

مرور و مقایسه روش‌های برآورد ظرفیت برد منابع آب و تعیین مزایا و معایب آن‌ها

الهام قاسمی زیارانی^۱، رومینا سیاح‌نیا^۲، شاهرخ محمودی^۳

۱. دانشجوی دکترا، گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. یارنامه: e_ghasemiziarani@sbu.ac.ir
۲. استادیار گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. یارنامه: r_sayahnia@sbu.ac.ir
۳. دانشجوی دکترا، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. یارنامه: shahrokh.mahmoudi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳

چکیده

در این مطالعه سعی شده است چارچوبی برای ارزیابی سناریوها و پیش‌بینی شرایط آینده از نظر منابع آب فراهم شود. این چارچوب در عین حال تأثیر سیاست‌های مختلف را بر منابع آب، جامعه، اقتصاد و محیط‌زیست حوضه آبریز و منابع آب ارزیابی می‌کند و بستر مطمئنی را برای تحقیقات آینده ایجاد می‌نماید. در این راستا، جهت دستیابی به مقالات واجد شرایط، پایگاه‌های اطلاعاتی علمی خارجی شامل اسکوپوس ساینس، وب آف ساینس، ساینس دایرکت، پابمد^(۱) و موتور جستجوی گوگل اسکالر^(۲)، از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ مورد جستجو قرار گرفتند. به‌طور کلی، در این مطالعه روش‌های تحقیق ظرفیت برد منابع آب بر طبق اهداف به دو نوع تقسیم گردید. هدف از روش‌های نوع اول محاسبه جمعیت یا مقیاس اقتصادی بود که منابع آب می‌توانند بر اساس عرضه و تقاضای آب پشتیبانی کنند و شامل روش روند متعارف (CTM) و شبیه‌سازی پویای بازگشتی (DSR)، چارچوب نیروی محرکه فشار-وضعیت-پاسخ و Topsis است. هدف روش‌های نوع دوم ارزیابی WRCC منطقه‌ای و تأیید توسعه بالقوه منابع آب بود و این نوع شامل ارزیابی جامع (CE) و تحلیل مدل چند هدفه (MOMA)، پویایی سیستم (SD)، مدل ظرفیت برد منابع نسبی، مدل جامع ظرفیت برد منابع آب، مدل پویایی سیستم و مدل ارزیابی جامع فازی ویژگی‌های بود. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه روش‌های مختلفی برای برآورد ظرفیت برد منابع آب (WRCC)^(۳) وجود دارد، اما عمده روش‌های مورد استفاده قدیمی شده‌اند و روش‌ها و فناوری‌های جدید پیچیده‌تر وجود ندارد. به‌طور خاص، این تجزیه و تحلیل نشان داد که شاخص‌ها، دقت علمی و جامع بودن معیارهای ارزیابی روش‌های تحقیق فعلی کافی نیست و نیاز به بهبود دارد.

کلید واژه‌ها: حوضه آبخیز، روش‌های برآورد، ظرفیت برد، منابع آب



سرآغاز

آب یک منبع استراتژیک برای توسعه اجتماعی و یک عنصر کنترل‌کننده برای سلامت محیط‌زیستی است. با رشد سریع اقتصاد و جمعیت، کمبود آب در حال حاضر یک محدودیت عمده برای توسعه اجتماعی و امنیت غذایی است (Bilge Ozturk et al., 2022, Jia et al., 2018). آلودگی آب به سلامت محیط‌زیست آسیب می‌رساند و جنبه‌های زیادی مانند اکولوژی رودخانه (Ucun Ozel et al., 2020, Wang et al., 2019)، فرسایش خاک (J. et al., 2023) و مدیریت مناطق ساحلی (Sahin et al., 2022) را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cetin, 2016).

ظرفیت حمل یک مفهوم علمی است که معیاری برای سنجش توانایی یک محیط یا منطقه برای حمایت از انسان و سایر حیات و فعالیت‌های آن به شیوه ای پایدار است (Djuwansyah, 2018). مفهوم ظرفیت حمل را می‌توان به نظریه جمعیت مالتوس در سال ۱۹۷۸ ردیابی کرد. در ۲۰۰ سال بعد با توسعه اقتصاد اجتماعی و تغییر منابع و محیط، مفهوم ظرفیت حمل به طور مداوم به روز شده است. کاربرد آن نیز بیشتر و گسترده‌تر است، مانند ظرفیت حمل اکولوژیکی، ظرفیت حمل اجتماعی، ظرفیت حمل جمعیت، ظرفیت حمل کشاورزی (Harris and Kennedy, 1999, Del Monte-Luna et al., 2004, Graefe et al., 1984, Cohen 1995).

کوهن و همکاران در سال ۱۹۸۹، مرکز تحقیقات علوم نرم ظرفیت حمل منابع آب سین کیانگ برای اولین بار مفهوم ظرفیت حمل منابع آب (WRCC) را مطرح کرد. WRCC یک مفهوم جدید و جامع است و در حال حاضر مفهوم روشنی وجود ندارد. در سطح بین‌المللی، WRCC به حوزه تئوری توسعه پایدار تعلق دارد. و برخی از محققان از اصطلاحات استخوان استفاده از آب پایدار و استفاده از آب پایدار برای بیان WRCC استفاده می‌کنند. Aoudia از ارزیابی WRCC برای تعیین تعداد افرادی که می‌توانند به اندازه کافی در مورد مسایل آب حمایت شوند استفاده می‌کند (Ait-Aoudia & BerezowskaAzzag, 2016). می‌تواند اجزای WRCC را در سه بخش خلاصه کرد: ظرفیت پشتیبانی منابع آب، ظرفیت تحمل محیط آبی و ظرفیت دفاعی آسیب منطقه‌ای. WRCC جزء مهمی از ظرفیت تحمل محیط منابع است (Yi et al., 2018) و چهار عامل اصلی بر ظرفیت تحمل منابع آب تأثیر می‌گذارد: آب، محیط اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی. هر جنبه مانند یک قطعه مکانیکی است و تأثیر بسیار

مهمی در WRCC دارد. بنابراین، این مقاله "WRCC" را به عنوان توانایی منطقه برای تحمل فشارهای ناشی از اقتصاد، جامعه و اکولوژی در توسعه پایدار منابع آب تحت شرایط تاریخی خاص و سطح توسعه تکنولوژیکی می‌داند. این یک هدف در حال تحول و یکپارچه است.

مرور منابع نظری

جیا^(۴) گوانگویی و همکاران (۲۰۲۳) به منظور ارزیابی ظرفیت برد منابع آب و پایداری آن در منطقه سله یوتیان چین از چارچوب نیروی محرکه- فشار- وضعیت- پاسخ (DPSR) برای ایجاد یک سیستم شاخص ارزیابی برای ظرفیت برد منابع آب (WRCC) استفاده کردند. این مطالعه پتانسیل و مزایای بالای چارچوب نیروی محرکه- فشار- وضعیت- پاسخ (DPSR) در کنار استفاده از مدل‌های TOPSIS و مارکوف برای بررسی ظرفیت برد منابع آب و بررسی تغییرات پویایی در انواع کاربری ارضی را اثبات کرد. در همین رابطه چنگ^(۵) و همکاران (۲۰۲۳) از چارچوب نیروی محرکه- فشار- وضعیت- پاسخ (DPSR) به منظور برآورد ظرفیت برد منابع آب در شهر شیانگ چین با ساختن سیستم شاخص ارزیابی استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این مدل برای درک تاب‌آوری سیستم آب و پایش تغییرات در ظرفیت برد منابع آب و موانع آن و در نهایت توسعه، بهره‌برداری و مدیریت منابع آب مطلوب می‌باشد. در عین حال، ژینگوسان^(۶) و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان ارزیابی پویای ظرفیت برد منابع آب و مدل‌سازی سناریوی پویایی سیستم در استان هبی از چارچوب فشار- وضعیت- پاسخ PSR برای توسعه سیستم شاخص سیستماتیک و سپس ترکیب مدل تشخیص الگوی فازی متغیر VFPR و آنتروپی فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHPE برای ارزیابی ظرفیت برد منابع آب استفاده کردند و از شاخص‌های تراکم جمعیت، مصرف سرانه آب و مصرف آب اکوسیستم بهره بردند. نتایج نشان داد که در صورت اتخاذ مدل توسعه فعلی، ظرفیت برد منابع آب همچنان در سطوح پایین باقی خواهد ماند.

ژانگژان^(۷) و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با عنوان تحلیل اثرات انتقال آب بین حوضه‌ای بر ظرفیت برد منابع در حوضه رودخانه دیانچی پودو مدل چند هدفه ظرفیت برد منابع آب تحت سه طرح تأمین آب مختلف و تحلیل یکپارچه ظرفیت برد منابع آب در طرح‌های مختلف را برای ارزیابی شاخص‌های حداکثر جمعیت

لیانگ^(۱۱) ژنی و همکاران (۲۰۲۰) ضمن بررسی تکامل زمانی و مکانی و عوامل مؤثر بر ظرفیت منابع آب در رودخانه شیانگ از مدل ارزیابی جامع ظرفیت برد اکولوژیکی آب منطقه‌ای برای تحلیل ویژگی‌های تغییر زمانی و مکانی ظرفیت برد منابع آب و شناسایی عناصر مؤثر بر ظرفیت برد منابع آب با استفاده از آشکارساز جغرافیایی استفاده کردند و نتایج نشان داد که از نظر بعد فضایی، منابع آب در حوضه رودخانه شیانگ با توزیع توسعه اجتماعی و اقتصادی و توزیع جمعیت مطابقت ندارد، که تضاد آشکاری بین عرضه و تقاضای منابع آب ارائه می‌دهد و در عین حال از نظر بعد زمانی، فشار بر منابع آب در حوضه رودخانه شیانگ به تدریج افزایش یافته است و آشکارساز جغرافیایی نشان می‌دهد که تأثیرات سیستم منابع آب و عوامل سیستم هماهنگ‌کننده در حال کاهش است و تأثیرات سیستم اقتصاد اجتماعی و عامل اکولوژیکی آشکارا در حال افزایش است. به طور مشابه سیو مو و همکاران (۲۰۲۰) از مدل ارزیابی جامع ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای در بوادینگ چین بهره بردند. آن‌ها نشان دادند که این مدل چند منظوره بوده و قادر به در نظر گرفتن کلیه پارامترها و شاخص‌های تحلیل ظرفیت برد منابع آب در شرایط جغرافیایی و اکولوژیکی مختلف می‌باشد. این مدل ارزیابی جامع از طریق تعدیل و اصلاح سیستم شاخص بر طبق منابع و شرایط مختلف قابل تعمیم به سایر مناطق می‌باشد. در مطالعه‌ای مشابه، وانگ^(۱۲) و همکاران (۲۰۱۰) از مدل ارزیابی جامع فازی برای محاسبه ظرفیت برد منابع آب حوزه رودخانه مانسای بهره بردند. نتایج نشان داد که تکنولوژی ذخیره آب و بهبود بازسازی زیرساخت‌ها باعث بهتر شدن ظرفیت برد منابع آب در ۲۰ سال آینده می‌گردد. آن‌ها همچنین توزیع فضایی و زمانی منابع آب را به عنوان فاکتور محدودکننده توسعه اقتصادی اجتماعی و شرایط محیط اکولوژیکی معرفی کرده‌اند و نتایج آن‌ها نشان داد که مدل ارزیابی جامع ظرفیت برد منابع آب را می‌توان در صورت کالیبراسیون، در مناطق جغرافیایی و اکولوژیکی مختلف به کار برد.

در عین حال وی^(۱۳) و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از سیستم ارزیابی مبتنی بر کمیت آب، کیفیت آب، حوضه آبریز و جریان (WQSF)^(۱۴) برای ارزیابی ظرفیت برد منابع آب به بررسی ارزیابی جامع و شبیه‌سازی سناریوی ظرفیت برد منابع آب در منطقه ژیونگ چین پرداختند. نتایج نشان داد که این سیستم در پوشش دادن کلیه پارامترها و فاکتورهای مؤثر در ظرفیت برد منابع آب نقص دارد و صحت نسبی آن در مقایسه با روش‌های WRCC

قابل تحمل، ارزش افزوده صنعتی و سطح آبیاری کشاورزی مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که به جز طرح سوم که اساساً می‌تواند از توسعه اقتصادی- اجتماعی آینده و افزایش جمعیت حمایت کند، هر دو طرح اول و دوم نمی‌توانند از توسعه اجتماعی- اقتصادی آینده و افزایش جمعیت حوضه رودخانه دیانچی- پودو پشتیبانی کنند. انتقال آب بین حوضه‌های ظرفیت برد منابع آب حوضه رودخانه دیانچی- پودو را تا حد زیادی افزایش می‌دهد در حالی که صرفه جویی کارآمد آب فقط می‌تواند تا میزان محدودی مؤثر باشد. همچنین در مطالعه‌ای مشابه روش‌های بهینه‌سازی سری زمانی و چند هدفه برای تعیین ظرفیت‌های برد محیطی اکولوژیکی مرتبط با آب (EECC) در تحقیق یونگوژو^(۸) و همکاران (۲۰۱۰) در تحلیل تفاوت‌های مکانی زمانی در ظرفیت محیط‌زیستی و اکولوژیکی منابع آب در رودخانه هایهه در چین، برای مناطق مختلف حوضه استفاده گردید و زیرمدل بیلان آب، زیرمدل رابطه شاخص‌های اقتصاد اجتماعی- آب، زیر مدل رابطه محیط‌زیست- آب و زیرمدل پیش‌بینی اجتماعی- اقتصادی محاسبه گردید. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که کل حوضه‌های رودخانه هایهه از طریق بر طرف کردن تدریجی مشکلات محیط‌زیستی، تا حدود سال ۲۰۳۳ به وضعیت پایدار نخواهند رسید. مناطق مختلف محیط‌زیستی زیرحوضه‌ها به دلیل وجود منابع آبی متفاوت، مشکلات محیط‌زیستی و توسعه اجتماعی و اقتصادی، به مدت زمان متفاوتی برای رسیدن به وضعیت پایدار خود نیاز دارند. لین^(۹) و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی مدل ارزیابی ظرفیت برد منابع آب و پارامترهای این مدل با در نظر گرفتن رویکرد فوق رویکرد ترکیبی شبیه‌سازی و روش ارزیابی مبتنی بر شاخص جهت ارزیابی ظرفیت برد منابع آب حوضه آبریز پرداختند. آن‌ها پارامتر و شاخص مربوط به جمعیت را در تحلیل ظرفیت برد منابع آب در سناریوهای مختلف بررسی کردند و از مدل‌سازی و تحلیل هر یک از بخش‌های ظرفیت برد با تاکید بر تحلیل ارتباط جمعیت با نیازهای جمعیت بهره بردند. نتایج حاکی از این بود که در نظر گرفتن شاخص مربوط به جمعیت در روش ترکیبی شبیه‌سازی و ارزیابی مبتنی بر شاخص به افزایش دقت این روش در تحلیل ظرفیت برد منابع آب کمک می‌کند. همچنین در مطالعه‌ای مشابه، لئو و لئو^(۱۰) (۲۰۱۲)، بر مبنای بهینه‌سازی اصولی و تئوری توسعه پایدار، مدلی را برای محاسبه ظرفیت برد منابع آب ارائه کردند و جمعیت را به عنوان شاخص اصلی مدنظر قرار دادند. آن‌ها وضعیت ظرفیت برد منابع آب در شهر ژانگیکو را تجزیه و تحلیل کردند.

عنوان مفهوم دوگانه علوم طبیعی و اجتماعی معرفی کردند. آن‌ها با استفاده از روش رد پای اکولوژیک، ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای را در سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ در استان هانیان محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با توجه به وضعیت کنونی منابع آب در منطقه، امکان توسعه جزیره هانیان در جهت فعالیت‌های گردشگری وجود دارد. روش رد پای اکولوژیک منابع آب با در نظر گرفتن شاخص‌های طبیعی و اجتماعی در برآورد ظرفیت برد منابع آب کاربرد گسترده‌ای دارد. در پژوهشی مشابه هوی^(۲۲) و همکاران (۲۰۲۰) از روش رد پای اکولوژیک پیشرفته برای ارزیابی بهره‌برداری و ظرفیت برد منابع آب استفاده کردند. در این مطالعه شاخص فشار اکولوژیک، مشکلات اکولوژیکی منابع آب و عوامل اجتماعی برای برآورد ظرفیت منابع آب با استفاده از مدل ظرفیت برد منابع آب نسبی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش رد پای اکولوژیک در مقایسه با مدل‌های سنتی در برآورد ظرفیت برد منابع آب مؤثرتر است. به طور مشابه، سانگ^(۲۳) و همکاران (۲۰۱۱) ضمن تعریف مفهوم ظرفیت برد منابع آب، اندازه جمعیت و مقیاس اقتصادی را به عنوان دو شاخص اصلی تعریف کردند. روش مورد استفاده، مدل ظرفیت برد منابع مرتبط همراه با روش رد پای اکولوژیک بود و نتایج نشان داد که بهره‌برداری از منابع آب شهر تیانجین زیاد است و ظرفیت برد منابع آب شهر تیانجین نسبت به میانگین ظرفیت برد منابع آب چین اختلاف زیادی دارد.

ژای^(۲۴) و همکاران (۲۰۰۹)، چهار مدل رایج برای محاسبه ظرفیت برد اکولوژیک منابع آب را ارائه کردند که شامل روش تحلیل تعادل عرضه- تقاضا، روش تجزیه پتانسیل توسعه، روش تجزیه سناریو و روش بهینه‌سازی چند منظوره است. آن‌ها ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای را با ارزیابی شاخص آلودگی منابع آب محاسبه کرده و نتایج نشان داد که مدل بهینه‌سازی چند منظوره نسبت به روش‌های دیگر کاربرد بهتری دارد. به طور مشابه ژانگ^(۲۵) و همکاران (۲۰۱۴) مفهوم ظرفیت برد اکولوژیک منابع آب را مطرح کرده و خاطر نشان ساختند که در ظرفیت برد اکولوژیکی آب بر ظرفیت آلودگی آب تاکید می‌شود. آن‌ها با استفاده از مدل‌های پویایی سیستم و تحلیل سلسله مراتبی ظرفیت برد اکولوژیکی منطقه اسپلینگ استان جیلین چین را با مدنظر قرار دادن آلودگی را در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ محاسبه کردند. نتایج نشان داد که اگر توسعه اجتماعی در منطقه تغییر نکند ظرفیت برد اکولوژیکی آب به ۰/۸۱۱۹ می‌رسد و در غیر این صورت به ۰/۶۶۵۲ خواهد رسید و برنامه پنجم که شامل ذخیره آب، کنترل آلودگی،

AWRCC کمتر است. مرتضی‌زاده^(۱۵) و همکاران (۲۰۲۴) به ارزیابی ظرفیت برد منابع آب برای دستیابی به اکوسیستم پایدار با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان با استفاده از مدل WRCC^(۱۶) و AWRCC^(۱۷) با در نظر گرفتن شاخص‌های رد پای منابع آب، تولید ناخالص داخلی، کمبود آب کشاورزی و سرانه آب کشاورزی پرداختند. نتایج حاکی از مزیت نسبی و برتری این روش نسبت به روش سیستم ارزیابی مبتنی بر کمیت آب، کیفیت آب، حوضه آبریز و جریان به دلیل پوشش دادن عدم قطعیت و پارامترهای شاخص بود.

یاجینگ^(۱۸) و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی ظرفیت برد منابع آب بر اساس مدل سه عنصری در منطقه تیانجین هبی پرداختند. آن‌ها با استفاده از روش ساخت سیستم شاخص و تعیین وزن، نشان دادند که از منظر سکونتگاه‌های انسانی در پکن، اینجین و استان هبی تفاوت‌هایی در ظرفیت حمل منابع آب وجود دارد و روند تغییر ظرفیت برد منابع آب در سه منطقه متفاوت است. به طور مشابه در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی ظرفیت برد منابع آب شهر ژانگی بر مبنای اوزان ترکیبی و مدل‌سازی تاپسیس، یانگ و همکاران از مدل سه عنصری و اوزان ترکیبی برای تحلیل ظرفیت برد منابع آب استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این روش در ارزیابی ظرفیت برد و امنیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل کاربرد می‌باشد. استفاده ترکیبی از این روش‌ها موجب برطرف شدن نقایص مربوط به استفاده از یک روش به تنهایی می‌شود. کاهیرون^(۱۹) و همکاران (۲۰۲۳) ضمن ارزیابی ظرفیت برد حوضه آبخیز وانگو از شاخص‌های سیستم آب مثل سطح کاربری، بارندگی سالانه، ضریب رواناب وزنی، بار رسوب، فراوانی سیلاب بهره بردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این شاخص‌ها در برآورد ظرفیت برد حوضه مهم‌ترین پارامترها محسوب می‌شوند و تحت شرایط عدم قطعیت محیطی می‌توان از آن‌ها به منظور ارزیابی ظرفیت برد منابع آب استفاده کرد. با این حال آنها پیشنهاد کردند که نفوذ سطحی و عمقی، رواناب سطحی و دبی رودخانه را نیز می‌توان در ارزیابی ظرفیت برد منابع آب استفاده کرد. مالونا^(۲۰) و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با عنوان تحلیل ظرفیت برد آب در زیر حوضه پالوبالا اندونزی از شاخص‌های دسترسی به آب، ضریب رواناب وزنی، سطح کاربری و بارندگی سالانه استفاده کردند. این شاخص‌ها در تحلیل ظرفیت برد منابع آب مؤثر واقع شدند.

کایو^(۲۱) و همکاران (۲۰۱۴)، ظرفیت برد اکولوژیکی منابع آب را به

در حال حاضر اصلی‌ترین چالش برای پژوهش‌های ظرفیت برد منابع آب، تدوین شیوه‌ای به منظور ارزیابی کمی این مفهوم می‌باشد که بتوان از آن برای تهیه دستورالعمل‌های قابل اعتماد برای مدیریت منابع آب استفاده کرد.

روش پژوهش

روش تحقیق پژوهش حاضر، توصیفی-تحلیلی و شیوه جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات، اسنادی و مطالعات کتابخانه‌ای برای گردآوری اطلاعات است. در این مطالعه جهت دستیابی به مقالات واجد شرایط پایگاه‌های اطلاعاتی علمی خارجی شامل Web of Science, Scopus Science Direct, PubMed, Google scholar، از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ مورد جستجو قرار گرفتند. کلمات کلیدی مورد استفاده برای جستجوی مقالات «ظرفیت برد»، «منابع آب»، «ظرفیت برد منابع آب»، «تخصیص منابع آب» می‌باشند. در ابتدا چکیده مقالات دانلود شده بررسی شده و در صورت مرتبط بودن مقاله، تمام متن مقاله مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه به بررسی و مقایسه مطالعات پیشین در زمینه روش‌های مختلف برآورد ظرفیت منابع آب پرداخته شد.

یافته‌های تحقیق

سیستم منابع آب یک سیستم پیچیده با عدم قطعیت‌های بسیار زیاد محسوب می‌شود (Yang, 2016). ارزیابی ظرفیت برد منابع آب در کشف تعاملات و برهم‌کنش‌های میان توسعه اجتماعی-اقتصادی و دستیابی به پایداری سیستم منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد. مفهوم ظرفیت برد منابع آب با توسعه مفهوم ظرفیت برد در علم مدیریت منابع آب ایجاد شده است و در برگیرنده عوامل زیادی مانند جمعیت، اقتصاد، منابع، محیط‌زیست و غیره است (Yonghua Zhu, 2010). همچنین توسعه اقتصادی و پیشرفت فناوری با افزایش مصرف آب و تخلیه فاضلاب بر تعادل آب بر ظرفیت برد منابع آب تأثیر می‌گذارد لذا مطالعه رفتار پویای ظرفیت برد منابع آب در شرایط متغیر اقلیم، توسعه اقتصادی و تکنولوژیک اهمیت ویژه‌ای دارد. مفهوم ظرفیت برد منابع آب به عنوان رویکردی در بررسی توازن مصارف و ظرفیت آبی حوضه، پایش و شناسایی آستانه شروع تنش‌ها، تخصیص بهینه منابع آب و توسعه هماهنگ سیستم اقتصادی با محیط‌زیست و منابع آب پایدار مدنظر

بهره‌برداری منابع آب و توسعه اقتصادی است، برنامه مطلوبی می‌باشد. فنگ^(۲۶) و همکاران (۲۰۰۸) ظرفیت برد منابع آب شهر ییوو را با مدل ارزیابی ریسک بررسی کردند. نتایج نشان داد که کمبود آب نه تنها به منبع آب بستگی ندارد بلکه کیفیت و نوع حفاظت در این مسئله مؤثر است. آن‌ها برای بررسی نتایج شرایط منطقه را در ۲۰ سال گذشته با مدل پویایی سیستم شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن توسعه اقتصادی و حفاظت محیط نتیجه بهتری حاصل می‌شود و همچنین با توجه به کمبود منابع آب در منطقه، طرح‌های حفاظت از منابع آب باید در منطقه اجرا شود. در همین راستا آفینگ^(۲۷) و همکاران (۲۰۲۱) مدل ارزیابی ریسک را برای برآورد ظرفیت برد منابع آب در چین به کار بردند. شاخص‌های اصلی مورد استفاده در این مطالعه تغییر اقلیم، توسعه شهری و صنعتی‌سازی بود. نتایج نشان داد که مدل ارزیابی ریسک در غیاب مدل پویایی سیستم نیز می‌تواند در ارزیابی ظرفیت برد منابع آب مؤثر باشد. کانگ^(۲۸) و همکاران (۲۰۱۴) از تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای برآورد ظرفیت برد برای سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ استفاده کردند و نتایج نشان داد که نرخ شهرسازی، نرخ استفاده از آب اکولوژیک، سرانه تولید ناخالص داخلی، نرخ توسعه منابع آب و بهره‌برداری و نرخ تصفیه فاضلاب به عنوان فاکتورهای مؤثر بر ظرفیت برد منابع آب می‌باشد. وو^(۲۹) فان و همکاران (۲۰۲۱) از تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای برآورد ظرفیت برد منابع آب استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش متغیرها در مدیریت منابع آب موجب پیچیدگی مسایل سیستم می‌شود و تحلیل مؤلفه‌های اصلی قادر به کاهش تعداد متغیرهای مربوطه بوده و ابزاری ایده آل برای حل و مدیریت عوامل پیچیده ظرفیت برد منابع آب می‌باشد.

محمدی سدران و همکاران (۲۰۲۱) در ارزیابی ظرفیت برد منابع آب حوضه‌های رودخانه‌ای از رویکرد ترکیبی شبیه‌سازی و روش ارزیابی مبتنی بر شاخص جهت ارزیابی ظرفیت برد منابع آب حوضه آبریز زرينه رود در دوره تاریخی ۱۹۸۷-۲۰۱۵، شبیه‌سازی بخش کشاورزی و منابع آب حوضه با مدل SWAT، استفاده از چارچوب فشار- پشتیبانی- وضعیت برای محاسبه شاخص‌های محاسبه ظرفیت برد استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که براساس استانداردهای ارزیابی، ظرفیت برد منابع آب و وضعیت سلامت محیط‌زیست در هر دوره نسبت به دوره قبل یک سطح پایینتر آمده و در دوره سوم به پایینترین سطح ممکن رسیده است.

می‌توانند با حفظ تعادل بین عرضه و تقاضای آب از آن پشتیبانی کنند.

مطالعه CTM نسبتاً زود شروع شد. پس از آن که شی و کو^(۳۱) (۱۹۹۲) مفهوم ظرفیت برد منابع آب را پیشنهاد کردند، از CTM برای تحلیل و پیش‌بینی عرضه و تقاضای آب و ظرفیت برد منابع آب حوضه رودخانه ارومچی سین کیانگ در سال ۲۰۰۰ استفاده کردند. از آن زمان، CTM در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب مناطق خشک و کارستی توسط چندین محقق استفاده شد (Qu, 2001; Wang&Liang, 2000) که دامنه کاربرد و پیشرفت CTM را گسترش داد.

مزایای CTM شامل سادگی، شهودی بودن و قابلیت اجرا است. نتایج CTM می‌تواند ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای را منعکس کند (Cheng, 2000). با این حال، CTM بیشتر بر روی عوامل فردی ظرفیت برد منابع آب تمرکز دارد. CTM برهم‌کنش بین عوامل مختلف سیستم اجتماعی- اقتصادی را نادیده می‌گیرد. بنابراین، ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای را به طور کامل منعکس نمی‌کند. با این وجود، بسیاری از محققان هنوز موافق هستند که CTM چندین مرجع مفید برای هماهنگی تحقیقات سیستم‌های پیچیده فراهم می‌کند (Wang et al., 2007; Duan et al., 2010).

شبیه‌سازی پویای بازگشتی (DSR) (۳۲)

شبیه‌سازی پویای بازگشتی (DSR) روشی است که برای محاسبه عرضه و تقاضای آب منطقه‌ای در آینده با ترکیب شبیه‌سازی پویا با تحلیل اقتصادی ریاضی استفاده می‌شود و DSR بر اساس تعادل عرضه و تقاضای آب است. متغیرها و ساختار مدل را می‌توان برای سازگاری مدل با وضعیت واقعی پس از مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر واقعی اصلاح کرد (Feng, 2000).

در مقایسه با روش‌های دیگر، DSR بیشتر بر اکتشاف حداکثر ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای برای ایجاد «خط قرمز» برای توسعه و استفاده از منابع آب منطقه‌ای تمرکز می‌کند. DSR نسبت به روش‌های دیگر به معنای فیزیکی ظرفیت برد نزدیک‌تر است که برای تحقیقات ظرفیت برد منابع آب متمرکزتر است. در تحقیقات عملی، DSR اغلب در توسعه و مدیریت منابع آب منطقه‌ای استفاده می‌شود. پس از تجزیه و تحلیل تأمین آب و مقیاس توسعه منطقه‌ای، آستانه ظرفیت برد آب منطقه‌ای توسعه

قرار می‌گیرد. ظرفیت برد منابع آب به عنوان یکی از اجزا مهم ظرفیت برد منابع طبیعی در یک کشور یا فرایند توسعه پایدار منطقه است و یک مفهوم اکولوژیکی اجتماعی است. همچنین به عنوان یک شاخص مهم در تأمین منابع آب در رابطه با توسعه اجتماعی اقتصادی می‌باشد و تأثیر مهمی بر سطح و مقیاس توسعه یک منطقه دارد. از یک سو با توجه به رشد جمعیت و توسعه اجتماعی اقتصادی، تقاضای آب در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی، خانگی و محیط‌زیست افزایش یافته و منجر به بالا رفتن فشار بر منابع آب شده است، و از سوی دیگر از جمله فاکتورهای کلیدی مؤثر در توسعه پایدار یک منطقه آب می‌باشد، و به عنوان منبع ضروری و بنیادی در محیط‌زیست و ساختار بوم‌شناختی مناطق مختلف می‌باشد (Hou, 2014)، برآورد ظرفیت برد منابع آب امری ضروری است تا بتوان تعادلی بین میزان منابع آب در دسترس و میزان مصرف و بهره‌برداری برای مصارف مختلف برقرار نماییم.

روش‌های تحقیق ظرفیت برد منابع آب به طور فزاینده‌ای متنوع می‌شوند. با این حال، اکثر این روش‌ها را می‌توان با توجه به اهدافشان به دو نوع تقسیم کرد. هدف از نوع اول محاسبه جمعیت یا مقیاس اقتصادی است که منابع آب می‌توانند بر اساس عرضه و تقاضای آب پشتیبانی کنند و شامل روش روند متعارف (CTM) و شبیه‌سازی پویای بازگشتی (DSR)، چارچوب نیروی محرکه فشار- وضعیت- پاسخ و TOPSIS می‌باشد. هدف نوع دوم ارزیابی WRCC منطقه‌ای و تأیید توسعه بالقوه منابع آب است و این نوع شامل ارزیابی جامع (CE) و تحلیل مدل چند هدفه (MOMA)، پویایی سیستم (SD)، مدل ظرفیت برد منابع نسبی، مدل جامع ظرفیت برد منابع آب، مدل پویایی سیستم و مدل ارزیابی جامع فازی ویژگی‌های است.

روش روند متعارف (CTM) (۳۰)

روش روند متعارف (CTM) یک روش تحقیق معمولی ظرفیت برد منابع آب و بر اساس تجزیه و تحلیل آماری است. CTM بر تقاضای آب اکولوژیکی منطقه‌ای و تخصیص منطقه‌ای تقاضای منابع آب در بخش‌های اجتماعی- اقتصادی مربوطه تمرکز دارد. رویه‌های CTM عبارتند از انتخاب یک یا چند شاخص مرجع برای تجزیه و تحلیل عرضه و تقاضای آب در آینده و سپس محاسبه جمعیت، مقیاس اقتصادی یا مقیاس شهری که منابع آب منطقه‌ای

مدیریت منابع آب پایدار امکان‌پذیر است. معایب این روش عدم بررسی زیرسیستم‌های مختلف و در نظر گرفتن پارامترهای کمی و کیفی در خروجی مدل است (Rapport & Friend, 1979).

تکنیک اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل ظرفیت برد منابع آب (TOPSIS) (۳۴)

مدل TOPSIS در مقایسه با روش‌های ارزیابی روش قضاوت جامع فازی و روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای ارزیابی ظرفیت برد مناطق کمبود منابع آب مناسب‌تر است. مدل TOPSIS در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ، سی آل و یون معرفی شد. این مدل فاصله اقلیدسی بین راه‌حل بهینه و شی ارزیابی انتخابی، بدترین راه‌حل و شی ارزیابی انتخابی، و نزدیکی نسبی شیء ارزیابی انتخاب شده به راه‌حل بهینه را برای انتخابی با بزرگترین درجه نزدیکی به عنوان ایده‌آل‌ترین راه‌حل، و سپس یک توصیه معقول ارائه می‌دهد. روش TOPSIS دارای روایی و پایایی است و به طور گسترده در مسایل تحلیل تصمیم‌گیری چندهدفه استفاده شده است. فرآیند ارزیابی وزن‌های ترکیبی و مدل‌های TOPSIS شامل سه مازول اصلی است: محاسبه وزن، ارزیابی ظرفیت برد منابع آب، و تشخیص و تجزیه و تحلیل درجه مانع. اولاً، وزن ترکیبی سیستم ارزیابی با جایگزینی وزن ذهنی و وزن عینی در فرمول وزن ترکیبی به دست می‌آید. ثانیاً، داده‌های اندازه‌گیری وزنی در مدل TOPSIS برای محاسبه پیشرفت و به دست آوردن درجه ارزیابی ظرفیت برد منابع آب جایگزین می‌شوند. در نهایت، از روش تشخیص موانع برای ارزیابی مدل استفاده شد و تأثیر هر شاخص ارزیابی بر نتیجه ارزیابی ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای مورد بررسی می‌گیرد (Hwang et al., 1981).

روش تاپسیس ساده و دارای سرعت مناسب است و برای تعداد زیادی گزینه و معیار به خوبی پاسخگو است. در روش تاپسیس به راحتی می‌توان معیارهای کیفی را کمی کرد و تصمیم‌گیری با وجود معیارهای کیفی و کمی میسر است. خروجی سیستم به صورت کمی است و علاوه بر تعیین گزینه برتر، رتبه سایر گزینه‌ها به صورت عددی بیان می‌شود (Hwang et al., 1981).

تحلیل مدل چند هدفه (MOMA) (۳۵)

ایده استفاده از تحلیل مدل چندهدفه برای مطالعه ظرفیت برد منابع آب از تئوری توسعه پایدار مشتق شده است. روابط بین منابع

می‌یابد (Li et al., 2000; Gu et al., 2005; Xu et al., 2011).

با این حال، کیفیت داده‌های مورد استفاده در DSR باید بالا باشد و یک سری زمانی طولانی برای تجزیه و تحلیل ضروری است. اگر کیفیت داده‌ها نتواند نیازهای DSR را برآورده کند، احتمالاً بر روند شبیه‌سازی و نتایج تأثیر منفی می‌گذارد.

چارچوب نیروی محرکه - فشار - وضعیت - پاسخ (DPSR) (۳۳)

مدل DPSR بر اساس مدل PSR است که توسط آماردانان کانادایی دیوید جی راپورت و تونی فرنند در سال ۱۹۷۹ ارائه شد. مدل DPSR مبتنی بر روابط علی است و به طور جامع تعامل و رابطه بین انسان و محیط طبیعی را منعکس می‌کند در مدل DPSR، D (نیروی محرکه) تأثیر عوامل خارجی و پویایی‌های داخلی را بر سیستم منابع آب، از جمله رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تغییرات آب و هوا و سیاست‌های مدیریت منابع آب نشان می‌دهد. نیروی محرکه منعکس‌کننده پویایی و روند توسعه سیستم منابع آب است. P (فشار) نشان‌دهنده فشار و اثراتی است که سیستم منابع آب با آن مواجه است، از جمله تقاضای منابع آب، آلودگی آب و تخریب اکولوژیکی آب. فشار منعکس‌کننده فشارها و چالش‌های متحمل شده توسط سیستم منابع آب است. S (وضعیت) وضعیت فعلی و ویژگی‌های سیستم منابع آب، از جمله در دسترس بودن منابع آب، کیفیت آب، و سلامت اکولوژیکی آب را نشان می‌دهد. وضعیت، حالت و وضعیت واقعی سیستم منابع آب را منعکس می‌کند. R (پاسخ) نشان‌دهنده اقدامات و راهبردهای واکنشی است که در پاسخ به فشارها و چالش‌های پیش روی سیستم منابع آب انجام می‌شود (Rapport & Friend, 1979).

روش DPSR عوامل متعددی را در مدیریت منابع آب در نظر می‌گیرد، از جمله محرک‌های فعالیت‌های انسانی، فشار منابع آب، شرایط منابع آب، و اقدامات دولت و جامعه. این مدل را قادر می‌سازد تا یک تحلیل جامع از مدیریت منابع آب ارائه دهد. علاوه بر این، مدل DPSR یک چارچوب منطقی و واضح ایجاد می‌کند که می‌تواند به محققان و مدیران کمک کند تا عوامل و روابط کلیدی در سیستم‌های منابع آب را درک و تجزیه و تحلیل کنند. از طریق تجزیه و تحلیل مدل، درک بهتر تأثیر سیاست‌ها و مداخلات مدیریتی مختلف بر سیستم‌های منابع آب و ترویج برنامه‌ریزی و

ارزیابی جامع (CE) (۳۶)

ارزیابی جامع (CE) روشی مبتنی بر تأمین آب و تقاضای آب است که برای ارزیابی وضعیت برد منابع آب منطقه‌ای استفاده می‌شود. مراحل CE به شرح زیر است: ابتدا شاخص‌هایی که ممکن است ظرفیت برد منابع آب را تحت تأثیر قرار دهند انتخاب می‌شوند. دوم، وزن هر شاخص تنظیم می‌شود. سوم، سیستم شاخص ارزیابی ظرفیت برد منابع آب ایجاد می‌شود و در نهایت، وضعیت برد منابع آب منطقه‌ای ارزیابی می‌شود.

CE به دلیل جامعیت و کاربرد گسترده آن مورد توجه قرار گرفته است. CE برای ارزیابی ظرفیت برد منابع آب در مقیاس‌های مختلف از طریق ترکیب آن با نظریه توسعه پایدار منطقه‌ای مناسب است (Dong, 2010; Liu et al., 2011; Qu, 2017). بسیاری از محققان همچنین CE را با روش‌های دیگر مانند ارزیابی جامع فازی، مدل بسط ماده-عنصر، و شبکه عصبی BP و مدل همبستگی خاکستری در تحقیقات منطقه‌ای ظرفیت برد منابع آب به منظور تقویت دقت جامع و علمی نتایج ترکیب می‌کنند (Min et al., 2004; Song et al., 2011; Kang & Song, 2014). ایجاد یک سیستم شاخص ارزیابی علمی و جامع ظرفیت برد منابع آب برای CE که مستقیماً با دقت نتایج ارزیابی مرتبط است بسیار مهم است. با این حال، مشابه تحلیل مدل چندهدفه، شاخص‌ها و وزن‌ها در CE نیز توسط محققان تعیین می‌شوند که ممکن است دقت نتایج ارزیابی را تضعیف کند (Yang et al., 2016).

پویایی سیستم (SD) (۳۷)

جی فورستر از موسسه فناوری ماساچوست اولین کسی بود که پویایی سیستم (SD) را در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد کرد (Forster, 1971). پویایی سیستم بر تجزیه و تحلیل تغییرات پویا در سیستم‌های پیچیده، از جمله چهار عنصر اساسی: انباشت، جریان، بازخورد و تأخیر زمانی تمرکز دارد.

انباشت^(۳۸) را می‌توان به عنوان یک جزء یا زیرسیستم سیستم در نظر گرفت. انباشت نشان‌دهنده مقدار مواد، اطلاعات یا سرمایه سیستم در یک دوره خاص است. جریان به ورودی و خروجی تقسیم می‌شود و ممکن است با توجه به انباشت به عنوان ورودی و خروجی توصیف شود. پس از ورود مواد، اطلاعات یا جریان نقدی به انباشت، انباشت آنها را ذخیره و پردازش می‌کند و یا جریان ورودی را از طریق یک «دریچه» بازخورد می‌دهد. تقریباً در هر مرحله از فرآیند ممکن است تأخیر زمانی رخ دهد، به همین دلیل

آب، توسعه سیستم اجتماعی-اقتصادی، محیط‌های اکولوژیکی یا سایر منابع طبیعی باید در نظر گرفته شود زیرا هدف تحقیق ظرفیت برد منابع آب یک سیستم کلان طبیعت و جامعه است. بنابراین، تحقیقات ظرفیت برد منابع آب باید ابعاد چندهدفه سیستم کلان طبیعت و جامعه را به جای بعد منفرد، در نظر بگیرد تا از طریق توزین اشیای مختلف، به یک راه‌حل بهینه دست یابد تا توسعه بین منابع آب، عوامل اجتماعی اقتصادی و محیط منابع هماهنگ کند (Cheng, 2002; Fu et al., 2010). تحلیل مدل چندهدفه بعد جدیدی برای تحقیقات ظرفیت برد منابع آب فراهم می‌کند. مزایای اصلی تحلیل مدل چندهدفه جامع بودن آن است، بنابراین می‌تواند روابط پویا بین منابع آب و سایر عوامل سیستم و منابع اجتماعی و اقتصادی منطقه و سیستم اکولوژیکی را تحلیل کند. علاوه بر این، در مقایسه با روش‌های دیگر که بر ارزیابی ظرفیت برد منابع آب تمرکز می‌کنند، تحلیل مدل چندهدفه بیشتر بر طرح توسعه منابع آب تمرکز می‌کند، زیرا می‌تواند یک مدل چند هدفه برای به‌دست آوردن یک نتیجه رضایت‌بخش از یک پروژه توسعه منابع آب ایجاد کند (Duan et al., 2010).

در سال ۱۹۹۹، وانگ و همکاران اولین بار تحلیل مدل چندهدفه را در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب معرفی کرد. این محققان مجموعه‌ای جامع از طرح‌های برنامه‌ریزی منابع آب را برای شمال چین ارائه کردند. از آن زمان، موسسه تحقیقات مهندسی و محیط‌زیستی مناطق سرد و خشک، آکادمی علوم چین، تحلیل مدل چندهدفه را برای ایجاد یک مدل تجزیه و تحلیل ظرفیت برد منابع آب و محاسبه ظرفیت برد منابع آب در حوضه رودخانه هیبه به منظور ارائه پیشنهاداتی در مورد استفاده از منابع آب و توسعه پایدار منطقه‌ای حوضه رودخانه هیبه اتخاذ کرد (Wang, 1999). در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان تلاش کرده‌اند آن را در تجزیه و تحلیل ظرفیت برد منابع آب در مناطق بزرگ مقیاس، نیمه‌خشک، نیمه مرطوب و مناطق شهری به کار ببرند، که اعتقاد بر این است که دامنه کاربرد تحلیل مدل چندهدفه را گسترش می‌دهند (Wu & Chen, 2009). متأسفانه، شناسایی یک روش کامل برای محاسبه تحلیل مدل چندهدفه دشوار است، اگرچه برای سیستم‌های کلان پیچیده طبیعت و جامعه مناسب است. یک راه‌حل متداول تبدیل سیستم چند هدفه به چندین هدف واحد است، اما مطالعات اغلب در انتخاب اهداف برنامه‌ریزی و وزن شاخص‌ها فاقد بی طرفی هستند، زیرا آنها توسط خود محققین تعیین می‌شوند (Dong et al., 2010; Liu et al., 2007).

متغیرهای کنترلی هستند. سپس متغیرهای عمده مطرح و ارتباط آن‌ها مشخص می‌شود. در این مدل، ساختار داخلی سیستم و روابط علت و معلولی بین متغیرهای سیستم ایجاد شده و نمایش داده می‌شود. همچنین این مدل قابل اعتبارسنجی است و از آزمون‌هایی مثل تحلیل حساسیت، ارزیابی متغیر، ارزیابی ساختار مدل، ارزیابی خطاهای تجمیع استفاده می‌شود (Liu et al., 2011).

با این حال، پویایی سیستم به دلیل ماهیت پویا و زیرسیستم‌های متعدد پیچیده است و به دست آوردن یک نتیجه دقیق از ظرفیت برد منابع آب دشوار است. انتخاب مناسب پارامترها نیز یک مسئله مهم است، زیرا به راحتی تحت تأثیر درک شناختی مدل‌ساز از سیستم قرار می‌گیرد، که می‌تواند منجر به نتیجه‌گیری‌های غیرمنطقی شود (Cheng, 2002; Fu et al., 2010).

مدل ظرفیت برد منابع نسبی^(۳۹)

در این روش از دو شاخص جمعیت و مقیاس اقتصادی استفاده بیشتری می‌شود. برای محاسبه مقیاس اقتصادی و جمعیت از پارامترهای تولید ناخالص داخلی و حجم آب استفاده می‌شود. مدل ظرفیت برد منابع نسبی بیشتر به شاخص‌های جمعیتی و اقتصادی می‌پردازد و مبتنی بر معیارهای اقتصادی است و در این مدل کمتر به پارامترها و شاخص‌های اکولوژیک و عرضه و تقاضای آب پرداخته می‌شود (Song et al., 2011).

مدل جامع ظرفیت برد منابع آب^(۴۰)

مدل جامع ظرفیت برد منابع آب بر فاکتورهای مقیاس اقتصادی اجتماعی و جمعیت تأکید بیشتری دارد. این مدل از دو بخش مدل پیش‌بینی اقتصادی و اجتماعی و مدل محیط اکولوژیک تشکیل شده است که در آن به تجزیه و تحلیل کیفیت محیط اکولوژیک، کیفیت توسعه اقتصادی اجتماعی و تجزیه و تحلیل منابع آب پرداخته می‌شود. خروجی این مدل شامل ظرفیت جمعیت و تولید ناخالص داخلی، کیفیت محیط اکولوژیک و درجه توسعه پایدار می‌باشد. در مدل جامع ظرفیت برد منابع آب به کیفیت محیط اکولوژیک، کیفیت توسعه اقتصادی و اجتماعی پرداخته می‌شود و بیشتر یک مدل کیفی است و برآورد کمی از معیارها و شاخص‌های مختلف ارائه نمی‌دهد. این مدل بیشتر به طور کیفی ظرفیت جمعیت و تولید ناخالص داخلی، کیفیت اکولوژیک و درجه توسعه پایدار را برآورد می‌کند (Yangyong et al., 2010).

است که پویایی سیستم را می‌توان به عنوان یک روش تحقیق پویا در نظر گرفت (Qi, 1987).

پویایی سیستم به تدریج وارد حوزه RECC شد و با موفقیت در محدودیت رشد توسط رومن کلاب به کار رفت. روش پویایی سیستم چهار مرحله را دنبال می‌کنند. اول، کل سیستم به چند بخش یا زیر سیستم تقسیم می‌شود. دوم، علّیت هر بخش یا زیرسیستم تحلیل می‌شود. سوم، علّیت، وضعیت و کنترل وضعیت هر جزء از سیستم توسط نمودار جریان (فلوچارت) سیستم نشان داده شده است و در نهایت، معادلات سیستم برای اجرای یک شبیه‌سازی برای تعیین پروژه بهینه برای ظرفیت برد منابع آب منطقه‌ای باید ایجاد شود.

در مقایسه با CTM، پویایی سیستم می‌تواند روابط بین اجزای مختلف سیستم را پوشش دهد و به دلیل ماهیت سیستماتیک آن برای مقابله با مسایل پیچیده، غیرخطی و تحقیقات روند پویا در بازه‌های زمانی طولانی مناسب است (Dong, 2010). پویایی سیستم به طور گسترده در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب استفاده می‌شود. بسیاری از محققان مدل‌های پویایی سیستم را برای تجزیه و تحلیل ظرفیت برد منابع آب در مناطق خشک، نیمه‌خشک و کلان شهرها ایجاد می‌کنند تا دستورالعمل‌ها و توصیه‌های سیاستی برای مدیریت منابع آب، توسعه پایدار منطقه‌ای و برنامه‌ریزی شهری ارائه کنند (Fang et al., 1999; Wang et al., 1999; Li et al., 2000; Fan et al., 2005; Niu et al., 2009). مدل پویایی سیستم قادر است مسایل متعدد اقتصادی اجتماعی و منابع طبیعی را در خصوص برآورد ظرفیت برد منابع آب ترکیب کند و فرایند تغییرات پویایی را پیش‌بینی کند. همچنین از معادله غیرخطی استفاده می‌کند و تجزیه و تحلیل سریعی را انجام می‌دهد. این مدل برای محاسبه ظرفیت برد منابع آب سیستم منابع آب، اجتماعی، اقتصادی، اکولوژیک اجتماعی، جمعیت، تقاضا و عرضه آب را در نظر می‌گیرد (Liu et al., 2011).

مدل پویایی سیستم، مدلی مفصل‌تر است که پارامترهای کیفی و کمی از جمله منابع آب، منابع اجتماعی، اقتصادی، بوم‌شناختی و محیط‌زیستی، جمعیت، تولید ناخالص داخلی و عرضه و تقاضای آب را در نظر می‌گیرد. برای هر یک از سیستم‌ها نیز زیر سیستم‌هایی در نظر گرفته می‌شود که به عنوان مثال می‌توان به زیرسیستم منابع آب، زیر سیستم زندگی اجتماعی، زیرسیستم صنایع اولیه و ثانویه و غیره اشاره کرد. در هر کدام از زیرسیستم‌ها یک سری متغیرها تعریف می‌شوند که شامل متغیرهای نرخ و

مدل ارزیابی جامع فازی (۴۱)

در این مدل دو مجموعه تعریف می‌گردد که یکی مربوط به فاکتورهای ارزیابی جامع و دیگری مربوط به سطوح طبقه‌بندی است که به هر سطح امتیازی تعلق می‌گیرد. به منظور امتیازدهی فاکتورها می‌توان از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرد. در فرایند تحلیل سلسله مراتبی مسایل پیچیده از طریق تجزیه عناصر به عناصر جزئی‌تر و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی، فاکتورها و زیرفاکتورها سنجیده می‌شود. سپس برای هر فاکتور توابع عضویتی تعریف می‌شود و در نهایت نتایج به صورت نمودارهایی نشان داده و تجزیه و تحلیل می‌شود (Meng et al., 2009).

دلایل استفاده از مدل ارزیابی جامع فازی این است که در بسیاری از مدل‌ها که از نظریات ریاضی استفاده می‌کنند محدوده‌ها و مرزهای مشخص و دقیقی وجود دارد و پدیده‌ها دارای دو حالت هستند یا درست یا غلط و یا یک یا صفر می‌باشند اما منطق فازی در جاهایی که نمی‌توان فرمول ریاضی دقیق برای حل مسایل ارائه کرد کاربرد بیشتری دارد. در واقع مجموعه‌های فازی انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به عدد دارند. و روش فازی ابزاری مناسب برای کنار آمدن با عدم قطعیت و ابهام و مدل‌سازی متغیرهای زبانی هستند. لذا از نظر نویسنده روش پویایی سیستم تا حدودی و مدل ارزیابی جامع فازی تا حد زیادی برای مدل‌سازی ظرفیت منابع آب مطلوب می‌باشد (Meng et al., 2009).

علاوه بر روش‌های ذکر شده در بالا، روش تحلیل پس‌زمینه، الگوریتم سهمیه ساده، روش تحلیل پیگیری طرح‌ریزی، تحلیل ارتباط خاکستری، روش شبکه عصبی مصنوعی و روش ردپای آب نیز از روش‌های تحلیل رایج در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب هستند (Chen, 1995). شایان ذکر است که ادغام روش‌های مختلف به یک روند مهم در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب تبدیل شده است و تنوع و جامعیت روش‌های تحقیق به تدریج تقویت می‌شود (Ma et al., 2012; Liu & Chen, 2007).

نتیجه‌گیری

الگوها و سیاست‌های نامطلوب بهره‌برداری از منابع آب در کنار نوسانات اقلیمی و تغییر اقلیم فشار زیادی را به منابع آب وارد ساخته است. با توجه به این که مفهوم ظرفیت برد منابع آب به دنبال یافتن مطلوب‌ترین توسعه و استفاده از منابع آب در کنار توجه به آستانه‌ها و محدودیت‌های محیط‌زیست است، می‌تواند به منظور

قضاوت در خصوص پایداری سیستم منابع آب و در عین حال برنامه‌ریزی مدیریت پایدار آن استفاده شود. این مطالعه با هدف بررسی ظرفیت برد منابع آب انجام گردید. تلاش به منظور دستیابی به بیشترین بهره‌برداری از منابع اکولوژیک به‌خصوص منابع آب باید با توجه به ظرفیت برد آن در هر منطقه صورت گیرد. اگرچه مفهوم ظرفیت برد منابع آب نسبتاً اخیراً مطرح شده است، تحقیقات ظرفیت برد منابع آب از نظر مفاهیم اساسی، مفهوم، روش‌های محاسبه و کاربردهای تحقیقاتی تجربی به سرعت توسعه یافته است. ظرفیت برد منابع آب به عامل مهمی در توسعه منابع آب منطقه‌ای، توسعه صنعتی و ایجاد سیاست منابع آب تبدیل شده است.

مدل جامع ظرفیت برد منابع آب به دلیل تاکید بر فاکتورهای اقتصادی، اجتماعی و جمعیتی و نیز اکولوژیک، دارای دقت و صحت نسبی بالایی در برآورد ظرفیت برد منابع آب است و در صورت استفاده ترکیبی آن از مدل ارزیابی جامع فازی به دلیل انعطاف‌پذیری بالای مجموعه‌های فازی می‌تواند در افزایش دقت برآورد ظرفیت منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. در عین حال مدل پویایی سیستم به دلیل پوشش دادن مسایل اجتماعی، اقتصادی و منابع طبیعی و فرایند تغییرات در افزایش سرعت تجزیه و تحلیل ظرفیت برد منابع آب مؤثر می‌باشد. این مدل قادر است نقائص مربوط به مدل ارزیابی جامع از جمله تعیین ذهنی شاخص‌ها و وزن‌ها را برطرف کند. در عین حال مدل چند هدفه به عنوان پلی بین روابط بین منابع آب و سایر عوامل سیستم و منابع اجتماعی و اقتصادی منطقه و سیستم اکولوژیک عمل کند و در دستیابی به یک نتیجه رضایت‌بخش از پروژه توسعه منابع آب مؤثرتر است. در نهایت لازم به ذکر است که با توجه به مزایای روش DPSR از جمله در نظر گرفتن فعالیت‌های انسانی، فشار منابع آب، اقدامات دولت و جامعه و سرعت بالای روش تاپسیس و سادگی آن و در نظر گرفتن معیارهای کیفی، این روش‌ها را به صورت ترکیبی برای تحلیل ظرفیت برد منابع آب مورد استفاده قرار داد.

با این حال، خاطر نشان شده است که مشکلات متعددی در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب وجود دارد که باید حل شوند. اگرچه روش‌های تحقیق کنونی ظرفیت برد منابع آب بسیار زیاد است و نتایج تحقیقات فراوان است، روش‌های محاسباتی اساسی از زمان ارائه بیش از ده سال پیش تغییر نکرده است. اکثر محققان به جای ایجاد روش‌های جدید که ممکن است برای شرایط محلی بهینه‌تر باشند، بر روی اعمال این روش‌های موجود در مناطق مختلف

تمرکز می‌کنند.

به‌طور کلی، شیوه‌های ارزیابی جامع که تکامل یافته‌ترین این روش‌ها می‌باشد یک تحول شگفت‌انگیز در مطالعات ظرفیت برد منابع آب ایجاد کرده‌اند. تکامل یافته‌تر بودن این شیوه‌ها نسبت به سایر روش‌های ارزیابی ظرفیت برد منابع آب با توجه به مدنظر قرار دادن عوامل مختلف و بسیار بیشتر از سایر روش‌ها می‌باشد به نحوی که ما معتقدیم که این شیوه‌ها در مقایسه با دیگر شیوه‌های ارزیابی مورد استفاده در تحقیقات پایداری منابع آب از چارچوب جامع‌تری بهره می‌برند. همان‌گونه که پیشتر گفته شد شیوه‌های ارزیابی جامع مورد استفاده در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب به دلیل این که عوامل بیشتری (شامل از عوامل انسانی و طبیعی) را در مقایسه با سایر روش‌ها در نظر می‌گیرند نسبت به سایر روش‌ها تکامل یافته‌تر محسوب می‌شوند؛ ولی به دلیل این که قدیمی هستند در مواردی مانند کاربرد عملی، نحوه محاسبه و غیره نابالغ هستند و نیاز به تفسیر، توسعه و تکامل بیشتری دارند.

پیشنهادات

- تحقیقات در زمینه ظرفیت برد منابع آب وارد یک تنگنا و بن‌بست شده‌اند و ایده‌ها و روش‌های فنی جدید باید ترویج شوند.
- همچنین، با توجه به این که موضوع بررسی ظرفیت برد منابع آب در قالب یک سیستم کلان طبیعت و اقتصاد اجتماعی گنجانده می‌شود، روابط بین اجزای داخلی سیستم پیچیده است. این جنبه در هنگام استفاده از روش‌های تحقیقاتی موجود برای تجزیه و تحلیل کلان سیستم، مسایلی مانند خودسرانه بودن انتخاب معیارهای ارزیابی و سیستم شاخص موجب ایجاد نقص می‌شود که می‌تواند بر صحت نتایج تحقیق به ویژه برای تحلیل مدل چندهدفه و ارزیابی جامع تأثیر بگذارد. لذا این مسئله در تحقیقات آتی باید در نظر گرفته شود.
- علاوه بر بررسی روش‌ها و فن‌آوری‌های تحقیقاتی جدید، بحث در مورد روابط بین منابع آب، سیستم‌های طبیعی و سیستم‌های اقتصادی - اجتماعی یک روند ضروری تحقیقات ظرفیت برد منابع آب برای عملی‌تر کردن نتایج است. شایان ذکر است که عرضه و تقاضای آب تحت تغییرات جهانی و شهرنشینی سریع به دلیل پویایی، تصادفی و عدم قطعیت منابع آب در حال تغییر است که منجر به تغییرات ظرفیت برد منابع آب می‌شود. بنابراین، ترویج شبیه‌سازی پویا در تحقیقات

ظرفیت برد منابع آب برای آشکار کردن تنوع ظرفیت برد منابع آب ضروری است.

- روی هم رفته، مجموعه‌ای از سیستم‌های استاندارد ارزیابی، نظارت و هشدار اولیه ظرفیت برد منابع آب باید در یک منطقه اکولوژیکی یا یک منطقه کم آب ایجاد و اعمال شود تا الزامات مدیریت منابع آب در این دوره جدید برآورده شود.
- در نهایت توصیه می‌شود علاوه بر روش‌های بررسی شده در این مطالعه از الگوریتم سهمیه ساده، روش تحلیل پیگیری طرح‌ریزی، تحلیل ارتباط خاکستری، روش شبکه عصبی مصنوعی و روش ردپای آب در تحقیقات ظرفیت برد منابع آب مورد استفاده قرار گیرد.

یادداشت‌ها

1. Web of Science, Scopus Science Direct, PubMed
2. Google scholar
3. Water resources carrying capacity
4. Jia
5. Cheng
6. Xinguo
7. Xuanxuan
8. Yongyong
9. Lane
10. Liu
11. Liang
12. Wang
13. Wei
14. Water Quantity Quality System and flow
15. MortezaZadeh
16. Water Resources Carrying Capacity
17. Agricultural Water Resources Carrying Capacity
18. Yajing
19. Kahirun
20. Maulana
21. Cao
22. Hui
23. Song
24. Zhai
25. Zhang
26. Feng
27. Aifeng
28. Kang
29. Wu
30. Conventional Trend Method
31. Shi&Qu
32. Dynamic Simulation Recursive

- | | |
|---|--|
| 33. The driving force-pressure-state-response (DPSR) framework | 37. System Dynamics |
| 34. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution | 38. Stock |
| 35. Multi-objective model analysis | 39. Carrying Capacity of Relative Resources Model |
| 36. Comprehensive Evaluation | 40. Integrated Water Resources Carrying Capacity Model |
| | 41. Fuzzy Comprehensive Assessment Model |

منابع

- Chen, C. Y. (1995). Actual quantity of water resources and the suitable area for oasis and farmland in the Hexi Corridor, Gansu Province. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 9(3), 122–128.
- Chen, Y., Bian, D.-H., Li, J.-Q. & Yang, X.-H. (2023). Evaluation of water resource's carrying capacity based on three-element connection number: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. *Thermal Science*, 27, 2019–2027.
- Cheng, G. D. (2002). Evolution of the concept of carrying capacity and the analysis framework of water resources carrying capacity in Northwest of China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 24(4), 361–367.
- Cheng, W., Li, X., Wu, J., You, Y., Zhu, J. & Zeng, X. (2023). Water resources carrying capacity based on the DPSIRM framework: Empirical evidence from Shiyuan City, China. *Water*, 15, 3060.
- Chi, M., Fan, G., Liu, H., Zhang, D. & Zhang, W. (2019). Prediction of water resource carrying capacity by the analytic hierarchy process-fuzzy discrimination method in a mining area. *Ecological Indicators*, 96, 647–655
- Dong, W. & Liu, Z. H. (2010). Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Ebinur Lake Basin. *Arid Land Geography*, 33(2), 217–223.
- Dou, M., Li, G. Q., Ma, J. X. & Zuo, Q. T. (2015). Measurement and assessment of water resources carrying capacity in Henan Province, China. *Water Science and Engineering*, 8(2), 102–113.
- Du, X., Chen, G., Chen, J. & Gu, S. (2020). An analysis of influences of interbasin water transfer on water resources carrying capacity over Dianchi-Pudu River Basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 525, 012040.
- Duan, C. Q., Chen, X. N., Liu, C. M. et al., (2010). Preliminary research on regional water resources carrying capacity conception and method. *Acta Geographica Sinica*, 65(1), 82–90.
- Fan, Y. Y., Guo, H. C., Liu, Y. & et al., (2005). The effects of water resources policies on water resources carrying capacity in Beijing City. *Resources Science*, 27(5), 113–119
- Fang, C. L. & Yu, D. L. (1999). Study on optimal-control experiment of the resource's development and corresponding development between economy and eco-environment in the Qiadam Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 19(6), 767–774.
- Feng, L. & Huang, C. (2008). A risk assessment model of water shortage based on information diffusion technology and its application in analyzing carrying capacity of water resources. *Water Resources Management*, 22, 621–633.
- Feng, S. Y. (2000). Introduction of sustaining water resources utilization and management. Beijing: Science Press.
- Feng, S. Y. & Liu, G. Q. (1997). A holistic framework for sustaining water resources utilization. *Advances in Water Science*, 8(4), 301–307.
- Feng, Z. M., Liu, D. W. (2006). A study on water resources carrying capacity in Jingjinji Region. *Journal of Natural Resources*, 21(5), 689–699.
- Feng, Z. M., Yang, Y. Z., Yan, H. M. et al., (2017). A review of resources and environment carrying capacity research since the 20th Century: From theory to practice. *Resources Science*, 39(3), 379–395.
- Feng, Z. M., Yang, Y. Z. & You, Z. (2014). Research on the water resources restriction on population distribution in China. *Journal of Natural Resources*, 29(10), 1637–1648.
- Fu, Y. J., He, J. S., Zhang, X. D. et al., (2010). Calculation and analysis of water carrying capacity in Liao River basin. *Water Saving Irrigation*, (11), 20–23.
- Gu, H. M., Qiu, L., Zhang, M. A. et al., (2005). Research of water resources optimal configuration of Weinan City. *Yellow River*, 27(12), 55–57.

- Hou, G. Y. & Tang, D. S. (2014). Fuzzy comprehensive evaluation of water resources carrying capacity based on vague method. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 501, 2040–2044). Trans Tech Publications Ltd.
- Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag, New York.
- Jia, G., Jie, F., Li, S., Liang, F., Liu, N. & Ge, Y. (2023). Assessing water resource carrying capacity and sustainability in the Cele–Yutian Oasis (China): A TOPSIS–Markov model analysis. *Water*, 15, 3652.
- Kang, Y. & Song, S. B. (2014). Variable-weight and grey correlation model for water resources carrying capacity comprehensive assessment. *Water Saving Irrigation*, (3), 48–53.
- Li, H., Bu, J., Li, C., Liu, Q., Shu, A., Wang, X., Yi, Y., Zhao, F. & et al., (2020). An improved ecological footprint method for water resources utilization assessment in the cities. *Water*, 12(2), 503.
- Li, K., Jiang, P., Jin, X. & Ma, D. (2019). Evaluation of resource and environmental carrying capacity of China's rapid-urbanization areas: A case study of Xinbei district, Changzhou. *Land*, 8(4), 69
- Li, L. J., Chen, B., Guo, H. C. et al., (2000). Water resource supporting capacity of Chaidamu Basin. *Environmental Science*, (2), 20–23.
- Li, S. W., Jin, K. K., Meng, W. F. et al., (2000). A dynamic management model of water resources system and its application. *Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology*, 17(2), 54–56.
- Li, W., He, G., Jiang, S., Li, H., Ling, M., Qi, T., Wang, H., Yao, Y., Zhu, Y. & et al., (2023). Comprehensive evaluation and scenario simulation of water resources carrying capacity: A case study in Xiong'an New Area, China. *Ecological Indicators*, 150, 110253.
- Liu, H. & Liu, H. (2012). A study on the change trends of regional water resource carrying capacity. In *Green Communications and Networks*. Springer.
- Liu, J. J., Dong, S. C. & Li, Z. H. (2011). Comprehensive evaluation of China's water resources carrying capacity. *Journal of Natural Resources*, 26(2), 258–269.
- Liu, S. F. & Chen, J. H. (2007). Water resources carrying capacity based on the theory of ANN. *Resources Science*, 29(1), 99–105.
- Luo, X., Chen, Q., Liu, R., Mou, Y., Si, H., Wang, G. & Zhou, H. (2017). The analysis of the water resource carrying capacity in the shale and gas exploration area, Southwest China Karst Region: A case study from Cengcong County. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1), 1–12.
- Ma, F., Lin, W. J., Wang, Q. et al., (2012). Evaluation of water resources carrying capacity based on index system with parameter projection pursuit model: A case study in Shijiazhuang. *South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology*, 10(3), 62–66.
- Ma, P., Liu, J., Peng, X., Qi, J., Ye, G. & Jia, S. (2017). Development of an index system for evaluation of ecological carrying capacity of marine ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, 144, 23–30.
- Meng, L., Chen, Y., Li, W. & Zhao, R. (2009). Fuzzy comprehensive evaluation model for water resources carrying capacity in Tarim River Basin, Xinjiang, China. *Chinese Geographical Science*, 19, 89–95
- Min, Q. W., Yu, W. D. & Zhang, J. X. (2004). Fuzzy-based evaluation of water resources carrying capacity and its application. *Research of Soil and Water Conservation*, 11(3), 14–16.
- Mohammadi Sedarani, H., Delavar, M. & Shahbazbegian, M. (2021). Assessment of water resources carrying capacity of the river basins using the simulation approach and index-based evaluation method, Case study: Zarrineh-Roud Basin. *Iran-Water Resources Research*, 17(2), 154–173.
- Mortezazadeh, F., Khoshnavaz, S., Nohani, E., Pourmohammadi, M. & Eslami, H. (2024). Water resources carrying capacity to achieve a sustainable ecosystem using support vector regression. *Water Supply*, 24, 28.
- Mou, S., Deng, S., Gao, Z., Ke, W., Li, S., Sha, J. & Yan, J. (2020). A comprehensive evaluation model of regional water resource carrying capacity: Model development and a case study in Baoding, China. *Water*, 12(9), 2637.
- Niu, Z. Q., Liu, M. Z. & Wang, Y. H. (2009). Dynamic simulation of bearing capacity for water resources in Henan Province and its application. *Water Resources and Power*, 27(1), 48–50.
- Qi, W. H. (1987). A systems dynamics model for resource carrying capacity calculating. *Journal of Natural Resources*, 2(1), 38–48.
- Qu, X. E. (2017). Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Shaanxi Province. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 31(2), 91–97.

- Qu, Y. G. & Fan, S. Y. (2000). Water resources capacity and developing strategies in Heihe River Basin. *Journal of Desert Research*, 20(1), 1–8.
- Ren, C., Guo, P., Li, M. & Li, R. (2016). An innovative method for water resources carrying capacity research—metabolic theory of regional water resources. *Journal of Environmental Management*, 167, 139–146.
- Rijsberman, M. A. & Ven, F. H. (2000). Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(3), 333–345.
- Shi, Y. F. & Qu, Y. G. (1992). The carrying capacity of water resources and its reasonable use of Urumqi River. Beijing: Science Press.
- Song, X.-M., Kong, F.-Z. & Zhan, C.-S. (2011). Assessment of water resources carrying capacity in Tianjin City of China. *Water Resources Management*, 25, 857–873.
- Song, Z. C. & Sun, Y. P. (1981). The maximum population for China can support after modernization: From water resource view. *Population and Economy*, (4), 3–7.
- Sun, B. & Yang, X. (2019). Simulation of water resources carrying capacity in Xiong'an New Area based on system dynamics model. *Water*, 11(5), 1085.
- Sun, X., Hu, S., Lu, L., Peng, A., Shi, Y., Bi, A. & et al., (2023). Dynamic evaluation of water resources carrying capacity and system dynamics scenario modeling in the Hebei Province, China. Preprints.
- Wang, H., Qin, D. Y., Wang, J. H. et al., (2004). Study on carrying capacity of water resources in inland arid zone of Northwest China. *Journal of Natural Resources*, 19(2), 151–159.
- Wang, J. H., Gu, D. F., Jiang, D. et al., (1999). Predication of arid area urban water resources bearing capacity based on SD model. *Geography and Territorial Research*, 15(2), 18–22.
- Wang, Z. G. & Liang, H. (2001). Preliminary study on the index system and theoretical model of the carrying capacity of water resources in Karst regions. *Carsologica Sinica*, 20(2), 144–148.
- Wang, Y. J., Xu, H. L. & Yang, G. (2010). Evaluation of water resources carrying capacity based on fuzzy comprehensive evaluation on river basin in arid zone. *Advanced Materials Research*, 113, 488–494.
- Wang, Z. (2018). Land spatial development based on carrying capacity, land development potential, and efficiency of urban agglomerations in China. *Sustainability*, 10(12), 4701.
- Wang, Z.-J., Gan, H., Liao, S.-H., Wu, X.-F. & Zhao, J.-S. (2007). Water resources carrying capacity in Datong City. *South-To-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 3, 19.
- Wu, F., Liu, H.-L., Shiao, Y.-C. & Zhuang, Z. (2021). Evaluation of water resources carrying capacity using principal component analysis: An empirical study in Huai'an, Jiangsu, China. *Water*, 13(18), 2587.
- Wu, Q. & Chen, W. L. (2009). Application of multi-objective optimization model to research on urban water resources carrying capacity. *Pearl River*, (5), 12–15.
- Xia, J. & Zhu, Y. Z. (2002). The measurement of water resources security: A study and challenge on water resources carrying capacity. *Journal of Natural Resources*, 17(3), 262–269.
- Xu, W. L., Shi, Y. J., Su, X. L. et al., (2011). The optimization of agricultural planting structure and irrigation system based on the efficient use of water resources: A case study of Minqin. *Research of Soil and Water Conservation*, 18(1), 205–209.
- Xu, Y. P. (1993). A study of comprehensive evaluation of the water resource carrying capacity in the arid area. *Journal of Natural Resources*, 8(3), 229–237.
- Yang, J., Khu, S., Lei, K. & Meng, W. (2015). Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model: A case study of Tieling City, China. *Water Resources Management*, 29(3), 885–899.
- Yang, L.-J., Pan, J.-H., Wei, W. & Yang, X.-R. (2020). Spatio-temporal evolution and influencing factors of water resource carrying capacity in Shiyang River Basin: Based on the geographical detector method. *Water Supply*, 20, 57.
- Yang, M., Lu, W., Qu, D., Shen, Y., Yang, S. & Liu, B. (2023). Evaluation of water resources carrying capacity of Zhangye City based on combined weights and TOPSIS modeling. *Water*, 15, 4229.
- Yang, S. & Yang, T. (2021). Exploration of the dynamic water resource carrying capacity of the Keriya River Basin on the southern margin of the Taklimakan Desert, China. *Regional Sustainability*, 2(1), 73–82.
- Yang, X. H., He, J., Li, M., Li, Y. Q., Sun, B. Y., Wei, Y. M., Zhang, J. & et al., (2016). Hierarchy evaluation of water resources vulnerability under climate change in Beijing, China. *Natural Hazards*, 84(1), 63–76.

- Yu, P. (2020). Study on the assessment of water resources carrying capacity in strategic environmental assessment. In *Computer Science for Environmental Engineering and Ecoinformatics*. Springer.
- Zhai, G.-J., Chang, J.-Y., Geng, J.-H., Su, Y.-J. & Zhao, G.-H. (2009). A computation model for regional water resources carrying capacity. *China Rural Water and Hydropower*, 5, 11.
- Zhang, Z., Lu, W., Song, W. & Zhao, Y. (2014). Development tendency analysis and evaluation of the water ecological carrying capacity in the Siping area of Jilin Province in China based on system dynamics and analytic hierarchy

Review and Comparison of Water Resource Carrying Capacity Estimation Methods and Their Advantages and Disadvantages

Elham Ghasemi Ziyarani¹, Romina Sayahnia^{2*}, Shahrukh Mahmoudi³

- 1- PhD Student, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: e_ghasemiziarani@sbu.ac.ir
- 2- Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: r_sayahnia@sbu.ac.ir
- 3- PhD Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of environment, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: shahrokh.mahmoudi@ut.ac.ir

(Received: 2025/01/27

Accepted: 2025/10/25)

Abstract:

This study seeks to develop a framework for evaluating scenarios and forecasting future water resource conditions. This framework simultaneously assesses the impact of various policies on water resources, society, economy, and the environment of the watershed and water resources, thereby establishing a reliable foundation for future research. To identify relevant literature, scientific databases—including Scopus, Web of Science, Science Direct, PubMed, and the Google Scholar search engine—were searched for publications from 2010 to 2024. In this study, water resource carrying capacity (WRCC) research methods were broadly categorized into two types based on their objectives. The objective of Type I methods is to calculate the population or economic scale that water resources can support based on water supply and demand. These methods include the Conventional Trend Method (CTM), Recursive Dynamic Simulation (DSR), the Pressure-State-Response (PSR) framework, and TOPSIS. The objective of Type II methods is to assess regional WRCC and validate the potential for water resource development. This category includes Comprehensive Evaluation (CE), Multi-Objective Model Analysis (MOMA), System Dynamics (SD), the Relative Water Resource Carrying Capacity Model, the Integrated Water Resource Carrying Capacity Model, the System Dynamics Model, and the Fuzzy Comprehensive Evaluation Method. The results indicate that, although various methods exist for estimating WRCC, the majority of the methods used are outdated, and more complex new methods and technologies are lacking. Specifically, the analysis revealed that the indicators, scientific accuracy, and comprehensiveness of the evaluation criteria in current research methods are insufficient and require improvement.

Keywords: Watershed, Estimation Methods, Carrying Capacity, Water Resources