جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سال ۲۶، پیاپی ۶۰، شـماره ۴، زمسـتان ۱۳۹۴

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

محمدرحیم 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

وصـول: ۱۳۹۲/۲/۲۹ پـذیرش: 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 پایـداری شـهری اسـت. در این مقاله تراکم مطلوب توسعه شهری با رویکرد ظرفیت تحمل زیست محیطی در منطقه ۹ شهری تعیین و در آن مفهـوم ظرفیـت تحمـل بـه دو مفهوم اساسی ظرفیت تحمل حیاتی و مقاومت محیط تقسیم گردید. به منظور تعیـین ظرفیـت تحمـل در ابتـدا پتانسـیل بهـره‌وری هریـک از منـابع موجود و بار عملکردی هریک از تاسیسات شهری در پاسخ به نیازهای واقعی شهرنشینان براساس هفـت عامـل آب، فاضـلاب، زبالـه، انـرژی، راه، حمل و نقل همگانی و سطوح سبز برآورد شد و سپس بر مبنای استانداردهای زیست‌محیطی و آستانه‌هـای مجـاز آلـودگی تـراکم مطلـوب توسـعه تعیین شد. برای ارزیابی ظرفیت تحمل از مدل عدد فشار در سیستم اطلاعات جغرافیـایی (GIS) بهـره گرفتـه شـد و ظرفیـت تحمـل در سـه بـازه تحت عنوان آستانه مطلوب، آستانه مجاز و فشار بحرانی توزیع گردید. نتایج نشان داد که جمعیت و تراکم توسعه منطبق بـر ظرفیـت تحمـل منطقـه توزیع نیافته است و در بازه فشار بحرانی برابر با بیشترین مقدار فشار وارده بر سرزمین قرار دارد. در ادامه عامـل مصـرف و بهـره وری از منـابع آب و تصفیه فاضلاب به عامل محدودکننده ظرفیت تحمل منطقه انتخاب شد و برمبنـای آن حـداقل و حـداکثر تـوان جمعیـت‌پـذیری منطقـه برابـر بـا ۱۰۹۸۶۲ و ۱۲۵۹۱۳ نفر با متوسط ضریب سطح زیربنای ۹۰/۶ درصد و تراکم خالص و ناخالص ۷۶ و ۱۱۴ نفر در هکتـار تعیـین شـد. در نهایـت پیشنهاد می‌شود مفهوم ظرفیت تحمل زیست‌محیطی به عنوان ابزار جامع برنامه‌ریزی، پیش از بروز عوارض منفی ناشی از فشار جمعیـت، در فرآینـد 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.

* **نویسنده مسؤول:** E-mail: Sh_Sarabi@yahoo.com

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can t change it in any way or use it commercially

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 می کنند که می‌توانند به طور نامحدود در یک محیط معین حمایت شوند؛ بدون اینکه بر بهره‌وری و عملکرد سیستم‌های پشیبان 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 می‌توانند 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. متاسفانه اصولی که هم اکنون در تدوین خط مشی‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی درکلانشهر مشهد به چشم می‌خورد، غالبا 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 مواجه 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

اساسی در سامان دادن به پیکره، سیما و چهره شـهر و پراکنش موزون و منطقی جمعیـت و فعالیـت در پهنـه شهری است و توسعه پایدار و متـوازن شـهر را سـبب می‌شود (عزیزی،۱۳۸۳:۲۵۵). مقولـه تـراکم بـه عنـوان یک عامل اصلی و شاخص در مجموعـه فعالیـت‌هـای شهرسازی و بـه‌عنـوان ابـزاری بـرای مهـار توسـعه و تعادل‌بخشی فضایی بدان، در طرح‌های توسعه شـهری مشهد و به تبع آن منطقه ۹ شهرداری از مناطق سـیزده گانه این شهر نیز همواره از دیرباز مـورد توجـه واقـع شده است. اما بدیهی است که در این طرح‌ها به هنگام مطالعات برای تعیین آستانه‌های مجـاز تـراکم شـهری، نسبت به آستانه‌های تحمل زیست‌محیطی، توجه جدی به‌عمل نیامده و تعیین آن، بدون طی فرآیندهای علمی، تبعات و عوارض بسیاری را برای شـهر و شهرنشـینان به همراه داشته است. چنانکه اکنون ساخت و سازهای غیراصولی و غیرمجاز در کوهپایه‌ها، حریم مسیل‌هـا و رودخانه‌ها، فشارهای زیست‌محیطی را در ایـن منطقـه دامن زده و آسیب‌های جبران‌ناپذیری را بـه بـار آورده است. لذا مساله اصـلی تحقیـق حاضـر، پاسـخ بـدین پرسش است که "چگونه می‌توان به آستانه‌ای از تراکم شهری در سطح منطقه ۹ شهرداری مشهد دست یافـت که ضمن تضمین آستانه حضورپذیری انسان‌ها و انواع فعالیت‌هـا در فضـا، در بردارنـده کـم‌تـرین پیامـدها و بازتاب‌های زیان‌آور نیز باشد؟".

و هدف از آن تلفیـق مفـاهیم آسـتانه‌هـای تحمـل زیست‌محیطی و ظرفیت اکوسیستم بسـتر بـا مـدیریت توسـعه شـهری بـه منظـور کنتـرل و پـایش سـلامت اکوسیستم شهری در فرآینـد برنامـه‌ریـزی و مـدیریت پایدار کلانشهر مشهد است.

پیشینه موضوع

مفهوم ظرفیت تحمل از دیرباز مورد توجه محققان بسـیاری اسـت. اسـکرول و همکـاران (۲۰۱۲)، در مطالعـه‌ای بـا عنـوان "ظرفیـت تحمـل: رویکـردی در برنامه‌ریزی فضایی محلی در اندونزی" ظرفیت تحمـل را به دو مفهوم "ظرفیت تحمل پشتیبان"[1] و "ظرفیـت تحمل جایگزین"[2] تقسیم نمودند و عوامل تعیین کننده ظرفیت تحمل را در پنج بخش کمیـت و کیفیـت آب، امنیت غذایی، مدیریت زباله‌های جامد، حمل و نقـل و تنزل سطوح جنگلی و زمین‌ها ارایه دادند (Schroll & et al.,2012:31). کنگ و زو (۲۰۱۲)، ظرفیت تحمـل منابع آب را در یک پـارک صـنعتی در شـهر زوهـایی مـورد مطالعـه قـرار دادنـد (kang&Xu,2012:879). چنگ لیانگ و لینا (۲۰۱۰)، مبانی نظری ظرفیت تحمل جـامع شـهری را مطالعـه نمودنـد و مجموعـه‌ای از شاخص‌های مفید را در برآورد ظرفیت تحمـل در سـه لایه مختلف اجتماعی، اقتصادی و منابع پیشنهاد دادنـد (Changliang&Lina,2012:105).

زو و وی (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای با عنوان "ارزیابی ظرفیت تحمل زیست‌محیطی شهری در شهر پکـن در چین"، از مـدل‌هـای ریاضـی بـرای ارزیـابی ظرفیـت تحمل شهری در بخش تانگژو در چین استفاده نمودند (Xu&Wei, 2010: 1873). چنانکـه لـین (۲۰۱۰)، در مطالعـه‌ای بـا عنـوان "روش‌شناسـی ظرفیـت تحمـل منطقـه‌ای در راسـتای برنامـه‌ریـزی پایـدار کـاربری اراضی" مجموعه‌ای از رویکردها و روش‌های ارزیابی ظرفیت تحمل را در سطوح منطقـه‌ای مـورد بررسـی، مقایسه و آزمون قرار داد (Lane,2010:1038).

1 Supportive carrying capacity
2 Assimilative carrying capacity

اه و همکـاران (۲۰۰۵) در مطالعـه‌ای بـا عنـوان "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 ارایه 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 ارایه 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 براساس 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 اهدف و با تکیه بر مدل عدد فشار و مفاهیم ظرفیت برد شهری، از مجموعه‌ای از عوامل موثر بر آستانه‌های تحمل زیست‌محیطی جهت اندازه‌گیری فشار وارده بر سرزمین و برمبنای 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[1] (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 کیمیت 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 براساس

1 Degree of Carrying Capacity

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 برمبنای 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 هریک از 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:

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

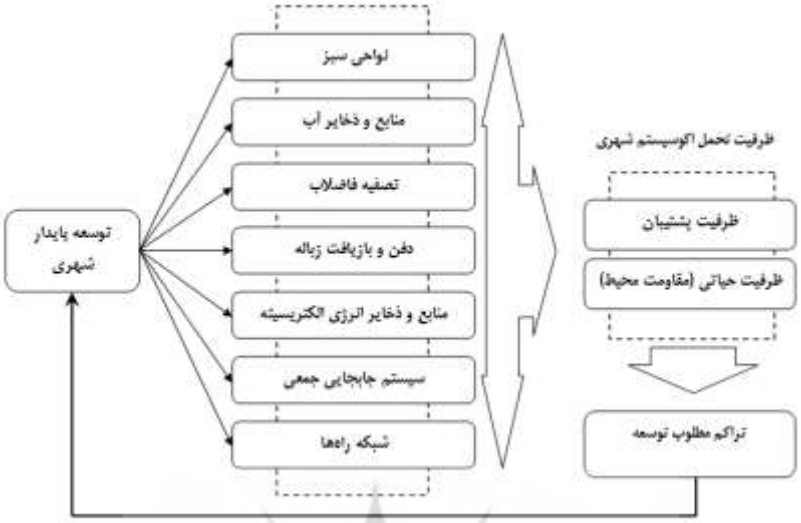
همچنین فرمول کلی محاسبه ظرفیت تحمل زیست‌محیطی براساس تقابل بین عرضه و تقاضا و با الگوبرداری از مطالعات پیشین آلبرت پنک (۱۹۵۲)، وستینگ (۱۹۸۱) و مطالعات اخیرا کیوشیک اه (۲۰۰۵) مطابق با رابطه زیر تعیین شده است:

رابطه (۱)

$$UCC = {RSS}/{IR}$$

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

شهرنشـــینان (تقاضـــا) و UCC (Urban Carrying Capacity) برابر با ظرفیت تحمل شهری است.



شکل (۲) مدل مفهومی تحقیق

در این مطالعه بـه منظـور ارزیـابی نهـایی نتـایج و تلفیق و یکپارچه‌سازی عوامـل تعیـین کننـده ظرفیـت تحمل زیست‌محیطی از قانون حداقل لیبیـگ[1] اسـتفاده شده است.

یافته‌ها

- تعیین ظرفیت تحمل (توان جمعیـت‌پـذیری) منطقـه برحسب هریک از عوامل

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

الف- تعیین ظرفیت پشتیبان منطقه:

مطابق با تعریف ارایه شده، ظرفیت تحمل پشـتیبان حاصل جمع جبری مجمـوع امکانـات محیطـی بـدون توجه به روابـط متقابـل آن‌هـا بـا یکـدیگر اسـت کـه برمبنـای ظرفیـت بهـره‌بـرداری از منـابع (عرضـه)، استاندارد و سرانه مصـرف و یـا تولیـد (تقاضـا) و بـه عبارتی تقابل بین عرضه و تقاضا، بر اساس رابطه کلی (۱) و روابط جزیی منتج از آن (منـدرج در جـدول ۲) شکل می‌گیرد.

بنابراین در برآورد ظرفیت تحمـل پشـتیبان، اولـین گام تعیین ظرفیت بهره‌وری از منابع و یا بار عملکردی تأسیسات شـهری در پاسـخ بـه تقاضـا و نیـاز واقعـی شهرنشینان است.

جدول (۱)، شـاخص‌هـای تعیـین کننـده ظرفیـت بهـره‌بـرداری از منـابع و بـار عملکـردی هریـک از تاسیسات شهری (عرضه) و همچنـین نیـاز و سـطوح هدف‌گذاری شده خدمات (نیاز) را بر حسـب هریـک از عوامل تعیین کننده نشان می‌دهد. مطابق بـا جـداول (۱) و (۲):

1 Liebig s Law of The Minimum

در این مطالعه ظرفیت بهره وری از منابع آب به منظور تامین آب مورد نیاز مصارف خانگی شهرنشینان در منطقه، برحسب ظرفیت تاسیسات و تصفیه-خانه‌های آب در شهر مشهد اندازه‌گیری شده است. مطابق با اطلاعات بدست آمده از شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد هم‌اکنون تعداد دو تصفیه خانه آب فعال در شهر مشهد موجود است. این تصفیه خانه‌ها قابلیت تامین ۱۹۲۰۰۰ مترمکعب آب آشامیدنی را در طول شبانه روز دارا هستند و ۱۰۰ درصد از جمعیت را تحت پوشش خود قرار می‌دهند.

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

ظرفیت بهره برداری 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 شبانه روز
زباله	ظرفیت دفن، ا محاء و بازیافت	مجموع حجم زباله قابل دفن و بازیافت در شبانه روز	گرم در شبانه روز
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 شبانه روز
زباله	سرانه تولید زباله خانگی	متوسط حجم زباله خانگی تولید شده به ازای هر نفر	گرم در شبانه روز
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 مصرب خانگی برق	متوسط برق مصرف شده برای امور خانگی توسط هر فرد	کیلووات ساعت

منبع: یافته‌های مقاله

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 اندازه گیری 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 معابر 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[1] اندازه گیری 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 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 جمعیت پذیری 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.

– 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 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 تعیین کننده در منطقه ۹ شهرداری مشهد، به شرح جدول (۲) است.

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

عوامل تعیین کننده	ظرفیت بهره‌وری از منابع/ بار عملکردی تاسیسات (عرضه)			نیاز/ تقاضا			سطوح‌هدف‌گذاری شده**		ظرفیت تحمل پشتیبان (توان جمعیت پذیری)			
	نشانه اختصار	مقدار مطلق	واحد	نشانه اختصار	استاندارد مطلوب**	سرانه مصرف/تولید	نشانه اختصار	مقدار مطلق	نشانه اختصار	فرمول محاسبه	حداقل	حداکثر
آب و فاضلاب*	WS	۱۹۲۰۰۰	مترمکعب	WC	۱۳۰	۱۵۰	×	×	WRCC	WS/WC	۱۵۵۹۹۹	۱۷۹۹۹۹
زباله*	WT	۲۵۷۰	تن	WP	۵۰۰	۶۴۲	×	×	WCC	WT/WP	۴۸۷۸۷۷	۶۲۶۴۳۴
انرژی*	ES	۹۵۹۴۵۱۳	مگاوات ساعت	EC	۹۰۰	۷۰۶	HECR	۰/۳۹	ECC	(ES×HECR)/EC	۵۰۶۷۰۷	۶۴۵۹۴۴
حمل ونقل‌همگانی	COPTS	۷۷۹۳۵	نفر	PTS	۰/۳۷	۰/۲۳	×	×	PTCC	COPTS/PTS	۲۱۰۶۳۵	۳۳۸۸۴۸
سطوح سبز	GA	۱۹۹۱۲۱۱	مترمربع	A	۱۲–۱۶	×	×	×	GSCC	GA/A	۱۲۴۴۵۱	۱۶۵۹۳۴
راه	RC	۱۱۶۱۶۷	همسنگ سواری	VO	۱	×	LOS	E-D	RCC	(RC×LOS)/VO	۲۵۷۸۹۰	۳۰۰۸۶۹

* 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 ارایه 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	میلی‌گرم در لیتر
	زباله	مقدار CH_4	غلظت گاز متان انتشار یافته در محل دفنگاه زباله	PPM
	راه	مقدار NO_X	غلظت آلاینده اکسید نیتروژن ناشی از ترافیک وسایل نقلیه عبوری	گرم بر کیلومتر
	حمل و نقل	-	-	-
	سطوح سبز	-	-	-
	انرژی	مقدار NO_X	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 ارایه شده است. بر مبنای ضریب ۸۰ درصد تبدیل آب به فاضلاب در شهر مشهد، هر شهروند در

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]) ۳/۰۰E +۰۴ 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 ۳/۹۹E+۱۰ میلی گرم در لیتر آلودگی(BOD) تولید خواهد شد. لیکن با توجه به ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، روزانه تنها ۱/۰۰ E+۰۸ لیتر از حجم فاضلاب خروجی قابل تصفیه خواهد بود. بنابراین همچنان حداقل ۱/۴۹E+۱۰ میلی گرم 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 میلی-گرم در لیتر تعیین شود؛ آنگاه باتوجه به نرخ تصفیه فاضلاب در شهر مشهد (۱۷ درصد) و آستانه مجاز آلودگی (BOD)، حداقل۱/۳۱E+۱۰ میلی گرم 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 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 باتوجه به تعداد جمعیت برآورد شده و سرانه تولید زباله، روزانه ۲/۵۷E+۰۶ کیلوگرم زباله با بار آلودگی ۱/۷۱E+۰۵مترمکعب 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 ۳/۴۰E+۰۵ 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 فعالیت-های 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 ۲/۴ گرم در هر کیلووات ساعت است. لذا باتوجه به تعداد

1 Biochemical Oxygen demand

جمعیت برآورد شده و سرانه مصرف برق خانگی، روزانه ۰۹+ E ۳/۷۴ کیلوات ساعت برق با حداکثر بار الودگی ۱۲+ E ۲/۴۹ گرم بر گیگاژول (g/Gj) برحسب غلظت NO_X خروجی در شهر مشهد مصرف خواهد شد. حال چنانچه مقدار بار آلودگی مجاز را برحسب استاندارد ۱۳۵ گرم بر گیگاژول برابر با ۱۱+ ۵/۰۵E در نظر بگیریم؛ آنگاه ۱۲+ ۱/۹۹E گرم بر گیگاژول آلودگی مازاد بر آستانه مجاز، به طبیعت وارد خواهد شد. از اینرو اکنون نیاز است که آستانه‌های جمعیتی برحسب آستانه‌های مجاز آلودگی به مقادیر ۳۳۸۳۳۳ و ۴۳۱۳۰۲ 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 ۱۳۵ 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 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 آلایندگی 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 برحسب 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.

جدول (۴) ضرایب a، b، c و d در الگوی مدل آلایندگی 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
		سرپایینی	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 آلایندگی 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 ۱/۵۴E +۰۹ گرم بر کیلومتر است که از حد مجاز آلودگی (۱/۷۴E +۱۱ گرم بر کیلومتر) برحسب استاندارد ملی حد مجاز آلایندگی 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

آب و فاضلاب	سرانه تولید فاضلاب (لیتر در روز)	فاضلاب تولید شده (لیتر در روز)	فاضلاب تصفیه شده (لیتر در روز)	فاضلاب تصفیه نشده (لیتر در روز)	مقدار آلودگی (میلی گرم در لیتر)	آلودگی مجاز (میلی گرم در لیتر)	آلودگی مازاد (میلی‌گرم در لیتر)	توان جمعیت پذیری (نفر)
	۱۰۴	۱/۶۰ E+۰۸	۱/۰۰ E+۰۸	۵/۹۵ E+۰۷	۱/۴۹ E+۱۰	۱/۷۹ E+۰۹	۱/۳۱ E+۱۰	۱۰۹۶۰۹
	۱۲۰	۱/۵۱ E+۰۸	۱/۰۰ E+۰۸	۵/۱۰ E+۰۷	۱/۲۸ E+۱۰	۱/۵۳ E+۰۹	۱/۱۲ E+۱۰	۱۲۵۹۱۳
زباله	سرانه تولید زباله (گرم در روز)	حجم زباله تولید شده (گرم در روز)	مقدار آلودگی (مترمکعب بیوگاز)	ظرفیت پذیرش نیروگاه بیوگاز (مترمکعب در روز)	جمعیت مازاد (نفر)	توان جمعیت پذیری (نفر)		
	۵۰۰	۲/۵۷ E+۰۹	۱/۷۱ E+۰۵	۳/۴۰ E+۰۵	ندارد	۶۲۶۳۴۳		
	۶۴۲					۴۸۷۸۷۷		
انرژی	سرانه مصرف برق خانگی (کیلووات ساعت)	میزان برق مصرفی (کیلووات ساعت)	میزان گاز انتشار یافته NO_X (گرم بر گیگاژول)	مقدار آلودگی مجاز (گرم بر گیگاژول)	مقدار آلودگی مازاد (گرم بر گیگاژول)	توان جمعیت پذیری (نفر)		
	۷۰۶	۳/۷۴ E +۰۹	۲/۴۹ E +۱۲	۵/۰۵ E +۱۱	۱/۹۹ E +۱۲	۴۳۱۳۰۲		
	۹۰۰					۳۳۸۳۳۳		
راه	حداکثر حجم ترافیک عبوری	میزان گاز انتشار یافته NO_X (گرم بر کیلومتر)	مقدار آلودگی مجاز (گرم بر کیلومتر)	جمعیت مازاد (نفر)	حداکثر توان جمعیت پذیری (نفر)			
	۸/۱۳E +۰۴	۱/۵۴E +۰۹	۱/۷۴ E+۱۱	ندارد	۳۰۰۸۶۹			

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 حاصل‌تقسیم 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 ۱۶۶۲هکتار 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

عوامل تعیین کننده	توان جمعیت‌پذیری (UCC)		تراکم جمعیتی ($PD = UCC/A_1$)		تراکم ناخالص مسکونی ($GRD = UCC/A_2$)		تراکم خالص مسکونی ($NRD = UCC/A_3$)	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
آب و فاضلاب	۱۰۹۶۰۹	۱۲۵۹۱۳	۳۳	۳۹	۶۶	۷۶	۱۰۰	۱۱۴
زباله	۴۸۷۸۷۷	۶۲۶۴۳۴	۱۵۰	۱۹۲	۲۹۳	۳۷۷	۴۴۴	۵۷۰
انرژی	۳۳۸۳۳۳	۴۳۱۳۰۲	۱۰۴	۱۳۲	۲۰۴	۲۵۹	۳۰۸	۳۹۲
راه	۲۵۷۸۹۰	۳۰۰۸۶۹	۷۹	۹۲	۱۵۵	۱۸۱	۲۳۵	۲۷۴
سیستم جابجایی جمعی	۲۱۰۶۳۵	۳۳۸۸۴۸	۶۴	۱۰۴	۱۲۷	۲۰۴	۱۹۲	۳۰۸
سطوح سبز	۱۲۴۴۵۱	۱۶۵۹۳۴	۳۸	۵۱	۷۵	۱۰۰	۱۱۳	۱۵۱
مجموع مساحت برحسب مترمربع (A_1)							۳۲۵۷۹۹۴۶	
مجموع مساحت اراضی توسعه یافته برحسب مترمربع (A_2)							۱۶۶۲۱۷۴۸	
سطوح اشغال شده توسط واحدهای مسکونی و فضاهای وابسته برحسب مترمربع (A_3)							۱۰۹۹۲۵۶۸	

منبع: یافته های مقاله

- ارزیابی ظرفیت تحمل منطقه ۹ شهرداری مشهد برحسب هریک 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 بپردازیم. 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 جدول۷، 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 هریک 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	۰- ۱۰۰	۱۰۰- ۱۱۴	۱۱۴ و بیشتر	راه	۰- ۲۳۵	۲۳۵- ۲۷۵	۲۷۴ و بیشتر
زباله	۰- ۴۴۴	۴۴۴- ۵۷۰	۵۷۰ و بیشتر	حمل و نقل همگانی	۰- ۱۹۲	۱۹۲- ۳۰۸	۳۰۸ و بیشتر
انرژی	۰- ۳۰۸	۳۰۸- ۳۹۲	۳۹۲ و بیشتر	سطوح سبز	۰- ۱۱۳	۱۱۳- ۱۵۱	۱۵۱ و بیشتر

منبع: یافته‌های مقاله

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

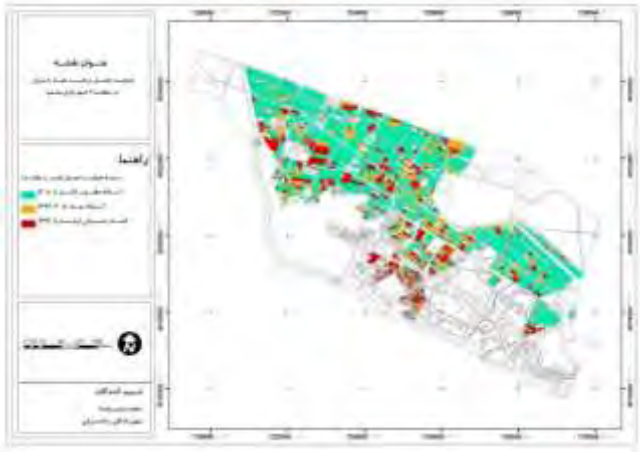
عامل	جمعیت (نفر)		تراکم خالص (نفر در هکتار)		درجه ظرفیت تحمل	عامل	جمعیت (نفر)		تراکم خالص (نفر در هکتار)		درجه ظرفیت تحمل
	وضع موجود	جمعیت- پذیری	وضع موجود	مقدار مجاز			وضع موجود	جمعیت- پذیری	وضع موجود	مقدار مجاز	
آب و فاضلاب	۲۵۳۷۱۱	۱۲۵۹۱۳	۲۳۱	۱۱۴	فشار بحرانی	راه	۲۵۳۷۱۱	۳۰۰۸۶۹	۲۳۱	۲۷۴	آستانه مطلوب
زباله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

منبع: یافته‌های مقاله

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 تقریبا توسعه یافته (بافت نیمه‌پر)، استفاده از مفهوم تراکم خالص مسکونی به عنوان ابزار سنجش مناسب‌تر است و اشکال فیزیکی و 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 جدول۸ است. درجه ظرفیت تحمل در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک هریک از عوامل مطابق با نقشه‌های زیر است:

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

نقشه (۲) درجه ظرفیت برد برحسب 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

– تعیین ضریب سطح زیربنا (FAR) برمبنای 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 پیش بینی 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 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)

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

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.

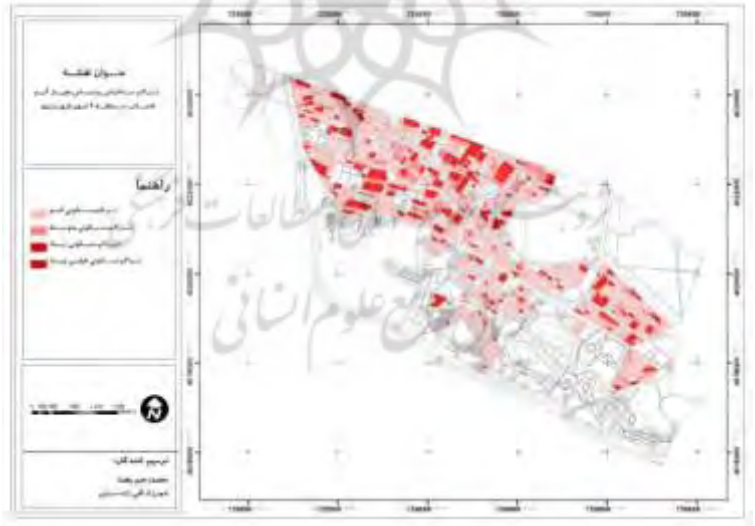
محاسبات ضریب سطح زیربنا برحسب توان جمعیت‌پذیری منطقه، به تفکیک هریک از عوامل به شرح جدول زیر است:

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

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

منابع: یافته‌های مقاله

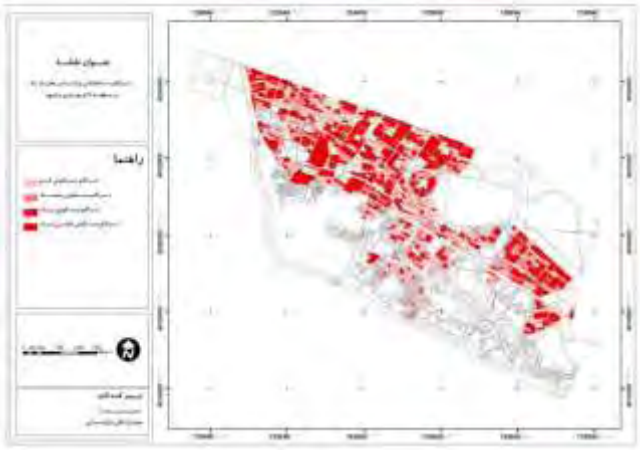
در ادامه بلوک‌های مسکونی براساس ضریب سطح زیربنا (FAR) در چهار گروه مسکونی با تراکم کم، مسکونی با تراکم متوسط، مسکونی با تراکم زیاد و مسکونی با تراکم بسیار زیاد جای گرفته‌اند. تراکم ساختمانی به تفکیک بلوک‌های شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد به تفکیک هریک از عوامل به قرار نقشه‌های زیر است:



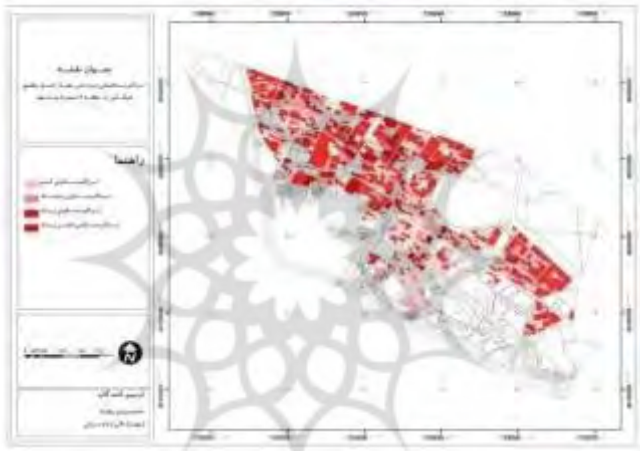
نقشه (۷) تراکم ساختمانی برحسب عامل آب و فاضلاب در منطقه ۹

نقشه (۸) تراکم ساختمانی برحسب عامل زباله 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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 هفت‌عامل اولیه از قانون حداقل لیبیگ استفاده شده است.

براساس 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 براساس یک فرمول واحد نمی‌تواند اتفاق بیفتد. از اینرو ظرفیت برد نهایی براساس حداقل ظرفیت تحمل حاصل شده برحسب هریک از عوامل اولیه بدست خواهد آمد (Cohen,1995:342;).

مطابق با نقشه بدست آمده از همپوشانی عوامل تعیین کننده ظرفیت تحمل زیست‌محیطی در نرم‌افزار ArcGis و با استناد به قانون حداقل لیبیگ، از بین مجموع هفت عامل اولیه تشکیل‌دهنده 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 زیست‌محیطی 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، زباله، 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 ۱۰۹۶۰۹و 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 زیست‌محیطی تنها زمانی مفید است که آستانه‌ها جلوتر از زمان تعیین شوند؛ لذا 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. 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 ارایه 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 نجما اسماعیل پور، علیرضا اشتیاقی، انتشارات آرمان‌شهر: تهران.

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

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، پایانامه 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.

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 Tran disciplinary 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی