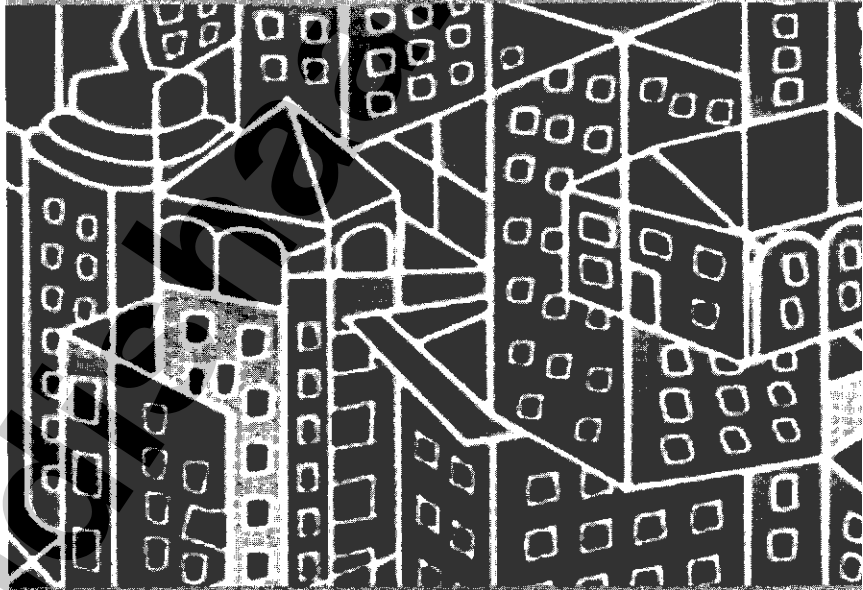


مجله علمی و تخصصی شهرسازی



کاربردهای تحقیق در عملیات در فرایند شهرسازی

چکیده

تحقیق در عملیات حوزه‌ای از علم مدیریت است که در تمامی علوم دیگر به نوعی داخل شده و آنها را از طریق برآورد و یا بهینه‌سازی در حل معضلات یاری رسانده است. در این مقاله جایگاه روش‌های مختلف تحقیق در عملیات (مدل‌های خطی، غیرخطی و احتمالی) در تحلیل‌های شهرسازی و برخی تحقیقات اساسی در این زمینه به بحث گذاشته شده است.

کلیدواژه‌ها: شهرسازی، تحقیق در عملیات، مدل‌سازی، برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی احتمالی

ناصر محمدی
معاونت ملی دانشگاه آزاد اسلامی تهران

فصلنامه مدیریت شهری شماره ۱۵-۱۶ پاییز و زمستان ۱۳۸۲

مقدمه

اگر شهرسازی به مثابه مطالعه طرح ریزی و توسعه شهرها با مدنظر قرار دادن احتیاجات اجتماعی و اقتصادی با توجه به حداقل سازی مشکلات شهری و پاسخگویی به نیازهای عمومی جمعیت شهری در نظر گرفته شود، می توان آن را نوعی "سیستم" در نظر گرفت که به دنبال طرح و تنظیم نقشه های جدید، توزیع صحیح تأسیسات شهری، برنامه ریزی حمل و نقل مطلوب شهری و صدها فعالیت دیگر است.

"سیستم" در عام ترین مفهوم آن مجموعه ای از عناصر مصنوع و غیر مصنوع - مثل انسان - است که تعامل و سازمان یافتگی آنها به گونه ای است که می تواند با کنترل و توزیع منابع مادی، انرژی و اطلاعات به هدف مشخص شده ای برسد (کاتانیزی، ۱۳۷۱).

با تعریفی که از سیستم ارائه شد، می توان کلیه فعالیت های شهرسازی و برنامه ریزی شهری را مهندسی سیستم شهری نامید. از دیدگاه هیتون [۱]، مهندسی سیستم ها نامی است که در زمان حاضر در مورد فرایندهای مهندسی، برنامه ریزی، و طراحی ایجاد سیستم یا پروژه ای با پیچیدگی بسیار مورد پذیرش عمومی واقع شده است (هینتون، ۱۳۶۹). اسمیت نمود متمایز کننده طراحی یک سیستم را در چه پیچیدگی آن می داند که به یکی از راه های زیر سنجیده می شود:

- تعیین تعداد اجزای مختلف سازنده آن، که مرتبط با یکدیگر عمل می کنند.

- تعیین تعداد یا پیچیدگی کنش های متقابل که بین اجزا صورت می گیرد.

- استفاده از کار گروه های تخصصی و رشته های مختلف در حدی که در طراحی سنتی پروژه ها معمول نیست.

در کلیه حوزه های مهندسی سیستم ها - و مهندسی سیستم شهری - جریان کلی طراحی سیستم، نیازمند استفاده از مدل سازی ریاضی و روش های تحقیق در عملیات است. روش های تحقیق در عملیات در طول دهه های اخیر به کمک مهندسان شهرساز شناخته و در بسیاری از موارد آنها را یاری رسانده است.

فرایند طراحی سیستم شهری

متخصصان شهرسازی - چه برنامه ریز شهری و چه طراح شهری - در برنامه ها و مطالعات خود نیازمند استفاده از متخصصان علوم فیزیکی، جغرافیایی، اجتماعی، اقتصادی، هنری، سیاسی، فنی، حقوقی و روان شناسی است تا خلاقیت طراحی خود را در ایجاد رابطه منطقی و بهینه بین انسان و محیط زیست به منصه ظهور برسانند. یعنی آنها دقیقاً به عنوان

مهندس سیستم عمل می کنند و مهم ترین وظیفه مهندس سیستم داشتن خلاقیت طراحی است. منظور از خلاقیت طراحی آن است که شهرساز فرایند زیر را در طراحی و برنامه ریزی طرح مدنظر قرار دهد. فرایند مذکور شامل چهار فعالیت است:

- تعیین اهداف و معیارهای طراحی؛

- ایجاد طرح هایی که بتوان گزینه مطلوب را از بین آنها برگزید؛

- بررسی امکان پذیری اجرای پیشنهادها؛ و

- بهینه سازی و پالایش طرح برای به حداکثر رساندن کارایی آن. نمودار شماره ۱ این فرایند را به صورت نموداری تبیین می کند.

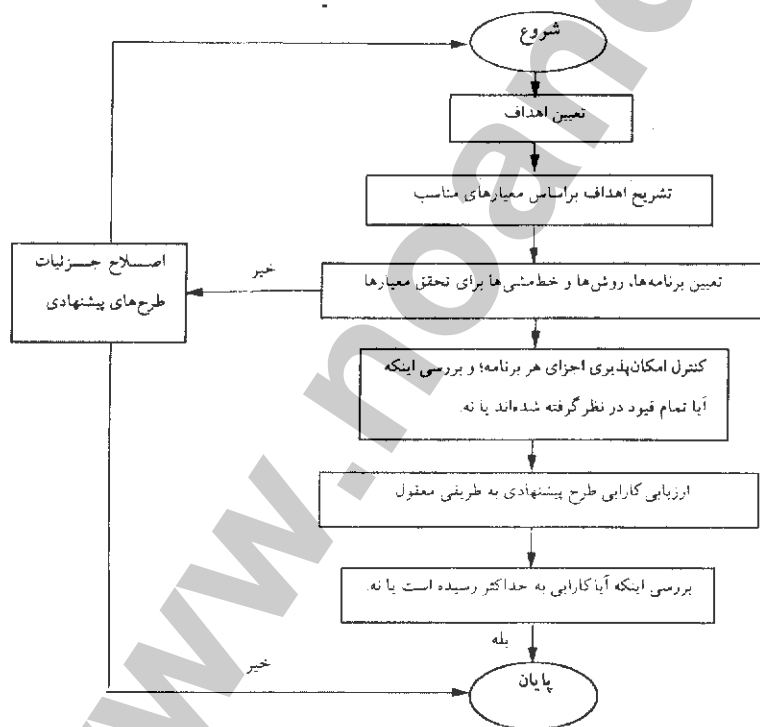
شهرساز به عنوان مهندس سیستم برای تکمیل فرایند طراحی:

- محدوده های تخصصی مختلف را تعریف می کند و مشخص می سازد؛

- دانش و مهارت های مورد نیاز (گروه های کاری متخصص) را گردآوری می کند؛ و - فعالیت بخش های مختلف را برای رسیدن به نتیجه نهایی هماهنگ می سازد (هال، ۱۳۸۱، هینتون ۱۳۶۹).

فرایند طراحی دقیقاً همان مراحل است که در علم تحقیق در عملیات طی می گردد. آشنایی شهرساز با روش های تحقیق در عملیات و استفاده صحیح از آنها، منجر به بهبود فرایند طراحی می گردد.

شکل شماره ۱ - نمودار جریان برای تبیین روش های طراحی



هدف تمامی مدل های ریاضی یا روش های تحقیق در عملیات، تصمیم گیری و رسیدن به جواب بهینه است

تحقیق در عملیات

تحقیق در عملیات را به عنوان مجموعه ای از مدل ها و روش های کمی که تصمیم گیرنده از طریق روش های علمی در امر تصمیم گیری یاری می دهد، تعریف می کنند. ویژگی های اساسی تحقیق در عملیات، که آن را مناسب ترین روش مورد استفاده در مهندسی سیستم ها می سازد، عبارتند از:

- برخورد سیستمی یا مسئله و سنجش اثر نهایی هر عمل بر کل سیستم، - به کارگیری روش علمی که فرایندی نظام مند همانند فرایند طراحی است و در نمودار شماره ۲ آمده است؛ - استفاده از گروه های کاری متشکل از متخصصان علوم مختلف؛ و

- استفاده از مدل که در واقع انتخابی انتزاعی و به عبارتی تخمینی از واقعیت است (رائو، ۱۳۷۳؛ هیلپیر، ۱۳۷۰؛ Wilkes, 1997) مدل ها را بر اساس درجه انتزاعی بودن آنها به سه دسته مدل های شمایی (مانند اتومبیل های مدل)، مدل های قیاسی (مانند فلوجارت های کامپیوتر و خط رأس های نقشه) و مدل های ریاضی تقسیم می کنند.

مدل ریاضی مجموعه ای از معادلات است که سیستم واقعی را بر حسب ویژگی های فیزیکی، سازمانی، کاری و اقتصادی آن تشریح و تعریف می کند. بیشترین اهمیت مدل ریاضی در این است که امکان بررسی روش مند سلسله وسیعی از پارامترهای سیستم را به مهندس طراح می دهد، که برای دستیابی به کارکرد و کارایی بهینه سیستم لازم است. هر مدل ریاضی معمولاً شامل این عناصر است:

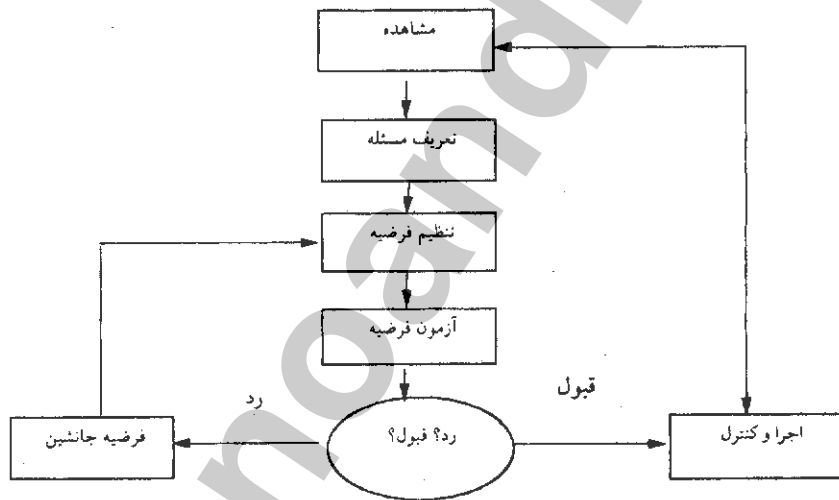
الف - مجموعه ای از متغیرهای مستقل یا تصمیم گیری؛

ب - تابع هدف، یا کمیتی که کارایی خطمشی خاصی را متناسب می نماید و آن را به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم گیری بیان می کند.

پ - مجموعه ای از محدودیت ها که تحقق شرایطی را تحت مقادیر موجه از متغیرهای تصمیم مد نظر دارند.

هدف تمامی مدل های ریاضی یا روش های تحقیق در عملیات، تصمیم گیری و رسیدن به جواب بهینه است.

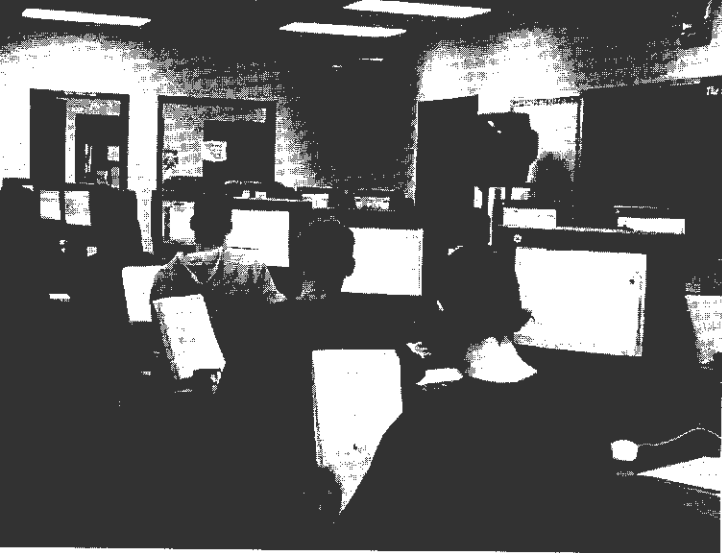
شکل شماره ۲ - مراحل تحقیق علمی نظام مند



برای درک بهتر و به کارگیری مدل های ریاضی آنها را به شکل های مختلف طبقه بندی می کنند. یکی از این طبقه بندی ها به صورت زیر است:

- مدل های خطی یا غیر خطی؛
- مدل های قطعی یا احتمالی؛ و
- مدل های استاتیک یا دینامیک.

این طبقه بندی بر اساس رابطه بین متغیرهای تصمیم در تابع هدف و یا محدودیت ها انجام پذیرفته است. پس از اینکه مدل های ریاضی ساخته شد، روش های متعددی برای یافتن جواب بهینه آنها وجود دارد. از مهم ترین این روش ها می توان به سه روش زیر اشاره کرد:



– برنامه‌ریزی خطی؛

– برنامه‌ریزی غیرخطی؛ و

– برنامه‌ریزی پویا.

بسته به نوع مدل از یکی از روش‌های بهینه‌یابی برای رسیدن به جواب استفاده می‌شود (رائو ۱۳۷۳، ۱۹۸۸، Chang & Sullivan)

رابطه تحقیق در عملیات و شهرسازی

مطالعه نظام‌مند مسائل تصمیم‌گیری تا قبل از جنگ جهانی دوم به صورت عملی وجود خارجی نداشت. در این برهه ناکافی و ناکارآمد بودن برنامه‌ریزی‌هایی که تنها بر اساس تجربیات گذشته استوار شده بود، بر همگان روشن شد. با گذشت زمان نیاز به روش‌های برنامه‌ریزی و پیش‌بینی جدید

مبتنی بر اصول ریاضی ملاحظه گردید و پس از پایان جنگ شدت بیشتری پیدا کرد. فعالیت‌های تحقیقاتی در این زمینه به قدری افزایش یافت که حوالی سال ۱۹۵۰ دانش جدید تحقیق در عملیات به وجود آمد. در ادامه این حرکت به روش‌های طراحی سیستم‌ها توجه خاصی گردید.

گسترش احتیاجات متعدد در شهرها، نیاز به پاسخگویی سریع به مشکلات جمعیتی، لزوم استفاده بهینه از منابع در دسترس، ضرورت حداقل سازی مشکلات شهری، توسعه شهری و نظایر اینها از جمله نیازهایی بودند که پای علم تحقیق در عملیات را به حوزه مسائل شهری باز کردند. مدل‌های کاربری اراضی و حمل و نقل اولین مدل‌هایی بودند که در شهرسازی مورد استفاده قرار گرفتند، که از آن جمله می‌توان به مطالعات حمل و نقل منطقه شیکاگو در اواسط دهه ۱۹۵۰ اشاره کرد [۲].

پیش از آنکه از روش‌های تحقیق در عملیات در تصمیم‌گیری‌های شهری مورد استفاده قرار گیرد، مسائل شهری در تمامی نقاط جهان با استناد به تجربه حل می‌شدند. شهرسازان پس از مواجهه با مشکلات پدید آمده ناشی از این روش‌های تصمیم‌گیری و هم‌زمان با ارائه روش‌های تحقیق در عملیات، توجه خود را به این سمت معطوف ساختند با گذشت زمان و پیچیده‌تر شدن امور شهری، تفکر سیستمی رویکرد تازه آنها به مسائل شهری بود. براساس این رویکرد هر شهرساز – چه به عنوان برنامه‌ریز و چه به عنوان طراح – به اینها نیاز داشت:

– تصمیم‌گیری در شرایط چند متغیره؛

– رویارویی با شرایط غیرقطعی (احتمالی)؛

– تجمیع تخصص‌های مختلف؛

– استفاده مقتضی و مناسب از منابع محدود؛

– سرعت عمل در ارائه نتایج تصمیم؛

– داشتن جواب‌های عملی (موجه) یا توجه به شرایط تمامی متخصصان درگیر؛ – تلفیق آرای تمامی متخصصان؛

– اتکا به تمامی اطلاعات در زمان واحد؛

– دخالت نقش زمان در بهبود تصمیم؛

و نظایر اینها (هال ۱۳۸۱، کانانیزی ۱۳۷۱).

علمای تحقیق در عملیات با ارائه روش‌های نو و متعدد همواره راهگشای مهندسان سیستم در پاسخگویی به این نیازها بوده‌اند. این روش‌ها، به طریق زیر همواره به کمک سیستم‌های شهری آمده‌اند:

● استفاده از مدل سازی ریاضی و ایجاد امکان تصمیم‌گیری چند متغیره؛

● ارائه روش‌های پارامتریک، احتمالی و فازی امکان تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان؛

● ارائه روش‌های برنامه‌ریزی پویا برای تصمیمات چند مرحله‌ای؛

● استفاده از نرم‌افزارهای مختلف برای نتیجه‌گیری سریع؛ و

● رعایت اصول و مبانی ریاضی برای موجه باقی ماندن جواب‌ها.

بین نیازهای مهندسی سیستم شهری و ابزارهای متعدد تحقیق در عملیات ارتباطی تنگاتنگ و ملموس دیده می‌شود. نمونه‌های کاربردی که در ادامه ذکر می‌گردند، عمق این ارتباط را مشخص می‌کند.

کاربرد تحقیق در عملیات در طراحی سیستم شهری

اکنون کاربرد روش‌های متعدد تحقیق در عملیات در مسائل شهری قدمت زیادی یافته، به گونه‌ای که از سالیان دور ساخت مدل ریاضی برای مسائل و معضلات شهری و یافتن جواب بهینه متداول شده است. در این بخش کاربرد هر یک

از روش‌ها در توسعه شهری به اختصار تشریح می‌شود.

الف- طراحی سیستم شهری و برنامه‌ریزی خطی:

با بررسی پژوهش‌های برنامه‌ریزان شهری می‌توان به آسانی کاربردهای مدل‌های خطی را در مسائل شهری مشاهده کرد. استفاده از مدل‌های خطی در انواع تجزیه و تحلیل‌های شهری به سبب سادگی نسبی و دقت این مدل‌ها کاملاً متداول و مقبول است.

به هنگام استفاده از این مدل‌ها، فرض بر آن است که رابطه بین متغیرها در تابع هدف و محدودیت‌های مدل کاملاً خطی است.

در سال ۱۹۲۹ رابلی اولین مدل مرتبط با سیستم شهری را با عنوان مدل جاذبه خرده‌فروشی ارائه داد که در مکان‌یابی مراکز خرید کاربرد داشت. از ابتدایی‌ترین مدل‌های خطی جهان حقیقی که به دست شهرسازان ساخته شد مدل بهینه‌سازی کل رفت و آمدهایی بود که خانواده‌هایی با تعداد افراد متفاوت در ناحیه ویسکانسین انجام می‌دادند. این تحقیق به پیشنهاد شورای برنامه‌ریزی ناحیه‌ای ویسکانسین و به منظور برآورد و پیش‌بینی رفت و آمدهای خانوارها ساخته شد. مدل مهاجرت ناحیه ویسکانسین نیز از مدل‌های خطی است که به پیشگویی نحوه تغییر محل سکونت مردم، چه در داخل این ناحیه و چه در خارج آن می‌پردازد. در مدل کوشش شده است بهینه‌سازی طول مسافتی که مردم در طول روز برای رسیدن به محل کار خود از خانه‌هایشان طی می‌کردند، انجام پذیرد (کاتانیزی - ۱۳۷۱).

استیلول [۳] نتایج مدل‌های خطی بارلور [۴] را در بررسی تأثیر ساختار صنعتی بر رشد اشتغال تحلیل کرد. این مدل برای بریتانیا و طی دوره‌های سه‌گانه در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۸ طراحی شده است (تمپلمن، ۱۳۸۱). مدل‌های خطی را می‌توان در مسائل ترافیک، جایابی بیمارستان‌ها، مدارس، دانشگاه‌ها، تأسیس جایگاه‌های رفاهی و بسیاری از مسائل شهری به کار برد. در اوایل دهه ۶۰ چپین [۵] مدل خطی جدیدی را به نام UNC ارائه

تحقیق در عملیات همانا به کارگیری مجموعه روش‌هایی است که با برنامه‌ریزی، ارزیابی و کنترل سیستم‌های عملیاتی سروکار دارد و به واسطه نیازهای متعدد در حوزه‌های علمی مختلف جای باز کرده است

کرد که با استفاده از رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی تبدیل زمین‌های بایر شهری به کاربری مسکونی به کار می‌رفت و مشخص می‌کرد که کدام یک از زمین‌ها در مراحل رشد قبل از بقیه به کاربری مسکونی اختصاص می‌یابند.

در این مدل، هر قطعه شاخصی به نام شاخصی جذابیت داشت که وابسته به پارامترهای زیر بود:

۱- ارزش اولیه زمین؛ ۲- وجود فاضلاب عمومی؛ ۳- دسترسی به نزدیکترین خیابان اصلی؛ ۴- دسترسی به نزدیکترین مدرسه ابتدایی؛ و ۵- دسترسی به نواحی کار.

ب- طراحی سیستم شهری و مدل‌های غیرخطی:

در مسائل شهری زمان عامل بسیار مؤثری است. بر اثر گذر زمان سیستم‌های مختلف در معرض تغییرات عمده قرار می‌گیرند، و مدل‌های غیرخطی در چنین مواردی اهمیت می‌یابند. برخی مدل‌های غیرخطی ذاتاً خطی‌اند؛ یعنی می‌توان آنها را با روش‌هایی به مدل‌های خطی تبدیل کرد. این نوع مدل‌ها در شهرسازی مورد توجه قرار گرفته و در بسیاری از تحقیقات شهرسازی به کار رفته‌اند.

مدل‌های مضرربی، تابعی توانی، توانی، درجه دوم و سوم و لجستیک نمونه‌هایی از مدل‌های ذاتاً غیرخطی هستند که نمی‌توان آنها را به مدل‌های خطی تبدیل کرد. فانز [۶] مدل تابعی توانی را در تجزیه و تحلیل حمل و نقل شهری مورد استفاده قرار داد. او طریق بهینه‌کاهش ترافیک را نسبت به مسافت توصیف کرد و مدل وی در ناحیه کریسنت [۷] امریکا به اجرا گذاشته شد (Wilkes, 1997).

مدل‌های توانی برای گروهی از مسائل شهری که در آنها متغیرها بر حسب زمان تغییر می‌یابند یا به سبب رشد افزایش می‌یابند قابل استفاده‌اند.

نمونه‌ای از این مدل‌ها، مطالعات حمل و نقل است. مدل چندجمله‌ای درجه دوم در تحقیقات تقاضای مسکن شهر آتلانتا در طی زمان بلند مدت مورد استفاده قرار گرفت (Ibid).

پ- طراحی سیستم شهری و مدل‌های احتمالی:

جهان واقعی سیستم‌های شهری اغلب پیچیده‌تر از آن چیزی است که در مدل‌های قطعی مطرح می‌شوند و تحت شرایط نامطمئن عمل می‌کنند. از همین روست که نیاز به مدل‌های احتمالی مطرح می‌شود. مدل‌های احتمالی را به دو دسته مدل‌های با متغیر تصادفی گسسته و متغیر تصادفی پیوسته تقسیم‌بندی می‌کنند. مدل‌های گسسته کاربرد وسیعی در مسائل شهری دارند، چون متغیرهای مورد استفاده در تحقیقات شهری دارای چنین وضعیتی هستند.

توزیع بواسن از نوع مدل‌های گسسته است که در مدل‌های صف برای یافتن انتظار، مانند خدمات متنوع شهری (پارک‌ها، بانک‌ها، پلیس و جز آن) مورد استفاده قرار می‌گیرند. توزیع گاما از نوع مدل‌های پیوسته است. این مدل بیشتر برای تحقیقات ترافیک و سرمایه‌گذاری‌ها به کار گرفته شده است. مدل مذکور در شهر تورنتو و برای محاسبه طول رفت و آمد روزانه مردم با وسایط نقلیه در حوزه شهر به اجرا گذاشته شد (رائو، ۱۳۷۳).

به علاوه شهرسازان مدل‌های برآوردی خطی، غیرخطی و احتمالی را همانند مثال‌های پیش گفته به کار می‌گیرند. از این مدل‌ها برای بهینه‌سازی نیز استفاده می‌شود. مدل‌های بهینه‌ساز نشان می‌دهند که بهترین راه‌عمل سیستم‌های شهری تحت شرایط گوناگون در زمان‌های آینده چه خواهد بود.

تکنیک‌های ریاضی بهینه‌یاب به دو علت مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گرفته است: اول - آنکه فرایند ارزیابی متداول مطلوب نیست. این بدان علت است که این امکان وجود دارد که راه‌حل‌های بهتر ناشناخته‌ای وجود داشته باشد، در حالی که در این موارد در مورد تعداد راه‌حل‌هایی که می‌توان مورد ارزیابی قرار داد همیشه محدودیت‌هایی وجود دارد. دوم آنکه به نظر می‌رسد رابطه مستقیمی بین هدف‌های مهم برنامه‌ریزی و مسائلی که برای حل آنها تکنیک‌های برنامه‌ریزی ساخته شده است وجود دارد. نمونه‌هایی از این مدل‌ها عبارتند از:

- مدل استفاده از امکانات تونل لینکلن که به دلیل افزایش تعداد خودروها ایجاد معضل کرده بود. برای بهینه‌سازی جریان ترافیک در داخل تونل مدلی را ارائه و پس از حل مشخص کردند که حداکثر سرعت داخل تونل، فاصله بین خودروها و حداکثر تعداد خودرو در داخل تونل (ظرفیت تونل) چقدر باشد (۱).

- مدل ارزشیابی طرح و حداقل‌سازی هزینه در تعیین مسیر و محل بزرگراه‌های سیستم شهری شیکاگو. پس از تعیین مقاصد، طول بزرگراه‌ها، مخارج رفت و آمدها، تراکم و جز اینها مدلی ارائه شد که کل هزینه‌های ساخت و تردد را به حداقل رساندند و این مدل مبنای توسعه بزرگراه‌های شیکاگو گردید (کاتینزی ۱۳۷۱).

نتیجه‌گیری

تحقیق در عملیات همانا به کارگیری مجموعه روش‌هایی است که با برنامه‌ریزی، ارزیابی و کنترل سیستم‌های عملیاتی سروکار دارد و به واسطه نیازهای متعدد در حوزه‌های علمی مختلف جای باز کرده است. با ارائه اولین تعاریف از مهندسی سیستم‌ها در سال ۱۹۶۰ جای پای تحقیق در عملیات در مسائل شهری نیز مشاهده می‌شود. روش‌های مختلف تحقیق در عملیات را می‌توان به سهولت در مسائل شهری مورد استفاده قرار داد و به نتایج مهمی نیز دست یافت. امروزه هیچ حوزه‌ای از مسائل شهری وجود ندارد که نتوان از این روش‌ها برای تصمیم‌گیری در آن استفاده کرد.

روش‌های مختلف خطی، غیرخطی و پویا بسته به نوع نیاز شهرسازان در حوزه‌های شهرسازی به کار گرفته شده‌اند، که نمونه‌هایی از آنها آورده شد.

ابزارهای تحلیل تحقیق در عملیات، دامنه گسترده‌ای از مفاهیم و فنون را در برمی‌گیرند که به منظور درک و بیان ماهیت شهرها و پیش‌بینی پیامدهای تغییرات آنها، شکل گرفته و توسعه یافته‌اند.

اگر قرار است مدلی برای فرم شهر در دست‌آورد ارائه کرد و یا در فکر ایجاد فرم محیط بود، می‌توان روش‌های تحقیق در عملیات را به کار گرفت.

مصرف نواحی شهر نیز با مدل‌های تخصیص و جایابی به سهولت طرح شدنی است. از مدل‌های تحقیق در عملیات می‌توان برای بهینه‌سازی ترابری و برآوردهای لازم برای آن استفاده کرد. اینها تنها نمونه‌هایی از مدل‌های اولیه تحقیق در عملیات اند، که حکم ابزارهای شهرسازان را دارند.

بافوش
1- Hinton

- 2- The Chicago Area Transportation Study
- 3- Steelwell
- 4- Barlow
- 5- Chapin
- 6- P.Fouts
- 7- Crescent

منابع

- ۱- کاتینزی، آ. روش‌های علمی و تحلیل مسائل شهری، ترجمه منوچهر مزینی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۷۱.
- ۲- هل، پیتر: برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، ترجمه جلال تبریزی، انتشارات پردازش و برنامه‌ریزی شهری، تهران، ۱۳۸۱.
- ۳- تپلمان، آ. سیستم‌های مهندسی عمران، ترجمه محمدعلی افشار (و دیگران)، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ۱۳۸۱.
- ۴- رائو، اس. اس: بهینه‌سازی (تئوری و کاربرد)، ترجمه سیدمحمد مهدی شهیدی‌پور، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۱۳۷۳.
- ۵- جینتون، آر. (و دیگران): تحلیل و طراحی سیستم‌های مهندسی عمران، ترجمه محمدتقی بلکنر، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۶۹.
- ۶- حشید، اسماعیل: مقدمه‌ای بر مبنای برنامه‌ریزی شهری، انتشارات دانشگاه علوم صنعتی اهواز، تهران، ۱۳۷۶.
- ۷- هیلپر و لیزرمن: برنامه‌ریزی ریاضی، مترجم محمد مندری و آصف وزیری، انتشارات نشر، تهران، ۱۳۷۰.

- 8- Wilkes, F.M: Elements of Operations Research, McGraw Hill, 1997.
- 9- Chang & Sullivan: Quantitative System for Business, prentice - Hall, 1988.