایه در مدلسازی یک شبکه فرضی

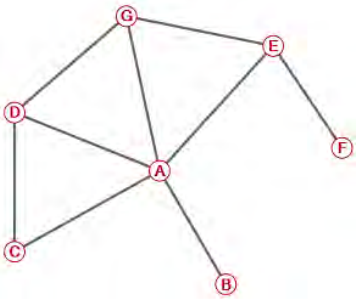
بعنوان مثال در مدلسازی کلی نگر، خیابان ولیعصر بطول ۱۷٫۵ کیلومتر که از جنوب تهران (میدان راه آهن) تا شمال تهران (میدان تجریش) امتداد دارد می‌بایست بدلیل وجود نام واحد در کلیه قطعات آن، در قالب یک موجودیت واحد مدلسازی گردد. در حالیکه مشاهدات نشان می‌دهند که بخشهای مختلف این خیابان طویل دارای ویژگیهای متفاوت ترافیکی می‌باشند. یکی از دلایل این تفاوتها می‌تواند وجود اختلاف در خصوصیات ساختاری این قطعات در امتداد مسیر باشند. لذا هر یک از قطعات این خیابانها می‌بایست در قالب یک موجودیت مستقل در مدلسازی در نظر گرفته شوند.

مرحله دوم در زمینه مدلسازی توپولوژیک شبکه حمل و نقل اتخاذ یک شیوه مدلسازی برای المانهای پایه در یک گراف می‌باشد. همانگونه که پیشتر نیز مطرح شد جهت مدلسازی یک شبکه شهری لازم است تا دو موجودیت اصلی یعنی خیابانها و تقاطعها مدلسازی گردند. از سوی دیگر عنوان شد که یک گراف اساساً متشکل از دو جزء پایه‌ای شامل گره و اتصال می باشد. با ترکیب این دو زوج بطور کلی می‌توان از دو شیوه جهت مدلسازی توپولوژیک شبکه خیابانها استفاده کرد. نتیجه این دو روش دو نوع گراف به شرح ذیل می‌باشند:

- گراف اصلی[۱]: در این گراف هر خیابان بکمک یک اتصال و هر تقاطع بکمک یک گره مدلسازی می‌گردد.
- گراف مزودج[۲]: در این گراف هر خیابان بکمک یک گره و هر تقاطع بکمک یک اتصال مدلسازی می‌گردد.



الف) گراف مزدوج بر اساس المان پایه قطعات خیابانها



ب) گراف مزدوج بر اساس المان پایه مفهوم خیابانها

شکل ۳- گرافهای مزدوج شبکه مفروض در شکل ۲

دو گراف نمایش داده شده در شکلهای ۲- (ب) و ۲- (ج) در واقع گرافهای اصلی شبکه مفروض بر اساس

۱ Primal graph
۲ Dual graph

Archive of SID

www.SID.ir

المانهای پایه مختلف می‌باشند. گراف‌های مزدوج مربوط به مدل شبکه فرضی بر اساس قطعات خیابانها و مفهوم خیابان به ترتیب در شکل‌های ۳- (الف) و ۳- (ب) نمایش داده شده‌اند.

۴-۲- تعیین اهمیت ساختاری معابر شبکه

پس از مدلسازی ساختار مکانی شبکه نوبت به تعیین ملاکها و معیارهای کمّی جهت ارزیابی خصوصیات ساختاری شبکه خیابانهای شهری می‌رسد. چرا که بیان خصوصیات ساختاری و شناسایی عناصر مهم ساختاری در یک شبکه نیازمند متر و معیاری جهت برآورد این خصوصیات می‌باشند.

بمنظور ارزیابی اهمیت ساختاری هر یک از اجزای شبکه، در این مقاله از کوتاهترین مسیر هندسی بین دو گره در شبکه استفاده است. با فرض اینکه حرکت در شبکه مفروض بر راستای کوتاهترین مسیر هندسی اتفاق می‌افتد، کوتاهترین مسیر بین کلیه جفت گره‌های ممکنه در شبکه محاسبه می‌گردد. در هر مرحله از این محاسبات به کلیه اتصالهایی که در کوتاهترین مسیر محاسبه شده قرار دارند وزنی معادل واحد تخصیص داده می‌شود. نظر به اینکه در برخی از شبکه‌ها بدلیل شرایط خاص شبکه، ممکن است بین دو گره از شبکه، بیش از یک کوتاهترین مسیر وجود داشته باشد لذا در این شبکه‌ها وزن واحد مذکور بر اساس تعداد کوتاهترین مسیرها موجود به اتصالها تخصیص داده می‌شود. نحوه تخصیص وزن به اتصالات کوتاهترین مسیرها در این قبیل از شبکه‌ها در رابطه (۱) ارائه شده است.

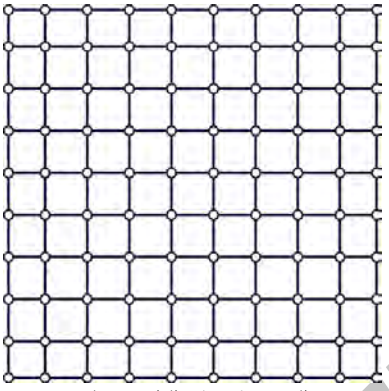
$$w_l = \frac{n_{ij}(l)}{n_{ij}} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، w_l وزن تخصیص داده شده به اتصال l در محاسبه کوتاهترین مسیرهای ممکنه بین دو گره i و j ، n_{ij} تعداد کوتاهترین مسیرهای موجود بین دو گره i و j بوده و $n_{ij}(l)$ برابر تعدادی از این مسیرهاست که از اتصال l گذشته‌اند. در این رابطه اگر تنها یک کوتاهترین مسیر بین دو گره مفروض وجود داشته باشد، وزن اتصال l که بر روی این مسیر قرار دارد برابر واحد خواهد بود.

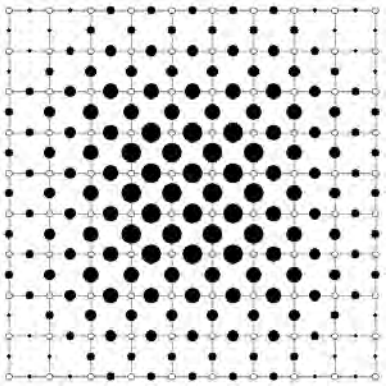
در نهایت، پس از محاسبه کلیه کوتاهترین مسیرهای ممکنه بین زوج گره‌های شبکه، مجموع وزنهای تخصیص داده شده به هر اتصال محاسبه و بعنوان شاخص ساختاری آن اتصال در نظر گرفته می‌شود. این شاخص که در این مقاله بعنوان فرکانس کوتاهترین مسیر (SPF) نامیده شده است برای اتصال l طبق رابطه (۲) تعریف می‌گردد.

$$SPF_l = \sum w_l = \sum_{\forall\, i,j} \frac{n_{ij}(l)}{n_{ij}} \qquad (۲)$$

بمنظور بررسی شاخص ساختاری SPF، وضعیت فرکانس کوتاهترین مسیر برای اتصالات یک شبکه نمونه محاسبه شده است. شبکه نمونه یک شبکه قائم الزاویه منظم است که متشکل از ۱۰۰ گره و ۱۸۰ اتصال می‌باشد. این شبکه در شکل ۴- (الف) و نتیجه محاسبات در ۴- (ب) نمایش داده شده‌اند.



الف) شبکه قائم الزاویه منظم



ب) الگوی توزیع شاخص ساختاری برای اتصالات شبکه

شکل ۴- شبکه نمونه و وضعیت شاخص ساختاری در آن

بمنظور نمایش بهتر میزان شاخص ساختاری محاسبه شده برای اتصالهای شبکه مفروض، در شکل ۴- (ب)، یک نقطه توپر سیاه رنگ بر روی هر اتصال استفاده شده است. اندازه هر نقطه بیانگر میزان شاخص SPF برای هر اتصال می‌باشد. همانگونه که در شکل

www.SID.ir

۴- (ب) نیز قابل مشاهده است، هر چقدر به مرکز شبکه مفروض نزدیکتر می‌شویم اندازه این نقاط بزرگتر می‌شود. این بدان معناست که این اتصالها دارای فرکانس بالاتری در کوتاهترین مسیرها در مقایسه با سایر اتصالها می‌باشند؛ بعبارت دیگر نسبت مشارکت این اتصالها در تشکیل کوتاهترین مسیرها بیشتر از سایر اتصالها بوده و از این حیث جزو اتصالهای مهم ساختاری بشمار می‌آیند. بهمین ترتیب اتصالهای حاشیه‌ای نیز دارای مشارکت کمتری در مقایسه با سایر اتصالها می‌باشند لذا از نظر ساختاری چندان مهم تلقی نمی‌شوند.

در زمینه نتایج حاصله از محاسبه این شاخص ساختاری، شاید این شبهه بوجود بیاید که این نتایج بدون محاسبات صورت پذیرفته نیز قابل پیش بینی بوده‌اند؛ یعنی قابل حدس است که اتصالات مرکزی در شبکه مفروض بیش از اتصالات حاشیه‌ای آن مورد استفاده قرار بگیرند. امکان پیش‌بینی این نتیجه از آنجایی نشأت می‌گیرد که پیکربندی شبکه مورد استفاده بگونه‌ای است که در آن ساختار مکانی بصورت عیان می‌باشد. منظور از عیان بودن ساختار مکانی در چنین شبکه‌ای این است که بصورت بصری می‌توان اتصالات مرکزی و مهم ساختاری آن را شناسایی نمود. بعبارت دیگر بدلیل واقع شدن اتصالهای مهم ساختاری در مرکز هندسی شبکه، پیش بینی وضعیت اهمیت ساختاری این اتصالات امکان پذیر است. چرا که یافتن مرکز هندسی بصورت بصری چندان کار دشواری نیست.

این درحالی است که شرایط مزبور در بسیاری از شبکه‌های دنیای واقعی محقق نمی‌گردد. یعنی در بیشتر شبکه‌های دنیای واقعی مانند شبکه‌های حمل و نقل در شهرها پیکربندی شبکه بگونه‌ای پیچیده است که امکان پیش بینی اینکه کدامیک از اتصالها دارای فرکانس و یا مشارکت بیشتری در تشکیل کوتاهترین مسیرهای شبکه هستند بسیار اندک می‌باشد.

بر همین اساس، در بخش بعدی مقاله، شاخص فرکانس کوتاهترین مسیر برای اتصالهای یک شبکه حمل و نقل واقعی محاسبه و اتصالهای مهم ساختاری در آن شناسایی شده‌اند. همانگونه که پیشتر نیز مطرح شد در این قبیل شبکه‌ها لزوماً اتصالهای مهم ساختاری در مرکز هندسی قرار ندارند. نتایج حاصله در نهایت با داده‌های دنیای واقعی مورد آزمون قرار گرفته‌اند.

۵- مطالعه موردی: بررسی ساختار مکانی بخشی از شبکه شهر تهران

در این بخش از مقاله بمنظور بررسی ساختار مکانی خیابانها در یک شبکه حمل و نقل شهری، وضعیت فرکانس کوتاهترین مسیر برای معابر بخشی از شبکه شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه محدوده‌ای به مساحت حدود ۳۰ کیلومتر مربع است که بزرگراه شمالی-جنوبی نواب (تونل توحید) از میان آن می‌گذرد. این منطقه در موقعیتی به عرض ۲/۵ کیلومتر از طرفین تونل توحید و ۱/۵ کیلومتر از شمال و جنوب ابتدا و انتهای تونل واقع می‌باشد. محور مرکزی کلیه معابر این محدوده بر اساس روش قطعه خیابان مدلسازی شده است. بدین معنا که فواصل بین هر دو تقاطع متوالی بصورت یک اتصال مجزا در شبکه نهایی ترسیم شده است. شبکه مدلسازی شده دارای ۷۳۴۱ اتصال و ۵۰۷۳ گره می‌باشد. در شکل ۵ موقعیت منطقه و گراف اصلی آن نمایش داده شده است.

شکل ۵- گراف اصلی شبکه مورد بررسی در تهران

در این بخش از مطالعات موردی در نظر است تا اهمیت ساختاری هر معبر بکمک شاخص SPF مورد ارزیابی قرار گیرد. همانگونه که پیشتر نیز اشاره شد، هدف از انجام این کار ارزیابی نقش ساختار مکانی (حاصل از شاخص ساختاری SPF) در شکل گیری ترافیک یک شبکه شهری می‌باشد. بهمین منظور در این

www.SID.ir

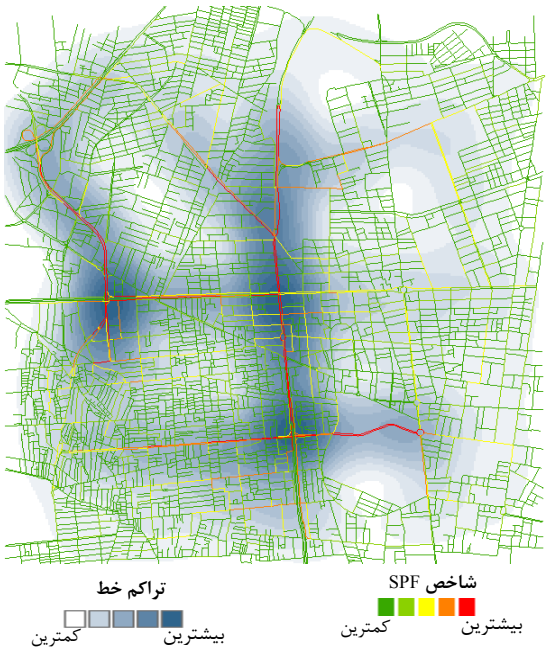
بخش ارتباط بین اهمیت ساختاری هر معبر با نوع بهره برداری یا عملکرد آن در شبکه حمل و نقل شهری مورد آزمون قرار می‌گیرد. بدین معنا که این بخش بدنبال پاسخگویی به این سؤال است که آیا رابطه معناداری بین اهمیت و موقعیت ساختاری یک معبر و نوع بهره‌برداری (یا نوع عملکرد) آن در انتقال ترافیک در سطح شبکه وجود دارد. بعبارت دیگر آیا اتصالی که از نظر ساختار مکانی، "مهم" تشخیص داده می‌شود، در واقعیت هم از نظر نوع بهره برداری و عملکرد جزو معابر مهم (بزرگراه، خیابان اصلی و ...) در شبکه بحساب می‌آید بطوریکه حجم بالایی از ترافیک را از خود عبور می دهد. بعبارت دیگر در این بخش ارتباط بین دو پارامتر "میزان اهمیت محاسبه شده" و "میزان اهمیت مشاهده شده" مورد آزمون قرار می‌گیرد.

هر اندازه مقدار شاخص فرکانس کوتاهترین مسیر برای اتصالی بیشتر باشد بدین معناست که اتصال مزبور در موقعیتی از ساختار مکانی شبکه قرار دارد که نقش مهمی در تشکیل کوتاهترین مسیرها در سطح شبکه ایفا می‌کند. در شکل ۶ نتیجه محاسبه این شاخص برای اتصالات شبکه مورد مطالعه نمایش داده شده است. در این شکل بمنظور نمایش بهتر الگوی ساختار مکانی در شبکه، وضعیت تراکم خطوط بصورت وزن‌دار در سطح شبکه محاسبه شده است. فرمول محاسبه تراکم خط در رابطه (۳) ارائه شده است.

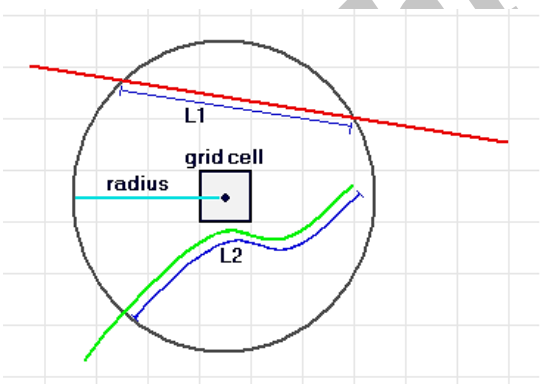
$$Density = \frac{[(L_1 \times V_1) + (L_2 \times V_2)]}{Area\ of\ circle} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، $Density$ برابر ارزش هر پیکسل، پارامترهای L_1 و L_2، قطعات خطوط قرار گرفته در شعاع جستجو (radius) و پارامترهای V_1 و V_2 به ترتیب وزن این قطعات می‌باشند. پارامترهای رابطه (۳) بصورت شماتیک در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند. لازم به ذکر است که در نمودارهای تراکم خط ترسیم شده برای شبکه‌ها در شکل ۶، شعاع جستجو برابر طول متوسط اتصالها و وزن هر قطعه از اتصال قرار گرفته در این شعاع برابر نسبت شاخص فرکانس کوتاهترین مسیر در آن قطعه در نظر گرفته شده است. در این شکل تراکم اتصالهایی که دارای مقادیر بالایی از SPF هستند بکمک نواحی تیره رنگ نمایش داده شده است.

لازم به ذکر است که در محاسبات مربوط به شاخص SPF در شبکه نمونه، کلیه خصوصیات معابر شامل: جهت خیابانها، وضعیت تقاطعها (همسطح و یا غیرهمسطح) و نیز وضعیت یکطرفه و یا دوطرفه بودن خیابانها در نظر گرفته شده است.



شکل ۶- وضعیت توزیع شاخص ساختار مکانی برای شبکه نمونه



شکل ۷- نحوه محاسبه تراکم خط بصورت وزن‌دار در سطح شبکه

بر همین اساس با توجه به اینکه خیابانهای دو طرفه دارای دو شاخص SPF برای جهات رفت و برگشت بودند لذا از میانگین مقدار شاخص دو جهت بعنوان شاخص SPF اتصال مربوطه استفاده شده است. همانگونه که از وضعیت تراکم شکل ۶ نیز قابل مشاهده است، بزرگراههای نواب و یادگار امام و همچنین خیابانهای امام خمینی و ستارخان دارای بالاترین میزان شاخص SPF می‌باشند.

Archive of SID
www.SID.ir

و اما بمنظور ارزیابی نقش ساختار مکانی در توزیع ترافیک، از آزمون ارتباط بین اهمیت ساختاری و نوع عملکرد معابر در شبکه نمونه استفاده شده است. بر همین اساس از خصوصیت توصیفی نوع معبر بعنوان معیار ارزیابی نوع بهره برداری و یا عملکرد آن استفاده شده است. بطورکلی راهها و معابر شهری از دو منظر قابل طبقه بندی می‌باشند؛ این دو منظر شامل عملکرد (نوع بهره برداری) و طرح هندسی معبر می‌باشند. بر همین اساس از نظر عملکرد راههای شهری خود به سه گروه کلی و متمایز شامل راههای شریانی درجه یک، راههای شریانی درجه دو و خیابانهای محلی طبقه بندی می‌شوند. راههای شریانی درجه یک نیز خود به سه زیردسته آزاد راه، بزرگراه، و کمربندی تقسیم می‌شوند. از اینرو در این بخش، راههای موجود در شبکه مورد بررسی از نظر عملکرد به چهار دسته زیر تقسیم بندی می‌گردند:

۱. راههای شریانی درجه یک، شامل: بزرگراهها و آزادراهها
۲. راههای شریانی درجه دو، شامل: خیابانهای اصلی و بلوارها
۳. خیابانهای فرعی
۴. راههای محلی، شامل: کوچه‌ها و بن بست‌ها

بمنظور همسان سازی معیارهای مورد بررسی جهت پاسخ گویی به آزمون ارتباط بین اهمیت ساختاری و نوع عملکرد معابر در شبکه نمونه، لازم است تا معیار اهمیت ساختاری نیز همانند معیار عملکرد معابر به یک شاخص کیفی تبدیل گردد. بر همین اساس اهمیت ساختاری معابر بر اساس میزان شاخص SPF به چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم بندی می‌گردند. برای انجام اینکار حد فاصل بین مقادیر کمینه و بیشینه شاخص SPF بر اساس روش Jenks به چهار دسته کلاسه‌بندی می‌شود. در روش Jenks مرز بین کلاسها بگونه‌ای انتخاب می‌گردد که در آن اعداد موجود در هر کلاس کمترین انحراف معیار را داشته باشند [۳۲].

بمنظور بررسی استقلال و یا وابستگی بین دو متغییر اهمیت ساختاری و نوع عملکرد معابر، آزمونی آماری با فرض صفر (H_0) و فرض مقابل (H_1) با مشخصات ذیل ترتیب داده شد.

$$\begin{cases} H_0: \ \rho = 0 & \text{همبستگی معناداری وجود ندارد} \\ H_1: \ \rho \neq 0 & \text{همبستگی معناداری وجود دارد} \end{cases}$$

برای انجام آزمون مزبور، ابتدا می‌بایست میزان فراوانی اتصالات شبکه بر اساس دو شاخص کیفی مورد بررسی محاسبه گردد. خلاصه نتیجه این محاسبات در جدول ۱ نمایش داده شده است. در این جدول که در علم آمار به جدول احتمال وقوع نیز موسوم می باشد [۳۳]، هر درآیه بیان کننده تعدادی از اتصالات شبکه می‌باشد که دارای ویژگیهای مندرج در سطر و ستون مربوطه می‌باشد. با در نظر گرفتن چهار حالت برای هر یک از متغییرهای کیفی مورد بررسی، بطور کلی تعداد ۱۶ حالت ممکن برای هر اتصال از نظر اهمیت ساختاری و نوع عملکرد می‌تواند وجود داشته باشد. فراوانی مربوط به هر یک از این ۱۶ حالت در جدول ۱ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در محاسبه فراوانیها از لحاظ کردن اتصال‌های مربوط به دوربرگردانها و رمپ‌ها صرفنظر شده است.

جدول ۱- فراوانی اتصالها بر اساس شاخصهای کیفی

		اهمیت ساختاری				
		کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	جمع
نوع عملکرد	شریانی درجه ۱	۶۳	۸	۱۵	۲۹	۱۱۵
	شریانی درجه ۲	۱۸۰۶	۶۲۴	۱۹۵	۷۷	۲۷۰۲
	خیابان فرعی	۲۸۶۰	۱۸۹	۷	۶	۳۰۶۲
	خیابان محلی	۱۰۰۸	۳۱	۲	۲	۱۰۴۳
	جمع	۵۷۳۷	۸۵۲	۲۱۹	۱۱۴	۶۹۲۲

اگر چنانچه فرض صفر (H_0) در این آزمون صحیح در نظر گرفته شود، آنگاه دو متغییر اهمیت ساختاری و نوع عملکرد اتصالها از هم مستقل خواهند بود. لذا طبق نظریات آماری احتمال وقوع توأمان این دو متغییر برابر حاصلضرب احتمال هر یک از آنها می‌باشد. این مسئله در رابطه (۴) نمایش داده شده است.

$$P(S \cap F) = P(S) \times P(F) \qquad (۴)$$

Archive of SID

www.SID.ir

در این رابطه، $P(F)$ احتمال وقوع یک نوع عملکرد خاص، $P(S)$ احتمال وقوع یک سطح خاص از اهمیت ساختاری و $P(S \cap F)$ احتمال وقع یک نوع عملکرد خاص در یک سطح خاص از اهمیت ساختاری بصورت توأمان می‌باشد.

بر اساس رابطه (۴) می‌توان فراوانی مورد انتظار از اتصالات را با فرض استقلال دو متغییر مورد بررسی بدست آورد. برای مثال جهت محاسبه احتمال وقوع اتصالهایی که جزو راههای شریانی درجه یک بوده اما از اهمیت ساختاری "کم" برخوردارند داریم:

$$P(Low \cap Arterial\ 1) = P(Low) \times P(Arterial\ 1) = \left(\frac{5737}{6922}\right) \times \left(\frac{115}{6922}\right) = 0.0138 \quad (۵)$$

بمنظور محاسبه فراوانی مورد انتظار از این اتصالها کافی است احتمال بدست آمده را در تعداد کل اتصالها ضرب نمود؛ یعنی: $0.0138 \times 6922 = 95.3$. نتیجه این محاسبات در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول۲-فراوانی مورد انتظار از اتصالها با فرض مستقل بودن شاخصهای کیفی

نوع عملکرد		اهمیت ساختاری				
		کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	جمع
	شریانی درجه ۱	۹۵/۳	۱۴/۲	۳/۶	۱/۹	۱۱۵
	شریانی درجه ۲	۲۲۳۹	۳۳۲/۶	۸۵/۵	۴۴/۵	۲۷۰۲
	خیابان فرعی	۲۵۳۸	۳۷۶/۹	۹۶/۹	۵۰/۴	۳۰۶۲
	خیابان محلی	۸۶۴/۴	۱۲۸/۴	۳۳/۰	۱۷/۲	۱۰۴۳
	جمع	۵۷۳۷	۸۵۲	۲۱۹	۱۱۴	۶۹۲۲

هر اندازه فراوانی‌های مشاهده شده از اتصالها (جدول ۱) با نتایج فراوانی‌های مورد انتظار از اتصالها در شبکه نمونه با فرض استقلال شاخصهای کیفی (جدول ۲) به یکدیگر نزدیکتر باشند، بدین معناست که فرض صفر آزمون صحیح می‌باشد. برای بررسی میزان نزدیکی این دو دسته از فراوانیها از آماره مجذور کای[۱] (χ^2) طبق رابطه (۵) استفاده می‌گردد [۳۴].

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (۶)$$

در این رابطه، f_o فراوانی مشاهده شده و f_e فراوانی مورد انتظار با فرض مستقل بودن متغییرها می‌باشد. هر اندازه میزان آماره مجذور کای، عدد کوچکی باشد، فرض صفر آزمون (مستقل بودن متغییرها) به واقعیت نزدیکتر است. بر اساس اطلاعات جداول (۱) و (۲) مقدار آماره مجذور کای برای شبکه مورد بررسی برابر ۱۳۳۷٫۶۶ می‌باشد.

بمنظور بررسی قابل قبول بودن مقدار آماره مجذور کای، از جدول تابع توزیع کای استفاده می‌گردد. اگر مقدار آماره از عدد مربوطه در جدول توزیع مجذور کای کوچکتر بود، فرض صفر قابل قبول می باشد [۳۳]. عدد مربوطه در جدول توزیع کای بر اساس سطح معناداری و درجه آزادی مشخص می‌گردد. سطح معناداری عموماً 0.05 و یا 0.01 در نظر گرفته می‌شود. همچنین در یک جدول احتمال وقوع با تعداد r سطر و c ستون، میزان درجه آزادی برابر $df = (r-1) \times (c-1)$ می‌باشد [۳۴]. بر همین اساس، میزان درجه آزادی جدول احتمال وقوع (جدول ۱) با تعداد چهار سطر و چهار ستون برابر $df = 3 \times 3 = 9$ می‌باشد.

با مراجعه به جدول توزیع مجذور کای ملاحظه می‌گردد که مقدار این توزیع برای درجه آزادی ۹ با سطح اطمینان ۹۹٪ (سطح معناداری 0.01)، برابر ۲۱٫۶۶۶ می‌باشد. لذا با توجه به اینکه آماره محاسبه شده برای شبکه نمونه برابر ۱۳۳۷٫۶۶ و بسیار بزرگتر از عدد جدول است، لذا می‌توان گفت که با سطح اطمینان ۹۹٪ فرض صفر رد می‌گردد. این بدان معناست که بین اهمیت ساختاری اتصالها و نوع عملکرد آنها در شبکه همبستگی معناداری وجود دارد. بعبارت دیگر بین میزان اهمیت مشاهده شده و میزان اهمیت محاسبه شده برای اتصالهای شبکه یک رابطه معنادار وجود دارد.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

بررسی صورت پذیرفته در زمینه مقایسه معیار ساختار مکانی SPF با نوع عملکرد معابر نشان داد که تخمین میزان اهمیت ساختاری هر اتصال توسط این شاخص مطابقت قابل قبولی با نوع عملکرد این اتصال در دنیای

[۱] Chi square

Archive of SID
www.SID.ir

واقعی دارد. نتیجه حاصله در خصوص وجود همبستگی بین اهمیت ساختاری و نوع عملکرد اتصالها را می‌توان بدین صورت تأویل نمود که در یک شبکه حمل و نقل شهری ساختار مکانی شبکه و نوع ارتباطات مکانی بین معابر، عاملی موثر در هدایت جریانات ترافیکی می‌باشد. بدین ترتیب که هر معبر که از نظر ساختاری دارای درجه اهمیت بالاتری است در واقعیت نیز جزو معابر شریانی و اصلی بحساب می‌آید، بعبارت دیگر مشارکت بالایی در توزیع و انتقال ترافیک دارد.

لازم به تأکید مجدد است که محاسبه اهمیت ساختاری معابر در شبکه مورد مطالعه صرفاً بر اساس ویژگیهای توپولوژیکی و هندسی آنها و بدون اطلاع از ویژگیهای فیزیکی و نوع آنها در دنیای واقعی صورت پذیرفته است. اما مشاهده می‌شود که نتایج حاصله با شرایط دنیای واقعی این معابر کاملاً در توافق می‌باشد. بدین معنا که اتصالهایی که از نظر ساختاری بعنوان اتصالهای مهم در شبکه شناسایی شده‌اند در دنیای واقعی نیز بعنوان معابر اصلی و مهم بوده و دارای ظرفیت بالاتری نسبت به سایر خیابانها می‌باشند؛ بطوریکه غالباً حجم ترافیک بالایی را از خود عبور می‌دهند. درعوض اتصالهایی که از نظر ساختاری، کم اهمیت‌تر تشخیص داده شده‌اند، در دنیای واقعی نیز جزو معابر فرعی بوده و مشارکت کمتری در انتقال و توزیع ترافیک ایفا می‌نمایند.

نتیجه بررسی صورت پذیرفته را حتی می‌توان دلیلی بر تأثیرگذار بودن اهمیت ساختاری هر معبر بر خصوصیات فیزیکی آن دانست. چرا که اصولاً اصلی و یا فرعی بودن یک معبر را نمی‌توان خصوصیتی ماهوی برای آن محسوب کرد بلکه این میزان تقاضای سفر از آن معبر است که اصلی یا فرعی بودن آنرا تعیین می‌نماید. نتیجه بررسی انجام شده نشان داد که اهمیت ساختاری هر اتصال با میزان استفاده و یا تقاضای سفر از آن در توافق می‌باشد. یعنی موقعیت مکانی معابری که از نظر ساختاری مهم می باشند بگونه‌ای است که ناگزیر پذیرای حجم قابل توجهی از تردد هستند. لذا همین خصوصیت باعث می‌گردد تا آن معابر بمرور زمان بگونه‌ای تغییر یابند تا پاسخگوی میزان بالای تقاضاهای سفر باشند. بر همین اساس، در طول زمان در برخی از این معابر، کاربری اراضی نیز بر مبنای این پتانسیل بالای تردد تغییر می یابد که این مسئله خود باعث تشدید میزان تقاضای سفر می‌گردد. در نتیجه این معابر در نهایت به معابری عریض‌تر و معروفتر تبدیل می‌گردند که به معابر اصلی موسومند. بطور خلاصه موقعیت مکانی و ویژگیهای توپولوژیکی یک معبر نقشی تعیین کننده در عملکرد آن در شبکه حمل و نقل شهری ایفا می‌نماید.

از جمله کاربردهایی که می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی اتصالهای یک شبکه حمل و نقل شهری بیان نمود، پیش بینی خیابانها و معابر مهم در الگوهای ساخت و توسعه شهری است. همانگونه که پیشتر نیز بحث شد این معابر بدلیل قرارگیری در یک موقعیت مکانی ویژه ناگزیر پذیرای حجم بالایی از ترافیک خواهند بود. از آنجاییکه لزوماً این معابر در مرکز هندسی شبکه‌ها قرار ندارند لذا شناسایی آنها تنها با بهره‌گیری از شاخص ساختار مکانی امکان پذیر است. بعبارت دیگر صرفاً با شناسایی اهمیت ساختاری اتصالها می‌توان ویژگیهای عملکردی آنها در دنیای واقعی را پیش بینی نمود. در اینصورت می‌توان پیش بینی‌های لازم در خصوص ویژگیهای فیزیکی این معابر و یا طراحی کاربری خاص اراضی را بمنظور مدیریت حجم بالای ترافیک مورد انتظار در این قبیل از اتصالها را پیش از اجرا و پیاده سازی صورت داد.

بمنظور توسعه تحقیق حاضر می توان برای معیار توسعه داده شده جهت برآورد ساختار مکانی جنبه های مختلف یک شبکه حمل و نقل شهری را نیز در نظر گرفت. بدین معنا که اهمیت ساختاری هر یک از معابر را می توان بعنوان مثال با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیتی خیابانها، توزیع مکانی و میزان تقاضای مسافرتهای شهری و همچنین رفتار حرکتی مسافرین شهری ارزیابی نمود. در اینصورت می توان ارزیابی دقیقتری از اهمیت ساختاری هریک از معابر شهری ارائه نمود. همچنین می توان میزان کارآیی چیدمانهای مکانی مختلفی از معابر برای یک شبکه حمل و نقل را با یکدیگر مقایسه کرد و در نهایت خصوصیات ساختاری شبکه‌هایی که دارای بیشترین کارآیی از حیث مکانی بوده‌اند را تعیین نمود. یعنی شبکه هایی یافت که بواسطه چیدمان مکانی معابر ، هزینه سفر در آنها مقدار کمینه می باشد.

www.SID.ir
Archive of SID

مراجع

[1] B. Hillier, "A note on the intuiting of form: three issues in the theory of design," Environment and planning B, vol. 25, pp. 37-40, 1998.

[2] B. Jiang and C. Claramunt, "A Structural Approach to the Model Generalization of an Urban Street Network," GeoInformatica, vol. 8, pp. 157-171, 2004.

[3] B. Hillier and S. Iida, "Network and psychological effects in urban movement," Lecture Notes in Computer Science, vol. 3693, p. 475, 2005.

[4] B. Hillier, Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture. London: Space Syntax, 2007.

[5] B. Jiang, J. Yin, and S. Zhao, "Characterizing the human mobility pattern in a large street network," Physical Review E, vol. 80, p. 21136, 2009.

[6] D. Volchenkov, "Analysis of urban complex networks," Condensed Matter Physics, vol. 11, pp. 331-340, 2008.

[7] P. Dawson, C., "Analysing the effects of spatial configuration on human movement and social interaction in Canadian Arctic communities," in 4th International Space Syntax Symposium, London, 2003.

[8] B. Hillier, A. Penn, J. Hanson, T. Grajewski, and J. Xu, "Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement," Environment and planning B, vol. 20, pp. 29-29, 1993.

[9] B. Jiang and T. Jia, "Agent-based simulation of human movement shaped by the underlying street structure," International Journal of Geographical Information Science, vol. 25, pp. 51-64, 2011.

[10] B. Jiang, "Flow dimension and capacity for structuring urban street networks," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, vol. 387, pp. 4440-4452, 2008.

[11] B. Jiang and C. Liu, "Street-based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS," International Journal of Geographic Information Science, 2008.

[12] M. Gastner and M. Newman, "The spatial structure of networks," The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems, vol. 49, pp. 247-252, 2006.

[13] M. Barthélemy and A. Flammini, "Modeling urban street patterns," Physical Review Letters, vol. 100, p. 138702, 2008.

[14] V. Kalapala, V. Sanwalani, A. Clauset, and C. Moore, "Scale invariance in road networks," Physical Review E, vol. 73, p. 26130, 2006.

[15] D. J. Wattz and S. Strogatz, "Collective dynamics of small world networks," Nature, vol. 393, pp. 440-442, 1998.

[16] B. Jiang, "Street hierarchies: a minority of streets account for a majority of traffic flow," International Journal of Geographical Information Science, vol. 23, pp. 1033-1048, 2009.

[17] B. Jiang, "A topological pattern of urban street networks: Universality and peculiarity," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, vol. 384, pp. 647-655, 2007.

[18] A. Cardillo, S. Scellato, V. Latora, and S. Porta, "Structural properties of planar graphs of urban street patterns," Physical Review E, vol. 73, p. 66107, 2006.

[19] U. Demšar, O. Špatenková, and K. Virrantaus, "Identifying Critical Locations in a Spatial Network with Graph Theory," Transactions in GIS, vol. 12, pp. 61-82, 2008.

[20] C. Shu, "Spatial Configuration of Residential Area and Vulnerability of Burglary," in 7th International Space Syntax Symposium, Stockholm: KTH, 2009.

[21] B. Hillier, A. Leaman, P. Stansall, and M. Bedford, "Space syntax," Environment and planning B, vol. 3, pp. 147-185, 1976.

[22] B. Hillier and J. Hanson, The social logic of space. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

Archive of SID

www.SID.ir

[23] M. Batty, "A New Theory of Space Syntax, UCL Centre For Advanced Spatial Analysis Publications," CASA Working Paper 752004.

[24] S. Marshall, Streets and Patterns: The Structure of Urban Geometry, 1 ed.: Routledge, 2005.

[25] M. E. J. Newman, A. L. Barabasi, and D. J. Watts, The Structure and Dynamics of Networks, 1 ed.: Princeton University Press, 2006.

[26] P. Blanchard and D. Volchenkov, Mathematical Analysis of Urban Spatial Networks: Springer, 2008.

[27] J. Yin, The Topological Patterns of Urban Street Networks: Exploring the Topological Patterns of Urban Street networks from Analytical and Visual Perspectives: VDM Verlag, 2009.

[28] G. Chartrand, Introductory graph theory: Dover Publications, 1985.

[29] N. Biggs, E. Lloyd, and R. Wilson, Graph theory, 1736-1936: Oxford University Press, USA, 1986.

[30] M. Tomko, S. Winter, and C. Claramunt, "Experiential hierarchies of streets," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 32, pp. 41-52, 2008.

[31] M. Tuck, "Gestalt Principles Applied in Design," Retrieved, vol. 9, 2011.

[32] B. Jiang and X. Liu, "Scaling of geographic space from the perspective of city and field blocks and using volunteered geographic information," International Journal of Geographical Information Science, vol. 26, pp. 215-229, 2012.

[33] A. Field, Discovering Statistics using IBM SPSS Statistics, 4th ed.: SAGE, 2013.

[34] T. J. M. Cleophas and A. H. Zwinderman, SPSS for Starters, Part 2: Springer London, Limited, 2012.

Archive of SID

www.SID.ir