



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

۱۹-۴۰

مقاله پژوهشی

برآورد ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی - محیط زیستی استانی در ایران

مریم صابریان ثانی^۱ و رومینا سیاح‌نیا^{۲*}

^۱ گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱

صابریان ثانی، م. و ر. سیاح‌نیا. ۱۴۰۱. برآورد ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی - محیط زیستی استانی در ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۲): ۱۹-۴۰.

سابقه و هدف: زیرساخت‌های عملکردی به‌عنوان یک سیستم یکپارچه برای حمایت از توسعه پایدار عمل می‌کنند. هدف این مطالعه برآورد و مقایسه ظرفیت‌های برد زیرساخت‌های عملکردی - محیط زیستی استان‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق برای ارزیابی تعادل بین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی - محیط زیستی در استان‌های ایران از مدل^۱ (FCM) استفاده شده است. این مدل، روش‌های تجزیه و تحلیل میانگین واریانس^۲ (MVA) و روش مسیر بحرانی^۳ (CPM) را به‌کار می‌گیرد، همچنین در جهت انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی - محیط زیستی مدل بار-حامل^۴ مد نظر قرار گرفته است. سنجه‌های مورد مطالعه با مرور منابع علمی معتبر در زمینه زیرساخت‌های عملکردی از سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ و داده‌های مورد استفاده از آخرین آمار موجود از داده‌های تجربی جمع‌آوری شده از استان‌های کشور استخراج شده است.

نتایج و بحث: نتایج این بررسی نشان داد که استان گیلان در زیر ساخت‌های فضای سبز و استان تهران در زیر ساخت‌های عملکردی مرسوم و محیط زیستی بالاترین ظرفیت را دارد و همچنین استان تهران از نظر زیرساخت‌ها رتبه اول کشور را به خود اختصاص می‌دهد و در رابطه با تحلیل بار - حامل انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی نشان می‌دهد که استان‌هایی از جمله تهران برخلاف ارزیابی خوبی که در سنجش ظرفیت برد نشان دادند، با توجه به حجم بار موجود، سطح پشتیبانی خوبی ارائه نمی‌دهند و برعکس استان‌هایی از جمله قم که ظرفیت برد ضعیفی در این زمینه نشان دادند در مورد برخی فاکتورها در تحلیل بار - حامل انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی خوبی را ثبت کردند.

نتیجه‌گیری: در ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی بین استان‌ها تفاوت وجود دارد و در منطقه‌هایی با فاکتورهای ویژه از جمله سیاسی، صنعتی، توریستی و ... بالاتر از سایر استان‌ها است و درجه تعادل بین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی به‌طور کلی در استان‌های ایران ضعیف و همچنین انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی دارای نوسان منفی است. به‌طور کلی در ارزیابی ظرفیت برد زیر ساخت‌های عملکردی کشور، نیاز به اقدام‌های مدیریتی احساس می‌شود.

* Corresponding Author: Email Address. r_sayahnia@sbu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.1173>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.2.2.3>

واژه‌های کلیدی: تعادل بین زیرساخت‌ها، توسعه پایدار، مدل FCM، مدل (بار - حامل).

مقدمه

را برای تخصیص منطقی منابع برای توسعه زیرساخت‌ها فراهم کند. ظرفیت برد باید با توجه به هنجارها و استانداردهای قابل قبول برای ارائه خدمات اساسی ارزیابی شود (Wu *et al.*, 2022). زیرساخت‌های عملکردی شامل طیف گسترده‌ای از زیرساخت‌های اساسی مانند زیرساخت‌های ارتباطی، زیرساخت‌های فضای سبز، زیرساخت‌های محیط زیستی، زیرساخت‌های گازرسانی، زیرساخت‌های حمل و نقل و غیره است، که با وجود کاربردی بودن آن‌ها متأسفانه به‌درستی مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرند (Wang *et al.*, 2020; Omidpour *et al.*, 2020). در این زمینه می‌توان ظرفیت نامناسب فضای سبز در میان پایتخت‌های اروپایی، آتن، بروکسل، بوداپست، کپنهاگ و ریگا (Barboza *et al.*, 2021) ظرفیت نامناسب ساختارهای محیط زیستی نظیر دفع پسماند در بنگلادش (Uddin, 2018)، ظرفیت نامناسب تسهیلات حمل و نقل و پیرو آن ازدحام شدید ترافیک در شهرهای مختلف مانند وضعیت بد ترافیکی در بانکوک (Bhu-anantanondh *et al.*, 2021)، پاتائو در بنگلادش (Ullah and Islam, 2017)، ناگپور در هندوستان (Patni, *et al.*, 2017) (Ullah and Islam, 2017)، ظرفیت نامناسب سیستم آب رسانی در مکزیکو سیتی و کلانشهرهای آن (García-Sánchez and Güereca, 2019)، در گوهامی هندوستان (Das *et al.*, 2019) و در حیدرآباد هندوستان (Wakode *et al.*, 2018) ظرفیت نامناسب گازرسانی در صربستان (Madžarević *et al.*, 2018) و همچنین معضل سیلاب‌های ناشی از ظرفیت ناکافی امکانات زهکشی شهری مانند سیل شهری در آمریکا (Quesada-Roman *et al.*, 2021) را نام برد. بنابراین ارزیابی ظرفیت برد در مطالعات به‌عنوان معیار مهمی برای هدایت عملکردها به سمت توسعه پایدار مطرح شده است (Liao Wu *et al.*, 2020). ولی همانطور که اشاره شد اغلب نادیده گرفته شده‌اند و یا به‌صورت صحیح انجام نمی‌شوند. نبود ارزیابی مناسب از ظرفیت برد زیر ساخت‌های عملکردی ممکن است

زیرساخت‌های شهری نقش اساسی در توسعه اجتماعی و اقتصادی شهری دارند. با این حال، نبود تعادل بین عرضه و تقاضای این زیرساخت‌ها، مشکلی رایج در شهرها است. این امر نیاز مبرمی به بکارگیری روشی مناسب برای بررسی ظرفیت تحمل زیرساخت‌های شهری در فرایند پیگیری توسعه پایدار شهری را نشان می‌دهد (Shen *et al.*, 2022). اصطلاح "ظرفیت برد" دارای منشأ یونانی بوده است و در زمینه‌های مختلف از محیط زیست گرفته تا ساختارهای شهری مورد استفاده قرار گرفته است. این اصطلاح در ابتدا در علم اکولوژی، به‌عنوان "حداکثر تعداد گونه‌هایی که یک زیستگاه می‌تواند پشتیبانی کند" تعریف شده است و از دهه ۱۹۶۰، با افزایش مشکل‌ها و بحران‌های جهانی مانند تخریب منابع طبیعی و محیط زیست مطالعات مربوط به ظرفیت برد در سایر موضوع-ها از جمله ظرفیت برد شهری، فضای سبزی، امنیتی، آموزشی، رفاهی، غذایی و گردشگری گسترش یافته است (Sajjadi Ghaemmaghami *et al.*, 2021; Sobhani *et al.*, 2020). به‌طور کلی، مطالعات در مورد ظرفیت برد در چند جنبه اصلی آب و سایر منابع کلیدی، منابع شهری و محیط زیست متمرکز بوده است و هماهنگی ظرفیت برد عامل‌های زیادی را که مؤثر بر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی هستند، کشف می‌کنند (White *et al.*, 2021). برای نمونه در زمینه مطالعات ظرفیت برد شهری، مفهوم ساختارهای عملکردی وجود دارد که این ساختارها باید ظرفیت کافی برای انجام فعالیت‌های مختلف اقتصادی - اجتماعی شهری را داشته باشند. چنین ظرفیت‌هایی به‌طور معمول با اصطلاحی به نام ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی شهر تعریف می‌شوند و در جهت توصیف ظرفیت زیرساخت‌های عملکردی از انعطاف‌پذیری و پایداری شهری پشتیبانی می‌کنند (Wang *et al.*, 2019; Sayahnia *et al.*, 2019). ارزیابی ظرفیت برد زیرساخت‌ها و تعیین پتانسیل‌های نسبی آن‌ها در منطقه‌های مختلف می‌تواند به رشد پایدار منطقه‌ها کمک کند و همچنین چارچوبی

جدول ۱- منابع جمع آوری داده‌ها

Table 1. Data collection sources

معیارها Criteria	منابع داده Data sources	بخش انتشار Publication section
C1- c2 -c3-c4-c5-c6	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	بخش آب و برق Water and electricity department
C7-c8-c9	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	بخش نفت و گاز Oil and gas sector
C10-c11-c12-c13-c14	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	بخش حمل و نقل و انبارداری Transportation and warehousing department
C15-c16-c17	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	بخش ارتباطات Communication Department
C18-c19-c20-c21	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	آموزش Education
C22	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	فرهنگ و گردشگری Culture and Tourism
C23-c24	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	بهبودی و تامین اجتماعی Welfare and Social Security
C25-c26	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	بهداشت و درمان Healthcare
C31-c32-c33-c34-c35-c36-37-	سالنامه آماری سال ۹۷ Statistical yearbook for 2018	بخش محیط زیست Department of Environment
c38	تحقیق سال ۹۶ سازمان پسماند Waste Organization ۲۰۱۷ Research of	

الف) انتخاب زیر ساخت‌های عملکردی

شامل (۱) امکان سنجی (۲) عقلانیت (۳) در دسترس بودن داده‌ها (۴) محدودیت (۵) کامل بودن (۶) نماینده بودن (۷) ارتباط پذیری (۸) قابل اندازه گیری بودن که برای اطمینان از انعکاس واقعی ویژگی‌های زیرساخت‌های شهری طراحی می‌شود، فیلتر شده است و براساس منابع اطلاعاتی مقادیر آماری مربوط به هریک بررسی شده است. (جدول ۳).

در مرحله اول، سنجه‌های اندازه گیری ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی انتخاب شده است. این انتخاب به-طور عمده از طریق بررسی جامع منابع تحقیقاتی طی سال-های (۲۰۱۵-۲۰۲۰) انجام شده است. (جدول ۲). لیست نهایی سنجه‌ها با در نظر گرفتن معیارهای انتخاب صحیح

جدول ۲- منابع مروری سنجه‌های منتخب

Table 2. Review sources of chosen indicators

محققان Researchers	سنجه‌های توصیه شده Recommended measures	سنجه‌های توصیه شده Recommended measures
(Wang, et al. 2020)	طول خطوط لوله آبرسانی (کیلومتر) Length of water supply pipelines (km)	مساحت جاده‌های شهری (متر مربع) Area of urban roads (square meters)
(Cui and Sun 2019)	مقدار کل تامین آب (تن) Total amount of water supply (tons)	تعداد اتوبوس‌ها (واحد) Number of buses (units)
(Sun and Tian 2018)	مقدار مصرف آب (لیتر) Amount of water consumption (liters)	تعداد تاکسی (واحد) Number of taxis (units)
(Jia, et al. 2018)	مقدار ذخیره گاز طبیعی (متر مکعب) Amount of natural gas reserves (cubic meters)	طول ترانزیت راه آهن شهری (کیلومتر) Urban rail transit length (km)
(Zhang, et al. 2018)	طول خطوط لوله گازرسانی (کیلومتر) Length of gas supply pipelines (km)	منطقه سنگفرش‌های شهری (متر مربع) Area of urban paving (square meters)
(Wei, et al. 2016)	مقدار کل تامین گاز طبیعی (متر مکعب) Total amount of natural gas supply (cubic meters)	طول جاده‌های شهری با چراغ (کیلومتر) Length of urban roads with lights (km)
(Wei, et al. 2015)	مقدار تامین گاز طبیعی برای خانوارها (متر مکعب) Amount of natural gas supply for households (cubic meters)	تعداد مشترکان تلفن (واحد) Number of telephone subscribers (units)

ادامه جدول ۲ - منابع مروری سنجه‌های منتخب

Table 2. Cont. Review sources of chosen indicators

محققان Researchers	سنجه‌های توصیه شده Recommended measures	سنجه‌های توصیه شده Recommended measures
	طول خطوط لوله گرمایش (کیلومتر) Length of heating pipelines (km)	تعداد مشترکین خدمات اینترنت (واحد) Number of Internet service subscribers (units)
	تولید آب گرم (تن) Hot water production (tons)	تعداد معلمان مدرسه‌های متوسطه (واحد) Number of secondary school teachers (units)
	طول خطوط لوله آب گرم (کیلومتر) Length of hot water pipelines (km)	تعداد معلمان مدرسه‌های ابتدایی (واحد) Number of primary school teachers (units)
	مقدار کل تأمین آب گرم (تن) Total amount of hot water supply (tons)	تعداد کتابخانه‌های عمومی (واحد) Number of public libraries (units)
	طول جاده‌های شهری (کیلومتر) Length of urban roads (km)	تعداد تخت بیمارستان (واحد) Number of hospital beds (units)
	حجم زباله‌های خانگی برای دفع بهداشتی (تن) Volume of household waste for sanitary disposal (tons)	تعداد پزشکان (واحد) Number of doctors (units)
	تعداد وسیله‌های نقلیه مورد استفاده در بهداشت محیط (واحد) Number of vehicles used in environmental health (units)	طول خطوط لوله زهکشی (کیلومتر) Length of drainage pipelines (km)
(Wang, et al. 2020)	تعداد وسیله‌های نقلیه عامل ترافیک (واحد) Number of traffic vehicles (units)	مقدار تصفیه متمرکز فاضلاب (تن) Amount of centralized wastewater treatment (tons)
(Cui and Sun 2019)	سرانه فضای سبز تفریحی عمومی (مترمربع) Per capita public recreational green space (square meters)	مقدار کل تصفیه فاضلاب (تن) Total amount of wastewater treatment (tons)
(Sun and Tian 2018)	نرخ فضای سبز در منطقه ساخته شده (مترمربع) Rate of green space in the built area (sq. M.)	مقدار لجن خشک تصفیه شده (تن) Amount of refined dry sludge (tons)
(Jia, et al. 2018)	میزان پوشش جنگل (%) Forest cover (%)	مقدار استفاده از پسماند جامد صنعتی (تن) Amount of use of industrial solid waste (tons)
(Zhang, et al. 2018)	میزان پوشش تالاب‌های ساحلی (%) Coverage of coastal wetlands (%)	تعداد مشترکان اینترنت (واحد) Number of Internet subscribers (units)
(Wei, et al. 2016)	میزان پوشش تالاب رودخانه (%) River wetland cover (%)	مجموعه کتابخانه‌های عمومی (واحد) Collection of public libraries (unit)
(Wei, et al. 2015)	میزان پوشش تالاب‌های دریاچه-باتلاقی (%) Lake-swamp wetland cover (%)	تعداد سرویس بهداشتی (واحد) Number of toilets (units)
	مسافت ترافیک (کیلومتر) Traffic distance (km)	تعداد مشترکان تلفن (واحد) Number of telephone subscribers (units)
	مصرف برق خانگی (کیلووات ساعت) Household electricity consumption (kilowatt hours)	مقدار تولید آب (تن) Amount of water production (tons)

جدول ۳ - سنجه‌های برآورد ظرفیت برد بین زیرساخت‌های عملکردی (حامل)

Table 3. Indicators for calculating range capacity between functional infrastructures (carriers)

کد Code	جهت تأثیر For impact	اندازه Size	سنجه‌های محاسبه ظرفیت برد Winning capacity calculation metrics	زیرساخت‌های عملکردی Functional infrastructure
c1	+	تعداد شهرهای تحت پوشش تأسیسات آب شرب Number of cities covered by drinking water facilities		
c2	+	حجم آب زیر زمینی (میلیون متر مکعب) Groundwater volume (million cubic meters)	تأمین آب Water supply (Sun and Tian, 2018)	زیرساخت‌های عملکردی مرسوم Conventional functional infrastructure
c3	+	تعداد انشعابات آب (فقره) Number of water branches (item)		
c4	+	طول خطوط انتقال آب (متر مکعب - کیلومتر) Length of water transmission lines (cubic meters - kilometers)		

ادامه جدول ۳ - سنجه‌های برآورد ظرفیت برد بین زیرساخت‌های عملکردی (حامل)

Table 3. Cont. Indicators for calculating range capacity between functional infrastructures (carriers)

کد Code	جهت تأثیر For impact	اندازه Size	سنجه‌های محاسبه ظرفیت برد Winning capacity calculation metrics	زیرساخت‌های عملکردی Functional infrastructure
c5	+	ظرفیت تولید ناخالص برق نیروگاه‌ها (میلیون کیلووات در ساعت) Gross power generation capacity of power plants (million kWh)	تأمین برق Power supply (Wei <i>et al.</i> , 2016)	
c6	+	تعداد مشترکین برق Number of electricity subscribers		
c7	+	تعداد شهرهای گاز رسانی شده Number of gas supplied cities		
c8	+	انشعابات گاز موجود (فقره) Existing gas branches (item)	تأمین گاز Gas supply (Wei <i>et al.</i> , 2016)	
c9	+	حجم مصرف گاز (میلیون متر مکعب در سال) Gas consumption volume (million cubic meters per year)		
c10	+	طول آزاد راه‌ها (کیلومتر) Free length of roads (km)		
c11	+	طول بزرگ راه‌ها (کیلومتر) Large length of roads (km)		
c12	+	تعداد اتوبوس‌های شهری واحد Number of single city buses	حمل و نقل Transportation (Wang <i>et al.</i> , 2020)	
c13	+	تعداد تاکسی‌های شهری واحد Number of single city taxis		
c14	+	تعداد مینی بوس‌های واحد Number of single minibuses		زیرساخت‌های عملکردی مرسوم Conventional functional infrastructure
c15	+	تعداد مشترکان تلفن (تعداد خانوار) Number of telephone subscribers (number of households)		
c16	+	تعداد مشترکان اینترنت (تعداد خانوار) Number of Internet subscribers (number of households)	ارتباطات از راه دور Remote communication (Wang <i>et al.</i> , 2020)	
c17	+	تعداد مشترکان اینترنت پرسرعت (تعداد خانوار) Number of high-speed internet subscribers (number of households)		
c18	+	تعداد مدرسه‌های ابتدایی Number of primary schools		
c19	+	تعداد مدرسه‌های متوسطه Number of secondary schools		
c20	+	تعداد آموزشگاه‌های فنی و حرفه‌ای Number of technical and vocational schools	واحد آموزشی و پرورشی Educational unit (Wei <i>et al.</i> , 2015)	
c21	+	تعداد کتابخانه‌های عمومی Number of public libraries		
c22	+	تعداد اماکن ورزشی Number of sports venues		

ادامه جدول ۳ - سنجه‌های برآورد ظرفیت برد بین زیرساخت‌های عملکردی (حامل)
Table 3. Cont. Indicators for calculating range capacity between functional infrastructures (carriers)

کد	جهت تأثیر	اندازه	سنجه‌های محاسبه ظرفیت برد	زیرساخت‌های عملکردی
Code	For impact	Size	Winning capacity calculation metrics	Functional infrastructure
c23	+	تعداد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی Number of people covered by the Social Security Organization		
c24	+	تعداد افراد تحت پوشش سازمان بیمه سلامت ایران Number of people covered by Iran Health Insurance Organization	خدمات پزشکی medical services (Wei <i>et al.</i> , 2015)	زیرساخت‌های عملکردی مرسوم Conventional functional infrastructure
c25	+	تعداد بیمارستان‌های فعال Number of active hospitals		
c26	+	تعداد تخت‌های مصوب Number of approved boards		
c27	+	مساحت جنگل‌های طبیعی (هکتار) Area of natural forests (hectares)	فضای سبز طبیعی Natural green space (Wang <i>et al.</i> , 2019)	عملکردی فضای زیرساخت‌های سبز Functional infrastructure of green space
c28	+	مساحت مرتع‌ها (هکتار) Range area (hectares)		
c29	+	مساحت فضای سبز شهرک‌ها و نواحی صنعتی (هکتار) Green space area of towns and industrial areas (hectares)	فضای سبز دست ساخت Green space handmade (Wang <i>et al.</i> , 2019)	
c30	+	مساحت جنگل کاری شده (هکتار) Afforested area (hectares)		
c31	+	تعداد شهرهای دارای انشعاب فاضلاب Number of cities with sewerage		
c32	+	تعداد مراکز تصفیه خانه فاضلاب Number of wastewater treatment centers	فاضلاب Wastewater (Zhang <i>et al.</i> , 2018)	زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی Functional environmental infrastructure
c33	+	تعداد مراکز تصفیه خانه فاضلاب صنعتی Number of industrial wastewater treatment centers		
c34	+	طول خطوط انتقال فاضلاب (کیلومتر) Length of sewage transmission lines (km)		
c35	+	تعداد اماکن دفن بهداشتی زباله Number of sanitary landfills	پسماند Waste (Wei <i>et al.</i> , 2016)	

ب) برآورد ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی

در مرحله دوم، ارزیابی ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل میانگین واریانس (MVA) در این مطالعه در نظر گرفته شده است زیرا از مزایای عینیت و استفاده از گروه بزرگی از سنجه‌ها را برخوردار است که دقت ارزیابی را افزایش می‌دهد. این مطالعه، دو معیار را برای انتخاب روش برآورد ظرفیت برد اتخاذ کرده است.

الف) روش نباید مبتنی بر ذهنیت باشد بلکه باید مبتنی بر هدف باشد، این می‌تواند از تأثیر نظرهای ذهنی افراد روی نتایج ارزیابی جلوگیری کند بنابراین روش‌هایی مانند AHP و SD حذف می‌شوند.
ب) باید طیف گسترده‌ای از سنجه‌ها گنجانده شود، که می‌تواند چشم اندازهای جامعی را ارائه دهد و دقت نتایج ارزیابی را بهبود بخشد، بنابراین روش‌های مانند PCA و ANN، که فقط تعداد اندکی از سنجه‌ها را پوشش می‌دهد، حذف می‌شود.

نرمال شده برای سنجه خاص I در مراجعه به استان مورد مطالعه زاست. نرمال سازی همه سنجه‌ها برای جلوگیری از اثرهای ابعادی ضروری است تا بتوان بین سنجه‌ها مقایسه مؤثر انجام داد. معادله (۵) برای نرمال سازی استفاده می‌شود:

متغیر X_{ij} مقدار اصلی اندیکاتور I برای مورد مطالعه استان z است

$$n_{ij} = X_{ij} / \sum X_{ij} \quad (5)$$

از آنجا که حجم اطلاعات تحقیقاتی جمع آوری شده بسیار زیاد است، جدول ۴ فقط داده‌های مربوط به استان تهران را نشان می‌دهد.

از روش تجزیه و تحلیل میانگین واریانس (MVA) برای محاسبه ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی استفاده شده است که در معادلات (۱) تا (۴) ارائه شده است:

$$E(Y_{kj}) = 1/n \sum F_{ij} \quad (1)$$

$$\sigma(Y_{kj}) = \sqrt{(F_{ij}-E(Y_{kj}))^2} \quad (2)$$

$$u(Y_{kj}) = \sqrt{(F_{ij}-E(Y_{kj}))^2 / \sigma(Y_{kj})} \quad (3)$$

$$Y_{kj} = 1/n \sum (u(Y_{kj}) \cdot F_{ij}) \quad (4)$$

Y_{kj} مقدار ظرفیت برد زیرساخت عملکردی k برای استان مورد مطالعه زاست، n تعداد کل سنجه‌ها برای اندازه گیری ظرفیت برد عملکردی زیرساخت‌ها k است، F_{ij} یک مقدار

جدول ۴- مقادیر ظرفیت برد مربوط به از استان تهران

Table 4. Relevant range capacity values from Tehran Province

معيار	ارزش	معيار	ارزش	معيار	ارزش	معيار	ارزش	معيار	ارزش
Criterion	Value	Criterion	Value	Criterion	Value	Criterion	Value	Criterion	Value
C1	57093	C9	23186	C17	13065692	C25	168	C33	8
C2	2722	C10	197	C18	3722	C26	36684	C34	1008299
C3	1886973	C11	454	C19	2095	C27	23895	C35	47
C4	2591	C12	117	C20	27	C28	848298	C36	2056032
C5	26638	C13	868	C21	322	C29	847	C37	320
C6	6701216	C14	150	C22	597	C30	615	C38	1422040
C7	48	C15	4347879	C23	468193	C31	46		
C8	1264355	C16	3579895	C24	3855907	C32	23		

در این بخش، ۳ متغیر کنترلی ($Y1j$) ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی مرسوم، ($Y2j$) ظرفیت برد زیرساخت‌های فضای سبز ($Y3j$) ظرفیت برد زیرساخت‌های محیط زیستی وجود دارد. در تحقیقی (Jia et al, 2018) مدلی برای محاسبه تعادل بین ظرفیت برد ۴ نوع زیرساخت ارائه دادند که در این مقاله از روش آن‌ها برای ۳ متغیر کنترلی استفاده نموده‌ایم.

$$B = \min\{ \sqrt{Y3j}, \sqrt[3]{Y2j}, \sqrt[4]{Y1j} \} \quad (6)$$

β پارامتری برای نشان دادن درجه تعادل بین زیرساخت‌ها بوده است و هرچه مقدار β بزرگتر باشد، عملکرد تعادل بین زیرساخت‌ها بهتر است. Y_{kj} ، متغیر کنترلی نشان دهنده ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی در مراجعه به یک استان خاص زاست. این مدل یک روش کامل برای ارزیابی وضعیت تعادل بین متغیرهای کنترل است.

ج) مدل ارزیابی تعادل ظرفیت برد بین زیرساخت‌های عملکردی

در مرحله سوم، از روش پیشرفت بحران (CPM) برای ایجاد مدل ارزیابی میزان تعادل زیرساخت‌های عملکردی در اصطلاح FCM استفاده شد. CPM در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی وضعیت یک سیستم که تحت تأثیر عملکرد تعادل چندین نوع متغیر کنترل در سیستم است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماهیت این مدل گویای این مسئله است که وقتی متغیرهای کنترل درون سیستم متعادل باشند، یک سیستم به راحتی کار خواهد کرد ولی وقتی تعادل از بین می‌رود، یک بحران در برابر وضعیت اولیه سیستم رخ خواهد داد (Wang et al., 2019).

شهری خاص با نسبت سنجه‌های "بار (L)" به "حامل (C)" بیان می‌شود، همانطور که در معادله (۷) نشان داده شده است.

$$X_i = L_j / C_i \quad (7)$$

X سنجه انعکاس ظرفیت برد، C_i مقدار نشانگر حامل i و L_j مقدار نشانگر بار j است (Liu et al., 2020) جدول ۵ نشان دهنده سنجه‌های انتخاب شده برای محاسبه نسبت بار به حامل‌های مربوط به زیرساخت‌های محیط زیستی انتخاب شده در این تحقیق است.

جدول ۵- سنجه‌های محاسبه ظرفیت برد بین زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی (بار)

Table 5. Indicators for calculating the range capacity between functional environmental infrastructures (load)

(X _i = L _j / C _i)	کد Code	شاخص بار Load index
ظرفیت تولید فاضلاب Wastewater production capacity	L1	تعداد مشترکان فاضلاب Number of wastewater subscribers
ظرفیت تصفیه متمرکز فاضلاب Centralized wastewater treatment capacity	L2	جمعیت تحت پوشش خدمات جمع آوری و دفع بهداشتی فاضلاب (درصد) Population covered by wastewater collection and disposal services (percentage)
کل ظرفیت تصفیه فاضلاب Total wastewater treatment capacity	L3	متوسط حجم فاضلاب جمع آوری شده (مترمکعب در روز) Average volume of wastewater collected (cubic meters per day)
ظرفیت تصفیه زباله Waste treatment capacity	L4	حجم زباله Volume of waste

استفاده از مقادیر Y₁، Y₂، Y₃ در فرمول (۶)، مقدار β (درجه تعادل بین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی) برای ۳۱ استان ایران به دست آمده و رتبه بندی شده است که نتایج آن در (جدول ۶) آورده شده است و برای انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی در استان‌های ایران از مدل حامل و بار (فرمول ۷) استفاده شده است و نتایج آن دسته بندی شده است. (جدول ۷).

جدول ۶- نتایج ارزیابی تعادل ظرفیت برد زیرساخت در استان‌های ایران

Table 6. Results of infrastructure range capacity balance assessment in 31 provinces of Iran

شماره استان‌ها Number of provinces	استان‌ها Province	Y1	Y2	Y3	B	Rank (β)
1	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	0.008464	0.002150322	0.001124	0.303316	6
2	آذربایجان غربی Western Azerbaijan	0.003405	0.001644771	0.001181	0.241567	14

د) بررسی ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی از دیدگاه مدل بار-حامل

در مرحله چهارم، بررسی ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی از دیدگاه مدل بار-حامل انجام گرفته است. مطابق با اصل مدل (بار-حامل)، دو نوع سنجه برای تعیین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی مورد نیاز است، یعنی سنجه‌های حامل و سنجه‌های بار. بر این اساس، مقدار سنجه برای انعکاس وضعیت‌های موجود در مراجعه به یک حامل زیرساخت

نتایج و بحث

با استفاده از داده‌های تحقیق شرح داده شده در بخش ۱-۴ برای معادلات (۱) تا (۶)، مقادیر ظرفیت Y₁، Y₂، Y₃ برای همه استان‌های مورد مطالعه برآورد شد (جدول ۶ و شکل ۲). ۳ متغیر (Y₁) مربوط به ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی مرسوم، (Y₂) مربوط به ظرفیت برد زیرساخت‌های فضای سبز، (Y₃) مربوط به ظرفیت برد زیرساخت‌های محیط زیستی هستند. با

ادامه جدول ۶ - نتایج ارزیابی تعادل ظرفیت برد زیرساخت در استان‌های ایران
 Table 6. Cont. Results of infrastructure range capacity balance assessment in 31 provinces of Iran

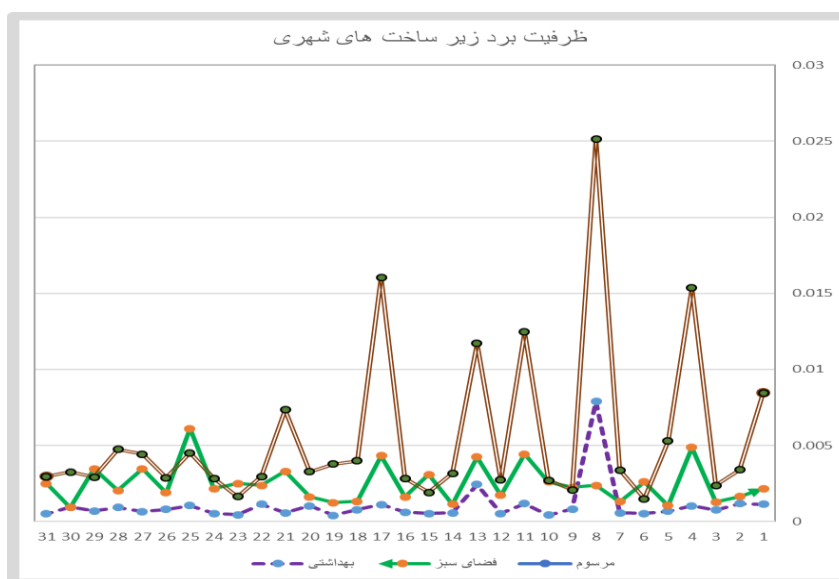
شماره استان‌ها Number of provinces	استان‌ها Province	Y1	Y2	Y3	B	Rank (β)
3	اردبیل Ardabil	0.002377	0.001269107	0.000764	0.220809	27
4	اصفهان Esfahan	0.015364	0.004871818	0.00103	0.352066	3
5	البرز Alborz	0.005278	0.001053307	0.000673	0.269534	8
6	ایلام Ilam	0.001489	0.002595104	0.000522	0.196446	31
7	بوشهر Bushehr	0.003373	0.001307412	0.000558	0.240989	15
8	تهران Tehran	0.025149	0.00237377	0.007891	0.398225	1
9	چهارمحال و بختیاری Chaharmahal va Bakhtiari	0.002069	0.002246452	0.000815	0.213277	28
10	خراسان جنوبی southern Khorasan	0.002701	0.002603235	0.000422	0.227976	26
11	خراسان رضوی Khorasan Razavi	0.012468	0.004425468	0.001173	0.334159	4
12	خراسان شمالی North Khorasan	0.002735	0.001716364	0.000521	0.228694	25
13	خوزستان Khuzestan	0.011707	0.004242622	0.002426	0.328934	5
14	زنجان Zanjan	0.00317	0.001132502	0.000561	0.237277	18
15	سمنان Semnans	0.001916	0.003082127	0.000519	0.209211	29
16	سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	0.002825	0.001622945	0.000602	0.230546	24
17	فارس Fars	0.016042	0.004314786	0.001107	0.355889	2
18	قزوین Qazvin	0.003986	0.001326788	0.000766	0.251265	12
19	قم Qom	0.003783	0.001242273	0.000388	0.248002	13
20	کردستان Kurdistan	0.003264	0.001604805	0.001029	0.239013	16
21	کرمان Kerman	0.007346	0.003295268	0.00056	0.292756	7
22	کرمانشاه Kermanshah	0.002953	0.00236794	0.001134	0.233107	20
23	کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluyeh and Boyerahmad	0.001636	0.002493569	0.000436	0.201106	30

ادامه جدول ۶ - نتایج ارزیابی تعادل ظرفیت برد زیرساخت در استان‌های ایران
Table 6. Cont. Results of infrastructure range capacity balance assessment in 31 provinces of Iran

شماره استان‌ها Number of provinces	استان‌ها Province	Y1	Y2	Y3	B	Rank (β)
24	گلستان Golestan	0.002839	0.002159076	0.000527	0.230832	23
25	گیلان Guilan	0.004514	0.006114981	0.001044	0.259198	10
26	لرستان Lorestan	0.002877	0.001878708	0.000799	0.231601	22
27	مازندران Mazandaran	0.00443	0.00346835	0.00064	0.257991	11
28	مرکزی Central	0.004735	0.002028412	0.000928	0.262316	9
29	هرمزگان Hormozgan	0.002923	0.003455183	0.000698	0.232525	21
30	همدان Hamedan	0.003261	0.000925417	0.00095	0.238975	17
31	یزد Yazd	0.002956	0.002490582	0.000503	0.233175	19
	MAX	0.025149	0.006114981	0.007890899		
	MIN	0.001489	0.000925417	0.000387968		
	AVERAGE	0.005549	0.002500112	0.00104161		
	Variations	2.7343	1.541	1.71041		

پزشکی)، زیرساخت‌های عملکردی فضای سبز از جمله (فضای سبز طبیعی، فضای سبز دست ساخت) و زیرساخت-های عملکردی محیط زیستی از جمله (فاضلاب و پسماند) از طریق جایگذاری داده‌ها در فرمول (۶) محاسبه شده است. که رتبه اول به تهران و رتبه آخر به ایلام تعلق گرفته است.

همانطور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود درجه تعادل بین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در خصوص زیرساخت‌های عملکردی مرسوم از جمله (تأمین آب، تأمین برق، تأمین گاز، حمل و نقل، ارتباطات از راه دور، واحد آموزشی و پرورشی، خدمات



شکل ۲- نمودار ظرفیت برد زیر ساخت‌های عملکردی
Fig. 2- Capacity chart of functional infrastructure

جدول ۷- انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی
 Table 7. Reflections of the level of support of functional environmental infrastructure

استان‌ها Province	ظرفیت تولید فاضلاب Wastewater production capacity	ظرفیت تصفیه متمرکز فاضلاب Centralized wastewater treatment capacity	کل ظرفیت تصفیه فاضلاب Total wastewater treatment capacity	ظرفیت دفع زباله Waste disposal capacity
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	27	20	10	1
آذربایجان غربی Western Azerbaijan	8	18	9	3
اردبیل Ardabil	10	14	17	1
اصفهان Esfahan	12	1	7	1
البرز Alborz	11	15	2	1
ایلام Ilam	16	9	21	1
بوشهر Bushehr	23	6	14	1
تهران Tehran	29	3	18	2
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal va Bakhtiari	14	11	19	1
خراسان جنوبی southern Khorasan	24	2	26	1
خراسان رضوی Khorasan Razavi	30	19	8	1
خراسان شمالی North Khorasan	22	21	28	1
خوزستان Khuzestan	15	22	24	1
زنجان Zanjan	18	17	23	1
سمنان Semnans	19	28	31	1
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	25	27	30	1
فارس Fars	3	25	4	1
قزوین Qazvin	7	12	12	1
قم Qom	1	5	1	1
کردستان Kurdistan	4	24	3	1
کرمان Kerman	31	31	27	1
کرمانشاه Kermanshah	5	26	5	1
کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluyeh and Boyerahmad	20	4	22	1
گلستان Golestan	28	30	25	1
گیلان Guilan	9	13	11	1

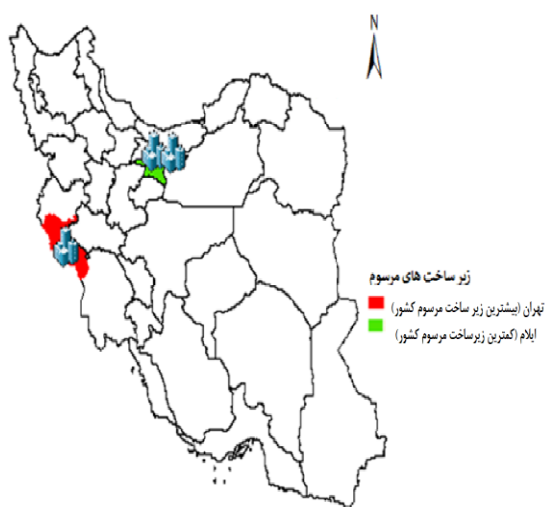
ادامه جدول ۷- انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی

Table 7. Cont. Reflections of the level of support of functional environmental infrastructure

استان‌ها Province	ظرفیت تولید فاضلاب Wastewater production capacity	ظرفیت تصفیه متمرکز فاضلاب Centralized wastewater treatment capacity	کل ظرفیت تصفیه فاضلاب Total wastewater treatment capacity	ظرفیت دفع زباله Waste disposal capacity
لرستان Lorestan	2	7	6	1
مازندران Mazandaran	26	29	20	1
مرکزی Central	13	16	13	1
هرمزگان Hormozgan	21	10	15	1
همدان Hamedan	6	23	16	4
یزد Yazd	17	8	29	1

مشترکان فاضلاب، جمعیت تحت پوشش خدمات جمع آوری و دفع بهداشتی فاضلاب (درصد)، متوسط حجم فاضلاب جمع آوری شده (مترمکعب در روز)، حجم زباله بوده است و سنجه‌های حامل شامل تعداد شهرهای دارای انشعاب فاضلاب، تعداد مراکز تصفیه خانه فاضلاب، تعداد مراکز تصفیه خانه فاضلاب صنعتی، طول خطوط انتقال فاضلاب (کیلومتر)، تعداد امکان دفن بهداشتی زباله بوده که براساس فرمول (۷) محاسبه شده است.

در جدول (۷)، سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی آورده شده است که مطابق با مدل (بار - حامل) دو نوع سنجه برای تعیین ظرفیت برد زیرساخت-های عملکردی محیط زیستی مورد نیاز است، یعنی سنجه-های حامل و سنجه‌های بار و مقدار سنجه برای انعکاس وضعیت‌های موجود در مراجعه به یک حامل زیرساخت شهری خاص با نسبت سنجه‌های "بار (L)" به "حامل (C)" بیان می‌شود که در اینجا سنجه‌های بار شامل تعداد



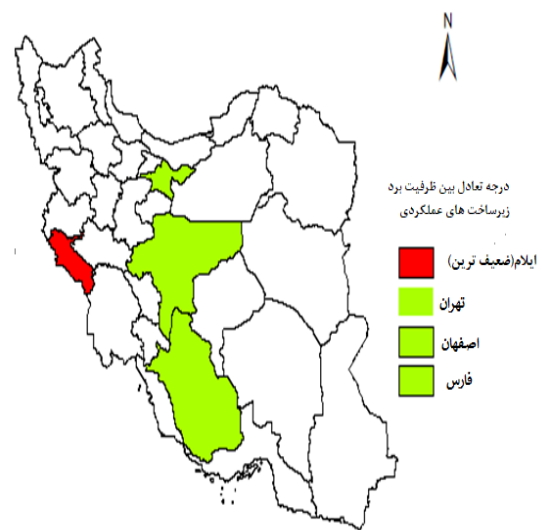
شکل ۳- زیرساخت‌های مرسوم
Fig. 3- Conventional infrastructure



شکل ۴- زیرساخت‌های فضای سبز
Fig. 4- Green space infrastructure



شکل ۵- زیرساخت های محیط زیست
Fig. 5- Environmental infrastructure



شکل ۶- درجه تعادل بین ظرفیت برد و زیرساخت های عملکردی
Fig. 6- Degree of balance between range capacity and functional infrastructure

را نشان می‌دهند و در ارزیابی زیر ساخت‌های عملکردی محیط زیستی مشاهده شده است که استان تهران با مقدار (۰/۰۰۷۸۹۱) بالاترین و استان قم با مقدار (۰/۰۰۳۸۸) پایین‌ترین سطح ظرفیت برد را تشکیل داده‌اند (شکل‌های ۲ تا ۴). در سطح ملی، از آنجا که زیرساخت‌های عملکردی مرسوم بیشترین مقدار متوسط (۰/۰۰۵۵) و زیرساخت-های محیط زیستی کمترین مقدار متوسط (۰/۰۰۱۰) را دارند به ترتیب بیشترین و کمترین ظرفیت برد را دارند و نیز این واقعیت مشهود است که تنوع زیرساخت‌های فضای سبز بین استان‌های مورد مطالعه با مقدار (۱/۵۴۱) کمترین است و در نتیجه اختلاف ظرفیت برد بین این زیر ساخت‌ها در استان‌های مورد مطالعه نسبت به سایر زیر ساخت‌ها کمتر است.

همانطور که در جدول ۷ آورده شده است مدل بار - حامل در انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی نشان می‌دهد که استان قم بالاترین سطح پشتیبانی ظرفیت تولید فاضلاب و ظرفیت تصفیه فاضلاب کل، استان اصفهان بالاترین سطح پشتیبانی ظرفیت تصفیه متمرکز فاضلاب، استان کرمان پایین‌ترین سطح

در این تحقیق منابع اثرگذار برای شناسایی منطقه‌های ضعیف از نظر زیرساخت‌های عملکردی ارزیابی شده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدل ارزیابی تعادل بین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی (FCM) برای استان‌های ایران قابل اجرا بوده است و مدیران و تصمیم‌گیرندگان استان‌ها می‌توانند سیاست‌های بهتری را برای بهبود تعادل ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی برای پیشرفت توسعه پایدار تدوین و یا در سیاست‌های موجود تجدید نظر کنند. نتایج برآورد ظرفیت برد زیر ساخت‌های مورد بررسی در این مقاله و ارزیابی مقدار تعادل بین آن‌ها (β) در جدول ۵ ارائه شده که یافته‌های قابل توجهی را نشان می‌دهد. از جمله اینکه استان‌های مختلف، ظرفیت برد متفاوتی در زیرساخت‌های عملکردی دارند و در مورد زیر ساخت‌های عملکردی مرسوم، استان تهران با مقدار (۰/۰۲۵۱۴۹) بالاترین و استان ایلام با مقدار (۰/۰۰۱۴۸۹) پایین‌ترین ظرفیت برد را دارند و همچنین در بررسی زیرساخت‌های عملکردی فضای سبز، استان گیلان با مقدار (۰/۰۰۶۱۱۴۹۸۱) بالاترین و استان همدان با مقدار (۰/۰۰۰۹۲۵۴۱۷) پایین‌ترین ظرفیت برد

نظر تسهیلات اولیه وضعیت مناسبی ندارد (Shahivandi *et al.*, 2015) (شکل ۵).

همانطور که بیان شد از آنجایی که بالاترین رتبه تعادل زیر ساخت‌های عملکردی در استان‌هایی با اهمیت کشور واقع شده‌اند و بنابر انتظار این منطقه‌ها از استاندارد اقتصادی و اجتماعی بالایی برخوردار هستند، بنابراین درک بهتری از توسعه پایدار شهری برای سرمایه‌گذاری متعادل در انواع مختلف زیرساخت‌های عملکردی دارند و در عوض مشاهده شده است که عملکرد در استان‌های دیگر بویژه مناطق حاشیه‌ای کشور مناسب نبوده است. این نشان می‌دهد که باید اقدام‌های مناسب برای بهبود تعادل بین زیرساخت‌های عملکردی در استان‌های ایران انجام شود. از جمله ایجاد قوانین اعتبار مناسب در راستای ظرفیت دهی کافی به زیرساخت‌های عملکردی برای کاهش عدم تعادل ظرفیت برد با ایجاد روش‌هایی برای بالابردن آورده‌های مالی مانند مکانیسم مشارکت عمومی و خصوصی^۵ (PPP) منابع بیشتری را در این زیرساخت‌های عملکردی ضعیف سرمایه‌گذاری کنند. به‌عنوان نمونه شهر نیویورک با موفقیت سازوکار (PPP) را در توسعه ظرفیت برد زیرساخت‌های خود اتخاذ کرده است (Geddes and Reeves, 2017) بنابراین می‌توان انتظار داشت با چنین سرمایه‌گذاری‌هایی وضعیت موجود در تعادل ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی را در میان استان‌های ایران تغییر دهد. همچنین دولت می‌تواند مکانیزم‌های ارزیابی مورد قبول را شناسایی و برای ارزیابی عملکرد تعادل معرفی نمایند. این ساز و کار تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد تا مشکل‌های موجود در عمل را به‌صورت پویا شناسایی کنند (Wang *et al.*, 2019). در نتیجه، می‌توان برای حمایت از توسعه پایدار در سطح ملی، وضعیت متعادل‌تری از ظرفیت برد زیر ساخت‌های عملکردی به‌دست آورد همانطور که مشاهده شد این ظرفیت بردها در هر منطقه مختص آن منطقه بوده و از یک استان به استان دیگر متفاوت است که متأثر از شرایط آن منطقه است.

پشتیبانی ظرفیت تولید فاضلاب و ظرفیت تصفیه متمرکز فاضلاب و استان سمنان پایین‌ترین سطح پشتیبانی ظرفیت تصفیه فاضلاب کل را در برابر بار موجود دارا می‌باشند و در مورد ظرفیت دفع زباله تمام استان‌ها در یک سطح بودن بجز استان‌های آذربایجان غربی، تهران، همدان که به ترتیب رتبه ۲ تا ۴ را بخود اختصاص دادند. و استان تهران باوجود توسعه یافتگی جزء مناطق با ظرفیت دفع زباله ضعیف است، همچنین کمترین ظرفیت دفع زباله نیز در استان همدان ارزیابی شد.

همانطور که مشاهده شده است، برخلاف نتایج مدل FCM که ظرفیت برد زیر ساخت‌های عملکردی محیط زیستی استان تهران را بالاترین و استان قم را پایین‌تری مقدار ارزیابی نموده است، با توجه به بار موجود، مدل بار - حامل در انعکاس سطح پشتیبانی زیرساخت‌های عملکردی محیط زیستی، نوسان‌هایی را به نمایش گذاشته است.

در اشاره به درجه تعادل بین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی، که با β نشان داده شده است، تفاوت معنی‌داری بین استان‌های مورد مطالعه موجود است. آن دسته از استان‌هایی که دارای رتبه بالایی در β بودند، به‌طور عمده جزء منطقه‌های استراتژیک از لحاظ صنعتی، سیاسی، توریستی و زیارتی هستند. استان تهران (رتبه اول β) که پایتخت کشور در آن واقع شده است، استان فارس (رتبه دوم β) که چهارمین استان بزرگ ایران است که کلانشهر شیراز با سنجه‌های با ارزش تاریخی به‌عنوان یک شهر زیارتی و سیاحتی در آن واقع است (Rezai and Karimi, 2016)، استان اصفهان (رتبه سوم β) ششمین استان پهناور و سومین استان پرجمعیت ایران است که شهر اصفهان پایتخت گردشگری و سومین شهر بزرگ ایران در آن واقع است (Assari *et al.*, 2017). همچنین نتایج بیان می‌کند که کمترین مقادیر β مربوط به استان‌های منطقه‌های مرزی و حاشیه‌ای و کم برخوردار کشور است به‌عنوان نمونه، استان ایلام (رتبه آخر β)، در مرزهای غربی ایران واقع شده است که مطالعات نشان می‌دهد از

جنوبی، آذربایجان غربی و ... فاقد تعادل قابل انتظار هستند برای نمونه استان مرزی ایلام آخرین درجه تعادل را نشان می‌دهد. همچنین استان ایلام پایین‌ترین ظرفیت برد زیرساخت‌های مرسوم، استان همدان پایین‌ترین ظرفیت برد زیرساخت‌های عملکردی فضای سبز و استان قم پایین‌ترین سطح ظرفیت برد در زیرساخت‌های محیط زیستی را تشکیل داده‌اند.

به‌طور کلی کاربرد این مدل نشان داد که تعادل بین زیرساخت‌های عملکردی در استان‌های ایران ضعیف است و بالاترین رتبه تعادل زیر ساخت‌های عملکردی در استان‌های سنجه در زمینه سیاسی، توریستی و مذهبی واقع شده‌اند که این مناطق از استاندارد اقتصادی و اجتماعی بهتری برخوردار هستند و دیگر استان‌ها شرایط تعادلی کمتری دارند. استفاده از مدل FCM در این مقاله یک ابزار نظری مهم برای بررسی وضعیت تعادل ظرفیت برد بین زیرساخت‌های عملکردی در هر استان را فراهم می‌کند و به توسعه دانش در زمینه مطالعه ظرفیت برد کمک می‌کند. استفاده از این مدل می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در یک منطقه کمک کند تا درک کنند آیا زیرساخت‌های موجود به‌صورت متعادل فراهم شده است یا خیر.

با مراجعه به این نتایج، مدیران و تصمیم‌گیرندگان استان‌ها می‌توانند اقدام‌های سیاسی را برای بهبود عملکرد تعادل برای پیشرفت توسعه پایدار تجدید نظر یا تدوین کنند. بدون درک وضعیت تعادل بین زیرساخت‌های عملکردی شهری، امکان غافل شدن از منطقه‌های با زیرساخت‌های ضعیف وجود دارد، که بر این اساس نمی‌توانند از توسعه پایدار پشتیبانی کنند.

پی‌نوشت‌ها

¹FUICC Catastrophe Model

²Mean Analysis of Variance

³Catastrophe Progression Method

⁴Load-Carrier

⁵Public-private partnership mechanism

وسعت یک منطقه اولین فاکتور مؤثر بر ظرفیت برد است، اما محدودیت‌های فیزیکی، اقلیمی و همچنین وضعیت امکانات، تسهیلات و کیفیت مدیریت و ارائه خدمات، ظرفیت برد فیزیکی و واقعی استان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وجود توانمندی‌های مدیریتی نیز می‌تواند موجب استفاده از یک منطقه تا حد ظرفیت برد واقعی آن شود. نتایج پژوهش گویای آن است که ارتقای توانمندی‌های مدیریتی موجود می‌تواند ظرفیت برد هر استان را افزایش دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاکی از آن است که استفاده از مدل تعادل (FCM) به منظور ارزیابی تعادل ظرفیت برد بین زیرساخت‌ها عملکردی استان‌ها استفاده شده است. نتایج بررسی‌ها بیان می‌کند که این مدل یک مدل مؤثر و قابل اجرا است. داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی زیرساخت‌های عملکردی، آخرین آمارهای موجود در رابطه با سنجه‌های منتخب در استان‌های ایران بوده است و یافته‌ها گویای آن است که متأسفانه قطبیت و عدم عدالت در برخورداری از منافع در زیرساخت‌های عملکردی استان‌های ایران قابل توجه است. استان تهران از بالاترین ظرفیت برد در زیرساخت‌های عملکردی و محیط زیستی و استان گیلان بالاترین ظرفیت برد را در زیرساخت‌های عملکردی فضای سبز برخوردار هستند.

تفاوت در درجه تعادل بین ظرفیت برد زیر ساخت‌های عملکردی نیز بین استان‌ها قابل توجه است. و استان‌های دارای اهمیت‌های ویژه صنعتی، سیاسی، توریستی، مذهبی و ... مانند تهران، فارس، اصفهان به-ترتیب دارای رتبه‌های ۱ تا ۳ در تعادل عملکردها هستند و استان‌های حاشیه‌ای، کمتر برخوردار و بدون اهمیت‌های ویژه بیان شده در بالا مانند چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، سمنان، خراسان

- Assari, A., Maghreby, S. and Nik, M.M., 2017. Investigation of smart growth in traditional Islamic culture: Case study of Isfahan city in Iran. *Journal of Geography and Regional Planning*. 10(4), 47-56.
- Barboza, E.P., Cirach, M., Khomenko, S., Jungman, T., Mueller, N., Barrera-Gómez, J., Rojas-Rueda, D., Kondo, M. and Nieuwenhuijsen, M., 2021. Green space and mortality in European cities: a health impact assessment study. *The Lancet Planetary Health*. 5(10), 718-730.
- Bhu-anantanondh, N., Kanyajit, S., Suwannanon, A. and Sinloyma, P., 2021. Solving Bangkok's traffic problems. *Cosmopolitan Civil Societies: An Interdisciplinary Journal*. 13(1), 46-61.
- Cui, Y. and Sun, Y., 2019. Social benefit of urban infrastructure: An empirical analysis of four Chinese autonomous municipalities. *Utilities Policy*. 58, 16-26.
- Das, R., Laishram, B. and Jawed, M., 2019. Perception of groundwater quality and health effects on willingness to procure: The case of upcoming water supply scheme in Guwahati, India. *Journal of Cleaner Production*. 226, 615-627.
- García-Sánchez, M. and Güereca, L.P., 2019. Environmental and social life cycle assessment of urban water systems: The case of Mexico City. *Science of The Total Environment*. 693, 133464.
- Geddes, R.R. and Reeves, E., 2017. The favourability of US PPP enabling legislation and private investment in transportation infrastructure. *Utilities Policy*. 48, 157-165.
- Herslund, L., Backhaus, A., Fryd, O., Jørgensen, G., Jensen, M.B., Limbumba, T.M., Liu, L., Mguni, P., Mkupasi, M., Workalemahu, L. and Yeshitela, K., 2018. Conditions and opportunities for green infrastructure—Aiming for green, water-resilient cities in Addis Ababa and Dar es Salaam. *Landscape and urban planning*. 180, 319-327.
- Islam, M.U., Ullah, M.W., Khan, S., Shah, N. and Park, J.K., 2017. Strategies for cost-effective and enhanced production of bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*. 102, 1166-1173.
- Jia, Z., Cai, Y., Chen, Y. and Zeng, W., 2018. Regionalization of water environmental carrying capacity for supporting the sustainable water resources management and development in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 282-293.
- Keshtkar, M. and Sayahnia, R., 2021. Monitoring the Ecological Security of Esfahan with an Ecosystem Service Approach. *Geography and Environmental Sustainability*. 10(4), 91-107.
- Liao, S., Wu, Y., Wong, S.W. and Shen, L., 2020. Provincial perspective analysis on the coordination between urbanization growth and resource environment carrying capacity (RECC) in China. *Science of the Total Environment*. 730, 138964.
- Madžarević, A., Ivezić, D., Živković, M., Tanasijević, M. and Ivić, M., 2018. Assessment of vulnerability of natural gas supply in Serbia: State and perspective. *Energy Policy*. 121, 415-425.
- Nahrin, K., 2018. Urban development policies for the provision of utility infrastructure: a case study of Dhaka, Bangladesh. *Utilities Policy*. 54, 107-114.
- 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 and GIS*. 12(2), 19-32.
- Patni, S., Landge, V.S. and Gupta, S., 2017. Motor vehicle traffic congestion costing in Nagpur City. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 8(4), 100–106.
- Quesada-Román, A., Villalobos-Portilla, E. and Campos-Durán, D., 2021. Hydrometeorological disasters in urban areas of Costa Rica, Central America. *Environmental Hazards*. 20(3), 264-278.
- Rezaei, M.R. and Karimi, B., 2016. Determining the Shiraz city development strategies and prioritizing them by AHP, 43-60.
- Sajjadi Ghaemmaghami, S., Sayahnia, R., Mobarghei Dinan, N., Makhdom 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.
- Sayahnia, R., Makhdom, M., Faryadi, S., 2017. Ecological indices in evaluation of urban development capability (case study: Tehran metropolitan area). *Environmental Sciences*. 15(1), 77-88.
- Sayahnia, R., Sobhani, P., Mahmoudi, H. and 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.
- Shaaban, K. and Abouzaid, A., 2021. Assessment of Traffic Noise Near Schools in a Developing Country. *Transportation Research Procedia*. 55, 1202-1207.
- Shahivandi, A., Mahmoud M., Abbasi Mazrae Shahi A., (2015).; Assessing the housing situation based on basic facilities and facilities in the provinces of Iran. *Journal of Spatial Planning (Geography)* 4(4): 43-64. (In Persian with English abstract).
- Shen, L., Chen, X., Du, X. and Yang, Z., 2022. An improved method for investigating urban municipal infrastructures carrying capacity. *Sustainable Production and Consumption*. 29, 299-310.
- Sun, C., Chen, L. and Tian, Y., 2018. Study on the urban state carrying capacity for unbalanced sustainable development regions: Evidence from the Yangtze River Economic Belt. *Ecological Indicators*. 89, 150-158.
- Uddin, N., 2018. Assessing urban sustainability of slum settlements in Bangladesh: Evidence from Chittagong city. *Journal of Urban Management*. 7(1), 32-42.
- Wakode, H.B., Baier, K., Jha, R. and Azzam, R., 2018. Impact of urbanization on groundwater recharge and urban water balance for the city of Hyderabad, India. *International Soil and Water Conservation Research*. 6(1), 51-62.
- Wang, J., Ren, Y., Shen, L., Liu, Z., Wu, Y. and Shi, F., 2020. A novel evaluation method for urban infrastructures carrying capacity. *Cities*. 105, 102846.
- Wang, J., Shen, L., Ren, Y., Wei, X., Tan, Y. and Shu, T., 2019. An alternative model for evaluating the balance of carrying capacity between functional urban infrastructures. *Environmental Impact Assessment Review*. 79.106304.
- Wang, W., Liu, K., Tang, R. and Wang, S., 2019. Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth*. 110, 168-175.

Wei, Y., Huang, C., Lam, P.T. and Yuan, Z., 2015. Sustainable urban development: A review on urban carrying capacity assessment. *Habitat International*. 46, 64-71.

Wei, Y., Huang, C., Li, J. and Xie, L., 2016. An evaluation model for urban carrying capacity: A case study of China's mega-cities. *Habitat International*. 53, 87-96.

White, J.C., Woods, M., Krahn, T., Papasodoro, C., Bélanger, D., Onafrychuk, C. and Sinclair, I., 2021. Evaluating the capacity of single photon lidar for terrain characterization under a range of forest conditions. *Remote Sensing of Environment*. 252, 112169.

Wu, B., Qiu, W., Huang, W., Meng, G., Nong, Y.

and Huang, J., 2022. A multi-source information fusion evaluation method for the tunneling collapse disaster based on the artificial intelligence deformation prediction. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 47, 5053-5071 .

Zhang, M., Liu, Y., Wu, J. and Wang, T., 2018. Index system of urban resource and environment carrying capacity based on ecological civilization. *Environmental Impact Assessment Review*. 68, 90-97





Environmental Sciences Vol.20 / No.2 / Summer 2022

19-40

Original Article

Estimating the carrying capacity of functional- environmental infrastructure provincial in Iran

Maryam Saberian Sani¹ and Romina Sayahnia^{2*}

¹ Department of Environmental Technologies, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Department of Environmental Planning and Design, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.04.07 Accepted: 2022.05.22

Sayahnia, R. and Saberian Sani, M., 2022. Assessing the range capacity of functional infrastructure - provincial environment in Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 20 (2): 19-40.

Introduction: Functional infrastructures act as an integrated system to support sustainable development. Therefore, it is worthwhile to use appropriate methods to evaluate the range capacities of functional infrastructures and the balance between them.

Material and methods: In this research, the FUICC Catastrophe Model (FCM¹) was used to evaluate the balance between the range capacity of functional infrastructures in the provinces of Iran. This model uses the methods of analysis of mean variance (MVA) and Critical Path Method (CPM), also the Load-Carrier mode was used to reflect the level of support for functional environmental infrastructure. The studied indicators were extracted from experimental data collected from 31 provinces of Iran by reviewing valid scientific sources in the field of functional infrastructure from 2015 to 2020 and the data used using the latest available statistics.

Results and discussion: The results of this study showed that Gilan Province has the highest range capacity in green space infrastructure and Tehran Province has the highest range capacity in conventional functional and environmental infrastructures and also Tehran Province ranks first in the country in terms of balance between infrastructures. Regarding load-bearing analysis, the reflection of the level of support of functional environmental infrastructures shows that provinces such as Tehran, contrary to the good evaluation they showed in measuring range capacity. Due to the existing cargo volume, they do not provide a good level of support, and on the contrary, provinces such as Qom, which showed poor range capacity in this field, recorded good environmental performance for some factors in load-bearing analysis.

* Corresponding Author: *Email Address.* r_sayahnia@sbu.ac.ir

Conclusion: There is a difference in the range capacity of functional infrastructure between provinces and in some areas with factors such as political, industrial, tourist, etc., it is higher than other provinces and the degree of balance between the capacity of functional infrastructure is generally weak in the provinces of Iran. Also, the reflection of the level of support of functional infrastructures has negative fluctuations and in general, in assessing the range capacity of functional infrastructures, there is a need for management measures.

Keywords: Sustainable development, FCM model, Load-Carrier model.

