

## ظرفیت تحمل زیست‌محیطی و تراکم توسعه پایدار شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد

محمد رحیم رهنما، دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه فردوسی مشهد  
شهرزاد قلی‌زاده سرابی\*، دانشجوی کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه فردوسی مشهد

وصول: ۱۳۹۲/۲/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۷، صص ۲۸۶-۲۶۳

### چکیده

امروزه مفهوم ظرفیت تحمل زیست‌محیطی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، یکی از مهمترین ابزارها در جهت نیل به پایداری شهری است. در این مقاله تراکم مطلوب توسعه شهری با رویکرد ظرفیت تحمل زیست محیطی در منطقه ۹ شهری تعیین و در آن مفهوم ظرفیت تحمل به دو مفهوم اساسی ظرفیت تحمل حیاتی و مقاومت محیط تقسیم گردید. به منظور تعیین ظرفیت تحمل در ابتدا پتانسیل بهره‌وری هریک از منابع موجود و بار عملکردی هریک از تاسیسات شهری در پاسخ به نیازهای واقعی شهرنشینان براساس هفت عامل آب، فاضلاب، زباله، انرژی، راه، حمل و نقل همگانی و سطوح سبز برآورد شد و سپس بر مبنای استانداردهای زیست‌محیطی و آستانه‌های مجاز آلودگی تراکم مطلوب توسعه تعیین شد. برای ارزیابی ظرفیت تحمل از مدل عدد فشار در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شد و ظرفیت تحمل در سه بازه تحت عنوان آستانه مطلوب، آستانه مجاز و فشار بحرانی توزیع گردید. نتایج نشان داد که جمعیت و تراکم توسعه منطبق بر ظرفیت تحمل منطقه توزیع نیافته است و در بازه فشار بحرانی برابر با بیشترین مقدار فشار وارده بر سرزمین قرار دارد. در ادامه عامل مصرف و بهره‌وری از منابع آب و تصفیه فاضلاب به عامل محدودکننده ظرفیت تحمل منطقه انتخاب شد و بر مبنای آن حداقل و حداکثر توان جمعیت‌پذیری منطقه برابر با ۱۰۹۸۶۲ و ۱۲۵۹۱۳ نفر با متوسط ضریب سطح زیربنای ۹۰/۶ درصد و تراکم خالص و ناخالص ۷۶ و ۱۱۴ نفر در هکتار تعیین شد. در نهایت پیشنهاد می‌شود مفهوم ظرفیت تحمل زیست‌محیطی به عنوان ابزار جامع برنامه‌ریزی، پیش از بروز عوارض منفی ناشی از فشار جمعیت، در فرآیند مدیریت و برنامه‌ریزی کلانشهر مشهد و به ویژه در توسعه‌های جدید بکار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، ضریب سطح زیربنا، ظرفیت تحمل شهری، محیط زیست.

## مقدمه و بیان مساله

خاستگاه مفهوم ظرفیت تحمل نامشخص است. عده‌ای از زیست شناسان بر این عقیده استوار هستند که مفهوم ظرفیت تحمل، در علوم زیستی ریشه دارد (Changliang&Lina,2012:107;Clarke,2002:35). آن‌ها ظرفیت تحمل را حداکثر جمعیت یک گونه خاص تعریف می‌کنند که می‌تواند به طور نامحدود در یک محیط معین حمایت شوند؛ بدون اینکه بر بهره‌وری و عملکرد سیستم‌های پیشین حیات آن تخریبی پایدار وارد سازند و یا ظرفیت‌های آینده را برای پشتیبانی از آن‌ها کاهش دهند (Rees&Wackernagel,1996:224; Lane,2010:1038; Parto,2009:2552; Rees,1992:125; Xu&Xie,2012:864).

با نگاهی بر علوم زیستی، ظرفیت تحمل شهری برابر با حداکثر تعداد افرادی است که می‌تواند در یک ناحیه معین شهری حمایت شوند، بدون اینکه بر محیط طبیعی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی برای نسل‌های کنونی و آتی تخریبی پایدار وارد سازند و یا توانایی آن محیط را در پایدار ساختن کیفیت مطلوب زندگی در طول زمان کاهش دهند (Rao&Chennamaneni,2007:5). از اینرو ظرفیت تحمل شهری حداکثر بار و فشار وارد آمده بر اکوسیستم شهری است (Xu et al.,2010) که عمدتاً بر ارتباط بین محدودیت‌ها و فشار عرضه و تقاضا تمرکز دارد (Kang&Xu,2010). بدین معنی که همواره یک محدودیت در رشد جمعیت‌های زیستی وجود دارد (Schroll et al,2012:30;Godshalk&Parker,1975:161) که در صورت تجاوز از آن هر دوی محیط‌های طبیعی و انسانی به طور باور نکردنی به مخاطره می‌افتند (زبردست، ۱۳۸۳: ۱۶۱). چنانکه در اکوسیستم‌های پس

رفته چون کلانشهرهای امروزی، ساختار اکوسیستم اولیه دستکاری و فرآیند اکوسیستم دچار اختلال شده است.

شهر مشهد نیز از این قاعده مستثنا نیست. امروزه رشد سریع جمعیت شهرنشین در کلانشهر مشهد، نه تنها سیاست‌های شهرسازی را به طور وسیعی تحت الشعاع قرار داده، بلکه تبعات حاصل از آن نیز در تشدید مسایل اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی و زیست-محیطی موثر واقع شده و دغدغه‌ها و نگرانی‌های ناشی از آن، برنامه‌ریزان را به اتخاذ تمهیداتی جهت حل و یا مهار مسایل و بحران‌های ناشی از این پدیده واداشته است. متأسفانه اصولی که هم اکنون در تدوین خط مشی‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی در کلانشهر مشهد به چشم می‌خورد، غالباً حول محور تامین نیازها و خواسته‌های گروه‌های ذینفع بشری است و لذا آنچه که در این میان نادیده گرفته می‌شود؛ آستانه‌های تحمل زیست‌محیطی و ظرفیت اکوسیستم بستر در مواجهه با خیل عظیم ورود ماده و انرژی و تغییرات کاربری زمین است.

در این میان مقوله تراکم شهری، یکی از مهمترین مباحث شهری است که نمی‌تواند از دیدگاه محیط زیست بی‌تفاوت و یا خنثی ارزیابی شود. رابطه بین تراکم و محیط زیست پیچیده است (آکیولی و داویدسون، ۱۳۹۰: ۲۵). تراکم به عنوان ابزاری در دست برنامه‌ریزان و طراحان شهری در ارتباط نزدیک با کاربری زمین، ترافیک شهری و کیفیت محیط و زندگی قرار می‌گیرد (Tan et al;2008: 471) و از طریق اثرگذاری بر ابعاد سه‌گانه محیط مصنوع و استفاده بهتر از زمین و فضای شهری، دارای نقش

### پیشینه موضوع

مفهوم ظرفیت تحمل از دیرباز مورد توجه محققان بسیاری است. اسکرول و همکاران (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای با عنوان "ظرفیت تحمل: رویکردی در برنامه‌ریزی فضایی محلی در اندونزی" ظرفیت تحمل را به دو مفهوم "ظرفیت تحمل پشتیبان"<sup>۱</sup> و "ظرفیت تحمل جایگزین"<sup>۲</sup> تقسیم نمودند و عوامل تعیین کننده ظرفیت تحمل را در پنج بخش کمیت و کیفیت آب، امنیت غذایی، مدیریت زباله‌های جامد، حمل و نقل و تنزل سطوح جنگلی و زمین‌ها ارایه دادند (Schroll & et al., 2012:31). کنگ و زو (۲۰۱۲)، ظرفیت تحمل منابع آب را در یک پارک صنعتی در شهر زوهایی مورد مطالعه قرار دادند (Kang&Xu, 2012:879).

چنگ لیانگ و لینا (۲۰۱۰)، مبانی نظری ظرفیت تحمل جامع شهری را مطالعه نمودند و مجموعه‌ای از شاخص‌های مفید را در برآورد ظرفیت تحمل در سه لایه مختلف اجتماعی، اقتصادی و منابع پیشنهاد دادند (Changliang&Lina, 2012:105).

زو و وی (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای با عنوان "ارزیابی ظرفیت تحمل زیست محیطی شهری در شهر پکن در چین"، از مدل‌های ریاضی برای ارزیابی ظرفیت تحمل شهری در بخش تانگژو در چین استفاده نمودند (Xu&Wei, 2010: 1873). چنانکه لین (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای با عنوان "روش شناسی ظرفیت تحمل منطقه‌ای در راستای برنامه‌ریزی پایدار کاربری اراضی" مجموعه‌ای از رویکردها و روش‌های ارزیابی ظرفیت تحمل را در سطوح منطقه‌ای مورد بررسی، مقایسه و آزمون قرار داد (Lane, 2010:1038).

اساسی در سامان دادن به پیکره، سیما و چهره شهر و پراکنش موزون و منطقی جمعیت و فعالیت در پهنه شهری است و توسعه پایدار و متوازن شهر را سبب می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳:۲۵۵). مقوله تراکم به عنوان یک عامل اصلی و شاخص در مجموعه فعالیت‌های شهرسازی و به‌عنوان ابزاری برای مهار توسعه و تعادل بخشی فضایی بدان، در طرح‌های توسعه شهری مشهد و به تبع آن منطقه ۹ شهرداری از مناطق سیزده گانه این شهر نیز همواره از دیرباز مورد توجه واقع شده است. اما بدیهی است که در این طرح‌ها به هنگام مطالعات برای تعیین آستانه‌های مجاز تراکم شهری، نسبت به آستانه‌های تحمل زیست محیطی، توجه جدی به عمل نیامده و تعیین آن، بدون طی فرآیندهای علمی، تبعات و عوارض بسیاری را برای شهر و شهرنشینان به همراه داشته است. چنانکه اکنون ساخت و سازهای غیراصولی و غیرمجاز در کوهپایه‌ها، حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها، فشارهای زیست محیطی را در این منطقه دامن زده و آسیب‌های جبران‌ناپذیری را به بار آورده است. لذا مساله اصلی تحقیق حاضر، پاسخ بدین پرسش است که "چگونه می‌توان به آستانه‌ای از تراکم شهری در سطح منطقه ۹ شهرداری مشهد دست یافت که ضمن تضمین آستانه حضورپذیری انسان‌ها و انواع فعالیت‌ها در فضا، در بردارنده کم‌ترین پیامدها و بازتاب‌های زیان‌آور نیز باشد؟".

و هدف از آن تلفیق مفاهیم آستانه‌های تحمل زیست محیطی و ظرفیت اکوسیستم بستر با مدیریت توسعه شهری به منظور کنترل و پایش سلامت اکوسیستم شهری در فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار کلانشهر مشهد است.

1 Supportive carrying capacity

2 Assimilative carrying capacity

فشار وارده بر سرزمین و بر مبنای آن آستانه‌های مجاز جمعیتی و تراکم بهینه شهری در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شده است.

مفهوم ظرفیت تحمل شهری در مقاله حاضر، از تلفیق دو مفهوم اساسی شکل می‌گیرد؛ ظرفیت پشتیبان و ظرفیت حیاتی (و یا مقاومت محیط).

به منظور تعیین ظرفیت تحمل در ابتدا پتانسیل بهره‌وری هریک از منابع موجود و بار عملکردی هریک از تاسیسات شهری در پاسخ به نیازهای واقعی شهرنشینان برآورد شده و سپس بر مبنای استانداردهای زیست‌محیطی و آستانه‌های مجاز آلودگی که بر مبنای تجربیات، شواهد علمی و الزامات قانونی به دست آمده، تراکم مطلوب توسعه تعیین شده است.

در ادامه مقادیر ظرفیت تحمل بر اساس هریک از عوامل در سه بازه تحت عنوان درجه ظرفیت تحمل<sup>۱</sup> (DCC) توزیع شده است. درجه ظرفیت تحمل در بازه اول تحت عنوان آستانه مطلوب و برابر با کمترین میزان فشار وارده بر اکوسیستم شهری، در بازه دوم تحت عنوان آستانه مجاز و در بازه سوم تحت عنوان فشار بحرانی و به معنای گذار از آستانه‌ها و رسیدن به شرایط نامطلوب و بحرانی، برابر با تنزل شدید در کیفیت و کیفیت اکوسیستم شهری و یا اختلال در عملکرد و تخریب بی‌بازگشت در ساختار اکوسیستم بستر است.

به منظور تعیین فواصل بازه‌ها و طبقه‌بندی فشار وارده بر سرزمین، از شاخص تراکم خالص مسکونی به دلیل ارتباط مستقیم آن با میزان فشار وارده بر اساس

اه و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای با عنوان "تعیین تراکم توسعه پایدار با استفاده از نظام ارزیابی ظرفیت تحمل شهری" از رویکرد ظرفیت تحمل برای تعیین تراکم توسعه در منطقه‌ای از سئول با پوشش ۴۰ کیلومتر مربع بهره گرفتند و هفت عامل اولیه سطوح سبز، آب، فاضلاب، زباله، انرژی، جاده‌ها و سیستم مترو را به عنوان عوامل تعیین کننده ظرفیت تحمل شهری در سئول ارائه دادند (Oh & et al., 2005:3):

در ایران مخدوم و عباس‌زاده تهرانی (۱۳۸۷)، در مطالعه‌ای با عنوان "تدوین مدل فضایی عدد فشار ظرفیت برد شهری"، با ارائه مدل عدد فشار و تکیه بر مفاهیم ظرفیت تحمل و اصول پایداری اکوسیستم‌ها، وضعیت فشار زیست‌محیطی وارد بر اکوسیستم شهری در شهر تهران را مورد مطالعه قرار دادند (مخدوم و عباس‌زاده، ۱۳۸۷: ۱). همچنین ادب‌خواه و همکارانش (۱۳۸۲)، به مدلسازی تراکم توسعه بر اساس ظرفیت پذیرش زیرساخت‌های شهری (شبکه ارتباطی) پرداختند. آن‌ها از روش تحلیل آستانه‌ای و مجموعه‌ای از متغیرهای اجتماعی - اقتصادی، کالبدی و ترافیکی، حداکثر مقدار ضریب سطح زیربنا (FAR) را برای محله‌ای در شهر تهران تعیین نمودند (ادب‌خواه و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۸).

### روش پژوهش

این مطالعه از حیث ماهیت و روش از نوع مطالعات توصیفی - تحلیلی و از حیث هدف از نوع مطالعات کاربردی است. در این مقاله با توجه به ماهیت اهداف و با تکیه بر مدل عدد فشار و مفاهیم ظرفیت برد شهری، از مجموعه‌ای از عوامل موثر بر آستانه‌های تحمل زیست‌محیطی جهت اندازه‌گیری

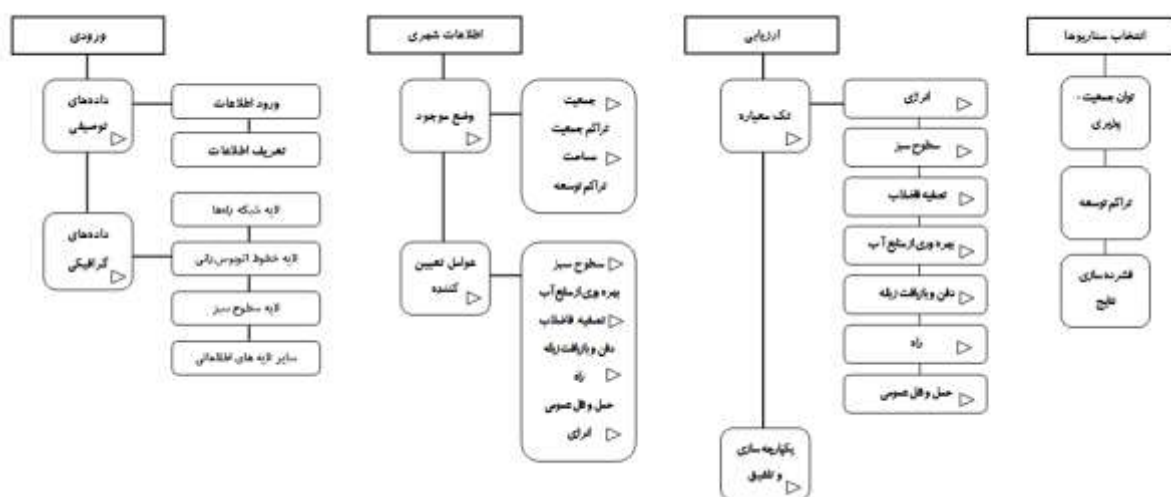
1 Degree of Carrying Capacity

معیارها در سطح بلوک‌های منطقه استفاده شده است. بدین منظور پس از گردآوری داده‌های مرتبط از سازمان‌های متولی، ایجاد بانک اطلاعاتی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی و ادغام آن‌ها به منظور استخراج لایه‌های جدید در سیستم اطلاعات جغرافیایی، جداول خصوصیات و ارزش‌های داده‌ها (اعمال درجه‌بندی ظرفیت پذیرش منطقه) تهیه و سپس از طریق تلفیق و یکپارچه‌سازی نتایج، ظرفیت پذیرش اکوسیستم منطقه، ارزیابی و آستانه‌های مجاز تراکم تعیین شده است. چارچوب ارزیابی ظرفیت تحمل شهری در سیستم اطلاعات جغرافیایی به شرح ذیل است:

هریک از عوامل تعیین شده، استفاده شده است و در آن کران بالا و کران پایین هر بازه براساس سرانه مطلوب تولید و یا مصرف و همچنین بر مبنای سطوح هدف‌گذاری شده خدمات و تقاضای واقعی شهرنشینان برای منابع، تعیین شده است.

عوامل تعیین کننده ظرفیت تحمل شهری در این مطالعه، هفت عامل آب و فاضلاب، زباله، انرژی، راه، حمل و نقل همگانی و سطوح سبز هستند.

در این مقاله، با توجه به غیر همسان بودن پراکنش معیارها، از داده‌های فضایی زمان‌دار و مکان‌دار به منظور به تصویر کشیدن وضعیت واقعی هر یک از



شکل (۱) چارچوب ارزیابی ظرفیت تحمل شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

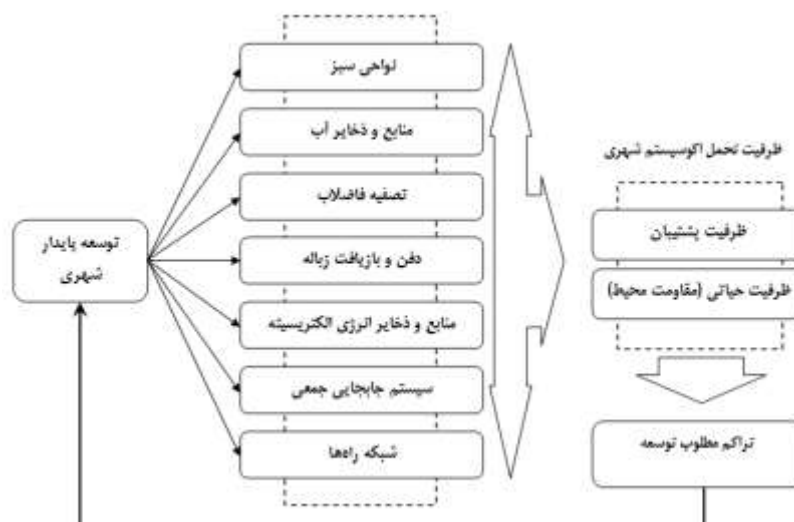
رابطه (۱)

$$UCC = \frac{RSS}{IR}$$

در این رابطه: RSS (Resource Supply) برابر با ظرفیت تامین منابع (عرضه)، IR (Individual Requirement) برابر با نیازمندی‌های فردی هر یک از

همچنین فرمول کلی محاسبه ظرفیت تحمل زیست‌محیطی براساس تقابل بین عرضه و تقاضا و با الگوبرداری از مطالعات پیشین آلبرت پنک (۱۹۵۲)، وستینگ (۱۹۸۱) و مطالعات اخیرا کیوشیک اه (۲۰۰۵) مطابق با رابطه زیر تعیین شده است:

شهرنشینان (تقاضا) و UCC (Urban Carrying Capacity) برابر با ظرفیت تحمل شهری است.



شکل (۲) مدل مفهومی تحقیق

توجه به روابط متقابل آن‌ها با یکدیگر است که برمنای ظرفیت بهره‌برداری از منابع (عرضه)، استاندارد و سرانه مصرف و یا تولید (تقاضا) و به عبارتی تقابل بین عرضه و تقاضا، بر اساس رابطه کلی (۱) و روابط جزئی منتج از آن (مندرج در جدول ۲) شکل می‌گیرد.

بنابراین در برآورد ظرفیت تحمل پشتیبان، اولین گام تعیین ظرفیت بهره‌وری از منابع و یا بار عملکردی تأسیسات شهری در پاسخ به تقاضا و نیاز واقعی شهرنشینان است.

جدول (۱)، شاخص‌های تعیین کننده ظرفیت بهره‌برداری از منابع و بار عملکردی هریک از تأسیسات شهری (عرضه) و همچنین نیاز و سطوح هدف‌گذاری شده خدمات (نیاز) را بر حسب هریک از عوامل تعیین کننده نشان می‌دهد. مطابق با جداول (۱) و (۲):

در این مطالعه به منظور ارزیابی نهایی نتایج و تلفیق و یکپارچه‌سازی عوامل تعیین کننده ظرفیت تحمل زیست محیطی از قانون حداقل لیبیگ<sup>۱</sup> استفاده شده است.

#### یافته‌ها

– تعیین ظرفیت تحمل (توان جمعیت‌پذیری) منطقه بر حسب هریک از عوامل

چنانکه پیش از این بیان شد، در این مقاله ظرفیت تحمل از تلفیق دو مفهوم اساسی ظرفیت پشتیبان و ظرفیت حیاتی (و یا مقاومت محیط) شکل می‌گیرد.

#### الف- تعیین ظرفیت پشتیبان منطقه:

مطابق با تعریف ارائه شده، ظرفیت تحمل پشتیبان حاصل جمع جبری مجموع امکانات محیطی بدون

1 Liebig's Law of The Minimum

فاضلاب شهر مشهد هم‌اکنون تعداد دو تصفیه‌خانه آب فعال در شهر مشهد موجود است. این تصفیه‌خانه‌ها قابلیت تامین ۱۹۲۰۰۰ مترمکعب آب آشامیدنی را در طول شبانه‌روز دارا هستند و ۱۰۰ درصد از جمعیت را تحت پوشش خود قرار می‌دهند.

در این مطالعه ظرفیت بهره‌وری از منابع آب به منظور تامین آب مورد نیاز مصارف خانگی شهرنشینان در منطقه، برحسب ظرفیت تاسیسات و تصفیه‌خانه‌های آب در شهر مشهد اندازه‌گیری شده است. مطابق با اطلاعات بدست آمده از شرکت آب و

جدول (۱) ظرفیت بهره‌برداری از منابع و سطوح هدف‌گذاری شده خدمات در محاسبات ظرفیت تحمل پشتیبان

ظرفیت بهره‌برداری از منابع و بار عملکردی تاسیسات			
عامل	سنجه	تعریف	واحد
آب	ظرفیت تامین آب	مجموع آب تصفیه شده در روز برای مصارف شرب و خانگی	لیتر در شبانه‌روز
زباله	ظرفیت دفن، امحاء و بازیافت	مجموع حجم زباله قابل دفن و بازیافت در شبانه‌روز	گرم در شبانه‌روز
راه	توان عملی راه‌ها	حداکثر حجم ترافیک قابل عبور از هر عرض عبور راه در سطح سرویس معین	همسنگ سواری
حمل و نقل همگانی	ظرفیت ناوگان اتوبوس‌رانی	مجموع تعداد مسافر قابل جابجایی (نشسته و ایستاده) از هر مقطع از مسیر اتوبوس‌رانی	نفر
سطوح سبز	منابع سبز	مجموع سطوح سبز مشتمل بر پارک، جنگلکاری و درختکاری پراکنده و غیره	مترمربع
انرژی	ظرفیت تامین انرژی	مجموع انرژی تحویلی نیروگاه‌های تولید انرژی (برق)	کیلووات ساعت
نیاز (تقاضا) و سطوح هدف‌گذاری شده خدمات			
عامل	سنجه	تعریف	واحد
آب	سرانه مصرف خانگی	متوسط آب مصرف شده برای انجام امور آشامیدن، پخت و پز و... توسط هر فرد	لیتر در شبانه‌روز
زباله	سرانه تولید زباله خانگی	متوسط حجم زباله خانگی تولید شده به ازای هر نفر	گرم در شبانه‌روز
راه	سرانه مالکیت خودرو	متوسط تعداد خودروی تعلق یافته به هر خانوار	دستگاه
حمل و نقل همگانی	نرخ استفاده از اتوبوس	نسبت استفاده از نوع حمل و نقل مورد نظر به سایر شیوه‌ها	-
سطوح سبز	سرانه فضای سبز	متوسط فضای سبز مورد نیاز هر فرد	مترمربع
انرژی	سرانه مصرف خانگی برق	متوسط برق مصرف شده برای امور خانگی توسط هر فرد	کیلووات ساعت

منبع: یافته‌های مقاله

مجموع ظرفیت جابجایی ۷۷۹۳۵ نفر مسافر در طول شبانه روز است.

ظرفیت منابع سبز در منطقه نیز، برحسب مجموع مساحت سطوح سبز در منطقه اندازه‌گیری شده است. بنابر اطلاعات بدست آمده از سازمان پارک و فضای سبز شهرداری مشهد، مجموع مساحت سطوح سبز شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک پهنه-های سبز، پارک‌های جنگلی، پارک‌های شهری، باغ‌ها و درختکاری‌های پراکنده و بدون احتساب کمربند سبز برابر با ۱۹۹۱۲۱۱ مترمربع است.

همچنین در این مطالعه به منظور تعیین نیاز و سطوح هدف‌گذاری شده خدمات (تقاضا) در برآورد توان جمعیت‌پذیری منطقه و ارزیابی ظرفیت تحمل در یک بازه از میزان حداقل فشار تا فشار بحرانی به شرح ذیل عمل شده است:

- در معیار آب و فاضلاب از سرانه مصرف آب خانگی (تقاضای واقعی) و استاندارد مطلوب آن برحسب استاندارد وزارت نیرو (سرانه مطلوب) به ترتیب برابر با ۱۵۰ و ۱۳۰ لیتر در شبانه روز استفاده شده است.

- در معیار زباله از سرانه تولید زباله خانگی (تقاضای واقعی) و استاندارد مطلوب آن برحسب استاندارد ملی (سرانه مطلوب) به ترتیب برابر با ۶۴۲ و ۵۰۰ گرم در شبانه روز استفاده شده است.

- در معیار انرژی از سرانه مصرف برق خانگی (تقاضای واقعی) و استاندارد مطلوب آن برحسب استاندارد جهانی (به دلیل عدم وجود استاندارد ملی) به ترتیب برابر با ۷۰۶ و ۹۰۰ کیلووات ساعت استفاده شده است.

همچنین ظرفیت دفع، امحاء و بازیافت زباله در منطقه، برحسب ظرفیت تاسیسات دفن و بازیافت زباله در شهر مشهد اندازه‌گیری شده است. برابر با با اطلاعات بدست از سازمان مدیریت پسماند شهر مشهد و نظرات کارشناسان وقت، مجموع ظرفیت امکانات و تاسیسات دفن، امحاء و بازیافت زباله در شهر مشهد بیشتر از ۲۵۷۰ تن زباله در روز نیست.

ظرفیت تامین انرژی در منطقه، برحسب مجموع توان اسمی نیروگاه‌های تولید انرژی (برق) در شهر مشهد اندازه‌گیری شده است. با استناد به اطلاعات بدست آمده از شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد، مجموع توان (ظرفیت) اسمی نیروگاه‌های برق مشهد برابر با ۹۹۹۶۵۶۹ مگاوات ساعت با مجموع انرژی تحویلی ۹۵۹۴۵۱۳ مگاوات ساعت در هر شبانه‌روز هستند.

ظرفیت عملکردی راه‌ها در منطقه، برحسب حداکثر حجم ترافیک قابل عبور از هر عرض عبور از راه‌های منطقه در سطح سرویس معین (ظرفیت عملی) اندازه‌گیری شده است. این معیار در مجموع ۹۰/۸ کیلومتر از معابر شهری شهر مشهد را با مجموع ظرفیت اسمی ۱۱۶۱۶۷ دستگاه وسیله نقلیه همسنگ سواری در هر عرض عبور از راه، پوشش می‌دهند.

ظرفیت ناوگان حمل و نقل عمومی در منطقه، برحسب ظرفیت جابجایی مسافر در هر خط از خطوط اتوبوس‌رانی منطقه با استفاده از سرفاصله زمانی حرکت اتوبوس‌ها<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شده است. مجموع تعداد خط، تعداد ایستگاه و تعداد وسیله نقلیه فعال در منطقه ۹ شهرداری مشهد به ترتیب برابر با ۳۳۰ خط، ۱۶۸/۲ کیلومتر و ۸۰ دستگاه اتوبوس با



عملیاتی شهرداری مشهد به ترتیب برابر با ۱۲ و ۱۶ متر مربع استفاده شده است.

در ادامه توان جمعیت‌پذیری منطقه برحسب ظرفیت تحمل پشتیبان به تفکیک هریک از عوامل از نسبت ظرفیت بهره‌وری از منابع و یا بار عملکردی تاسیسات شهری به نیاز و یا تقاضای واقعی شهرنشینان برحسب سطوح هدف‌گذاری شده خدمات تعیین شده است. محاسبات ظرفیت پشتیبان به تفکیک هریک از عوامل تعیین‌کننده در منطقه ۹ شهرداری مشهد، به شرح جدول (۲) است.

- در معیار راه از سرانه مالکیت خودرو و سطح سرویس دلخواه E (۰/۷ ظرفیت اسمی) و D (۰/۶ ظرفیت اسمی) استفاده شده است.

- در معیار حمل و نقل همگانی از نرخ سفرهای روزانه با اتوبوس و استاندارد مطلوب آن برحسب متوسط کشورهای در حال توسعه (به دلیل عدم وجود استاندارد ملی) به ترتیب برابر با ۰/۲۳ و ۰/۳۷ استفاده شده است.

- و در معیار سطوح سبز از سرانه فضای سبز و استاندارد مطلوب آن برحسب شاخص سند برنامه

جدول (۲) محاسبات ظرفیت تحمل پشتیبان به تفکیک هریک از عوامل تعیین‌کننده در منطقه ۹ شهرداری مشهد/ برحسب نفر

ظرفیت تحمل پشتیبان (توان جمعیت‌پذیری)			سطوح هدف‌گذاری شده**		نیاز/ تقاضا			ظرفیت بهره‌وری از منابع/ بار عملکردی تاسیسات (عرضه)			عوامل تعیین‌کننده	
حداقل	حداکثر	فرمول محاسبه	نشانه اختصار	مقدار مطلق	نشانه اختصار	سرانه مصرف/تولید	استاندارد مطلوب**	نشانه اختصار	واحد	مقدار مطلق		نشانه اختصار
۱۷۹۹۹۹	۱۵۵۹۹۹	WS/WC	WRCC	×	×	۱۵۰	۱۳۰	WC	مترمکعب	۱۹۲۰۰۰	WS	آب و فاضلاب*
۶۲۶۳۳۴	۴۸۷۸۷	WT/WP	WCC	×	×	۶۴۲	۵۰۰	WP	تن	۲۵۷۰	WT	زیاله*
۶۴۵۹۴۴	۵۰۶۷۰۷	(ES×HECR)/EC	ECC	۰/۳۹	HECR	۷۰۶	۹۰۰	EC	مگاوات ساعت	۹۵۹۴۵۱۳	ES	انرژی*
۳۳۸۸۴۸	۲۱۰۶۳۵	COPTS/PTS	PTCC	×	×	۰/۲۳	۰/۳۷	PTS	نفر	۷۷۹۳۵	COPTS	حمل و نقل همگانی
۱۶۵۹۳۴	۱۲۴۴۵۱	GA/A	GSCC	×	×	×	۱۲-۱۶	A	مترمربع	۱۹۹۱۲۱۱	GA	سطوح سبز
۳۰۰۸۶۹	۲۵۷۸۹۰	(RC×LOS)/VO	RCC	E-D	LOS	×	۱	VO	همسنگ سواری	۱۱۶۱۶۷	RC	راه

\* در اینجا به دلیل کلی بودن آمار و عدم دسترسی به اطلاعات منطقه‌ای، توان جمعیت‌پذیری منطقه با توجه به زیرساخت‌های موجود در سطح شهر مشهد برآورد شده است. چنانکه در ابتدا تراکم مطلوب جمعیتی با توجه به توان جمعیت‌پذیری شهر مشهد تعیین و سپس توان جمعیت‌پذیری منطقه با توجه عدد تراکم بهینه محاسبه شده است.

\*\* مقادیر استاندارد مطلوب و سطوح هدف‌گذاری شده خدمات مطابق با نظرات کارشناسان وقت و با تکیه بر شواهد علمی و تجربیات مطالعات پیشین تعیین شده است.

### ب- تعیین ظرفیت تحمل حیاتی (مقاومت محیط) در منطقه

در محاسبات ظرفیت تحمل، جزو تعیین کننده توان جمعیت پذیری منطقه، ظرفیت تحمل حیاتی (مقاومت محیط) است. مطابق با تعریف ارائه شده، ظرفیت تحمل حیاتی حداکثر بار و فشار وارده بر اکوسیستم شهری است که براساس آلودگی سنجیده شده و در صورت گذار از آن، اجتماع زیستی با مقاومت محیط مواجه خواهد شد. بدین معنی که از

یک طرف باید یک عرضه کافی از منابع برای مصرف شهرنشینان وجود داشته باشد و از سوی دیگر تولید زائدات و اثرات مضر آن به منظور اجتناب از مشکلات آلودگی باید در سطح ظرفیت تحمل حیاتی نگه داشته شود. در این راستا آستانه‌ها به عنوان یک غلظت و یا دز معین از انواع آلودگی بر مبنای تجربیات علمی و مشاهدات تعریف شده و به عنوان عوامل محدود کننده توان جمعیت‌پذیری در منطقه تعیین شده‌اند.

جدول (۳) عوامل و سنجه‌های ظرفیت تحمل در ابعاد مختلف

ابعاد	عامل	سنجه	تعریف	واحد
ظرفیت تحمل حیاتی	تامین آب و تولید فاضلاب	سرانه تولید فاضلاب	متوسط فاضلاب تولید شده به ازای هر فرد	لیتر در شبانه روز
		ظرفیت تصفیه فاضلاب	مجموع حجم فاضلاب قابل تصفیه در شبانه روز	لیتر در شبانه روز
		مقدار BOD	مقدار غلظت BOD محلول در فاضلاب ورودی و خروجی	میلی گرم در لیتر
	زباله	مقدار CH <sub>4</sub>	غلظت گاز متان انتشار یافته در محل دفنگاه زباله	PPM
	راه	مقدار NO <sub>x</sub>	غلظت آلاینده اکسید نیتروژن ناشی از ترافیک وسایل نقلیه عبوری	گرم بر کیلومتر
	حمل و نقل	-	-	-
	سطوح سبز	-	-	-
انرژی	مقدار NO <sub>x</sub>	غلظت آلاینده اکسید نیتروژن در محل نیروگاه‌های برق	گرم بر گیگاژول	

منبع: یافته‌های مقاله

جدول شماره (۳)، شاخص‌های تعیین کننده ظرفیت تحمل حیاتی را برحسب سنجه‌های آلودگی به تفکیک هریک از عوامل تعیین کننده در منطقه ۹ شهرداری مشهد نشان می‌دهد. در معیار آب و فاضلاب میزان آلودگی ناشی از فاضلاب تولید شده به عنوان عامل محدودکننده توان جمعیت‌پذیری در منطقه تعیین شده است. بنابر شواهد

موجود همواره یک رابطه مستقیم بین حجم فاضلاب تولیدی و میزان مصرف منابع آب وجود دارد. از اینرو ضریب تولید فاضلاب را می‌توان به صورت درصدی از سرانه مصرف آب در نظر گرفت. در مراجع مختلف، مقادیر متفاوتی برای ضریب تبدیل آب به فاضلاب ارائه شده است. بر مبنای ضریب ۸۰ درصد تبدیل آب به فاضلاب در شهر مشهد، هر شهروند در

یک رابطه مستقیم بین حجم زباله تولیدی و میزان انتشار آلاینده‌های متان وجود دارد. براساس نتایج بدست آمده از مطالعات پیشین و نظرات کارشناسان وقت، به ازای هر ۱۵ کیلوگرم زباله، ۱ مترمکعب گاز متان در محل دفن‌گاه زباله شهر مشهد انتشار می‌یابد. لذا با توجه به تعداد جمعیت برآورد شده و سرانه تولید زباله، روزانه  $2/57E+06$  کیلوگرم زباله با بار آلودگی  $1/71E+05$  مترمکعب بیوگاز در شهر مشهد تولید خواهد شد. لیکن با توجه به ظرفیت الکترونیکی نیروگاه بیوگاز شهر مشهد، در محل دفن‌گاه جدید زباله، روزانه امکان پذیرش  $3/40E+05$  مترمکعب بیوگاز از محل گازهای متصاعد شده دفن‌گاه‌های زباله شهر مشهد وجود دارد. این مقدار از مجموع حجم بیوگاز تولید شده براساس جمعیت برآورد شده بیشتر است. لذا با توجه به ظرفیت نیروگاه بیوگاز و حجم آلاینده متان انتشار یافته، جمعیت پیش‌بینی شده براساس ظرفیت تحمل پشتیبان قابل پذیرش است و نیاز به تعدیل آن نیست.

در معیار انرژی میزان آلودگی انتشار یافته از محل نیروگاه‌های تولید برق، برحسب غلظت آلاینده اکسید نیتروژن ( $NO_x$ )، به عنوان عامل محدودکننده توان جمعیت‌پذیری در منطقه تعیین شده است. بنابر شواهد موجود همواره یک رابطه مستقیم بین حجم فعالیت‌های زنجیره تولید انرژی در نیروگاه‌های تولید برق و میزان انتشار آلاینده  $NO_x$  وجود دارد. براساس نتایج بدست آمده از مطالعات پیشین و نظرات کارشناسان وقت، نرخ انتشار آلاینده گاز خروجی  $NO_x$  در محل نیروگاه‌های تولید انرژی (برق) شهر مشهد برابر با  $2/4$  گرم در هر کیلووات ساعت است. لذا با توجه به تعداد

روز به ازای ۱۳۰ لیتر مصرف آب، ۱۰۴ لیتر فاضلاب و به ازای ۱۵۰ لیتر مصرف آب، ۱۲۰ لیتر فاضلاب با حداکثر بار آلودگی ( $BOD^1$ )  $3/00E+04$  میلی‌گرم در لیتر تولید خواهد نمود. لذا با توجه به متوسط غلظت  $BOD$  محلول فاضلاب ورودی (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و تعداد جمعیت برآورد شده، روزانه حداقل  $3/99E+10$  میلی‌گرم در لیتر آلودگی ( $BOD$ ) تولید خواهد شد. لیکن با توجه به ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، روزانه تنها  $1/00E+08$  لیتر از حجم فاضلاب خروجی قابل تصفیه خواهد بود. بنابراین همچنان حداقل  $1/49E+10$  میلی‌گرم بر لیتر آلودگی ( $BOD$ ) وارد طبیعت خواهد شد. از اینرو نیاز است که توان جمعیت‌پذیری منطقه براساس حداکثر آستانه مجاز آلودگی تعدیل گردد.

چنانچه بنابر استاندارد ملی محیط زیست کشور، متوسط غلظت  $BOD$  محلول در فاضلاب ورودی به آب‌های سطحی و چاه‌های جاذب، برابر با ۳۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین شود؛ آن‌گاه با توجه به نرخ تصفیه فاضلاب در شهر مشهد (۱۷ درصد) و آستانه مجاز آلودگی ( $BOD$ )، حداقل  $1/31E+10$  میلی‌گرم بر لیتر آلودگی ( $BOD$ ) مازاد بر آستانه مجاز وارد طبیعت خواهد شد. از اینرو حداقل توان جمعیت‌پذیری منطقه به مقدار ۱۰۹۶۰۹ نفر و حداکثر توان جمعیت‌پذیری منطقه به مقدار ۱۲۵۹۱۳ نفر تقلیل و تعدیل می‌یابد.

در معیار زباله میزان آلودگی انتشار یافته برحسب غلظت آلاینده متان ( $CH_4$ ) در محل دفن‌گاه زباله، به عنوان عامل محدودکننده توان جمعیت‌پذیری در منطقه تعیین شده است. بنابر شواهد موجود همواره

مدل نشر آلودگی که براساس مدل گری هیکز و کلارسون ساخته شده و هم‌اکنون نیز در مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد در حال انجام است، استفاده شده است.

در این مدل مهمترین عوامل موثر بر میزان تولید و نشر آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه موتوری، نوع وسیله نقلیه، سرعت حرکت و شیب مسیر هستند (سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد، ۱۳۹۱). الگوی مدل تولید و نشر آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه برگرفته مطابق با روابط زیر است (سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد، ۱۳۹۱):

رابطه (۳)

$$E_i^m = a + bv + cv^2 + \frac{d}{v}$$

رابطه (۴)

$$E_T = \sum_a L_a \times X_a^m \times E_i^m(V_a)$$

در این رابطه  $V$ : سرعت وسیله نقلیه همسنگ در کمان  $a$  بر حسب میلی گرم در کیلومتر پیمایش،  $a, b, c$  و  $d$  ضرایب مدل و مطابق با جدول زیر تابعی از شیب و نوع وسایل نقلیه،  $X_a^m$  حجم وسایل نقلیه نوع  $m$  در کمان  $a$  و  $L_a$  طول کمان  $a$  بر حسب کیلومتر بر ساعت هستند.

جمعیت برآورد شده و سرانه مصرف برق خانگی، روزانه  $3/74 E + 0.9$  کیلووات ساعت برق با حداکثر بار آلودگی  $12 E + 2/49$  گرم بر گیگاژول (g/Gj) بر حسب غلظت  $NO_x$  خروجی در شهر مشهد مصرف خواهد شد. حال چنانچه مقدار بار آلودگی مجاز را بر حسب استاندارد  $135$  گرم بر گیگاژول برابر با  $11 + 5/05 E$  در نظر بگیریم؛ آنگاه  $12 + 1/99 E$  گرم بر گیگاژول آلودگی مازاد بر آستانه مجاز، به طبیعت وارد خواهد شد. از اینرو اکنون نیاز است که آستانه‌های جمعیتی بر حسب آستانه‌های مجاز آلودگی به مقادیر  $338333$  و  $431302$  نفر تعدیل و تقلیل یابند.

لازم به ذکر است که استانداردها برای مناطق مختلف با توجه به توان زیست‌محیطی و ظرفیت پذیرش محیط متفاوت است. لیکن برای محیط‌ها و شهرهای بزرگ، باید سخت‌ترین استانداردهای خروجی برای صنایع برقرار گردد. در این مطالعه با توجه به اینکه هنوز استاندارد خروجی نیروگاه‌ها و سایر صنایع توسط سازمان حفاظت از محیط زیست ایران، به طور رسمی اعلام نشده است، از استاندارد  $135$  گرم بر گیگاژول براساس مطالعات تجربی پیشین استفاده شده است.

در معیار راه، به منظور برآورد آلودگی ناشی از حجم ترافیک تولیدی توسط جمعیت برآورد شده، از

جدول (۴) ضرایب  $a, b, c$  و  $d$  در الگوی مدل آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه موتوری

نوع وسیله نقلیه	نوع آلاینده	شرایط شیب	a	b	c	d
همسنگ سواری	$NO_x$	افقی	۰/۸۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰
		سربالایی	-۱۸/۸۴	۰/۵۹	۰/۰۰	۲۳۷/۷۰
		سربایینی	۱/۵۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰

منبع: سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد، ۱۳۹۱

در این مطالعه میزان آلودگی انتشار یافته از محل وسایل نقلیه موتوری، برحسب غلظت آلاینده اکسید نیتروژن ( $NO_x$ )، به عنوان عامل محدودکننده توان جمعیت‌پذیری در منطقه تعیین شده است. بدین منظور مدل نشر آلودگی برای آلاینده اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ )، بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری در چهار سرعت مجزای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلومتر در ساعت بسته به نوع معبر (دسترسی محلی، جمع و پخش کننده، شریانی درجه ۲، شریانی درجه ۱ و بزرگراه) به شرح جدول ۵ محاسبه شده است. مطابق با جدول ۵، مجموع حجم آلودگی ناشی از ترافیک برآورد شده برابر با  $1/54E+09$  گرم بر کیلومتر است

که از حد مجاز آلودگی ( $11+1/74E$  گرم بر کیلومتر) برحسب استاندارد ملی حد مجاز آلودگی خودروها در ایران (۲۵ گرم بر کیلومتر به ازای هر خودرو) کمتر است. از اینرو نیازی به تعدیل جمعیت نیست. جدول شماره ۵، توان جمعیت‌پذیری منطقه را برحسب ظرفیت تحمل حیاتی نشان می‌دهد. مطابق با جدول نامبرده، حدکثر توان جمعیت‌پذیری منطقه براساس آستانه‌های مجاز آلودگی به مقادیر ۱۲۵۹۱۳ و ۴۳۱۳۰۲ نفر برحسب عوامل مصرف و بهره‌وری از منابع آب و انرژی تقلیل می‌یابد و در باقی عوامل نیازی به تعدیل و تقلیل جمعیت نیست.

جدول (۵) ظرفیت تحمل حیاتی و توان جمعیت‌پذیری منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک هریک از عوامل

توان جمعیت‌پذیری (نفر)	آلودگی مازاد (میلی‌گرم در لیتر)	آلودگی مجاز (میلی‌گرم در لیتر)	مقدار آلودگی (میلی‌گرم در لیتر)	فاضلاب تصفیه نشده (لیتر در روز)	فاضلاب تصفیه شده (لیتر در روز)	فاضلاب تولید شده (لیتر در روز)	سرنانه تولید فاضلاب (لیتر در روز)	آب و فاضلاب
۱۰۹۶۰۹	$1/31 E+10$	$1/79 E+09$	$1/49 E+10$	$5/95 E+07$	$1/00 E+08$	$1/60 E+08$	۱۰۴	
۱۲۵۹۱۳	$1/12 E+10$	$1/53 E+09$	$1/28 E+10$	$5/10 E+07$	$1/00 E+08$	$1/51 E+08$	۱۲۰	
		جمعیت مازاد (نفر)	ظرفیت پذیرش نیروگاه بیوگاز (مترمکعب در روز)	مقدار آلودگی (مترمکعب بیوگاز)	حجم زیاده تولید شده (گرم در روز)	سرنانه تولید زیاده (گرم در روز)		زیاده
۶۲۶۳۳۳		ندارد	$3/40 E+05$	$1/71 E+05$	$2/57 E+09$	۵۰۰		
۴۸۷۸۷۷						۶۴۲		
		مقدار آلودگی مازاد (گرم بر گیگاژول)	مقدار آلودگی مجاز (گرم بر گیگاژول)	میزان گاز انتشار یافته $NO_x$ (گرم بر گیگاژول)	میزان برق مصرفی (کیلووات ساعت)	سرنانه مصرف برق خانگی (کیلووات ساعت)		ترقی
۴۳۱۳۰۲		$1/99 E+12$	$5/05 E+11$	$2/49 E+12$	$3/74 E+09$	۷۰۶		
۳۳۸۳۳۳						۹۰۰		
		حداکثر توان جمعیت‌پذیری (نفر)	جمعیت مازاد (نفر)	مقدار آلودگی مجاز (بر کیلومتر)	میزان گاز انتشار یافته $NO_x$ (گرم بر کیلومتر)	حداکثر حجم ترافیک عبوری		ع
۳۰۰۸۶۹		ندارد		$1/74 E+11$	$1/54 E+09$	$8/13 E+04$		

منبع: یافته‌های مقاله

### - تعیین آستانه‌های مجاز تراکم شهری (تراکم جمعیتی و مسکونی)

بنابر تعریف ارایه شده از مفهوم تراکم، تراکم جمعیتی برابر با مجموع جمعیت یک محدوده معین در واحد سطح و تراکم مسکونی برابر با مجموع جمعیت یک محدوده معین در سطوح ساخته شده از آن محدوده است که برحسب نفر در هکتار بیان شده و از حاصل تقسیم جمعیت بر مساحت محاسبه می‌شود. مطابق با اطلاعات بدست آمده از نقشه‌های رقومی شهرداری مشهد، مجموع مساحت منطقه ۹ شهرداری مشهد با احتساب واحدهای مسکونی، پارک‌های محله‌ای، راه‌ها، خرده‌فروشی‌های خرید

روزمره، مدارس ابتدایی و بیشتر فضاهای باز برابر با ۱۶۶۲۱۷۴۸ مترمربع، معادل با ۱۶۶۲ هکتار است. این رقم برای سطوح اشغال شده توسط واحدهای مسکونی و فضاهای وابسته بدان به مقدار ۱۰۹۹۲۵۶۸ مترمربع، معادل با ۱۰۹۹ هکتار کاهش می‌یابد. حال بنابر بر محاسبات انجام شده، چنانچه حداقل و حداکثر توان جمعیت‌پذیری منطقه را برحسب هریک از عوامل برابر با ارقام مندرج در جدول ۶ در نظر بگیریم؛ آنگاه حداقل و حداکثر تراکم مجاز جمعیتی و مسکونی به تفکیک هریک از عوامل، به شرح ذیل است (جدول ۶).

جدول (۶) آستانه‌های مجاز تراکم شهری (تراکم مسکونی و جمعیتی) به تفکیک عوامل تعیین کننده در منطقه ۹ شهرداری مشهد

تراکم خالص مسکونی (NRD = UCC/A <sub>3</sub> )		تراکم ناخالص مسکونی (GRD = UCC/A <sub>2</sub> )		تراکم جمعیتی (PD = UCC/A <sub>1</sub> )		توان جمعیت‌پذیری (UCC)		عوامل تعیین کننده	
حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر		
۱۱۴	۱۰۰	۷۶	۶۶	۳۹	۳۳	۱۲۵۹۱۳	۱۰۹۶۰۹	آب و فاضلاب	
۵۷۰	۴۴۴	۳۷۷	۲۹۳	۱۹۲	۱۵۰	۶۲۶۴۳۴	۴۸۷۸۷۷	زیاله	
۳۹۲	۳۰۸	۲۵۹	۲۰۴	۱۳۲	۱۰۴	۴۳۱۳۰۲	۳۳۸۳۳۳	انرژی	
۲۷۴	۲۳۵	۱۸۱	۱۵۵	۹۲	۷۹	۳۰۰۱۶۹	۲۵۷۸۹۰	راه	
۳۰۸	۱۹۲	۲۰۴	۱۲۷	۱۰۴	۶۴	۳۳۸۱۴۸	۲۱۰۶۳۵	سیستم جابجایی جمعی	
۱۵۱	۱۱۳	۱۰۰	۷۵	۵۱	۳۸	۱۶۵۹۳۴	۱۲۴۴۵۱	سطوح سبز	
۳۲۵۷۹۹۴۶		مجموع مساحت برحسب مترمربع (A <sub>1</sub> )							
۱۶۶۲۱۷۴۸		مجموع مساحت اراضی توسعه یافته برحسب مترمربع (A <sub>2</sub> )							
۱۰۹۹۲۵۶۸		سطوح اشغال شده توسط واحدهای مسکونی و فضاهای وابسته برحسب مترمربع (A <sub>3</sub> )							

منبع: یافته‌های مقاله

### – ارزیابی ظرفیت تحمل منطقه ۹ شهرداری مشهد برحسب هر یک از عوامل

به منظور ارزیابی ظرفیت تحمل براساس عوامل هفت‌گانه، در ابتدا نیاز است که به طبقه‌بندی ظرفیت تحمل در چندین بازه به منظور اندازه‌گیری فشار وارده بر سرزمین پردازیم. بدین منظور فشار وارده بر سرزمین را می‌توان براساس عوامل مختلف نظیر میزان تراکم جمعیت، میزان مصرف و یا تولید منابع که در ارتباط مستقیم با جمعیت ساکن در یک مرز جغرافیایی قرار دارند، اندازه‌گیری و طبقه‌بندی نمود.

در این مطالعه به منظور ارزیابی ظرفیت تحمل منطقه و اندازه‌گیری فشار وارده از شاخص تراکم خالص مسکونی، به دلیل ارتباط مستقیم آن با میزان مصرف و یا تولید استفاده شده است و ظرفیت تحمل در سه بازه با عنوان آستانه مطلوب، آستانه مجاز و فشار بحرانی مطابق با جدول ۷، طبقه‌بندی و جای گرفته است. بدین منظور در تعیین فواصل بازه‌ها و انتخاب کران بالا و پایین هر بازه از استاندارد مطلوب و سرانه مصرف واقعی شهرنشینان به عنوان مبنای محاسبات استفاده شده است.

جدول (۸) تعیین طبقات ظرفیت تحمل برحسب هر یک از عوامل در منطقه ۹ شهرداری مشهد

عامل/درجه ظرفیت تحمل (DCC)	آستانه مطلوب (DCC=1)	آستانه مجاز (DCC=2)	فشار بحرانی (DCC=3)	عامل/درجه ظرفیت تحمل (DCC)	آستانه مطلوب (DCC=1)	آستانه مجاز (DCC=2)	فشار بحرانی (DCC=3)
آب و فاضلاب	۱۰۰-۰	۱۱۴-۱۰۰	۱۱۴ و بیشتر	راه	۲۳۵-۰	۲۷۵-۲۳۵	۲۷۴ و بیشتر
زیاله	۴۴۴-۰	۵۷۰-۴۴۴	۵۷۰ و بیشتر	حمل و نقل همگانی	۱۹۲-۰	۳۰۸-۱۹۲	۳۰۸ و بیشتر
انرژی	۳۰۸-۰	۳۹۲-۳۰۸	۳۹۲ و بیشتر	سطوح سبز	۱۱۳-۰	۱۵۱-۱۱۳	۱۵۱ و بیشتر

منبع: یافته‌های مقاله

جدول (۹) درجه ظرفیت تحمل در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک نواحی سه‌گانه شهری

درجه ظرفیت تحمل	تراکم خالص (نفر در هکتار)		جمعیت (نفر)		عامل	درجه ظرفیت تحمل	تراکم خالص (نفر در هکتار)		جمعیت (نفر)		عامل
	مقدار مجاز	وضع موجود	جمعیت-پذیری	وضع موجود			مقدار مجاز	وضع موجود	جمعیت-پذیری	وضع موجود	
آستانه مطلوب	۲۷۴	۲۳۱	۳۰۰۸۶۹	۲۵۳۷۱۱	راه	فشار بحرانی	۱۱۴	۲۳۱	۱۲۵۹۱۳	۲۵۳۷۱۱	آب و فاضلاب
آستانه مجاز	۳۰۸	۲۳۱	۳۳۸۸۴۸		حمل و نقل	آستانه مطلوب	۵۷۰	۲۳۱	۶۲۶۴۳۴		زیاله
فشار بحرانی	۱۵۱	۲۳۱	۱۶۵۹۳۴		سطوح سبز	آستانه مطلوب	۳۹۲	۲۳۱	۴۳۱۳۰۲		انرژی

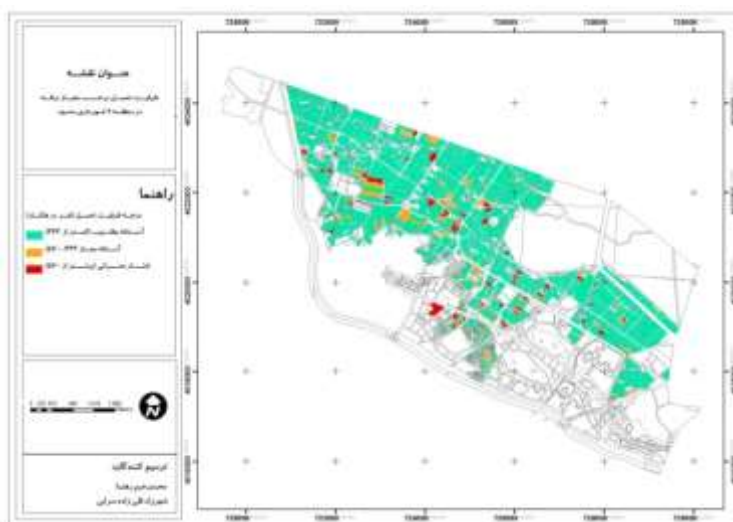
منبع: یافته‌های مقاله

محدودیت‌هایی را که مانع قضاوت صحیح در ارزیابی می‌شوند را برطرف می‌سازد. نتایج ارزیابی ظرفیت تحمل در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک عوامل، مطابق با جدول ۸ است. درجه ظرفیت تحمل در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک هریک از عوامل مطابق با نقشه‌های زیر است:

علت انتخاب تراکم خالص مسکونی به عنوان مبنای محاسبات "ظرفیت تحمل" این است که در ارزیابی ظرفیت تحمل در نواحی توسعه‌یافته شهری (بافت پر) و نواحی تقریباً توسعه یافته (بافت نیمه‌پر)، استفاده از مفهوم تراکم خالص مسکونی به عنوان ابزار سنجش مناسب‌تر است و اشکال فیزیکی و

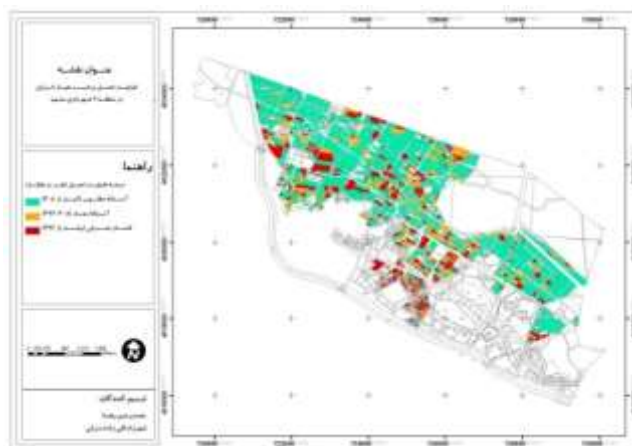


نقشه (۱) درجه ظرفیت برد بر حسب عامل آب و فاضلاب در منطقه ۹

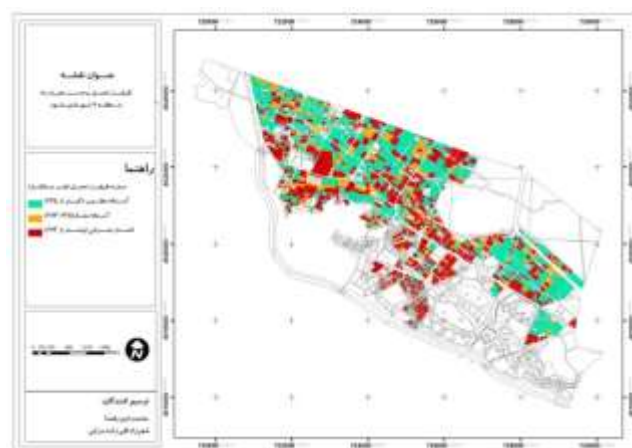


نقشه (۲) درجه ظرفیت برد بر حسب عامل زباله در منطقه ۹

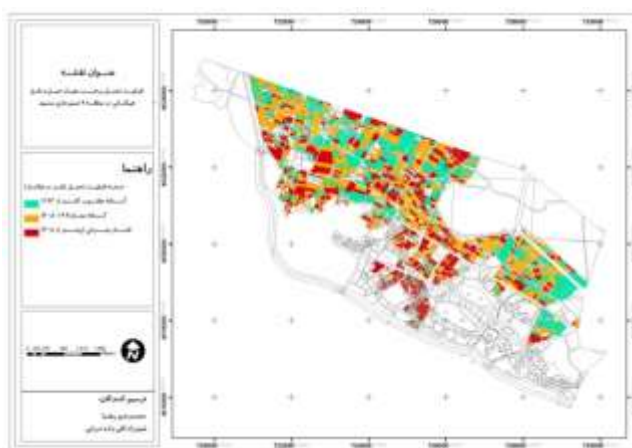




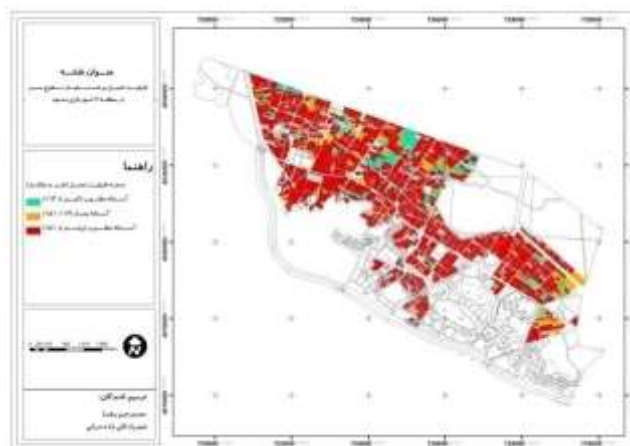
نقشه (۳) درجه ظرفیت برد برحسب عامل انرژی در منطقه ۹



نقشه (۴) درجه ظرفیت برد برحسب عامل راه در منطقه ۹



نقشه (۵) درجه ظرفیت برد برحسب عامل حمل و نقل در منطقه ۹



نقشه (۶) درجه ظرفیت برد برحسب عامل سطوح سبز در منطقه ۹

واحد مسکونی است و حداقل زیربنای مجاز برابر با حداقل مجموع زیربنای مسکونی مجاز در کلیه طبقات یک ساختمان، بسته به سطح اشغال ساختمان است. در ادامه مطابق با تعاریف فوق، ضریب سطح زیربنا بنابر رابطه زیر تعیین شده است:

رابطه (۵)

$$FAR = \frac{(P \times BA)}{(S \times K \times LA)}$$

در این رابطه: P توان جمعیت پذیری منطقه، BA حداقل زیربنای مجاز (مترمربع)، S بعد خانوار، k خانوار در واحد مسکونی و LA مساحت زمین (مترمربع) است.

محاسبات ضریب سطح زیربنا برحسب توان جمعیت‌پذیری منطقه، به تفکیک هریک از عوامل به شرح جدول زیر است:

- تعیین ضریب سطح زیربنا (FAR) بر مبنای ظرفیت تحمل در منطقه ۹ شهرداری مشهد

تراکم ساختمانی یا ضریب سطح زیربنا (FAR)، مضرب و یا تعداد دفعاتی از سطح زمین را که برابر با سطح زیربنا شود، اندازه می‌گیرد. این شاخص برابر با حاصل تقسیم سطح زیربنا بر مساحت زمین است. در برآورد ضریب سطح زیربنا براساس ظرفیت تحمل زیست‌محیطی، در ابتدا نیاز است که سطح زیربنای مورد نیاز جهت اسکان جمعیت پیش‌بینی شده، تخمین و برآورد شود. سطح زیربنای مورد نیاز برای اسکان جمعیت پیش‌بینی شده برابر با حاصلضرب تعداد واحدهای مسکونی مورد نیاز در سطح زیربنای مجاز است.

در این رابطه تعداد واحدهای مسکونی مورد نیاز برابر با حاصل تقسیم جمعیت پیش‌بینی شده بر حاصلضرب بعد خانوار در شاخص تراکم خانوار در

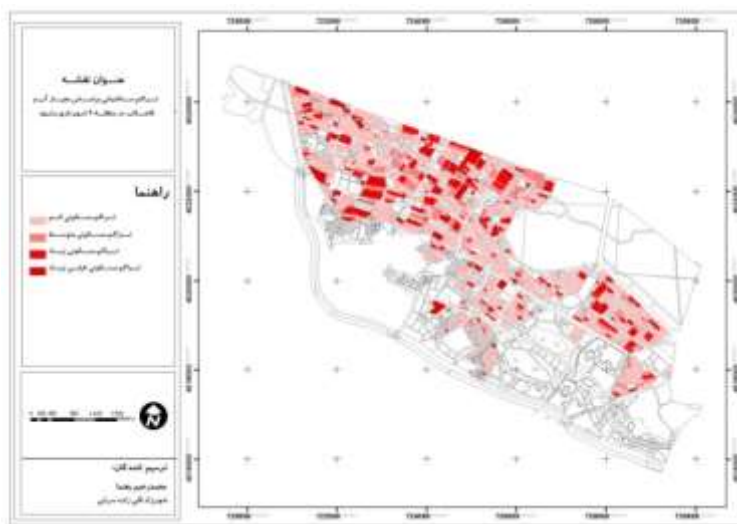
جدول (۱۰) ضریب سطح زیربنا (FAR) در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک هریک از عوامل

متوسط ضریب سطح زیربنا	توان جمعیت‌پذیری		عامل
	حداکثر	حداقل	
۹۰/۶٪	۱۲۵۹۱۳	۱۰۹۶۰۹	آب و فاضلاب
۴۵۰/۸٪	۶۲۶۴۳۴	۴۸۷۸۷۷	زیاله
۳۱۰/۳٪	۴۳۱۳۰۲	۳۳۸۳۳۳	انرژی
۲۱۶/۵٪	۳۰۰۸۶۹	۲۵۷۸۹۰	راه
۲۴۳/۸٪	۳۳۸۸۴۸	۲۱۰۶۳۵	حمل و نقل همگانی
۱۱۹/۴٪	۱۶۵۹۳۴	۱۲۴۴۵۱	سطوح سبز

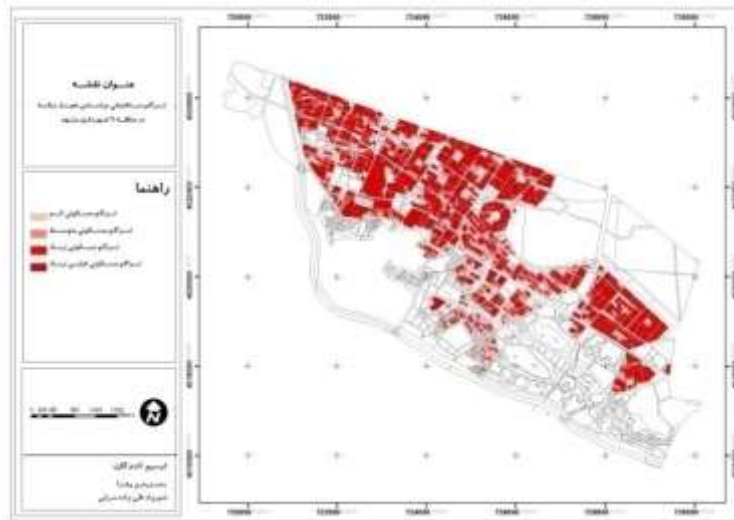
منابع: یافته‌های مقاله

در ادامه بلوک‌های مسکونی براساس ضریب سطح زیربنا (FAR) در چهار گروه مسکونی با تراکم کم، مسکونی با تراکم متوسط، مسکونی با تراکم زیاد و مسکونی با تراکم بسیار زیاد جای گرفته‌اند. تراکم ساختمانی به تفکیک بلوک‌های شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک هریک از عوامل به قرار نقشه‌های زیر است:

در ادامه بلوک‌های مسکونی براساس ضریب سطح زیربنا (FAR) در چهار گروه مسکونی با تراکم کم، مسکونی با تراکم متوسط، مسکونی با تراکم زیاد و مسکونی با تراکم بسیار زیاد جای گرفته‌اند. تراکم



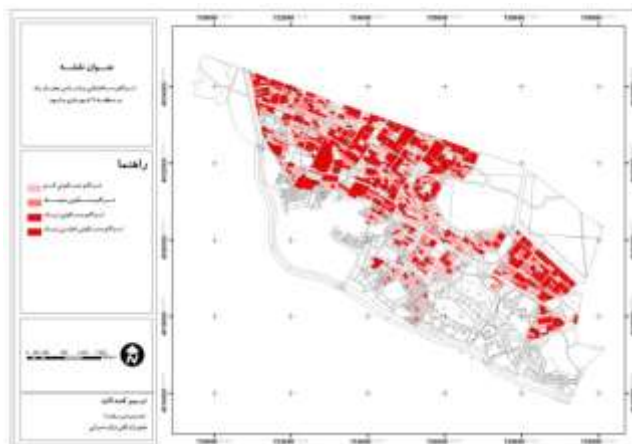
نقشه (۷) تراکم ساختمانی برحسب عامل آب و فاضلاب در منطقه ۹



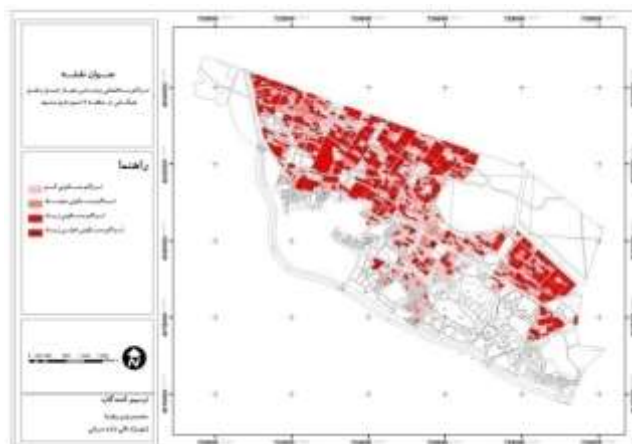
نقشه (۸) تراکم ساختمانی برحسب عامل زیاله در منطقه ۹



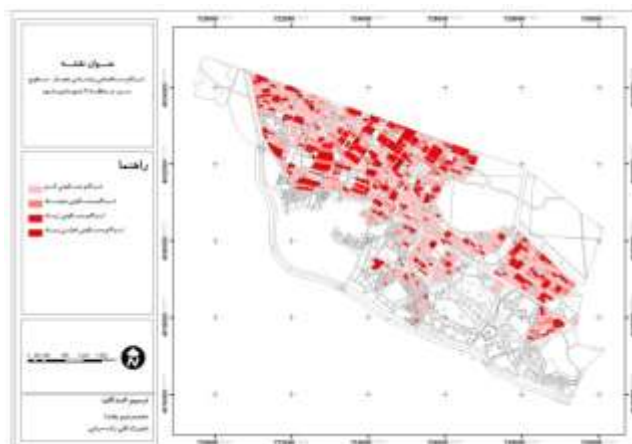
نقشه (۹) تراکم ساختمانی برحسب عامل انرژی در منطقه ۹



نقشه (۱۰) تراکم ساختمانی برحسب عامل راه در منطقه ۹



نقشه (۱۱) تراکم ساختمانی برحسب عامل حمل و نقل در منطقه ۹



نقشه (۱۲) تراکم ساختمانی برحسب عامل سطوح سبز در منطقه ۹

### - تلفیق و یکپارچه سازی عوامل

جهت تهیه نقشه ظرفیت برد نهایی در منطقه مورد مطالعه، نیاز است که نتایج بدست آمده از ۷ عامل اولیه سطوح سبز، ذخایر و منابع آب، تصفیه فاضلاب، مصرف و بهره‌وری از انرژی، سیستم جابجایی جمعی و شبکه‌راه‌ها با یکدیگر تلفیق و یکپارچه شوند. در این مطالعه به منظور تعیین ظرفیت برد نهایی و ترکیب هفت عامل اولیه از قانون حداقل لیبیگ استفاده شده است.

بر اساس قانون "حداقل دفاع تحت شرایط مقاومتی"، اندازه جمعیت یک گونه خاص تا جایی که عرضه منابع به کم‌ترین مقدار خود برسد، محدود می‌شود. چنانکه اگر اجزای گوناگون جمعیت یک گونه خاص، نیازها و یا الزامات متفاوتی داشته باشند، آن‌گاه ظرفیت برد نهایی بر اساس یک فرمول واحد نمی‌تواند اتفاق بیفتد. از اینرو ظرفیت برد نهایی بر اساس حداقل ظرفیت تحمل حاصل شده برحسب هر یک از عوامل اولیه بدست خواهد آمد (Cohen, 1995:342).

مطابق با نقشه بدست آمده از همپوشانی عوامل تعیین کننده ظرفیت تحمل زیست محیطی در نرم‌افزار ArcGis و با استناد به قانون حداقل لیبیگ، از بین مجموع هفت عامل اولیه تشکیل دهنده ظرفیت تحمل، عامل مصرف و بهره‌وری از منابع آب و تولید فاضلاب به عنوان عامل محدود کننده ظرفیت تحمل و عامل تعیین کننده ضریب سطح زیربنا (FAR) در منطقه شناخته می‌شود.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه آستانه‌های مطلوب تراکم شهری بر مبنای ظرفیت تحمل زیست محیطی در منطقه ۹ شهرداری مشهد مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که توزیع جمعیت و تخصیص تراکم توسعه در این منطقه منطبق بر ظرفیت تحمل اکوسیستم بستر صورت نگرفته و نسبت به آن نیز

توجه جدی به عمل نیامده است. براساس نتایج بدست آمده از مجموع هفت عامل اولیه آب و فاضلاب، زیاده، انرژی، راه، حمل و نقل همگانی و سطوح سبز، عامل آب و فاضلاب به عنوان عامل تعیین کننده ظرفیت تحمل و محدود کننده توان جمعیت‌پذیری در منطقه تعیین شده و حداقل و حداکثر توان جمعیت‌پذیری براساس آن برابر با ۱۰۹۶۰۹ و ۱۲۵۹۱۳ نفر با متوسط ضریب زیربنای ۹۰/۶ درصد، با حداکثر تراکم ناخالص و خالص مسکونی ۷۶ و ۱۱۴ نفر در هکتار محاسبه شده است. تراکم خالص مسکونی در وضع موجود برابر با ۲۳۱ نفر در هکتار بدست آمده که از آستانه‌های مجاز تراکم (۱۱۴ نفر در هکتار) بسیار فراتر است و در بازه فشار بحرانی قرار دارد. مطابق با نتایج بدست آمده اکنون بیش از ۹۰ درصد از بلوک‌های مسکونی منطقه در بازه فشار بحرانی برابر با بیشترین فشار وارده بر اکوسیستم شهری قرار دارند.

در این مقاله بر خلاف مطالعات پیشین بر دو نکته اساسی تاکید شد: نخست اینکه تعداد مردمانی که می‌توانند در مساحت مشخصی از زمین پایدار شوند به فرهنگ آن‌ها بستگی دارد؛ چرا که در هر سرزمین، فرهنگ مردمان آن سرزمین است که تعیین کننده نیازها و شیوه زندگی آن‌ها است. از اینرو هر شهر و یا هر مساحت معینی از زمین با فرهنگ منحصر دارای ظرفیت تحمل و بار جمعیت‌پذیری مشخص و مخصوص به خود است. و دوم اینکه؛ متناسب با تغییر در سطوح تکنولوژیکی و مصرف در طول زمان، اهداف و تقاضا برای منابع و همچنین توانمندی‌های محیط در برآوردن نیاز واقعی شهرنشینان نیز تغییر خواهد نمود.

از آنجا که رویکرد ظرفیت تحمل زیست محیطی تنها زمانی مفید است که آستانه‌ها جلوتر از زمان تعیین شوند؛ لذا پیشنهاد می‌شود مفهوم ظرفیت تحمل زیست محیطی به عنوان ابزار جامع برنامه‌ریزی، پیش از بروز عوارض منفی

عزیزی، محمد مهدی (۱۳۸۷)، تراکم در شهرسازی: اصول و معیارهای تعیین تراکم شهری، انتشارات دانشگاه تهران: تهران.

مخدوم، مجید، عباس‌زاده تهرانی، نادیا (۱۳۸۷)، تدوین مدل فضایی عدد فشار ظرفیت برد شهری، پایان‌نامه دکتری، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

Changliang, L., L. Lina. (2012). Theoretical Research of the Urban Comprehensive Carrying Capacity in the Epoch of Urbanization, International Journal of Financial Research. Vol Vol 3(1): 105-113.

Clarke, A. (2002). Assessing the carrying capacity of the Florida Keys, Population and Environment, Vol 23:405-418.

Cohen, J. E. (1995). Population Growth and Earth's Human Carrying Capacity, Journal of Science, Vol 269(5222):341-346.

Godschalk, D.R., N. Axler. (1975). Carrying capacity: a key to environmental planning. J. Soil Water Conserve, Vol 30:160-165.

Kang, P., L. Xu. (2010). The urban ecological regulation based on ecological carrying capacity, International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS), Vol 2:1692-1700.

Lane, M. (2010). The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning, Land Use Policy, Vol 27: 1038-1045.

Oh, K., Y. Jeong., D. Lee., W. Lee and J. Choi. (2005), Determining development density using the Urban Urban Carrying Capacity Assessment System, Landscape and Urban Planning, Vol 73: 1-15.

Prato, T. (2009). Fuzzy adaptive management of social and ecological carrying capacities for protected areas, Journal of Environmental Management, Vol 90: 2551-2557.

Rao, S., R. Chennamaneni. (2007). Assessment of Urban Carrying Capacity, A Case Study of Environmental and Institutional Implication for Water Resource Management in Hyderabad, Federal Ministry of Education and Research (BMBF), Research Report 8.

ناشی از فشار جمعیت، در فرآیند مدیریت و برنامه‌ریزی کلانشهر مشهد و به ویژه در توسعه‌های جدید بکار گرفته شود. همچنین در این مقاله ظرفیت برد شهری تنها با تاکید بر ظرفیت برد تاسیسات و زیرساخت‌های شهری مورد مطالعه قرار گرفت. از اینرو مطالعات تکمیلی و جامع‌تر که بتواند سایر جنبه‌های ظرفیت برد شهری را نیز در بر بگیرد، ضرورت می‌یابد.

#### پی‌نوشت

۱- ظرفیت مسیر برحسب حداکثر تعداد سرنشین، با استفاده از سرفاصله زمانی حرکت اتوبوس‌ها در هر خط از حاصلضرب مجموع ظرفیت ایستاده و نشسته هر وسیله نقلیه (اتوبوس) در حاصل تقسیم طول ساعات کاری ناوگان اتوبوس‌رانی در شبانه روز بر حسب دقیقه به سرفاصله زمانی حرکت اتوبوس‌ها برحسب دقیقه محاسبه شده است.

#### منابع

ادب‌خواه، مصطفی، پورجعفر، محمدرضا، تقوایی، علی‌اکبر (۱۳۸۲)، "بررسی وضعیت تراکم ساختمانی و آرایه مدل پیشنهادی تعیین F.A.R با توجه به شبکه معابر (مورد مطالعه: محله الهیه تهران)"، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۳، ۱۶-۳۱.

آکیولی، کلودیوسی، داویدسون، فوربس (۱۳۹۰)، تراکم در توسعه شهر، ترجمه نجمه اسماعیل پور، علیرضا اشتیاقی، انتشارات آرمان‌شهر: تهران.

زبردست، اسفندیار (۱۳۸۷)، اندازه شهر، مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری: تهران.

- China, Habitat International, Vol 32:471-484.
- Xu, L., P. Kang, J. Wei. (2010). Evaluation of urban ecological carrying capacity: a case study of Beijing, China, *Procedia Engineering*. Vol 2, 1873-1880.
- Xu, L., P. Kang., J. Wei. (2012). Evaluation of urban ecological carrying capacity: a case study of Beijing, China, *International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS)*, Vol 2: 1873-1880.
- Xu, L., X. Xie. (2012). Theoretic Research on the Relevant Concepts of Urban Ecosystem Carrying Capacity, *The 18th Biennial Conference of the International Society for Ecological Modeling*, Vol 13:863-872.
- Rees. W.E., M. Wachernagel (1996). Urban Ecological Footprints: Why Cities Cannot be Sustainable- And Why They are A Key to Sustainability, *Environ Impact Assess Rev*, Vol 16:223-248.
- Rees, W.E.(1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environmental and Urbanization*, Vol 4(2):121-130.
- Schroll, H., J. Ansersen. (2012). Carrying Capacity: An Approach to Local Spatial Planning in Indonesia, *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies*. Vol 11(1), 27-39.
- Tan, M., X. Li, C. Lu., W. Luo., K. Wei, Xiangbin, S. Ma. (2008). Urban population densities and their policy implication in