



## تحلیل ظرفیت برد با تأکید بر منابع آبی با استفاده از روش بار و حامل بار (مطالعه موردی: استان تهران)

پریسا کوشکی<sup>۱</sup>، رومینا سیاح نیا<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

|  |  |
|--|--|
| <p><b>چکیده</b></p> <p>امروزه با رشد سریع اقتصاد و توسعه جوامع شهری، تعارض بین منابع مورد استفاده و انسان تشدید شده است لذا آگاهی از ظرفیت منابع موجود در راستای تحقق اهداف برنامه‌ریزی و توسعه یک ضرورت غیرقابل انکار است. در این پژوهش سعی شده است از یک سو ظرفیت برد منابع آبی استان و فشاری که به آن وارد می‌گردد و از سوی دیگر روند افزایشی آلاینده‌ها در کاهش این ظرفیت مورد توجه قرار گیرد. معیارهای مورد نظر در این پژوهش به دو گروه حامل و بار تقسیم‌بندی شده‌اند. حامل‌ها از سه بعد تأسیسات آب، تأمین آب و محیط‌زیست و بار ناشی از فعالیت انسان در چهار بخش آب مصرفی و فاضلاب تولیدی، اقتصادی- اجتماعی و آلودگی شامل پسماند و هوا مورد بررسی قرار گرفته است. جهت وزن‌دهی به شاخص‌ها از روش آنتروپی شانون استفاده شده است. در نهایت با استفاده از تعامل بارها نسبت به حامل‌ها، ظرفیت برد منابع آبی استان تهران برآورد شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد در حامل تأمین آب که به‌عنوان عامل کلیدی در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است، شاخص منابع آب زیرزمینی با وزن ۰/۰۸۶ بیشترین اهمیت را دارد. همچنین طبق نتایج مربوط به تعامل بار به حامل به ترتیب حامل منابع آب با مقدار ۲۳/۷۴۸ بیشترین ظرفیت موجود، سپس حامل محیط‌زیست میزان ۶/۵۶۶۳ و در نهایت حامل تأسیسات آبی به عنوان پایین‌ترین ظرفیت مربوط به استان تهران از بین سه حامل با مقدار ۳/۷۰۹۲ می‌باشد. در نهایت مقدار عددی ظرفیت برد کلی استان تهران براساس شاخص‌های تعیین شده ۳۴/۰۲۳۵ بدست آمده است. در مطالعات آتی در صورت تکمیل داده‌ها و اطلاعات مربوط به سایر استان‌ها با اجرای روش مورد استفاده در این مطالعه برای سایر استان‌ها، امکان مقایسه بین مقادیر ظرفیت برد، در سطح ملی مهیا می‌گردد که نتایج آن می‌تواند به بهبود روند برنامه‌ریزی بر مبنای مقایسه بین استان‌ها، کمک شایانی نماید.</p> | <p>نوع مقاله:<br/>پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:<br/>دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲<br/>پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶</p> <p>کلمات کلیدی:<br/>ظرفیت برد شهری<br/>منابع آبی<br/>حامل، بار<br/>استان تهران<br/>پایداری توسعه</p> |
|--|--|

### مقدمه

در قرن بیست و یکم مسأله شهرنشینی و رشد سریع آن مورد توجه و بحث فراوانی قرار گرفته است (United Nations, 2018). تعداد افراد ساکن در مناطق شهری در سال ۲۰۱۸ حدود ۵۵/۲ درصد ثبت شده است که این عدد تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد خواهد رسید (UN DESA, 2019). از طرفی میزان گسترش نواحی شهری بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ حدود ۸۰ درصد بوده است (Liu et al., 2020). طبق اطلاعات موجود هم‌اکنون سریع‌ترین نرخ گسترش شهرها در کشورهای در حال توسعه در حال رخ دادن است (Gao & O'Neill, 2020).

در قرن بیست و یکم مسأله شهرنشینی و رشد سریع آن مورد توجه و بحث فراوانی قرار گرفته است (United Nations, 2018). تعداد افراد ساکن در مناطق شهری در سال ۲۰۱۸ حدود ۵۵/۲ درصد ثبت شده است که این عدد تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد خواهد رسید (UN DESA, 2019). از طرفی میزان گسترش نواحی شهری بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ حدود ۸۰ درصد بوده است (Liu et al., 2020). طبق اطلاعات موجود هم‌اکنون سریع‌ترین نرخ گسترش شهرها در کشورهای در حال توسعه در حال رخ دادن است (Gao & O'Neill, 2020).

ظرفیت برد آب منطقه‌ای به چهار نوع کلی طبقه‌بندی می‌شوند، این چهار روش شامل: روش تجزیه و تحلیل روند، ردپای اکولوژیک، پویایی سیستم و روش ارزیابی شاخص می‌باشد (Zhou et al., 2017). طبق مطالعه‌ی منابع مرتبط با مقوله‌ی ظرفیت برد، در مطالعه‌ی ظرفیت برد، ابعاد گوناگونی مورد توجه قرار می‌گیرند. از جمله‌ی این ابعاد می‌توان به ظرفیت برد فیزیکی، ظرفیت برد اکولوژیک، ظرفیت برد اجتماعی- فرهنگی، ظرفیت برد ادراکی یا ذهنی اشاره نمود (Saveriades, 2000; Sayahnia et al., 2019). ظرفیت برد منابع شهری را می‌توان در ابعاد ظرفیت برد منابع زمینی، منابع آب، منابع انرژی، محیط جو (هوا)، زیرساخت شهرداری، حمل و نقل خدمات عمومی و گردشگری توصیف نمود. از طرفی بارهای شهری نیز به دو نوع بارهای منظم و بارهای اتفاقی تقسیم می‌گردند. بارهای منظم بیشتر به خروجی و تولیدات زندگی روزمره در بخش‌های کشاورزی، صنعتی، ساخت و ساز شهری، حمل و نقل و غیره مرتبط است و بارهای تصادفی به بلایای طبیعی مانند زمین لرزه، سیل و رانش زمین یا برخی سوانح حادث شده توسط انسان (حوادث مانند نشت مواد سمی، آتش‌سوزی‌ها و غیره) اشاره دارد. حامل‌های شهری به عنوان برآیندی از منابع به عنوان عامل بسیار مهم در پشتیبانی از فعالیت‌های انسان محسوب می‌شوند (Zhu et al., 2020). در پژوهش حاضر با توجه به نقش کلیدی منابع آب و اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم این منبع بر سایر منابع و شاخص‌ها، همان‌گونه که Song و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱ ظرفیت برد آب منطقه‌ای را به معنای حداکثر توانایی پشتیبانی یا بیان‌کننده‌ی حداکثر جمعیتی که می‌توانند با استفاده از منابع آب موجود در یک منطقه خاص پایدار باشند، عنوان نموده‌اند. سعی شده است که شاخص‌های منابع آبی به صورت جامع پوشش داده شوند. در مطالعه‌ی در سال ۲۰۱۹ که ارزیابی ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای براساس روش شاخص باینری و روش شاخص کاهش در حوضه‌ی دریاچه‌ی Taihu پیاده‌سازی شده، Hong-yuan Fang و همکارانش بر ارزیابی و بررسی شاخص کنترل کل مصرف آب استان‌ها و شهرستان‌ها در حوضه مربوطه تأکید نمودند. مروری بر چالش‌های موجود در مسیر توسعه‌ی پایدار که یکی از دلایل مهم چالش‌های

(Sajjadi Ghaemmaghami et al., 2021). امروزه درصد جمعیت ساکن در نقاط شهری ایران طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ به ۷۴٪ درصد رسیده است (National Statistics Center, 2016). هم‌چنین براساس آمارهای موجود، استان تهران بالاترین درصد شهرنشینی را در بین استان‌های کشور دارد، به گونه‌ای که جمعیت کل استان تهران ۱۳۲۶۷۶۳۷ نفر می‌باشد (Statistical Yearbook of the Country, 2018; Omidpour et al., 2020). شایان ذکر است استراتژی طولانی‌مدت شهرنشینی فقط با محیط زیست پایدار قابل اجرا است (Akotia & Sackey, 2018; Bamgbade et al., 2018). بنابراین توجه به مسأله مدیریت و پایداری شهری به‌خصوص در سطح کلان شهرها، در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Latifi & Basatian, 2012). آگاهی از ظرفیت برد محیط جهت پاسخ به این سوال که آیا توسعه‌ی شهری به صورت پایدار در حال اجرا است یا خیر، راهنمای مناسبی می‌تواند باشد (Wei et al., 2015; Keshtkar & Sayahnia, 2021). در صورتی که میزان بار وارد شده به شهر بیش از حد قابل تحمل شهر باشد، این موضوع حاکی از نامتناسب بودن استراتژی شهرسازی با ظرفیت برد محیط است (Liu et al., 2018; Wang et al., 2018; Sayahnia et al., 2017). طبق مرور مطالعات صورت گرفته و شاخص‌های مورد استفاده در این حوزه، با توجه به نقش کلیدی منابع آب محققان اغلب در بحث ظرفیت برد به‌خصوص در حوزه‌ی شهری معطوف به عامل آب و رابطه آن در حفظ و ارتقا توسعه پایدار بوده‌اند. با توجه به نقش ملی و فراملی استان تهران در پشتیبانی سایر نقاط کشور بروز هرگونه ناپایداری در این استان منجر به ناپایداری و ایجاد مشکلات برای سایر نقاط کشور خواهد شد بنابراین لزوم بررسی ظرفیت برد و توان بوم‌شناختی این استان روشن می‌گردد (Sasanpour, 2011). با تلاش در راستای پایدار نگه داشتن منابع محیط‌زیستی شهر از جمله زمین، آب و هوا می‌توان محیط شهری پایداری را انتظار داشت (Akotia & Sackey, 2018; Bamgbade et al., 2018; Sobhani et al., 2020). ظرفیت برد در اصل یک مفهوم فیزیکی برای توصیف حامل و توانایی پشتیبانی از بار متحمل است (Shen et al., 2020; Zhang et al., 2019; Keshtkar & Sayahnia, 2021). روش‌های ارزیابی

به عنوان روشی جدید جهت ارزیابی ظرفیت برد منابع شهری از دیدگاه حامل بار و بار مطرح شده است، که به شناسایی شاخص‌های مربوط به حامل تأمین آب براساس منطق اثرگذار بودن در تأمین آب مورد نیاز برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود شاخص‌های دیگر نیز تعیین گردید و در سایر ابعاد بسط داده شد. شاخص‌های حامل محیط‌زیستی نیز بر مبنای پوشش دهی ویژگی‌های زمین و محیط زیست سبز و سایر مواردی که اثرگذار بر افزایش ظرفیت محیط در تحمل فشار وارده می‌باشند، تعیین گردیده است. بعد از انتخاب روش بار و حامل بار و تعیین منابع آبی به عنوان بنیان اصلی برآورد ظرفیت برد شهری، سعی گردید با در نظر گرفتن شرایط موجود از جمله کمبود داده‌ها جهت پوشش انواع ظرفیت برد و بخش‌های موجود در نواحی شهری، با بررسی معیارهایی که برگرفته از ابعاد گوناگون و اثرگذار می‌باشند، چارچوبی متناسب ارائه گردد. در واقع تعیین چارچوبی مشخص و مرتبط، جهت شناسایی صحیح معیارهای مورد استفاده، گامی مهم در برآورد ظرفیت برد می‌باشد. از این جهت طبق مرور مطالعاتی که در سطح بین‌المللی صورت پذیرفته، با توجه به اهمیت و تأثیر بعد اقتصادی بر شرایط موجود، همانگونه که Jinhuan Wanga و همکارانش نیز تحلیلی مبتنی بر دیدگاه اقتصادی بر روی ظرفیت برد زیر ساخت‌های شهری در چین در سال ۲۰۲۰ اجرا نمودند و در مورد سایر ابعاد اجتماعی و محیط‌زیستی نیز اشاره به مطالعاتی هم‌چون مطالعه‌ی Liao و همکارانش که معیارهای مطالعه‌ی خود را براساس ابعاد فوق ساختاربندی نمودند، در مطالعه‌ی حاضر ابعاد گوناگون مورد بررسی قرار گرفت. در بخش خوشه‌بندی معیارها و زیرمعیارها نیز توجه به تجاربی همچون، تقسیم‌بندی معیارهای حامل آب در سه بخش منبع، ذخیره و زهکشی و معیارهای بار در بخش‌هایی همچون اقتصادی- اجتماعی و محیط زیستی که Liao و همکاران در سال ۲۰۲۰ اجرا نمودند، قابل ذکر است. در این مطالعه با شناسایی چارچوب ارائه شده در هر یک از این مطالعات، سعی گردیده با پوشش دادن معیارهایی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر ظرفیت برد مورد مطالعاتی اثرگذار می‌باشند ظرفیت برد

فوق نیز در ارتباط با بنیان مطالعه‌ی حاضر، یعنی همان نادیده گرفته شدن ظرفیت برد آب منطقه‌ای است، حاکی از لزوم توجه به منابع آب به‌خصوص در سطح منطقه‌ای می‌باشد. لذا در مطالعه‌ی حاضر در سطح استانی، به دلیل مترادف بودن سطح منطقه‌ای با سطح استانی در ایران و تأکید بر منابع آبی، تلاشی جهت بسط برآورد ظرفیت برد در سطح منطقه‌ای با نگاه ویژه به منابع آبی صورت پذیرفته است. از جمله مطالعاتی که در ارتباط با ظرفیت برد آب صورت پذیرفته و نتایج آن نیز لزوم توجه به منابع آبی را پررنگ می‌کند می‌توان به مطالعه‌ی Renhua Yan و همکاران در سال ۲۰۱۹ که با استفاده از مدل محیط زیستی آب، ظرفیت محیط‌زیستی آب را محاسبه و برنامه کنترل آلودگی برحسب ظرفیت آب را ارائه دادند. هم‌چنین استناد به روش تعاملی بار و حامل محیطی برای برآورد ظرفیت برد و قابل قبول بودن نتایج حاصل از آن را با اشاره به مطالعاتی همچون مطالعه‌ی صورت پذیرفته توسط Shen و همکاران در سال ۲۰۲۰ که با به‌کارگیری روشی جدید ارزیابی ظرفیت برد منابع شهری از دیدگاه بار و حامل بار در استان‌های چین پیاده‌سازی نمودند، می‌توان ذکر نمود. در ارتباط با تصدیق روش برآورد ظرفیت برد براساس تعامل حاصل از دو مؤلفه‌ی اصلی بار و حامل بار می‌توان به مطالعاتی از جمله مطالعه‌ی Conghui Meng و همکاران که در سال ۲۰۲۰ صورت پذیرفت، هم‌چنین Mengcheng Zhu و همکاران که چشم‌انداز حامل بار در تغییر ظرفیت‌برد محیط اکولوژیکی طی فرایند شهرنشینی را در سال ۲۰۲۰ بررسی نمودند و معیارهای مطالعه‌ی خود را در دو بعد بار و حامل بار دسته‌بندی کردند و در نهایت Liao و همکاران در سال ۲۰۲۰ با استفاده از روش بار و حامل به بررسی ظرفیت‌برد آب منطقه‌ای در ۳۱ استان چین پرداختند، قابل ذکر است. در مطالعه حاضر، بارها و حامل‌ها به عنوان برآیندی از ویژگی‌های طبیعی و اجتماعی در نظر گرفته شده، پیاده‌سازی روش فوق در این مطالعه، زمینه مناسبی برای بررسی ابعاد ظرفیت برد در سطح منطقه‌ای ایجاد نموده است. یکی از مزایای روش ذکر شده ایجاد امکان آشکارسازی جامع حامل‌ها و بارهای مربوط به ظرفیت برد آب منطقه‌ای و تعامل بین آن دو است. در واقع این روش

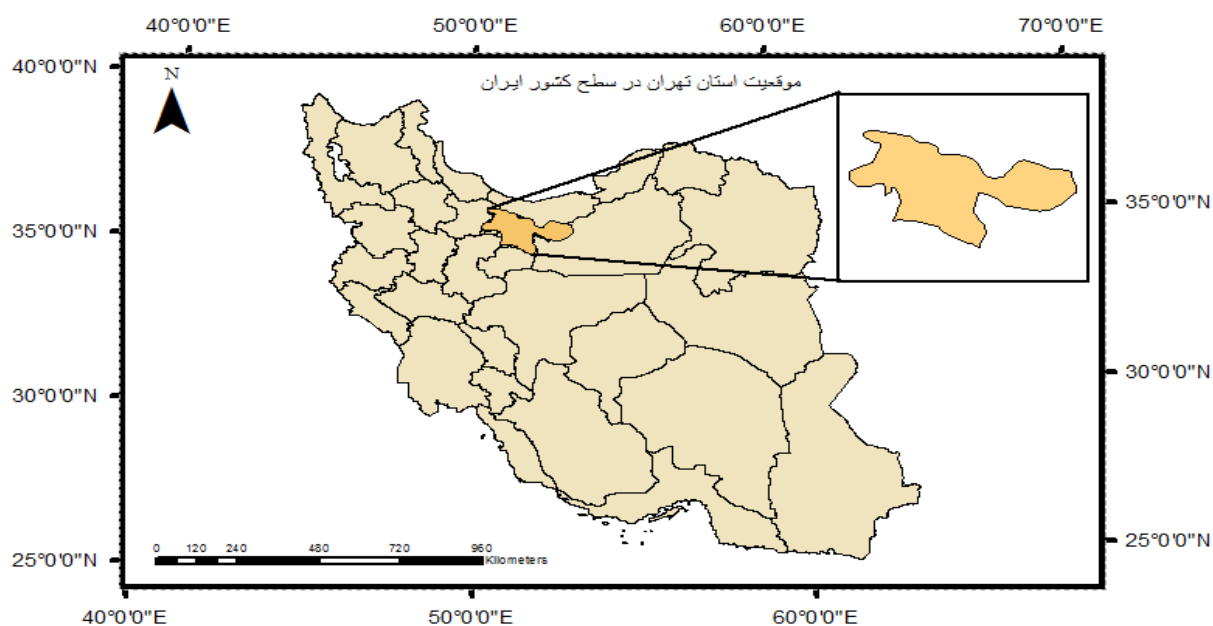
درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است ( Management & Planning Organization of Tehran, 2018). استان تهران به عنوان استانی در برگیرنده پایتخت، دائماً با جذب جمعیت از سراسر کشور مواجه است که تحت تأثیر این توسعه ناموزون قرار گرفته است. طبق نتایج سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت استان تهران ۱۳,۲۶۷,۶۳۷ نفر اعلام شده است ( General results of the General Census of Population and Housing, 2016)

استانی برآورد گردد. هدف این مطالعه تحلیل ظرفیت برد با تأکید بر منابع و با استفاده از روش بار و حامل بار استان تهران است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان تهران با مساحت ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع دارای ۱۶ شهرستان و ۴۰ شهر می‌باشد. این استان بین ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۰



شکل ۱- منطقه‌ی مطالعاتی (استان تهران)

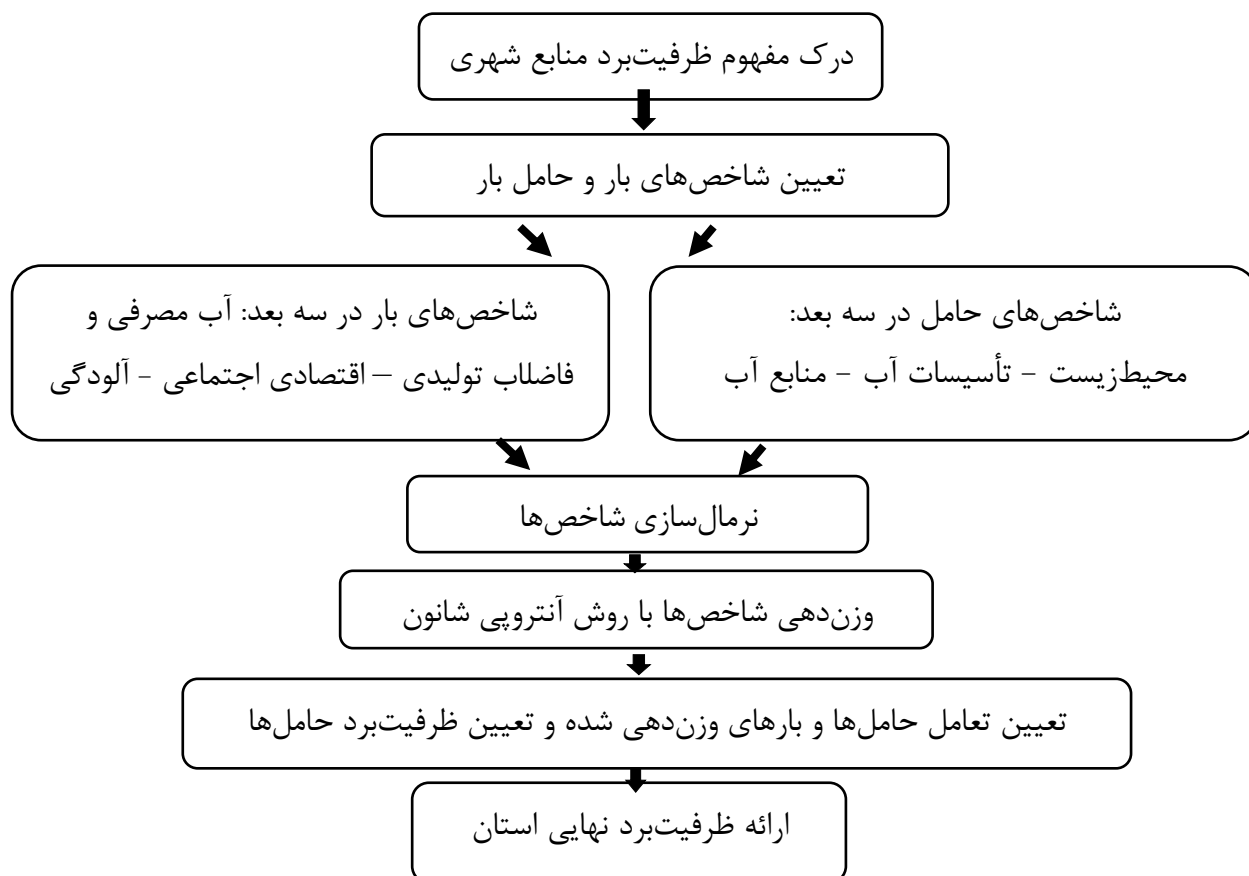
حامل‌ها ظرفیت برد را برآورد می‌کند ( Zhu et al., 2020). با تحلیل و بررسی مطالعات مرتبط با ظرفیت‌برد و توجه به مهم‌ترین و تأثیرگذارترین شاخص‌ها چارچوب اجرایی این مطالعه همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده انتخاب گردید، روند مطالعه شامل ۷ مرحله است. با توجه به مرور منابع انجام شده، شاخص‌های حامل در سه گروه تأسیسات، منابع آب و محیط‌زیست و شاخص‌های بار بر مبنای این نکته که باعث وارد نمودن فشار بر منابع می‌گردند، نیز در چهار گروه آب مصرفی و فاضلاب تولیدی، اقتصادی-اجتماعی، آلودگی هوا و آلودگی ناشی از پسماند با هدف پوشش‌دهی حداکثری تمامی ابعاد اثرگذار در نظر گرفته شد. شاخص‌های حامل و بار مورد استفاده در این مطالعه به ترتیب در جداول ۱ و ۲ نمایش

### روش پژوهش

در این مطالعه جهت برآورد ظرفیت برد شهری در سطح استان از رابطه و نسبت بار وارد بر محیط به حامل‌های موجود استفاده گردیده است. در مرحله‌ی اول براساس داده‌ها و اطلاعات موجود و مرور مطالعات خارجی که در زمینه برآورد ظرفیت برد محیطی صورت پذیرفته، به شناسایی و سپس گروه‌بندی شاخص‌های مرتبط پرداخته شده است. تفکیک شاخص‌ها در دو بعد بار وارد بر محیط و حامل صورت پذیرفت. شاخص‌های بار برای اندازه‌گیری اثرات فشار تحمیل شده توسط فعالیت‌های انسانی مشخص می‌شود سپس کدبندی برای شاخص‌ها صورت می‌پذیرد. نوآوری این روش این است که با در نظر گرفتن بارهای جمعی و همچنین تعامل بین بارهای متناظر و

نرمال‌سازی آن‌ها به دلیل متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری آن‌ها، انجام می‌گردد. سپس به علت متفاوت بودن میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها، به وزندهی شاخص‌ها پرداخته می‌شود. در نهایت با استفاده از شاخص  $p$  که از تعامل بار و حامل بار به دست می‌آید، ظرفیت برد طبق شاخص  $p$  تعیین می‌شود. در این مطالعه منابع آب شهری به عنوان یک معیار مهم برای هدایت عملی جهت توسعه پایدار شهری مورد تأکید قرار گرفته است.

داده شده است. سپس شاخص‌ها کدبندی می‌شوند و اندازه‌گیری متغیرها اجرا می‌گردد، که جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از منابع مختلف از جمله سالنامه آماری بوده است. در این مطالعه سعی گردیده است که معیارها به گونه‌ای تعیین گردند تا از چارچوب نظری مورد نظر تبعیت گردد. لذا با وجود تأکید بر منبع آبی، سایر معیارها از جمله آلودگی در بخش هوا و پسماند نیز پوشش داده شده تا برآوردی نزدیک به واقعیت در ارتباط با حوزه‌ی شهری مورد نظر صورت پذیرد. بعد از تخمین معیارها،



شکل ۲- مراحل انجام مطالعه

جدول ۱- شاخص‌های حامل

| واحد           | داده<br>(مقدار عددی هر شاخص) | کد  | شاخص‌ها   | طبقه‌بندی<br>شاخص‌ها |      |
|----------------|------------------------------|-----|---|----------------------|------|
| عدد            | ۲۳                           | C1  | تعداد تصفیه‌خانه فاضلاب                                     | تأسیسات آب           | حامل |
| Km             | ۳۲۰                          | C2  | طول لوله زهکشی  |                      |      |
|                | ۸                            | C3  | تصفیه خانه صنعتی  |                      |      |
| km             | ۲۵۹۱                         | C4  | طول خطوط انتقال آب  |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۳۰۲۶۴۹۵                      | C5  | حجم مخازن در مدار   | تأمین آب             |      |
| m <sup>3</sup> | ۱۲۳۷۰۰۰۰۰۰                   | C6  | خروجی سد  |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۲۷۲۲۰۰۰۰۰۰                   | C7  | منابع آب زیرزمینی   |                      |      |
| Lit/s          | ۵۷۰۹۳                        | C8  | حداکثر ظرفیت منابع تامین آب                                 |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۱۴۳۰۴۷۰                      | C9  | حجم تولید آب  |                      |      |
| mm             | ۳۳۳                          | C10 | بارندگی   |                      |      |
|                | ۵۵۷                          | C11 | تعداد قنات  |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۶۳۳۵۵۶۱۱۷                    | C12 | حجم منابع تامین آب زیرزمینی                                 |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۹۸۶۱۷۳۷۰                     | C13 | ظرفیت در دست بهره برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب              |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۱۱۰۸۱۰۳۰۳۰                   | C14 | حجم خروجی تصفیه خانه (فروش)                                 |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۱۴۰۲۴۱۵۲۷۰                   | C15 | حجم منابع تامین آب کل                                       |                      |      |
| m <sup>3</sup> | ۶۶۹۸۷۵۶۷۵                    | C16 | حجم منابع تامین آب سطحی                                     |                      |      |
| -              | ۹۴۱۲۲                        | C17 | تعداد چاه   |                      |      |
| -              | ۱۲۱۳                         | C18 | تعداد چشمه  |                      |      |
| -              | ۹۰                           | C19 | تعداد استخر ذخیره آب  |                      |      |
| -              | ۳۲                           | C20 | تعداد رودخانه دائمی   |                      |      |
| Hec            | ۴۳۲۶۴۲                       | C21 | مساحت مناطق حفاظت شده                                       | محیط‌زیستی           |      |
| Hec            | ۵۵۰۰۰                        | C22 | مساحت جنگل<br>(اراضی جنگلی استان، طبق آمارنامه استان تهران) |                      |      |
| Hec            | ۸۴۷                          | C23 | مساحت فضای سبز  |                      |      |
| Hec            | ۵۵۰۰۰                        | C24 | سطح زیرکشت گلخانه   |                      |      |
| Hec            | ۳۴۳                          | C25 | نهال کاری برای بیابان زدایی                                 |                      |      |
| Hec            | ۴۸۰۰۱                        | C26 | حفاظت و قرق برای بیابان‌زدایی                               |                      |      |
| Hec            | ۲۸۷۵                         | C27 | ذخیره‌گاه جنگلی   |                      |      |
| m <sup>2</sup> | ۱۶                           | C28 | سرانه فضای سبز  |                      |      |
| Hec            | ۱۸۲۱۲۰                       | C29 | کشت آبی و دیمی  |                      |      |
| Hec            | ۴۶۶۹۷                        | C30 | باغات   |                      |      |
| m <sup>2</sup> | ۳۱۱۹۷۲۱,۱                    | C31 | مزارع پرورش ماهی  |                      |      |
| Hec            | ۹۱۸۰۰۰                       | C32 | مراتع   |                      |      |

جدول ۲- شاخص‌های بار

| واحد  | داده (مقدار عددی هر شاخص) | کد  | شاخص‌ها  | طبقه‌بندی شاخص‌ها        |
|---|---------------------------|-----|--|--------------------------|
| m <sup>3</sup>  | ۳۹۳۶۰۷۶۷۱                 | L1  | حجم فاضلاب جمع‌آوری شده  | آب مصرفی و فاضلاب تولیدی |
| m <sup>3</sup>  | ۳۴۵۰۰۰۰۰۰                 | L2  | مصرف کشاورزی از خروجی سد   |                          |
| m <sup>3</sup>  | ۷۷۹۰۰۰۰۰۰                 | L3  | مصرف شرب از خروجی سد   |                          |
| m <sup>3</sup>  | ۶۰۰۰۰۰۰۰                  | L4  | مصرف صنعتی از خروجی سد   |                          |
| m <sup>3</sup>  | ۲۴۰۳۰۰۰۰۰۰                | L5  | آب مصرفی کشاورزی   |                          |
| m <sup>3</sup>  | ۲۰۷                       | L6  | سرانه مصرف آب  |                          |
|   | ۱۳,۲۶۷,۶۳۷                | L7  | جمعیت  |                          |
| m <sup>2</sup>  | ۷۲۴۰۰۰۰                   | L8  | مساحت انسانی<br>(مساحتی که در آن سکونت وجود دارد، به عبارتی ساخت و ساز صورت پذیرفته است) |                          |
| -   | ۰/۱۶۵                     | L9  | نسبت جمعیت (جمعیت استان نسبت به جمعیت کشور)  |                          |
| Ton   | ۳۸۸۰۳                     | L10 | میزان توزیع کود شیمیایی  |                          |
| -   | ۱۱۸                       | L11 | تعداد معادن  |                          |
| Hec   | ۱۴۳۵۲۹                    | L12 | پدیده بیابانی (مساحتی از استان که طبق بررسی‌ها تحت تأثیر بیابانی شدن است)                |                          |
| Ton/year  | ۱۴۲۲۰۴۰                   | L13 | تولید پسماند جامد شهری   | آلودگی (پسماند)          |
| gr/day<br>(تولید پسماند براساس گرم در روز به ازای هر نفر) | ۹۶۷                       | L14 | سرانه تولید پسماند   |                          |
| Ton   | ۴۰۰۰۰۰۰۰                  | L15 | مقدار زباله دفع شده در لندفیل  |                          |
| ?   | ۲۴۵۰۰۰۰۰۰                 | L16 | ظرفیت سالانه لندفیل  |                          |
| day/year  | ۲۴                        | L17 | تعداد روزهای گرد و غبار  | آلودگی (هوا)             |
| mg/Nm <sup>3</sup>  | ۲۵                        | L18 | CO   |                          |
| mg/Nm <sup>3</sup>  | ۲۶                        | L19 | SO <sub>2</sub>  |                          |
| mg/Nm <sup>3</sup>  | ۴۱                        | L20 | NO <sub>2</sub>  |                          |
| mg/Nm <sup>3</sup>  | ۲۲۷                       | L21 | PM2/5  |                          |

بار

داده‌های مربوط به شاخص‌های حامل و بار در جداول ۱ و ۲ از استان تهران برای سال ۹۸ جمع‌آوری شده است. منابع داده‌ها سالنامه آماری سال ۹۸ تهران، گزارش آماری سامانه آمار و اطلاعات بیمارستانی (آواب) سال ۹۶ و سالنامه آماری کشور ۱۳۹۷ بوده است. در این روش بارهای وارد شده بر محیط و منابع شهری را می‌توان به صورت معادله زیر بررسی کرد:

بارها برای پشتیبانی به حامل‌های متناظر نیاز دارند. به طور خلاصه، حامل‌های مختلف برای پشتیبانی از بارهای شهری مورد نیاز هستند (Zhu et al., 2020). حامل‌ها از نظر زمان پویا و از نظر فضا نیز متغیر هستند. منابع زمین شهری ماهیتی پویا دارند، این تغییرات در زمین از طریق کاربری‌های گوناگون رخ می‌دهد که این تغییرات دائمی هستند.

$$Ul = f(l_1, l_2, \dots, l_n, t, s) \quad (1)$$

ماتریس تصمیم‌گیری اولیه برای حامل (C) و شاخص بار (L) تشکیل می‌شود.

#### گام دوم استانداردسازی ماتریس تصمیم‌گیری:

سپس برای نرمال‌سازی از معادله (۷) استفاده می‌شود. در این معادله هر درایه بر مجموع درایه‌های مربوط به شاخص مورد نظر تقسیم می‌گردد.

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (۷)$$

#### گام سوم آنتروپی اطلاعات را حساب می‌کنیم:

گام سوم شامل محاسبه آنتروپی می‌شود. با توجه به این موضوع که مقادیر کمتر آنتروپی بیانگر تأثیرگذاری بیشتر پارامتر مربوطه نسبت به سایر پارامترها است (Wanga et al., 2019). بنابراین در این قسمت هر چه مقدار آنتروپی شاخص کمتر باشد، نشان‌دهنده وزن بیشتر و تأثیرگذاری بالاتر شاخص است.

$$e_j = -\frac{1}{\ln(s)} \cdot \sum_{i=1}^s p_{i,j} \ln(p_{i,j}) \quad (۸)$$

#### گام چهارم محاسبه وزن:

مقدار وزن با (W) نمایش داده می‌شود، محاسبه وزن مربوطه با استفاده از مقادیر آنتروپی که در مرحله‌ی قبل حاصل گردید، صورت می‌گیرد.

$$W_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^n (1-e_j)} \quad (۹)$$

#### محاسبه شاخص حامل و شاخص بار با وزن‌دهی خطی:

همان‌طور که در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. شاخص‌های C1-C4 برای اندازه‌گیری حامل تأسیسات آب، از شاخص‌های C5-C20 برای اندازه‌گیری حامل تأمین آب و شاخص‌های C21-C32 برای اندازه‌گیری حامل محیط‌زیستی استفاده می‌گردد.

شاخص‌های L1 - L21 برای اندازه‌گیری بار ناشی از فعالیت اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی انسانی تعیین شده است. بنابراین، بر اساس مقدار نرمال شده و مقدار وزن محاسبه شده برای هر شاخص طبق معادله (۹) و مقادیر شاخص بار و شاخص حامل را در یک منطقه با استفاده از وزن‌دهی خطی طبق معادلات (۱۰ تا ۱۳) به ترتیب زیر محاسبه کرد.

شاخص حامل شهری را می‌توان به صورت فرمول ۲ بیان کرد:

$$UC = g(c_1, c_2, \dots, c_n, t, s) \quad (۲)$$

برای اندازه‌گیری درجه‌ای که منابع محیطی در برابر فشار پاسخ می‌دهند از شاخص p استفاده می‌کنیم. جهت دستیابی به شاخص p که این شاخص منعکس‌کننده URECC<sup>۱</sup> یا همان ظرفیت برد منابع محیطی شهری است، ابتدا  $pi^i$  هر یک از حامل‌ها از جمله محیط‌زیست، تأسیسات و منابع را در مقابل بار وارد شده طبق معادلات (۳، ۴، ۵) تعیین نموده و در نهایت با استفاده از نتایج حاصل شده p نهایی را طبق معادله (۶) بدست می‌آوریم.

$$pi(Environ) = \frac{L}{C(Environ)} \quad (۳)$$

$$pi(Insta) = \frac{L}{C(Insta)} \quad (۴)$$

$$pi(Source) = \frac{L}{C(Source)} \quad (۵)$$

$$p = \frac{L}{C} \quad (۶)$$

در این پژوهش وزن‌دهی با روش آنتروپی شانون مورد نظر قرار گرفت. منطق این روش بدین صورت است که وقایعی با احتمال رخداد بیشتر اطلاعات کمتری در اختیار می‌گذارند و برعکس وقایعی با احتمال وقوع کمتر اطلاعات بیشتری مهیا می‌سازند. هم‌چنین افزایش اطلاعات، منجر به کاهش عدم قطعیت می‌گردد. بنابراین عدم قطعیت و اطلاعات پارامترها وابسته به هم می‌باشند. در حقیقت تئوری آنتروپی شاخصی برای کمی کردن میزان عدم آگاهی و دانش نسبت به مشخصات یک سامانه استفاده می‌گردد (Wanga et al., 2019). کاربردهای این روش برای مطالعه اکوسیستم‌های شهری نیز تعمیم داده شده است (Bangbade et al., 2018; Li & Jin, 2009; Yana et al., 2019). این روش می‌تواند به طور مؤثری برای تعیین وزن استفاده شود. مراحل پیاده‌سازی روش آنتروپی شانون شامل موارد ذکر شده است:

#### گام اول ساخت ماتریس تصمیم‌گیری اولیه:

<sup>۱</sup> Urban Resources Environmental Carrying Capacity





ظرفیت‌برد، دیدگاه مناسبی در این راستا توسعه یابد. یکی از نقاط قوت روش فوق این است که امکان پوشش هر دو بخش یعنی حامل و بار را هم‌زمان با هم دارد همچنین امکان پوشش و تمرکز بر همه‌ی ابعاد مربوط به منابع آبی را مهیا می‌کند. تقسیم‌بندی معیار حامل آب به دو بخش تأسیسات و تأمین آب سبب بهبود درک منابع آبی می‌گردد. همچنین قابل ذکر است که تعداد ۲۰ شاخص از ۳۲ شاخص حامل، مستقیماً مرتبط با منابع آبی هستند، که این اقدام به دلیل اهمیت بالای منابع آبی در ارتباط با ظرفیت‌برد شهری است. طبق نتایج، بین حامل‌های در نظر گرفته شده حامل تأسیسات کمترین ظرفیت‌برد را به خود اختصاص داده است. از دلایل این موضوع می‌توان به عدم توجه کافی به زیرساخت‌های مربوط به تأسیسات آب، همان‌گونه که در مطالعات و اقدامات پیشین عنوان گردیده، اشاره نمود. در ارتباط با بخش زیرساختی در سایر مطالعات از جمله مطالعه Wanga و همکاران در سال ۲۰۲۰ ظرفیت اقتصادی به عنوان یکی از ابعاد مهم در ارتباط با ظرفیت‌برد زیرساخت شهری و عامل تعیین کننده‌ی اصلی توسعه پایدار شهری معرفی شده است. بنابراین می‌توان اینگونه تحلیل نمود که در روند توسعه‌ی استان تهران یکی از بخش‌هایی که توسعه‌ی متناسبی برای آن صورت نپذیرفته و تأسیسات در نظر گرفته شده موجود هماهنگ با روند رشد جمعیت نبوده، ظرفیت‌برد زیرساختی تأسیسات آب بوده است. در واقع نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر به اتخاذ اقداماتی با هدف پایداری منابع آبی در سطح منطقه‌ای کمک فراوانی خواهد نمود. براساس نتایج بکارگیری روش فوق می‌توان پدیده‌ی اضافه بار را نیز در سطح مناطق تشخیص داد. طبق نتایج ظرفیت‌برد مربوط به تعامل بار به حامل‌ها، به ترتیب حامل منابع آب با مقدار ۲۳/۷۴۸ بیشترین ظرفیت موجود، سپس حامل محیط‌زیست میزان ۶/۵۶۶۳ و در نهایت حامل تأسیسات آبی به عنوان پایین‌ترین ظرفیت مربوط به استان تهران از بین سه حامل با مقدار ۳/۷۰۹۲ می‌باشد. در مطالعه‌ی Liao و همکاران که در سال ۲۰۱۹ با بهره‌گیری از روش بار و حامل صورت پذیرفته است، ۵ سناریو براساس مقایسه‌ی بار و حامل مشخص گردیده است. در مطالعه‌ی حاضر نیز با بررسی نسبت بار به حامل می‌توان به تعیین اضافه بار و یا ضعف در حامل محیطی

لندفیل و در نهایت در مورد آلودگی هوا از بین شاخص‌های تعیین شده، مونواکسیدکربن دارا می‌باشند. پیاده‌سازی روش حامل و بار در استان تهران نشان می‌دهد که ظرفیت‌برد مربوط به تعامل بار به حامل منابع آب با مقدار ۲۳/۷۴۸ بیشترین ظرفیت موجود و حاصل تعامل بار به حامل محیط‌زیست ۶/۵۶۶۳ و پایینترین ظرفیت مربوط به استان تهران از بین سه حامل مربوط به تعامل بار به حامل تأسیسات آب با رقم ۳/۷۰۹۲ می‌باشد.

$$P^* = 3/7092 + 23/748 + 6/5663 \rightarrow 34/0235$$

ظرفیت برد کلی، حاصل از تعامل ۲۱ شاخص بار نسبت به ۳۲ شاخص حامل ۳۴/۰۲۳۵ تعیین گردید. این عدد از نسبت بار به حامل حاصل شده است. بنابراین هر چه میزان این عدد بیشتر باشد بیانگر بالاتر بودن صورت کسر یعنی، بار وارده نسبت به حامل‌ها می‌باشد. در این حالت حامل‌های موجود باید در مقابل میزان بار و فشار بیشتری، خدمات مربوطه را ارائه دهند، بدیهی است که در شرایط افزایش بار موجود و در صورت حفظ حامل‌های موجود، از میزان پشتیبانی و تأمین نیازمندی‌ها توسط حامل‌ها کاسته خواهد شد. در نتیجه به منظور افزایش آستانه‌های ظرفیت‌برد تعریف شده لازم است که ضمن حفظ و تقویت حامل‌های موجود سعی شود از میزان بار وارده کاسته شود.

## بحث

در این مطالعه یک روش از چشم‌انداز بار و حامل بار برای بررسی ظرفیت‌برد در سطح منطقه‌ای که در مطالعه‌ی حاضر معادل استان تهران است، مورد استفاده قرار گرفته است. در روش فوق بر مبنای بار به عنوان برآیندی از فعالیت‌های انسانی و حامل که مرتبط با منابع موجود است، به برآورد ظرفیت‌برد پرداخته شده است. در روند برنامه‌ریزی شهری همان‌گونه که در سایر مطالعات در کشورهای دیگر نیز مطرح گردیده، بررسی ظرفیت‌برد موجود و توسعه‌ی برنامه‌های آتی بر مبنای ظرفیت موجود امری ضروری می‌باشد. در این مطالعه سعی گردیده با انتخاب استان تهران به عنوان محدوده مطالعاتی به دلیل وجود ارتباطات شهرهای استان و تأثیر این ارتباطات بر

ظرفیت‌برد شهری تأیید نمود. در نهایت روش تعاملی بار و حامل در تعیین میزان ظرفیت‌برد و تغییرات آن می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. کاربرد روش بار و حامل علاوه بر هموار نمودن مسیر برآورد ظرفیت برد، در تعیین حامل‌هایی که تأثیر بیشتری در پایدار نمودن منابع و محیط دارند، نیز بسیار مفید و مؤثر است. این موضوع می‌تواند در شناسایی نقاط ضعف و کمبودها در بخش‌های مرتبط با منابع و مدیریت منابع، هم‌چنین بارهای ناشی از فعالیت انسانی وارد شده به محیط‌زیست، بسیار حائز اهمیت باشد. در مطالعه‌ی حاضر تا حد امکان سعی گردید از طریق پوشش دادن معیارهای مرتبط و تأثیرگذار بر جنبه‌های بار و حامل، دیدی مناسب در زمینه‌ی ظرفیت برد ایجاد شود. در نهایت مقدار عددی ظرفیت بردی که برای استان تهران حاصل گردید ۳۴/۰۲۳۵ می‌باشد، عدد حاصل شده فاقد واحد است که این مسأله امکان تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای را به‌خصوص با توجه به اهمیت سطوح منطقه-ای که در روند برنامه‌ریزی‌های ملی و کلان، را فراهم می‌نماید. در نتیجه در صورت تأمین داده‌ها و اطلاعات برای سایر استان‌ها، می‌توان در آینده مطالعه‌ای در سطح کلان جهت مقایسه‌ی ظرفیت برد منطقه‌ای بین استان‌های کشور اجرا نمود و از نتایج آن جهت تدوین سیاست‌هایی در راستای نیل به توسعه‌ی پایدار منطقه‌ای بهره گرفت. برآورد ظرفیت برد در این مطالعه از جهات مختلف نتایجی قابل توجه و قابل توسعه به همراه دارد، نکته‌ی اول اجرای این مطالعه در سطح استانی است که با توجه به اهمیت سطوح استانی در روند برنامه‌ریزی‌های ملی، اجرای چنین مطالعه‌ای برای سایر استان‌ها می‌تواند زمینه‌ی مناسبی برای مقایسه‌ی استان‌ها به منظور سنجش توسعه‌ی پایدار و تعیین تفاوت‌های موجود در سطوح منطقه‌ای ایجاد نماید. نکته‌ی دیگر تمرکز اصلی این مطالعه بر منابع آبی است که با توجه به نقش مهم و غیرقابل انکار منابع آبی در روند توسعه، در مطالعه‌ی حاضر سعی گردید اغلب بخش‌های مرتبط با منابع آبی به خوبی پوشش داده شوند، لذا در مطالعات آینده سعی برای شناسایی و معرفی شاخص‌های دیگر می‌تواند به بهبود نتایج کمک فراوانی نماید. هم‌چنین از جمله مواردی که طبق نتایج به دست آمده در این مطالعه می‌توان از آن‌ها در روند برنامه‌های

پرداخت. نتایج مطالعه‌ی Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۸ نیز یک سیستم شاخص ارزیابی متشکل از ۱۸ شاخص از ظرفیت‌برد آب، زمین، انرژی، جو و زباله‌های جامد ایجاد نموده و سیستم شاخصی که در نظر گرفتند، حاکی از تغییر پویای ظرفیت‌برد منابع محیطی شهر بوده است. در مطالعه‌ی صورت گرفته نیز با توجه به گزارشاتی که طرح‌های مرتبط با توسعه‌ی شاخص‌های مورد استفاده، از جمله طرح‌های توسعه تصفیه آب و فاضلاب و طرح‌های بیابان‌زدایی در بخش حامل و روند قابل پیش‌بینی افزایش بارهای ناشی از فعالیت انسان، تغییر پویای ظرفیت منابع محیطی شهری قابل پیش‌بینی است. Liao و همکاران در سال ۲۰۲۰ اهمیت درجه هماهنگی بین رشد شهری و ظرفیت برد منابع محیطی را بیان نمودند. طبق نتایج در کشور چین درجه هماهنگی بین این دو بخش رشد مداوم داشته است. بنابراین موضوعی که در ارتباط با ظرفیت‌برد استان مطرح می‌گردد، لزوم وجود هماهنگی بین دو بخش ذکر شده است. که با توجه به حداقل بودن ظرفیت‌برد حامل تأسیسات و هم‌چنین مقایسه شاخص‌هایی از حامل محیط‌زیست از جمله سرانه فضای سبز با استانداردهای جهانی و مشکلات فراوان ناشی از بارهای فعالیت انسانی، مشخص می‌گردد که هماهنگی لازم بین ظرفیت‌برد استان با روند کنونی رشد وجود ندارد. Sun و همکاران در سال ۲۰۲۰ سعی در کشف رابطه واقعی شهری شدن و ظرفیت‌برد منابع شهری داشتند و مشابه مطالعه‌ی حاضر از روش آن‌تروپی برای وزن‌دهی استفاده نمودند. طبق نتایج آن‌ها عوامل محیطی و محیط‌زیستی بالاترین تأثیر را بر ظرفیت‌برد منابع شهری داشته است. که این موضوع در مطالعه صورت پذیرفته نیز مشخص گردید. در ارتباط با بخش مرتبط با جمعیت، مهاجرت بیش از حد را به عنوان عامل محدودکننده ظرفیت‌برد معرفی نمودند. با توجه به نرخ رشد ۱۹/۴٪ جمعیت استان تهران و البرز براساس آمار سال ۹۵ که این میزان حاکی از روند افزایشی در سطح استان است، می‌توان مهاجرت بیش از حد به استان را یک عامل محدودکننده مهم در ارتباط با ظرفیت‌برد معرفی نمود. نتایج ارزیابی ظرفیت‌برد منابع شهری با استفاده از روش بار و حامل توسط Shen و همکاران در سال ۲۰۲۰ قابل اعتماد بودن روش مذکور را در تعیین

6. **Feng, Z., Sun, T., Yang, Y., Yan, H. 2018.** The progress of resources and environment carrying capacity: from single-factor carrying capacity research to comprehensive research. *Journal of Resources and Ecology* 9, 125–134.
7. **Gao, J., O'Neill, B.C. 2020.** Mapping global urban land for the 21st century with data-driven simulations and Shared Socioeconomic Pathways. *Nat. Commun.* 11 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15788-7>.
8. **General results of the General Census of Population and Housing, 2016.** Planning and Budget Organization, Management and Planning Organization of Tehran Province, Deputy of Statistics and Information, 2016.
9. **Han, X., Liu, Y., Gao, H., Ma, J., Mao, X., Wang, Y., Ma, X. 2017.** Forecasting PM2.5 induced male lung cancer morbidity in China using satellite retrieved PM2.5 and spatial analysis. *Sci. Total Environ.* 607, 1009–1017.
10. **Hao, Y., Xu, Y., Zhang, J., Hu, X., Huang, J., Chang, C.P., Guo, Y. 2019.** Relationship between forest resources and economic growth: empirical evidence from China. *J. Clean. Prod.* 214, 848–859.
11. [https://www.atlas.d\\_waste.com](https://www.atlas.d_waste.com)
12. <https://waqi.info>
13. <https://www.eghtesadnews.com/>
14. **Iran Population Census, 2016.** National Statistics Center
15. **Jiaa, Z., Caia, Y., Chenb, Y., Zenga, W. 2018.** Regionalization of water environmental carrying capacity for supporting the sustainable water resources management and development in China. *Resources, Conservation & Recycling* 134, 282–293.
16. **Keshtkar, M., Sayahnia, R. 2021.** Monitoring the Ecological Security of Esfahan with an Ecosystem Service Approach. *Geography and Sustainability of Environment*, 10 (4), 1-107. [doi:10.22126/GES.2021.5975.2329](https://doi.org/10.22126/GES.2021.5975.2329).
17. **Lane, M., Dawes, L., Grace, P. 2014.** The essential parameters of a resource-based carrying capacity assessment model: an Australian case study. *Ecol. Model.* 272, 220–231. [10.1016/j.ecolmodel.2014.04.014](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.04.014).
18. **Larsen, T.A., Gujer, W. 1997.** The concept of sustainable urban water management. *Water Sci Technol.* 35, 3–10.
19. **Latifi, G., Basatian, S.M. 2012.** Security Consequences of Centralism in Tehran, *Journal of Cultural Sociology*, Vol.
20. **Liao a, S., Wub, Y., Wai Wong c, S., Shen a, L. 2020.** Provincial perspective analysis on the coordination between

آتی می‌توانند مورد توجه قرار گیرند، اهمیت بالای منابع آب زیرزمینی در سطح استان تهران در بین سایر شاخص‌های حامل تأمین آب است. که با توجه به این مسأله که حدود ۵۱ درصد از آب مورد استفاده در ایران از منابع فوق تأمین می‌گردد. لذا توجه ویژه به استفاده از منبع فوق در حد ظرفیت موجود حائز اهمیت است. در بخش بار وارد بر محیط زیست، شاخص مصرف آب شرب از خروجی سدها، بالاترین رقم را با تأثیر وزن به خود اختصاص داده است. که این مسأله نیز با توجه به قانون توزیع عادلانه‌ی آب که در رهاسازی آب از سد، آب شرب در اولویت اول قرار دارد، تأیید می‌گردد. در بخش بار اقتصادی – اجتماعی، شاخص مونوکسیدکربن در بخش آلودگی مربوط به هوا نیز با تأثیر وزن، بالاترین رقم را دارا می‌باشد، این مسأله نیز با توجه به عامل اصلی آلودگی هوا در سطح تهران که مرتبط با وسایل نقلیه‌ی موتوری می‌باشد بسیار با اهمیت است. در صورت برآورد ظرفیت برد براساس تعامل حامل و بار برای سایر استان‌ها می‌تواند به شناسایی کمبودها و عدم تعادل‌های منطقه‌ای پی برد که به بهبود روند برنامه‌ریزی‌ها در ابعاد ملی کمک شایانی خواهد کرد.

## منابع

1. **Akotia, J., Sackey, E. 2018.** Towards the delivery of sustainable regeneration projects' types in the UK: an exploration of the role and level of involvement of key practitioners. *The international journal of construction management* 18, 375–384.
2. **Antrop, M. 1998.** Landscape change: plan or chaos? *Landsc. Urban Plan.* 41, 155–161.
3. **Bamgbade, J.A., Kamaruddeen, A.M., Nawi, M.N.M., Yusoff, R.Z., Bin, R.A. 2018.** Does government support matter? Influence of organizational culture on sustainable construction among Malaysian contractors. *The international journal of construction management* 18, 93–107.
4. **Chen, J. 2007.** Rapid urbanization in China: a real challenge to soil protection and food security. *Catena* 69, 1–15.
5. **Fang, H., Gan, S., Xue, C. 2019.** Evaluation of regional water resources carrying capacity based on binary index method and reduction index method, *S1674-2370(19)30129-2*, *Journal Pre-proof*.

- Tourist Resorts of the East Coast of the Republic of Cyprus, *Tourism Management*, 21.
32. **Sayahnia, R., Makhdoum, M., Faryadi, S. 2017.** (Ecological indices in evaluation of urban development capability (case study: Tehran metropolitan area. *Environmental Sciences*, 15(1), 77-88.
  33. **Sayahnia, R., Sobhani, P., Mahmoudi, H., Esmailzadeh, H. 2019.** Estimation of the tourism carrying capacity in protect areas (Case study: Alvand No-Hunting Area). *Journal of Tourism Planning and Development*, 8(30), 51-64. doi: 10.22080/jtpd.2019.16240.3037
  34. **Shena,b, L., Shua,b, T.,\* Liaoa,b, X., Yanga,b, Y., Renc, M., Zhua,b, G., Chenga,b, N., Wang,a,b, J. 2020.** A new method to evaluate urban resources environment carrying capacity from the load-and-carrier perspective, *Resources, Conservation & Recycling* 154 104616.
  35. **Sobhani, P., Sayahnia, R., Mahmoudi, H., Esmailzadeh, H. 2020.** Estimation of the tourism carrying capacity in protect areas (Case study: Alvand No-Hunting Area). *Journal of Tourism Planning and Development*. Volume 8, Issue 30. Pages 51-64
  36. **Statistics of Tehran, Statistical Yearbook of Tehran, 2019.** Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization.
  37. **Statistical report of hospital statistics and information system (Avab), 2017.** Office of Hospital Management and Clinical Services Excellence.
  38. **Statistical Yearbook of the Country, 2018.** Country Planning and Budget Organization, Statistics Center of Iran, Publication Date: First Edition, May 2020.
  39. **Sun a,b,\* , M., Wang a,b, J., He a, K. 2020.** Analysis on the urban land resources carrying capacity during urbanization-A case study of Chinese YRD, *Applied Geography* 116, 102170.
  40. **UN, D. E. S. A. 2019.** World urbanization prospects: The 2018 revision. Retrieved from <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>.
  41. **UN ECOSOC. 2019.** Special edition: Progress towards the sustainable development goals. Retrieved from <https://undocs.org/E/2019/68>
  42. **United Nations, 2018.** Department of economic and social affairs. May 16. United Nations. Retrieved February 19, urbanization growth and resource environment carrying capacity (RECC) in China, *Science of the Total Environment* 730, 138964.
  21. **Liu, R., Borthwick, A.G. 2011.** Measurement and assessment of carrying capacity of the environment in Ningbo, China. *J. Environ. Manag.* 92, 2047-2053.
  22. **Liu, X., Guo, C., He, S., Zhu, H., Li, J., Yu, Z., Qi, Y., He, J., Zhang, J., Müller, C. 2020.** Divergent gross nitrogen transformation paths in the topsoil and subsoil between abandoned and agricultural cultivation land in irrigated areas. *Sci. Total Environ.* 716, 137148 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137148>.
  23. **Management and Planning Organization of Tehran Province, 1398.** Deputy of Statistics and Information.
  24. **Meng, C., Du, X., Ren, Y., Shen, L., Cheng, G., Wang, J. 2020.** Sustainable urban development: An examination of literature evolution on urban carrying capacity in the Chinese context, *Journal Pre-proof*, JCLP 122802.
  25. **Omidpour, M., Sayahnia, R., Rezaei, Y. 2020.** The Impact of Urban Growth and Development Trend on Ecological Network Structure with Resilience and Landscape Approach (Case study of Hamedan). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 12(2), 19-32. doi: 10.52547/gisj.12.2.19
  26. **Ostroumov, S. 2005.** On some issues of maintaining water quality and self-purification. *Water Resources* 32, 305-313.
  27. **Peixoto, J.P., Oort, A.H., De Almeida, M., Tomé, A. 1991.** Entropy budget of the atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 96, 10981-10988
  28. **Sajjadi Ghaemmaghami, S.S., Sayahnia, R., Mobarghei Dinan, N., Makhdoum Farkhondeh, M. 2021.** Evaluating the implications of urban growth on carbon fixation ecosystem services (Case study: Karaj Subcatchments). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(1), 20-37.
  29. **Salehi, I. 2011.** Environmental planning and design of security in the urban environment, Publications of the Organization of Municipalities and Rural Affairs.
  30. **Sasanpour, F. 2011.** Principles of Sustainability of metropolitan development with emphasis on Tehran metropolis, Tehran Planning Studies Center, Tehran.
  31. **Saveriades, A. 2000.** Establishing the Social Tourism Carrying Capacity for the

- capacity and pollution load reduction for urban lakeside of Lake Taihu, eastern China, *Ecological Engineering* 139, 105587.
52. **Yan-sui, L., Xiac, B., Zhaoa, G. 2009.** Urban ecological security assessment and forecasting, based on a cellular automata model: A case study of Guangzhou, China, *International Journal on Ecological Modelling and Systems Ecology*.
  53. **Yue, L.P., Hui, Q., Jian-Hu, W. 2010.** Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang Country, Ningxia, northwest China. *J. Chem.*, 7(S1), 209-216.
  54. **Zhang, Y., Shen, L., Shuai, C., Bian, J., Zhu, M., Tan, Y., Ye, G. 2019.** How is the environmental efficiency in the process of dramatic economic development in the Chinese cities? *Ecol. Indic.* 98, 349–362
  55. **Zhang, F., Wang, Y., Ma, X., Wang, Y., Yang, G., Zhu, L. 2019.** Evaluation of resources and environmental carrying capacity of 36 large cities in China based on a supportpressure coupling mechanism. *Sci. Total Environ.* 688, 838–854.
  56. **Zhou, Z., Guo, X., Wu, H., Yu, J. 2018.** Evaluating air quality in China based on daily data: application of integer data envelopment analysis. *J. Clean. Prod.* 198, 304–311.
  57. **Zhou, X.Y., Lei, K., Meng, W., Khu, S. T., Zhao, J., Wang, M., Yang, J. 2017.** Space–time approach to water environment carrying capacity calculation. *Journal of Cleaner Production*, 149, 302-312.
  58. **Zhu, M., Shen, L., Tam, V.W.Y. Liu, Z., Shu, T., Luo, W. 2020.** A load-carrier perspective examination on the change of ecological environment carrying capacity during urbanization process in China, *Science of the Total Environment* 714 - 136843.
  59. **Zou, Z.H., Yi, Y., Sun, J.N. 2006.** Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *J. Environ. Sci.* 18, 1020–1023.
  - 2020, from. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>.
  43. **Wang, J., Da, L., Song, K., Li, B.-L., 2008.** Temporal variations of surface water quality inurban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China. *Environ.Pollut.* 152, 387–393.
  44. **Wang, Z.G., Luo, Y.Z., Zhang, M.H., Xia, J. 2014.** Quantitative evaluation of sustainable development and eco-environmental carrying capacity in water-deficient regions: a case study in the Haihe river basin, China. *J. Integr. Agric.* 13 (1), 195–206.
  45. **Wanga, J., Renb, Y., Shua, T., Shena, L., Liaoa, X., Yanga, N., Hea, H. 2020.** Economic perspective-based analysis on urban infrastructures carrying capacity - A China study, *Environmental Impact Assessment Review* 83, 106381.
  46. **Wang, J., Wei, X., Guo, Q. 2018.** A three-dimensional evaluation model for regional carrying capacity of ecological environment to social economic development: model development and a case study in China. *Ecol. Indic.* 89, 348–355.
  47. **Wang, T.X., Xu, S.G. 2015.** Dynamic successive assessment method of water environment carrying capacity and its application. *Ecol. Indic.* 52, 134–146.
  48. **Wei, Y., Huang, C., Lam, P.T., Yuan, Z. 2015.** Sustainable urban development: a review onurban carrying capacity assessment. *Habitat International* 46, 64–71.
  49. **Wu J.P., Li H., Qian, M. 2011.** Groundwater quality in Jingyuan County a semi-humid area in *Water Resources Management*, 23(12), 2505-2513.
  50. **Xian, G., Crane, M., Su, J. 2007.** An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed. *J. Environ. Manag.* 85, 965–976.
  51. **Yana, R., Gaoa, Y., Lib, L., Gaoa, J. 2019.** Estimation of water environmental

# Estimation of Carrying Capacity with Emphasis on Water Resources Using Load and Load Carrier Method (Case Study: Tehran Province)

Parisa Kooshki<sup>1</sup>, Romina Sayahnia<sup>\*1</sup>

1\*- Department of Planning and Design of the Environment, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

## Abstract

Today with the rapid growth of the economy and the development of urban communities, we are witnessing an intensification of the conflict between the resources used by humans. Therefore, awareness of the capacity of available resources in order to achieve the goals of planning is an undeniable necessity. On the other hand, the increasing trend of pollutant production is a major challenge in the planning process. Therefore, in this study, in addition to examining the resources available at the urban level, human-produced pollutants are also considered. Among these, water resources and the pressure applied to water resources are considered as a key factor. This helps to form strategies for achieving sustainable development. This helps to form strategies for achieving sustainable development. In this research, we try to describe the range of urban environment carrying capacity Condition the province based on resources as a basis for construction and management of residential areas, which means sustainable housing. In fact, assessing the carrying capacity of urban environment resources leads to awareness of sustainability and increases the link between human activities and urban sustainability. Due to the high importance of resources in the issue of sustainability and the existing and increasing problems of Tehran province, in this study we have tried to estimate the carrying capacity of the province with emphasis on water resources of the province. In this study, the criteria are divided into two groups of carrier and load. Carriers have been studied from three dimensions of water facilities, water supply and environmental and the load caused by human activity in the sectors of water consumption and production wastewater, socio-economic and pollution in the two sectors of waste and air. Shannon entropy method has been used to weight the indices. Finally, using the interaction of loads to carriers, the carrying capacity of Tehran province was estimated. According to the obtained results and with the available reports related to the existing conditions in Tehran province, it was determined that among the indicators related to water supply carrier, which has been considered as a key factor in this study, The groundwater resources index, the value of which is determined by the weight of 0.0086, is the most important. According to the results of the carrying capacity related to the interaction of loads with carriers, respectively, carriers of water resources with the amount of 23.748 the highest available capacity, then carriers of the environment of 6.5663 and finally carriers of water facilities as the lowest capacity of Tehran province. There are three carriers with a value of 3.7092. Finally, the numerical value of the total carrying capacity of Tehran province based on the specified indicators is 34.0235. In future studies, if the data and information related to other provinces are completed by implementing the method used in this study for other provinces, it will be possible to compare the values of carrying capacity at the national level, and the results can help to improve the planning process based on comparisons between provinces.

**Keywords:** Urban Carrying Capacity, Water Resources, Carrier, Load, Tehran Province, Sustainable Housing

\* Corresponding Author's email: r\_sayahnia@sbu.ac.ir