مطالعات محیطی هفت حصار شماره پنجاه و پنجم/ سال پانزدهم/ بهار ۱۴۰۵
صفحات ۶۲-۴۷

ارزیابی سیستمی و جامع خشکسالی کلانشهر تهران در سه دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۵، ۱۴۰۰*

زهرا شیری**، مهتا میرمقتدایی***، آتوسا مدیری****، هستی برقعی‌پور*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۳/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۵/۲۴

چکیده

این پژوهش با رویکردی چندسیستمی به شناسایی عوامل آسیب‌پذیری تهران در برابر خشکسالی پرداخته و نقش مدیریت نهادی را در بازتولید تاب‌آوری شهری از طریق تحلیل ابعاد اجتماعی، اقتصادی، محیط زیستی، کشاورزی، منابع آب و صنعت بررسی می‌کند. پژوهش حاضر با استفاده از نظرات کارشناسان و داده‌های آماری سالهای ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و۱۴۰۰ بر طبق مستندات مرکز آمار ایران، شاخص‌های آسیب‌پذیری تهران را محاسبه کرده است. روش تحقیق شامل نمونه‌گیری مونت کارلو(۵۰ نفر از مدیران و متخصصان) و تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره با استفاده از SPI (شاخص استاندارد شده بارش) و SPEI (شاخص استانداردشده بارش-تبخیرو تعرق) برای سنجش تاب‌آوری خشکسالی با CDVI (شاخص آسیب‌پذیری جامع) است. یافته‌ها حاکی از آن است که خشکسالی در تهران بیشتر تحت تأثیر عوامل انسانی و مدیریتی (مانند برداشت بی‌رویه آب و توسعه ناپایدار) است تا عوامل اقلیمی. سیستم‌های اجتماعی (CDVI=0.72) و اقتصادی (CDVI=0.68) بیشترین آسیب‌پذیری را داشتند، درحالی‌که سیستم محیط زیستی تنها سیستم با همبستگی معنادار با متغیرهای اقلیمی بود. شاخص‌های مدیریتی مانند هماهنگی بین نهادها، تخصیص منابع، و مشارکت عمومی به‌عنوان عوامل کلیدی تاب‌آوری شناسایی شدند. نتایج این پژوهش نشان داد تاب‌آوری تهران در برابر خشکسالی بیش از آنکه متأثر از عوامل اقلیمی باشد، محصول مدیریت ناپایدار منابع و ضعف حکمرانی نهادی است. تشکیل نهاد فرابخشی مدیریت خشکسالی، اصلاح نظام قیمت‌گذاری آب و اجرای برنامه‌های ظرفیت‌سازی محلی، تقویت نهادها، مدیریت یکپارچه منابع آب، و توسعه زیرساختهای مقاوم به‌عنوان راهکارهای کلیدی پیشنهاد می‌شوند. همچنین بایستی برنامه‌های طولانی‌مدت با تمرکز بر کاهش عوامل انسانی آسیب‌پذیری طراحی شوند.

واژگان کلیدی

ارزیابی خشکسالی، شهرتاب آور، نقش نهادی مدیریتی، کلانشهر تهران

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «تبیین نقش نهادی- مدیریتی بازتولید شهر تاب‌آور در برابر خشکسالی(مطالعه موردی: مناطق ۲۲گانه شهر تهران)» به راهنمایی نگارنده دوم(نویسنده مسئول) و نگارنده سوم و مشاوره نگارنده چهارم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز است.

** گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. z.shiri3580@iau.ir
*** استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران(نویسنده مسئول). mirmoghtadaee@bhrc.ac.ir
**** استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. at.modiri@iauctb.ac.ir
***** استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. h.borgheipour@iauctb.ac.ir

مقاله پژوهشی- تجربی
©: IAUH
ISSN: 2322-5602

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

مقدمه

رویدادهای آب‌وهوایی شدید مانند خشکسالی خسارات گسترده‌ای در سراسر جهان ایجاد می‌کنند و همزمان زمینه‌های رشد جدیدی را فراهم می‌نمایند. خشکسالی به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی، تأثیرات عمیقی بر سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی دارد (IPCC, 2021). این پدیده به‌طورخزنده‌ای توسعه یافته و بخش‌های مختلفی از جمله کشاورزی، صنعت و منابع آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، و سیستم‌های مختلفی مانند جامعه، اقتصاد، محیط‌زیست، کشاورزی، انرژی و صنعت و غیره را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. اگرچه پیامدهای خشکسالی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم‌اند، اما اندازه‌گیری دقیق آنها اغلب ممکن نیست(Blauhut, 2020). ایران بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ بیش از ۳.۳ میلیارد دلار خسارت ناشی از خشکسالی متحمل شده است که معادل ۱۵٪ درآمد نفتی کشور است(Shayanmehr et al., 2020). شهرها به‌عنوان کانون‌های اصلی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، به‌طور ویژه در معرض تأثیرات خشکسالی قرار دارند. تاب‌آوری شهری به‌عنوان راهکاری کلیدی برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر این چالش مطرح است(Madani et al., 2016).

کاهش آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی و تنش آبی از طریق افزایش تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری، بخشی از نظام مدیریت و توسعه شهری است که با شناسایی عوامل مؤثر در تقویت تاب‌آوری قابل تحقق است. بررسی نقش نهادهای مدیریتی در تاب‌آوری خشکسالی تهران می‌تواند به طراحی یک الگوی فرادست و همه‌جانبه بینجامد. این مدل با شناسایی خلأهای نهادی، تصمیمات کلان مدیریتی را به سمت اهداف تاب‌آورانه شهر هدایت می‌کند. همچنین این پژوهش با نوآوری در روش‌های ترکیبی وزن‌دهی (یکسان، تصادفی و کارشناسی) و مقایسه سیستماتیک نتایج آنها، بهترین روش را برای محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری انتخاب می‌کند.

این پژوهش با تمرکز بر شهر تهران و با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، به بررسی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری در ابعاد مختلف پرداخته است. در پژوهش حاضر با بررسی آسیب‌های موجود در هر کدام از عوامل مدیریت شهری(اجتماعی، اقتصادی، محیط زیستی، کشاورزی، منابع آب و صنعت)در شهر تهران و نقاط مؤثر هریک از سیستم‌های آسیب‌پذیر با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره، به تبیین نقش نهادی–مدیریتی بازتولید شهر تاب‌آور در برابر آسیب‌های خشکسالی در این شهر پرداخته شده است و به این دو سؤال مهم پاسخ داده است که نقش مولفه‌های نهادی مدیریتی در بازتولید شهر تاب‌آور در برابر خشکسالی در شهر تهران چیست؟ و ابعاد و متغیرهای مؤثر بر ظرفیت نهادی‌مدیریتی بازتولید شهر تاب‌آور در برابر خشکسالی و تنش آبی کدامند؟

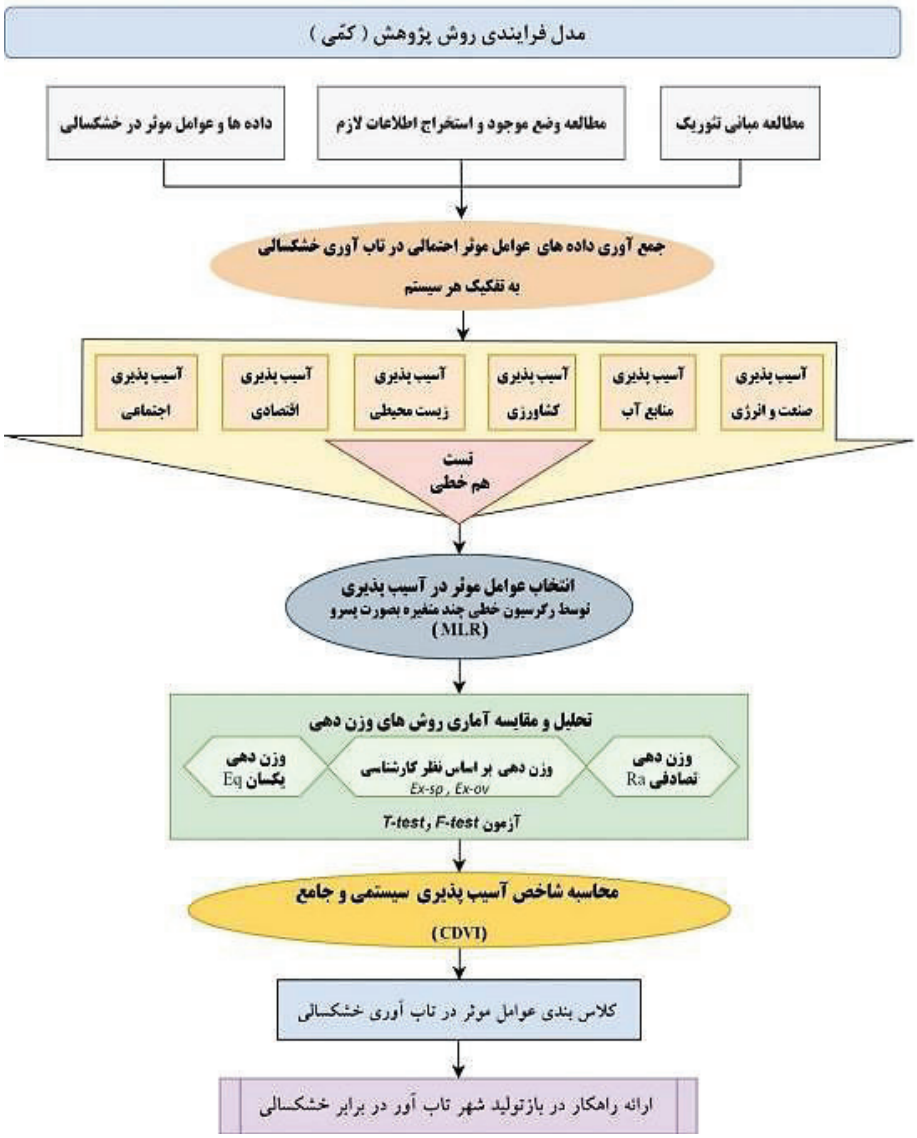
روش تحقیق

این پژوهش کاربردی با رویکرد کمّی و روش تبیینی، برای تحلیل ارتباط بین تاب‌آوری خشکسالی و عوامل مؤثر با رویکرد تحلیلی چندسیستمی و جامع خشکسالی، تاب‌آوری خشکسالی تهران را با روش رگرسیون خطی چند متغیره در سه دوره زمانی(۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰) بررسی می‌کند. این سال‌ها نقاط عطف کلیدی در تحولات شهری، سیاسی– اقتصادی و بحران‌های مؤثر بر تاب‌آوری خشکسالی تهران هستند. سال۱۳۹۰(نقطه آغاز بحران)، مصادف با اواخر برنامه سوم توسعه شهرداری تهران، همراه با تحریم‌های بین المللی و کاهش ظرفیت مالی و فناورانه برای مدیریت خشکسالی بوده و نشانگر شروع فشارهای سیستمی بر تاب‌آوری تهران است. سال ۱۳۹۵(تحول در رویکردهای مدیریتی و اقلیمی)، مصادف با تغییر سیاست‌گذاری‌های شهری در دولت جدید و ایجاد ظرفیت‌های جدید مدیریت بحران و نقطه میانی دهه۱۳۹۰–۱۴۰۰ با تغییر الگوهای بارندگی است. سال ۱۴۰۰(نقطه اوج بحران‌های مرکب در تهران) خشک‌ترین سال آبی ۵۰ سال اخیر بوده و با کاهش ۷ میلیارد مترمکعبی ذخایر سدها مواجه بود. این دوره‌های پنج‌ساله به دلیل فاصله زمانی مناسب، امکان مطالعه تطبیقی و تحلیل روندهای تأثیرگذار، و تحلیل چندبعدی سیستم‌های مختلف که تأثیر مستقیمی بر تاب‌آوری تهران داشته‌اند، را فراهم می‌کنند.

داده‌ها از منابع کتابخانه‌ای(گزارشات سازمانی، مقالات)و میدانی(پرسشنامه) جمع‌آوری شده‌اند تا روند تغییرات و عوامل مؤثر بر تاب‌آوری شهری را تحلیل کنند. این پژوهش با روش مونت‌کارلو و پرسشنامه(نمونه ۵۰ نفره) مدیران شهری، متخصصان مدیریت بحران و صاحبنظران تاب‌آوری شهری را مورد بررسی قرار داده است. این پژوهش با توسعه یک مدل داده‌محور و استفاده از رگرسیون معکوس، عوامل مؤثر آسیب‌پذیری را به‌صورت عینی و قابل تکرار در سیستم‌های مختلف شناسایی کرده است. شاخص کلی آسیب‌پذیری با چهار روش وزن‌دهی یکسان(Eq) [۱]، تصادفی(Ra) [۲]، نظر کارشناسی تخصصی(Ex-sp) [۳]، و غیرتخصصی(Ex-ov) [۴] محاسبه می‌گردد. برای مقایسه آماری روش‌های مختلف محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری، از آزمون‌های T-test [۵] و F-test [۶] استفاده شد. این تحلیل‌ها تفاوت‌های معنادار بین نتایج روش‌های وزن‌دهی مختلف را بررسی می‌کنند. سپس شاخص DVI [۷] برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری هر یک از سیستم‌ها در برابر خشکسالی و در نهایت شاخصCDVI [۸] از میانگین‌گیری شش شاخص آسیب‌پذیری سیستم‌های مختلف(اجتماعی، اقتصادی، کشاورزی، محیط زیستی، منابع

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

آب و صنعت–انرژی) محاسبه شد. با توجه به چهار روش وزن‌دهی مختلف، چهار CDVI مجزا محاسبه شد که امکان مقایسه نتایج روش‌های مختلف وزن‌دهی را فراهم می‌کند. در نهایت عوامل مؤثر در خشکسالی بر اساس قابلیت تغییرپذیری به دو دسته تقسیم شدند: عوامل قابل تغییرسریع (CH)[9] که راهکارهای کوتاه‌مدت محسوب می‌شوند، و عوامل قابل تغییر با محدودیت (CHL)[10] که نیازمند برنامه‌ریزی طولانی مدت و سرمایه‌گذاری هستند. این طبقه‌بندی به ارائه راهکارهای مدیریتی متناسب با هر گروه منجر می‌شود. مراحل روش پژوهش کمّی این تحقیق، در مدل فرایندی(تصویر۱) نشان داده شده است.



تصویر ۱– مدل فرایندی روش کمّی پژوهش

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

اقلیم، براساس تعریف سازمان جهانی هواشناسیWMO [11] ، توصیف آماری متغیرهایی مانند دما، بارندگی و باد در یک دوره ۳۰ ساله است. تغییرات اقلیمی، تغییر در میانگین یا تغییرپذیری این ویژگی‌ها طی چند دهه است که می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی(مانند فوران‌های آتشفشانی) یا فعالیت‌های انسانی(مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای) باشد. خشکسالی نیز به دو شکل مفهومی(دوره‌های کم‌بارش) و کاربردی(زمان شروع و شدت بحران) تعریف می‌شود که سازمان‌هایی مانند WMO آن را کمبود گسترده بارش می‌دانند. نظریه‌پردازانی مانند هاستینگز[12] (۱۹۶۵) خشکسالی را نتیجه اختلال در چرخه هیدرولوژیک می‌دانند، درحالی که مایکل مان در مطالعات خود در سال ۲۰۰۷ بر

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

نقش تغییرات اقلیمی انسان‌ساخت تأکید دارد. مطالعات نست و کاسی در سال ۲۰۱۰ نیز مصرف نادرست آب و کشاورزی ناپایدار را از عوامل تشدید خشکسالی معرفی می‌کنند. این پدیده با پیامدهای اقتصادی- اجتماعی(مهاجرت، فقر) همراه است و مدیریت آن نیازمند راهکارهای سازگاری مانند برنامه‌ریزی پایدار منابع آب است(IPCC, 2021).

تاب‌آوری به معنای بازگشت به حالت اولیه، ابتدا توسط هولینگ(۱۹۷۳) در اکولوژی بعنوان توانایی سیستم‌ها در جذب اختلالات بدون تغییر ساختار تعریف شد(Holling,1973). این مفهوم به مرور به حوزه‌های شهری گسترش یافت و به توانایی شهرها در مقابله با بحران‌ها(مانند خشکسالی)، بازیابی سریع و تطابق با شرایط جدید تبدیل شد(Amaratunga et al., 2011).

تاب‌آوری شهری چهار بُعد اصلی دارد:

۱. اجتماعی(سرمایه اجتماعی،آموزش)،

۲. اقتصادی(توان جبران خسارات)،

۳. کالبدی- محیطی(مقاومت زیرساخت‌ها)،

۴. نهادی-مدیریتی (برنامه‌ریزی و هماهنگی)(Sharifi et al., 2018).

در سال ۲۰۰۵ چارچوب هیوگو[۱۳] بر تقویت نهادها، شناسایی خطرات و آمادگی جوامع تأکید دارد(۱۴۰۴، خراسانی)، و نظریه‌پردازانی مانند فلوریدا[۱۴] تاب‌آوری را با خلاقیت شهری و تنوع اجتماعی مرتبط می‌دانند(Florida, 2005)، درحالی‌که هاروی[۱۵] بر حکمروایی مشارکتی برای مدیریت بحران تمرکز می‌کند(Harvey,1989). رویکردهای جدید مانند سیستم‌های اجتماعی- بوم شناختی فولکه نیز تاب‌آوری را حاصل تعادل بین محیط‌زیست و نهادهای انسانی می‌دانند. بطور کلی، تاب‌آوری فرایندی پویا است که نیازمند یادگیری، انعطاف‌پذیری و عدالت محیطی است(Sakurai et al., 2021).

نهادها به‌عنوان ساختارهای سازمان‌یافته متشکل از قوانین، هنجارها و ارزش‌های اجتماعی تعریف می‌شوند که رفتار افراد و سازمان‌ها را به منظور پاسخ به نیازهای اساسی جامعه شکل می‌دهند. نهادگرایی به دو شاخه اصلی تاریخی (تأثیر مسیرهای تاریخی بر نهادها) و نوین (تمرکز بر نقش نهادها در اقتصاد و سیاست) تقسیم می‌شود. نظریه‌پردازانی مانند وبر[۱۶] (بوروکراسی)، گیدنز[۱۷](ساختارمندسازی) و نورث[۱۸](اقتصاد نهادی) بر تأثیر نهادها و رفتارهای اجتماعی- اقتصادی تأکید دارند. همچنین فوکو[۱۹] قدرت نهادها در نظم‌بندی جامعه و کاستلز[۲۰] نقش آن‌ها در عصر شبکه‌ای را تحلیل کرده‌اند. در ایران، نهادها متشکل از قوانین، سیاست‌ها و مدیریت اداری هستند که کارایی آن‌ها وابسته به هماهنگی بین این مؤلفه‌هاست(رمضانی و میرفردی،۱۳۹۳).

از جمله تحقیقات انجام شده در رابطه با خشکسالی، تاب آوری و مدیریت نهادها؛ پرداختن به ساختارهای نهادی(Segnestam et al., 2002)، تعریف تاب‌آوری نهادی به عنوان ظرفیت جوامع برای کاهش خطر و ایجاد پیوندهای سازمانی در درون جامعه(Norris et al., 2008)، استفاده از مداخلات و سازوکارهای مناسب به‌عنوان ابزاری برای مدیریت نهادی خشکسالی(Wright et al., 2016)، مطالعه خشکسالی در اتیوپی(Kulkarni et al., 2020)، نظارت بر خشکسالی در چین با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی(Shen et al., 2019)، مطالعه خشکسالی برای تمامی مناطق آب و هوایی از سوی جیائو و همکاران(Jiao et al., 2019)، پرداختن به موضوع استفاده گسترده از نقشه‌ها و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS) برای درک بهتر و مدیریت ریسک‌ها در شهرهای مدرن(Cariolet et al., 2019)، تبدیل تاب‌آوری به یک مفهوم اساسی در توسعه، برنامه‌ریزی و مدیریت شهری معاصر(UDPM)و شناسایی چهارچوب سه بعدی مفهوم تاب‌آوری به عقیده شن و همکاران(Chen et al., 2023)، نظریه‌پردازی و عملیاتی کردن مفهوم تاب آوری بعنوان یک چالش(Manyena et al., 2019)، نامشخص و غیرقابل پیش‌بینی تلقی نمودن بلایای طبیعی و اقدامات انسانی تهدیدهای شهری(Ribeiro et al., 2019)، بیان موضوع انتشار CO_2 به عنوان یکی از عوامل ایجاد تغییر اقلیم(Ng et al., 2018)، ارتباط میان مهاجرت اجباری و تغییرات اقلیمی به‌عنوان یک اصل پذیرفته‌شده توسط جامعه علمی(Berchin et al., 2017)، در زمره پژوهش های خارجی هستند.

عمده مطالعات داخلی نیز نشان می‌دهد مدیریت خشکسالی در ایران نیازمند رویکردهای نهادی و تلفیق دانش بومی با فناوری‌های نوین است. سوابق پژوهش‌ها بر سنجش تاب‌آوری شهری و شاخص‌های آسیب‌پذیری تأکید دارند، درحالی‌که تحقیقات اخیرلزوم راهبردهای جامع برای سازگاری با تغییرات اقلیمی را برجسته می‌کنند چالش‌های اصلی شامل عدم هماهنگی بین‌سطحی و کمبود فناوری‌های پایش است، که نیاز به بهینه‌سازی مدیریت منابع و توجه به ظرفیت‌های محلی را ضروری می‌سازد(دوستان،۱۳۹۷).

از جمله عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری خشکسالی تهران در سیستم‌های ششگانه ۱- عوامل اقتصادی عبارتند از وابستگی به منابع آب غیرپایدار (منابع آب زیرزمینی و سدها، تمرکز صنایع آب‌بَر(مانند فولاد و پتروشیمی)، خسارات ناشی از قطع آب بر کسب‌وکارها(بویژه در بخش‌های

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

خدمات و تولید)، هزینه‌های بالای انتقال آب از سرشاخه ها. ۲- عوامل اجتماعی عبارتند از نابرابری در دسترسی به آب(مانند مناطق حاشیه‌نشین جنوب)، مهاجرت‌های ناشی از خشکسالی، کاهش تاب‌آوری خانوارها(توانایی کمتر برای تطابق با کم‌آبی مانند خرید آب بسته‌بندی، تنش‌های اجتماعی(اعتراضات مردمی در قطعی آب و توزیع ناعادلانه آن). ۳- عوامل محیط زیستی عبارتند از فرونشست زمین بدلیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت هوا(افزایش گردوغبار)، تخریب بوم سازگان های آبی(خشک‌شدن تالاب‌های اطراف تهران). ۴- عوامل کشاورزی عبارتند از کاهش تولیدات کشاورزی(حاشیه تهران)، تغییر الگوی کشت(عدم تطابق کشت محصولات آب‌بَر با منابع آبی موجود)، خروج کشاورزان از چرخه تولید. ۵- عوامل منابع آب عبارتند از کاهش ذخایر سدها(مانند لتیان و ماملو)، هدررفت آب در شبکه‌های فرسوده، رقابت بر سر آب و تعارض بین مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی). ۶- عوامل انرژی و صنعت عبارتند از وابستگی نیروگاه‌ها به آب، افزایش مصرف انرژی برای انتقال آب، توقف صنایع آب‌بَر مثل خودروسازی(Masoudi et al., 2014).

این پژوهش به بررسی رابطه بین ظرفیت نهادی- مدیریتی(متغیر مستقل شامل هماهنگی سازمانی، تخصیص منابع و برنامه‌ریزی طولانی‌مدت)، تاب‌آوری شهری(متغیر وابسته در ابعاد کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی) و خشکسالی(متغیر تعدیل‌گر)می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهد ظرفیت نهادی با بهبود هماهنگی و مشارکت ذینفعان، تاب‌آوری را افزایش می‌دهد، درحالی‌که خشکسالی با کاهش منابع آبی این رابطه را تضعیف می‌کند. چارچوب نظری پژوهش بر رویکرد سیستمی(شهر به‌عنوان یک کل پیچیده) و نقش کلیدی نهادها (طبق نظرات نورث و گیدنز) تأکید دارد، و ابعاد چهارگانه تاب‌آوری را با محوریت چارچوب هیوگو تحلیل می‌کند. این مطالعه لزوم مدیریت یکپارچه منابع و برنامه‌ریزی تطبیقی برای عبور از آستانه‌های بحرانی خشکسالی را برجسته می‌سازد. احتمال وقوع خشکسالی بر اساس دو ویژگی فراوانی و شدت آن محاسبه می‌شود که بدین‌منظور از شاخص خشکسالی SPI [۳۱] و SPEI [۳۲] استفاده می‌شود. بطور کلی، می‌توان انتظار داشت که با رشد جمعیت، فرآیندهای مهاجرتی، توسعه شهرنشینی و افزایش آلاینده‌ها، آسیب‌پذیری نیز به‌طور عمده افزایش یابد.

آسیب شناسی، قابلیت منطقه را در بروز آثار ناشی از خطر خشکسالی نمایان می‌سازد. آسیب‌پذیری تابعی از عوامل متعددی است که شناخت ریشه‌های آن پیچیده و دشوار است. به‌طورکلی، می توان انتظار داشت که با رشد جمعیت، فرآیندهای مهاجرتی، توسعه شهرنشینی و افزایش آلاینده‌ها، آسیب‌پذیری نیز به‌طور عمده افزایش یابد. با افزایش هم‌زمان خطرپذیری وآسیب‌پذیری، ریسک خشکسالی نیز در حال افزایش خواهد بود. ریسک خشکسالی ترکیبی از خطرپذیری و آسیب‌پذیری است. اگر خطرپذیری و آسیب‌پذیری هر دو افزایش یابند، ریسک خشکسالی نیز افزایش می‌یابد. در کلانشهر تهران، با توجه به افزایش خطرپذیری و آسیب‌پذیری، ریسک خشکسالی در حال افزایش است. در این پژوهش، شاخص جامع آسیب‌پذیری از طریق میانگین‌گیری در شش سیستم(اجتماعی، اقتصادی، کشاورزی، محیط زیستی، منابع آب و صنعت-انرژی) محاسبه شده است. مطالعه با بررسی ۱۵ سیستم جهانی آسیب‌پذیر آغاز شد، اما با توجه به شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی تهران، ۶ سیستم کلیدی به‌عنوان کانون تحلیل انتخاب گردید. این گزینش مبتنی بر مطالعات معتبر علمی و انطباق با ویژگی‌های منحصر به فرد کلانشهر تهران صورت پذیرفت.

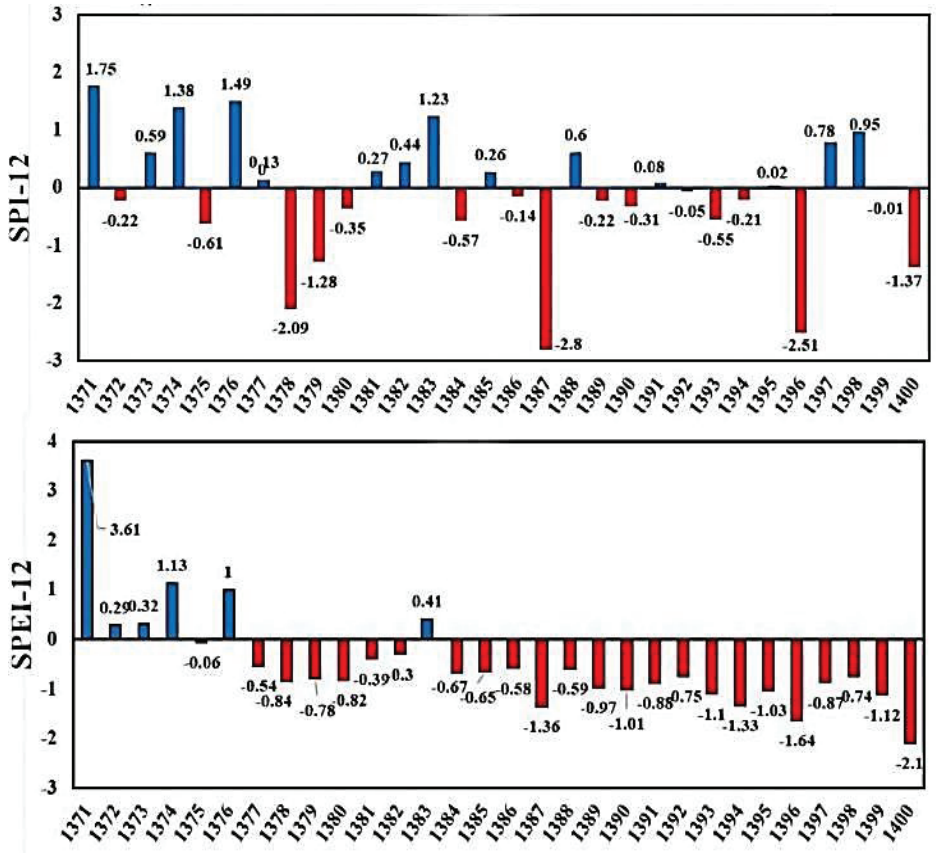
شناخت محدوده مورد مطالعه

تهران در دامنه جنوبی البرز و حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران قرار دارد که با مساحت ۷۳,۰۰۰ هکتار، شیب ملایمی از شمال به جنوب دارد. توسط دو رودخانه اصلی کرج (غرب) و جاجرود (شرق) و چند رود فصلی شمالی- جنوبی مانند دارآباد و درکه آبیاری می‌شود. بین مختصات '۵۱°۱۷ تا '۵۱°۲۳ شرقی و '۳۵°۳۶ تا '۳۵°۴۴ شمالی قرار دارد. ارتفاع تهران از ۱۱۰۰ متر در جنوب تا ۱۷۰۰ متر در شمال متغیر است (صفاری و مقیمی، ۱۳۸۸). در سالهای اخیر دمای متغیری از ۴۲ درجه تا ۲۰- درجه سانتیگراد را تجربه کرده است. برآورد جمعیت آن در سال‌های اخیر حدود ۱۴میلیون نفر و تراکم جمعیت حدودا بین ۱۰۷ تا ۱۱۰ نفر در هر هکتار است(عباسی فلاح و دیگران، ۱۴۰۳). بخش‌های اصلی اقتصاد تهران شامل خدمات(۷۰٪)، صنعت(۲۵٪) و کشاورزی(۵٪) است؛ و با مشکلات زیرساختی جدی در سیستم آب و فاضلاب روبروست(اسکویی، ۱۴۰۲). تهران در سال‌های اخیر با خشکسالی شدید و کاهش منابع آبی مواجه بوده است. میانگین بارش سالانه از ۲۵۰ میلی‌متر در دهه ۷۰ به زیر ۲۰۰ میلی‌متر در دهه ۹۰ کاهش یافته که همراه با افزایش دما و تبخیر، موجب افت شدید ذخایر آبی سطحی و زیرزمینی شده است. خشکسالی باعث کاهش شدید منابع آبی تهران از جمله منابع آب زیرزمینی، قناتها و ذخایر سدها شده است. این بحران منجر به برداشت بی رویه از سفره های زیرزمینی و فرونشست زمین با نرخ بی سابقه ۳۶ سانتیمتر در سال- یکی از بالاترین نرخ‌های جهانی-شده، و بدلیل کاهش منابع آبی و خشکسالی، کشاورزی در حاشیه تهران(به‌ویژه در مناطق جنوبی و غربی) با مشکلات جدی مواجه گردیده است(جوادی و دیگران، ۱۴۰۲). خشکسالی در تهران سلامت جسمی و روانی شهروندان را تهدید می‌کند. از یک سو باعث کاهش کیفیت آب آشامیدنی، افزایش آلودگی هوا و شیوع بیماری‌های تنفسی و پوستی شده و از سوی دیگر تنش ناشی از کم‌آبی و قطعی‌های مکرر، سلامت روان جامعه را تحت تأثیر قرار داده است(صابونچی و دیگران، ۱۴۰۴).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

یافته‌های تحقیق

در تصویر ۲، تغییرات شاخص خشکسالی یک ساله SPI وSPEI در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. در این بازه زمانی، سه واقعه خشکسالی بسیار شدید با شاخص۱۲-SPEI در کشور مشاهده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که از سال۱۳۸۴ به بعد، مقدار شاخص SPEI در سطح ایران همواره منفی بوده و با گذشت زمان، شدت خشکسالی به‌طور عمده افزایش یافته است. به‌طوری‌که شدیدترین واقعه خشکسالی در سال ۱۴۰۰ رخ داده و حدود ۷۵٪ از مساحت ایران تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است. تعداد وقایع خشکسالی بر اساس شاخص SPEI بیشتر از SPI است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تأثیر همزمان افزایش دما و کاهش بارش در ایران باشد، به‌طوری‌که در سال‌های اخیر، تغییرات دما به مراتب بیشتر از کاهش بارش‌ها بوده است.



تصویر ۲- شاخص خشکسالی ۱۲-SPI و ۱۲-SPEI بر روی ایران(۱۳۷۱- ۱۴۰۰)، (مأخذ: NDWMC)

این پژوهش با استفاده از روش رگرسیون خطی چندمتغیره به تحلیل ارتباط بین خشکسالی و عوامل مؤثر در تهران پرداخته است. داده‌های شش سیستم آسیب‌پذیر (اجتماعی، اقتصادی، کشاورزی، محیط زیستی، منابع آب وانرژی- صنعت) جمع‌آوری و پیامدهای خشکسالی در هر سیستم شناسایی شد. با بررسی سری‌های زمانی و محاسبه همبستگی با شاخص‌های SPI و SPEI، پیامدهای واقعی خشکسالی که دارای بیشترین ضریب تعیین (R) بودند، انتخاب گردیدند. داده‌ها استانداردسازی شدند تا امکان ارزیابی دقیق‌تر فراهم شود و در نهایت مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری تهران در برابر خشکسالی شناسایی گردید.

تحلیل داده‌ها در این پژوهش نشان داد شاخص خشکسالی ۱۲ ماهه SPEI با میانگین ضریب تعیین بالاتر از SPI (هرچند کمتر از ۰.۷۱)، مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی آثار خشکسالی در تهران است. این ضریب پایین نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه عوامل غیراقلیمی مانند سیاست‌های دولتی در حوزه اقتصادی، دخالت انسانی در منابع آبی، و آفات در کشاورزی است. برای کنترل خطای مدل‌سازی، از آزمون VIF (عامل تورم واریانس) جهت شناسایی و حذف عوامل دارای هم‌خطی استفاده شد. نتایج تأکید می‌کنند که تحلیل خشکسالی در تهران نیازمند درنظرگرفتن همزمان عوامل اقلیمی و غیراقلیمی است.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

پس از انجام آزمون هم‌خطی، ۷۶ عامل از ۱۵۴عامل جمع‌آوری‌شده از منابع رسمی به‌عنوان ورودی برای مدل رگرسیون خطی چندمتغیره (MLR) انتخاب شده‌اند. در نهایت، با استفاده از روش MLR، ۲۸ عامل مهم مؤثر در آسیب‌پذیری شهر تهران شناسایی گردیدند. در جدول۱، عوامل مؤثر بر تاب آوری خشکسالی بر اساس تقسیم‌بندی ارائه‌شده توسط Ward و همکاران(Ward et al., 2020) در دسته‌هایی که نشان‌دهنده تأثیرات عمده فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای مدیریتی در وقوع خشکسالی هستند، طبقه بندی شده اند. عوامل بایوفیزیک نیز چنانچه شرایط طبیعی آن‌ها حفظ شود، می‌توانند به کاهش آسیب‌پذیری خشکسالی کمک کنند. برخی از این عوامل در سیستم‌های مختلف مشترک هستند و در شرایط حداکثری، عواملی مانند میزان بارش، مساحت فضای سبز شهری، مساحت بیابان، نرخ باسوادی، نسبت تعداد زن و مرد، در پنج گروه آسیب‌پذیر خشکسالی نقش دارند. مدل MLR به‌صورت عینی و آماری عواملی مانند چگالی جمعیت، نسبت جنسیتی، باسوادی، شهرنشینی، اراضی کشاورزی و رشد جمعیت را بعنوان متغیرهای کلیدی مؤثر بر آسیب‌پذیری خشکسالی شناسایی کرده که با یافته‌های مطالعات پیشین همخوانی دارند(Blauhut et al., 2016).

عوامل زیرساختی مانند منابع تأمین آب و ظرفیت سد(توسعه زیرساخت‌ها) و نیز نرخ باسوادی(جلب مشارکت و آماده‌سازی افراد)، از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر شناسایی شده‌اند. عوامل دیگری همچون تعداد مراکز بهداشتی و کادر درمان(سلامت و بهداشت جامعه، آموزش بهداشت و ارائه خدمات به افراد آسیب‌دیده از خشکسالی) در کاهش آسیب‌پذیری سلامت جامعه در برابر خشکسالی محسوب می‌شوند.

نتایج نشان می‌دهد سیستم اقتصادی بیشترین دامنه آسیب پذیری خشکسالی(DVI) و سیستم اجتماعی بالاترین میزان شاخص آسیب را دارد، درحالی‌که سیستم‌های منابع آب و محیط زیستی کمترین آسیب پذیری را نشان می‌دهند. این عوامل موجب تضعیف سازگاری سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی با خشکسالی شده، و باعث تشدید آسیب‌پذیری سیستم‌های اقتصادی و محیط زیستی تهران شده‌اند. محدودیت‌های فناوری در بخش انرژی و صنعت، همراه با توسعه ناپایدار مبتنی بر مصرف آب، منجر به خاموشی‌های صنعتی و افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی شده است؛ که فعالیت‌های انسانی(نه شرایط اقلیمی) عامل اصلی شکنندگی منابع آبی تهران و کاهش توان سازگاری آنها با خشکسالی بوده است.

تحلیل داده‌ها ۲۸ عامل مؤثر در آسیب‌پذیری خشکسالی تهران را شناسایی کرد که ۶ عامل کلیدی شامل بارش سالیانه، فضای سبز شهری، وسعت بیابان، بهبود زیرساخت‌های آبی، نرخ باسوادی و نسبت جنسیتی بیشترین تأثیر را بر سیستم‌های مختلف دارند(جدول۱). همچنین، تعداد ۷، ۱۰و ۶ عامل دیگر نیز به ترتیب در چهار، سه و دو سیستم تأثیرگذار بوده‌اند که نشان‌دهنده پیچیدگی و درهم‌تنیدگی چالش خشکسالی در تهران است.

جدول ۱- سیستم‌ها و عوامل مؤثر در تاب‌آوری خشکسالی شهر تهران

	عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری شهر تهران	سیستم‌های مؤثر در خشکسالی شهر تهران					
		اجتماعی	اقتصادی	کشاورزی	محیط زیستی	منابع آب	انرژی و صنعت
اجتماعی	نرخ باسوادی (آموزش و مشارکت شهروندان)	*	*		*	*	*
	نسبت تعداد زن و مرد (نقش زنان در خانواده)	*	*		*	*	
	چگالی جمعیت	*	*		*		
	نرخ رشد جمعیت				*	*	*
	نرخ بیکاری				*	*	
اقتصادی	بودجه استانی	*		*	*		*
	هزینه خانوار شهری		*	*		*	*
	شاغلین بخش صنعت	*	*				
منابع آب	میزان بارش		*	*	*	*	*
	ظرفیت منبع تامین آب			*			*
	تعداد مشترکین آب شهری	*					
	تعداد و حجم سد		*	*		*	
	ظرفیت تصفیه خانه آب	*		*	*		*

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

	عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری شهر تهران	سیستم‌های مؤثر در خشکسالی شهر تهران					
		اجتماعی	اقتصادی	کشاورزی	محیط زیستی	منابع آب	انرژی و صنعت
زیر ساخت‌ها	درصد پوشش شبکه برق و آب و گاز		*		*	*	*
	نسبت راه آسفالتی	*			*	*	
	بهبود زیرساخت‌های آبی		*	*	*	*	*
کشاورزی	سطح اراضی کشاورزی				*	*	
	درصد پوشش بیمه کشاورزی	*	*				
	مقدار سموم کشاورزی		*	*			
انرژی صنعت	مقدار تولیدات صنعتی				*	*	*
	ظرفیت نیروگاه تولید الکتریسیته			*		*	
بهداشتی درمانی	تعداد مراکز بهداشتی	*		*	*	*	*
	تعداد کادر درمان (پرستار، پزشک، روانشناس)	*	*			*	
عوامل بایوفیزیک	مساحت فضای سبز شهری	*	*		*	*	*
	مساحت بیابان		*	*	*	*	*
	مساحت جنگل‌های طبیعی	*	*		*	*	
	مناسب بودن اراضی برای کشاورزی	*	*	*		*	
	مساحت مناطق حفاظت شده					*	*

در نهایت در طبقه‌بندی عوامل مؤثر در راستای کاهش خشکسالی ۳ عامل در گروه CH کلاس ۱، ۱۰ عامل در گروه CHL کلاس ۲، ۹ عامل در گروه CH کلاس ۳، ۶ عامل در گروه CHL کلاس ۴، دسته‌بندی می‌شوند(جدول۲). گروه CHL شامل بیشترین عوامل تأثیرگذار با قابلیت تغییرپذیری محدود است که وابسته به متغیرهای کلان اقتصادی و سیاسی بوده و نیازمند برنامه‌ریزی طولانی مدت هستند. تغییر این عوامل مانند بودجه استان که متأثر از نرخ ارز، تورم و درآمد نفتی است، مستلزم رویکردی تدریجی و اجتناب از تصمیمات شتابزده هستند.

جدول ۲- کلاس‌بندی عوامل موثر در خشکسالی در راستای کاهش آن

کلاس	عامل مؤثر	نوع تغییرپذیری عامل مؤثر	تعداد سیستم مشارکت‌کننده عامل مؤثر
۱	ظرفیت تصفیه خانه آب	CH	۴
	مساحت فضای سبز شهری	CH	۵
	نرخ باسوادی(آموزش و مشارکت شهروندان)	CH	۵
۲	میزان بارش	CHL	۵
	بهبود زیرساخت‌های آبی	CHL	۵
	نسبت تعداد زن و مرد(نقش زنان در خانواده)	CHL	۵
	چگالی جمعیت	CHL	۴
	ظرفیت منبع تأمین آب	CHL	۲
	تعداد مشترکین آب شهری	CHL	۳
	تعداد مراکز بهداشتی	CHL	۲
	تعداد کادر درمان(پرستار، پزشک، روانشناس)	CHL	۳
	مساحت بیابان	CHL	۴
	مساحت جنگل‌های طبیعی	CHL	۴

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

کلاس	عامل مؤثر	نوع تغییرپذیری عامل مؤثر	تعداد سیستم مشارکت‌کننده عامل مؤثر
۳	بودجه استانی	CH	۴
	شاغلین بخش صنعت	CH	۳
	تعداد و حجم سد	CH	۳
	درصد پوشش شبکه برق و آب و گاز	CH	۴
	نسبت راه آسفالتی	CH	۳
	سطح اراضی کشاورزی	CH	۲
	درصد پوشش بیمه کشاورزی	CH	۲
	مقدار سموم کشاورزی	CH	۳
	مناسب بودن اراضی برای کشاورزی	CH	۴
۴	نرخ رشد جمعیت	CHL	۳
	نرخ بیکاری	CHL	۳
	هزینه خانوار شهری	CHL	۳
	میزان تولیدات صنعتی	CHL	۳
	ظرفیت نیروگاه تولید الکتریسیته	CHL	۲
	مساحت مناطق حفاظت شده	CHL	۲

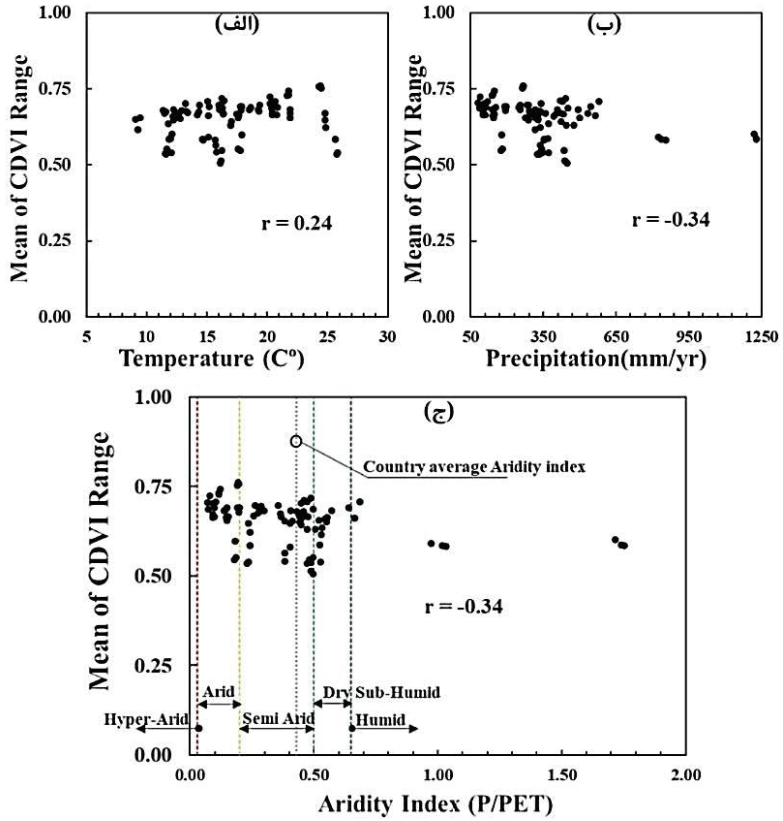
عوامل قابل تغییر سریع CH مانند آموزش شهروندان، امکان کاهش سریع آسیب‌پذیری خشکسالی را فراهم می‌کنند، درحالی‌که عوامل با قابلیت تغییر محدود CHL مانند نوسازی زیرساخت‌های آبی نیازمند برنامه‌ریزی طولانی‌مدت و سرمایه‌گذاری کلان هستند. این سلسله مراتب تغییرپذیری نشان‌دهنده ضرورت طراحی برنامه‌های جامع چندبعدی است که ترکیبی از اقدامات کوتاه‌مدت آموزشی و پروژه‌های زیرساختی طولانی مدت را دربرگیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

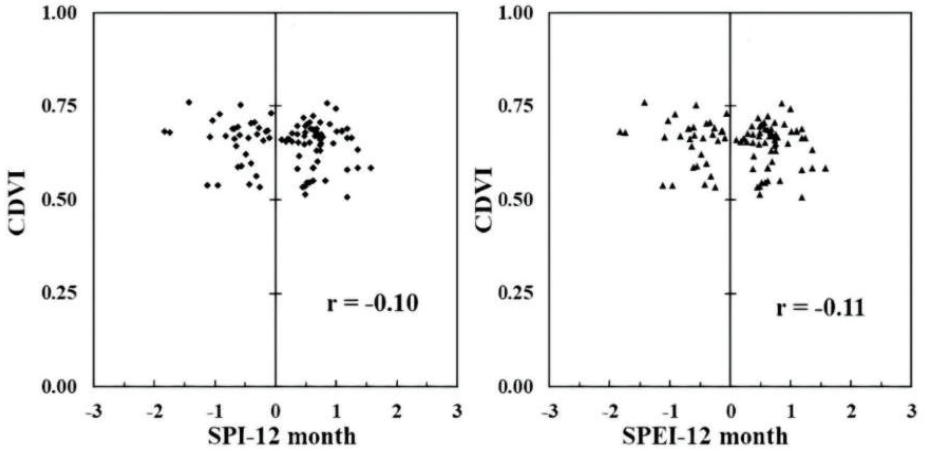
نتایج نشان می‌دهد که اگرچه دما و CDVI دارای یک رابطه مستقیم هستند و با افزایش دما، میانگین CDVI نیز افزایش می‌یابد، اما ضریب تعیین بین آنها بسیار کم است($R^2 = 0.06$). در مورد بارش وCDVI، نوع رابطه معکوس است، ولی ضریب تعیین بین این دو نیز همچنان پایین باقی مانده است($R^2 = 0.12$). به‌عبارت دیگر به‌طورخلاصه اینکه دما و CDVI دارای رابطه مستقیم اما ضعیف($R^2=0.06$)، بارش وCDVI دارای رابطه معکوس اما ضعیف($R^2=0.12$)، شاخص خشکی و CDVI دارای رابطه معکوس با ضریب همبستگی(r=-0.34) و شاخص‌های خشکسالی(SPI و SPEI) رابطه ضعیف با شاخص‌های آسیب‌پذیری ($r < 0.15$) دارند(تصویر۳). این نتایج نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی به‌تنهایی نمی‌توانند آسیب‌پذیری خشکسالی را به‌طور کامل توضیح دهند. این موضوع اهمیت عوامل غیراقلیمی(مانند مدیریت نهادی، اجتماعی و اقتصادی) را در تاب‌آوری شهر تهران نشان می‌دهد.

می‌توان به‌طور عمومی نتیجه گرفت ارتباط ضعیفی بین شرایط اقلیمی و CDVI وجود دارد. تحلیل آسیب‌پذیری شش سیستم نشان داد سیستم‌های اجتماعی و اقتصادی بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر خشکسالی دارند. تنها سیستم محیط زیستی رابطه معناداری با متغیرهای اقلیمی نشان داد(همبستگی متوسط با دما0.56، بارش0.51- و شاخص خشکی0.57-). تفسیر این نتایج نشان‌دهنده نقش مهمتر عوامل انسانی و مدیریتی نسبت به عوامل اقلیمی در آسیب‌پذیری خشکسالی است. برای بررسی معناداری همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و شاخص‌های آسیب خشکسالی، آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن در سطح اطمینان ۹۵ درصد(با $\alpha=0.05$) انجام شد. نتایج نشان داد که در تمامی حالات، مقدار p-value از مقدار α بیشتر بود، به جز در سیستم آسیب‌پذیر محیط زیستی که p-value کمتر از α بود. این امر نشان می‌دهد که بر خلاف سایر سیستم‌ها، در سیستم محیط زیستی احتمال وجود همبستگی معنادار بیشتر است. همچنین برای تکمیل بررسی همبستگی بین آسیب خشکسالی و شرایط اقلیمی، به بررسی همبستگی بین CDVI با دو شاخص SPI وSPEI(۱۲ ماهه) پرداخته شده است. علاوه بر ضریب همبستگی (r)، پراکنش شاخص‌های آسیب خشکسالی در شش سیستم آسیب‌دیده و جامع در مقابل دو شاخص خشکسالی ارائه شده است. در تمامی حالات، مقدار ضریب همبستگی بین شاخص‌های آسیب و شاخص‌های خشکسالی کمتر از ۰/۱۵ بوده است(تصویر۴).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]



تصویر ۳- ارتباط شاخص جامع تاب آوری خشکسالی (CDVI) با تنش‌های اقلیمی در تهران (الف) دما (ب) بارش و (ج) شاخص خشکی



تصویر ۴- ضرایب همبستگی CDVI بین دو شاخص خشکسالی SPI-12 در نمودار الف و SPEI -12 در نمودار ب

نقش مؤلفه‌های نهادی‌مدیریتی در ایجاد شهر تاب‌آور در برابر خشکسالی، به‌ویژه در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، شامل چندین جنبه کلیدی است: جنبه اول موضوع برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری است که از طریق تدوین سیاست‌های مدیریت منابع آبی با رویکرد تاب‌آوری و ایجاد برنامه‌های بلندمدت به‌منظور کاهش اثرات خشکسالی بر جامعه و محیط زیست. جنبه دوم به مدیریت منابع آب تأکید دارد که از طریق بهبود روش‌های ذخیره و توزیع آب، از جمله استفاده از سازه‌های ذخیره‌سازی و سقف‌های سبز و استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های هوشمند آبیاری و پایش کیفیت آب محقق می‌شود. در جنبه سوم موضوع، تأکید بر آموزش و آگاهی‌بخشی است که نیازمند برگزاری دوره‌های آموزشی برای شهروندان درخصوص صرفه‌جویی در مصرف آب و مدیریت منابع طبیعی و اطلاع‌رسانی در مورد تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی‌های مربوط به خشکسالی است. همکاری و مشارکت جنبه چهارمی است که به‌واسطه تشویق مشارکت شهروندان، سازمان‌های

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

غیردولتی و نهادهای محلی در برنامه‌های مدیریت آب و تقویت همکاری میان نهادهای دولتی و خصوصی در زمینه مدیریت منابع آبی و زیرساخت‌ها پدید می‌آید. پنجمین جنبه کلیدی، پاسخگویی و ارزیابی است که بوسیله ایجاد سیستم‌های ارزیابی برای سنجش کارایی برنامه‌های مدیریتی در مواجهه با خشکسالی و ایجاد سازوکارهای پاسخگویی به تغییرات و بحران‌ها، به‌ویژه در شرایط اضطراری به منصه ظهور می‌رسد. جنبه کلیدی ششم استفاده از فناوری است که با استفاده از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات برای بهبود مدیریت منابع آبی و پیش‌بینی خشکسالی بهره‌برداری از داده‌های اقلیمی برای تصمیم‌گیری به موقع و مؤثر امکان‌پذیر می‌گردد. در هفتمین جنبه می‌بایست از طریق توسعه زیرساخت‌های سبز مانند پارک‌ها و فضای سبز برای جذب و حفظ آب باران و طراحی محیط‌های شهری به‌گونه‌ای که قابلیت تحمل و بهبود شرایط خشکسالی را داشته باشند، مورد پیگیری قرار گیرد. با توجه به این مؤلفه‌ها، می‌توان شهر تهران را در برابر خشکسالی تاب‌آورتر کرد و آمادگی آن را برای مقابله با بحران‌های آبی افزایش داد. در نهایت، برای تنظیم و اعمال برنامه‌های مدیریتی شهر تاب‌آور لازم است ارتباطات احتمالی بین سیستم‌های مختلف مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند. ارتباط بین شاخص آسیب در هر یک از سیستم‌های شش‌گانه با سایر سیستم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

از سوی دیگر درخصوص اینکه سازوکار نهادی مدیریتی شهر تهران بر کدام یک از شاخص‌های شهر تاب‌آور مؤثرتر است چند مورد حائز اهمیت است: نخست مدیریت منابع آب است که با توجه به اینکه یکی از عوامل مؤثر در بروز خشکسالی، عدم مدیریت صحیح منابع آب است، سازوکار نهادی مدیریتی می‌تواند با بهینه‌سازی مصرف آب، ایجاد سیستم‌های آبیاری کارآمد و حفظ و احیای منابع آب زیرزمینی، به کاهش آسیب خشکسالی کمک کند. بعد از آن توسعه زیرساخت‌ها قرار دارد که از طریق بهبود زیرساخت‌های مرتبط با آب، بهداشت و درمان، و انرژی به‌عنوان عوامل مهم در کاهش آسیب‌پذیری شناخته می‌شوند. مدیریت مناسب می‌تواند به توسعه زیرساخت‌ها کمک کرده و از آسیب‌های ناشی از خشکسالی بکاهد. سومین مورد آموزش و آگاهی اجتماعی است. نرخ باسوادی و دسترسی به اطلاعات در مواجهه با بحران‌ها اهمیت دارد. سازوکار مدیریتی می‌تواند با برنامه‌های آموزشی و فرهنگ‌سازی، آگاهی عمومی را افزایش داده و توانمندی جامعه را در مواجهه با خشکسالی تقویت کند. چهارمین موضوع مدیریت اقتصادی است. نرخ بیکاری و هزینه‌های خانوار از دیگر عوامل موثر در آسیب‌پذیری هستند. مدیریت درست اقتصادی می‌تواند با ایجاد فرصت‌های شغلی و حمایت از کسب‌وکارها، فشار اقتصادی ناشی از خشکسالی را کاهش دهد. پنجمین موضوع مهم پایداری محیط زیستی است. حفظ محیط‌زیست و مدیریت منابع طبیعی از دیگر ابعاد مهم در تاب‌آوری شهرها هستند. سازوکار مدیریتی می‌تواند با سیاست‌های حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار، از آسیب‌های ناشی از خشکسالی بکاهد. با توجه به موارد فوق، می‌توان نتیجه گرفت که سازوکار نهادی مدیریتی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به‌ویژه بر روی شاخص‌های مرتبط با مدیریت منابع آب، توسعه زیرساخت‌ها و آگاهی اجتماعی تأثیر بیشتری خواهد داشت. این عوامل می‌توانند به‌طور مستقیم در کاهش آسیب‌های ناشی از خشکسالی و افزایش تاب‌آوری شهر تهران مؤثر باشند.

یکی از چالش‌های این پژوهش، محدودیت دسترسی به برخی داده‌ها بود. بدین‌صورت که ممکن است برخی داده‌ها در مقیاس‌های کوچک‌تر (مثلاً منطقه‌ای یا محله‌ای) در دسترس نباشند که این موضوع می‌تواند تحلیل‌های دقیق‌تر را محدود نماید. و یا اینکه بعضا داده‌های به‌روزی نباشند یا با تأخیر منتشر شوند که می‌تواند بر تحلیل‌ها تأثیر سوء بگذارد. در کل، این داده‌ها برای تحلیل جامع خشکسالی در تهران مناسب بوده، اما برای تحلیل‌های دقیق‌تر ممکن است نیاز به داده‌های بیشتری باشد. همچنین این پژوهش، در برخی موارد با دشواری هایی برای تفکیک دقیق تأثیرات خشکسالی ازسایرعوامل محیطی و انسانی همراه بود. بر این اساس در ادامه به بررسی پیشنهادات مبسوط و راهکارها برای تحقیقات آتی در زمینه ریسک، آسیب‌پذیری و خطرپذیری خشکسالی پرداخته می‌شود: بررسی تأثیر وقایع خشکسالی بر آسیب‌پذیری(تحقیقاتی که به تحلیل تأثیر وقوع خشکسالی‌های طولانی‌مدت برآسیب‌پذیری سیستم‌های مختلف می‌پردازند، می‌توانند به درک بهتر این پدیده کمک کنند. به‌عنوان مثال، بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری در سطوح مختلف شدت خشکسالی و تحلیل حساسیت پیامدها به این سطوح، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان به ارمغان آورد. این اطلاعات می‌تواند به توسعه راهکارهای پیشگیرانه و بهبود مدیریت منابع آب کمک کند.)، استفاده از داده‌های سنجش از دور(استفاده از داده‌های سنجش از دور مانند داده‌های ERA [۲۳] و Gleam [۲۴] می‌تواند به تحلیل‌های دقیق‌تری از وضعیت خشکسالی و تأثیرات آن بر منابع طبیعی کمک کند. این داده‌ها می‌توانند به شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و تهدیدات احتمالی در سطح محلی و منطقه‌ای کمک کرده و به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای سیاست‌گذاران مورد استفاده قرار گیرند.)، مطالعه خطرپذیری بر اساس نوع خشکسالی(تحقیقات آینده باید به بررسی تأثیر انواع مختلف خشکسالی–هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی–بر سیستم‌های آسیب‌پذیر بپردازند. این رویکرد می‌تواند به تحلیل دقیق‌تری از خطرپذیری منجر شده و به طراحی برنامه‌های مدیریت ریسک بر اساس نوع خشکسالی کمک کند.)، ارزیابی ریسک

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

خشکسالی به‌صورت سیستمی(تحقیق در مورد ارزیابی ریسک خشکسالی به‌صورت جامع و سیستمی این امکان را فراهم می‌کند که نقش عوامل خطرپذیری وآسیب‌پذیری در تعیین ریسک کلی خشکسالی مورد بررسی قرارگیرد. این ارزیابی می‌تواند به شناسایی و اولویت‌بندی اقداماتی که باید برای کاهش ریسک انجام شوند، کمک کند)، توسعه سناریوهای محتمل(طراحی سناریوهای مختلف برای تغییرات شاخص آسیب‌پذیری به درک بهتر از تأثیرات برنامه‌های توسعه بر روی آسیب‌پذیری منجر خواهد شد. این سناریوها می‌توانند به‌عنوان ابزارهایی برای پیش‌بینی و برنامه‌ریزی در مواجهه با شرایط خشکسالی استفاده شوند.)، استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره(استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به شناسایی بهترین سناریوها و تغییرات ممکن برای کاهش آسیب‌پذیری کمک کند. این رویکرد به مدیران این امکان را می‌دهد که بر اساس معیارهای مختلف، تصمیمات بهتری اتخاذ کنند.)، ایجاد بانک داده از پیامدهای خشکسالی(طراحی یک بانک داده منظم و کارآمد برای ثبت پیامدهای خشکسالی می‌تواند به مطالعات ریسک و آسیب‌پذیری کمک کند. این بانک داده باید شامل اطلاعات مرتبط با زمان وقوع، مدت زمان و سیستم‌های آسیب‌پذیر باشد تا بتواند به‌عنوان یک منبع معتبر برای تحقیقات آتی مورد استفاده قرارگیرد.)، توسعه بازسازی عوامل مؤثر(استفاده از روش‌های بازسازی داده برای تولید سری‌های زمانی طولانی‌تر از عوامل مؤثر می‌تواند به بررسی سناریوهای تغییرات احتمالی آسیب‌پذیری کمک کند. این داده‌ها می‌توانند به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای مدیریت منابع آب و کشاورزی استفاده شوند.)، تحلیل حسّاسیت برای تعیین عوامل مؤثر(استفاده از روش‌های تحلیل حساسیت و آنتروپی می‌تواند کمک کند تا حساسیت پیامدها به عوامل مؤثر شناسایی شود. این اطلاعات می‌تواند به مدیران کمک کند تا بر روی عوامل کلیدی تمرکز کنند و استراتژی‌های مؤثرتری برای کاهش آسیب‌پذیری طراحی نمایند.)، استفاده از داده‌های جهانی سنجش از دور(تحقیق درمورد کارکرد مجموعه داده‌های جهانی مبتنی بر سنجش ازدور در ارزیابی‌خشکسالی و خطرپذیری آن می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای غلبه بر محدودیت‌های موجود در استفاده از داده‌های ایستگاهی بهره‌برداری شود. این داده‌ها می‌توانند به افزایش دقّت تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کمک کنند.)

بطور کلی برای افزایش تاب‌آوری کلانشهر تهران در برابر خشکسالی و تنش آبی، راهکارهای ذیل پیشنهاد می‌گردد. استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور برای پایش منابع آب و جلوگیری از برداشت بی‌رویه، راهکار مناسبی به نظر می‌آید. برای رسیدن به این مهم ایجاد یک نهاد فرابخشی برای هماهنگی بین وزارت نیرو، شهرداری تهران و سازمان محیط‌زیست لازم‌الاجراست. درخصوص بهبود زیرساخت‌های آبی نیز نوسازی شبکه‌های لوله‌کشی و استفاده از فناوری‌های نوین برای شناسایی نشتی‌ها راهکار اجرایی حل این مسئله است. طراحی کمپین‌های آگاهی‌بخش و کارگاه‌های آموزشی برای شهروندان نیز یک راهکارعملیاتی است. همچنین به‌منظور مواجهه با پدیده جهانی تغییر اقلیم، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی برای برنامه‌ریزی بلندمدت امری ضروری و مهم است. برای انجام بهینه اقداماتی که در مواجهه با بحران‌های آبی (مانند خشکسالی) انجام می‌شود، تدوین برنامه‌ی جامع مدیریت بحران با مشارکت تمام ذینفعان باید بیش از پیش مورد توجه مسئولین و مدیران شهری قرار گیرد. در کلانشهر تهران، نابرابری اقتصادی و اجتماعی باعث شده است که برخی مناطق(مانند مناطق حاشیه‌نشین) بیشتر در معرض خشکسالی قرار گیرند؛ راهکار عملیاتی، اجرای برنامه‌های حمایتی برای اقشار کم‌درآمد و بهبود دسترسی به آب شرب است. در شهر تهران، توسعه ناپایدار(مانند ساخت‌وسازهای بی‌رویه) باعث کاهش منابع آب شده است. برای مثال، ساخت‌وساز در حریم رودخانه‌ها باعث کاهش جریان آب شده است. در این راستا تدوین برنامه توسعه پایدار با توجه به ظرفیت منابع آب، و آرایش فضایی و نحوه توسعه شهری بسیار حائز اهمیت است.

برای ارائه راهکارهای عملی‌تر، می‌توان از تجربیات موفق شهرهای دیگر مانند بارسلون در کشور اسپانیا، کیپ‌تاون در آفریقای جنوبی، سنگاپور و ملبورن استرالیا نیز استفاده کرد:

۱. بارسلون در اسپانیا یکی از شهرهای پیشرو در مدیریت خشکسالی و تنش آبی؛ با استفاده از راهکار مدیریتی سیستم‌های نمک‌زدایی، موفق شده است وابستگی خود به منابع آب سطحی را کاهش دهد. بارسلون یکی از بزرگ‌ترین کارخانه‌های نمک‌زدایی اروپا را دارد که قادر است روزانه ۲۰۰ میلیون لیتر آب آشامیدنی تولید کند. این سیستم به شهر کمک کرده است تا در دوره‌های خشکسالی شدید، آب مورد نیاز خود را تأمین کند. همچنین بارسلون از سیستم‌های پیشرفته بازیافت آب برای استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری فضای سبز و صنایع استفاده می‌کند. این اقدام باعث کاهش فشار بر منابع آب شیرین شده است. همچنین شهرداری بارسلون کمپین‌های آگاهی بخش گسترده‌ای برای آموزش شهروندان درباره‌ی اهمیت صرفه‌جویی در مصرف آب اجرا کرده است. این کمپین‌ها شامل تبلیغات تلویزیونی، کارگاه‌های آموزشی و برنامه‌های مدرسه‌ای بوده‌اند(آلن، ۱۳۹۴)

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

۲. کیپ‌تاون در آفریقای جنوبی در سال‌های اخیر با یکی از شدیدترین خشکسالی‌های تاریخ خود مواجه شد. این شهر بـا اجـرای برنامـه «روز صفر» (Day Zero) موفق شد از بحران آب عبور کند. از جمله راهکارهای کلیدی مدیریت کم آبی این شهر اعمـال محـدودیت‌هـای شـدید مصرف آب بود. بطوریکه هر شهروند مجاز بود تنها ۵۰ لیتر آب در روز مصرف کند. این محدودیت‌ها شامل کاهش فشار آب، ممنوعیت آبیاری فضای سبز و استفاده از آب غیرضروری بود. همچنین شهرداری کیپ‌تاون قیمت آب را بطور قابل توجهی افـزایش داد تـا مصـرف را کـاهش دهد. این اقدام باعث شد شهروندان بطور جدی‌تری به صرفه‌جویی در مصرف آب توجه کنند. این شهر با بهره‌گیری از فنـاوری‌هـای نـوین، از سیستم‌های هوشمند برای پایش مصرف آب و شناسایی نشتی‌ها استفاده کرد. این سیستم‌ها به شهر کمک کردند تا مصرف آب را بطور دقیـق کنترل کنند(Millington & Scheba, 2021).

۳. سنگاپور نیز با استفاده از راهکارهای یکپارچه(سیستم‌های جمع‌آوری آب باران، بازیافت آب با فناوری پیشرفته، مدیریت یکپارچه منـابع آب)، موفق شده است به خودکفایی در تأمین آب دست یابد. این شهر از یک شبکه گسترده جمع‌آوری آب باران استفاده می‌کند که آب را به مخازن زیرزمینی هدایت می‌کند. این سیستم به شهر کمک کرده است تا از آب باران به‌عنوان یک منبع پایدار استفاده کند. سـنگاپور از فنـاوری‌هـای پیشرفته‌ی بازیافت آب (NEWater) استفاده می‌کند که فاضلاب را به آب آشامیدنی تبدیل می‌کند. این آب بازیافتی برای مصارف صـنعتی و آشامیدنی استفاده می‌شود. این شهر از یک نهاد واحد(PUB) برای مدیریت تمام جنبه‌هـای منـابع آب اسـتفاده مـی‌کنـد. ایـن نهـاد مسـئول جمع‌آوری، تصفیه و توزیع آب است(Tortajada, Joshi, & Biswas, 2013).

۴. ملبورن در استرالیا پس از مواجهه با خشکسالی شدید در دهه‌های اخیر، اقدامات گسترده‌ای برای بهبود تاب‌آوری خـود در برابـر خشکسـالی انجام داد. از جمله راهکارهای کلیدی مدیریتی این شهر ذخیره‌سازی آب بصورت گسترده بود. شهرداری مخازن بزرگ‌تری برای ذخیـره‌سـازی آب ساخت تا در دوره های خشکسالی از آن استفاده کند. این مخازن به شـهر کمـک کردنـد تـا از بحـران آب عبـور کنـد. همچنـین ملبـورن برنامه‌هایی برای کاهش مصرف آب از طریق آموزش شهروندان و ارائه مشوق‌های مالی اجـرا کـرد. ایـن برنامـه‌هـا شـامل نصـب شـیرآلات کم‌مصرف و سردوش‌های بهینه‌سازی‌شده بود. در ادامه ملبورن برنامه‌هایی برای حفاظت از منابع آب طبیعی خود، مانند رودخانه‌ها و تالاب‌هـا، اجرا کرد. این اقدامات شامل کاهش آلودگی و جلوگیری از برداشت بی‌رویه بود(فراهانی و دیگران، ۱۳۸۸).

بطور خلاصه می‌توان گفت با بررسی تجربیات موفق شهرهای دیگر، مـی‌تـوانیم درس‌هـای مهمـی بـرای بهبـود تـاب‌آوری تهـران در برابـر خشکسالی بیاموزیم. این درس‌ها شامل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین مانند نمک‌زدایی و بازیافت آب، اجرای برنامه‌های کـاهش مصـرف آب از طریق آموزش شهروندان و اعمال محدودیت‌ها، مدیریت یکپارچه منابع آب با ایجاد نهادهای فرابخشی و هماهنگ، حفاظت از منابع آب طبیعی و جلوگیری از برداشت بی‌رویه می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

۱. Equation (وزن هر عامل مؤثر به تعداد عوامل شرکت‌کننده در هر سیستم وابسته است)

۲. Relative abundance (وزن هرعامل مؤثر به‌صورت تصادفی و با استفاده از روش مونت‌کارلو تعیین می‌شود)

۳. Expert-Specific (صرفاً نظرات کارشناسان در حوزه تخصصی خود)

۴. Expert-Overall (نظرات کارشناسان در تمامی سیستم‌ها)

۵. T-test (مقایسه میانگین‌ها)، این آزمون بررسی می‌کند که آیا تفاوت بین میانگین دو گروه معنادار است یا خیر.

۶. F-test (مقایسه واریانس‌ها)، ین آزمون معمولاً در تحلیل واریانس و رگرسیون به کار می‌رود.

۷. DVI (Drought Vulnerability Index) شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی است که برای ارزیابی میـزان آسـیب‌پـذیری یـک منطقـه یـا سیستم در برابر خشکسالی استفاده می‌شود.

۸. CDVI (Composite Drought Vulnerability Index) شـاخص جـامع آسـیب‌پـذیری خشکسـالی، کـه از ترکیـب چنـدین شـاخص آسیب‌پذیری برای ارزیابی جامع‌تر استفاده می‌شود.

۹. CH (Changeable Factors) به معنی عوامل قابل تغییر سریع است و به عواملی اشاره دارد که به راحتی و در کوتاه‌مدت می‌تواننـد تغییـر کنند و معمولاً نیازمند سرمایه‌گذاری کم یا متوسط هستند و تأثیر سریعی دارند. مثال: آموزش شهروندان درباره‌ی صرفه‌جـویی در مصـرف آب، نصب شیرآلات کم‌مصرف در منازل.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

۱۰. CHL (Changeable with Limitations Factors) به معنی عوامل قابل تغییر با محدودیت است و به عواملی اشاره دارد که تغییر در آنها نیازمند زمان، برنامه‌ریزی بلندمدت و سرمایه‌گذاری قابل توجه است. این عوامل معمولاً پیچیده‌تر هستند و ممکن است به هماهنگی بین نهادهای مختلف نیاز داشته باشند. مثال: بهبود زیرساخت‌های آبی (مانند نوسازی شبکه‌های لوله‌کشی)، اجرای پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای.

۱۱. World Meteorological Organization

۱۲. Hastings

۱۳. Hugo Framework

۱۴. Richard Florida

۱۵. David Harvey

۱۶. Max Weber

۱۷. Anthony Giddens

۱۸. Douglas North

۱۹. Michel Foucault

۲۰. Emmanuel Castells

۲۱. SPI (Standardized Precipitation Index) (شاخص استاندارد شده بارش)

۲۲. SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) (شاخص استاندارد شده بارش- تبخیر و تعرق)

۲۳. European Reanalysis

۲۴. Global Land Evaporation Amsterdam

منابع

- اسکویی، سید علی. (۱۴۰۲) .ارتباط متقابل بین بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات در اقتصاد ایران: رویکرد خود رگرسیون‌برداری بیزین. اقتصاد کاربردی ،۴۲ (۱۲) ،۲۱-۳۲.
- آلن، تونی. (۱۳۹۴). آب پنهان (ج. ۱). (آ. حسینی و م. بیرمی، مترجمان). نشر مثلث، ۱۹۲-۱۹۵.
- جوادی، شیما، رنجبرفردویی، ابوالفضل، خسروی، حسن، و اسکندری‌دامنه، هادی. (۱۴۰۲). بررسی اثرات خشکسالی بر کارایی مصرف آب در اقلیم‌ها و کاربری‌های مختلف (مطالعه موردی: استان تهران) .خشک‌بوم، ۱۳(2)، ۱-۱۵.
- خراسانی، مجتبی. (۱۴۰۴). راهکارهای نوین مدیریت بحران شهری در مواجهه با بلایای طبیعی. در بیست و هفتمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست. شیروان.
- دوستان، رضا. (۱۳۹۷). تحلیلی بر تحقیقات خشکسالی در ایران .تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶(4)، ۵۳-۹۴.
- رمضانی، عباس، و میرفردی، اصغر. (۱۳۹۳). تبیین نهادگرایی و گرایش آن به توسعه. مجله اقتصادی.
- صابونچی، پریچهر، خرسندنیکو، مرتضی، مثنوی، محمدرضا، و متدین، حشمت‌الله. (۱۴۰۴). استراتژی‌های کاهش خشکسالی و تنش آبی در تهران با تاکید بر راه‌حل‌های طبیعت‌بنیان(تصمیم‌گیری مبتنی بر نقشه‌های شناختی فازی). در کنفرانس ملی نخبگان عمران، معماری و شهرسازی.
- صفاری، امیر، و مقیمی، ابراهیم. (۱۳۸۸). ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۱(۶۷)، ۵۳-۷۱.
- عباسی فلاح، وحید، رجایی، سید عباس، زیاری، کرامت‌اله، و منصوریان، حسین. (۱۴۰۳). تبیین تحولات ساختار فضایی منطقه کلان‌شهری تهران با تأکید بر قیمت مسکن. نشریه علمی شهر ایمن، ۷(۲)، ۷۳-۱۰۰.
- فراهانی، زهره، ثنائی‌نژاد، سید حسین، سلاجقه، مریم، و حاج‌حیدری، مریم. (۱۳۸۸). بررسی راهکارهای نوین مدیریت کاهش خشکسالی، مطالعه موردی کشورهای استرالیا، چین و آمریکا. در دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. اصفهان.
- Amaratunga, D., & Haigh, R. (Eds.). (2011). Post-disaster reconstruction of the built environment: Rebuilding for resilience. Blackwell Publishing Ltd.
- Blauhut, V. (2020). The triple complexity of drought risk analysis and its visualization via mapping: A review across scales and sectors. Earth-Science Reviews, 210.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

- Blauhut, V., Stahl, K., Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Stefano, L. D., & Vogt, J. (2016). Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors. Hydrology and Earth System Sciences, 20(7), 2779-2800.
- Berchin, I. I., Valduga, I. B., Garcia, J., & de Andrade, J. B. S. O. (2017). Climate change and forced migrations: An effort towards recognizing climate refugees. Geoforum, 84, 147-150.
- Cariolet, J.-M., Vuillet, M., & Diab, Y. (2019). Mapping urban resilience to disasters – A review. International Journal of Disaster Risk Reduction, 36, 101098.
- Chen, N., Guo, H., & Xiang, H. (2023). Evaluation of urban resilience level and analysis of obstacle factors: A case study of Hunan Province, China. Frontiers in Earth Science, 10, 1033441.
- Florida, R. (2005). Cities and the creative class. City & Community, 4(3), 203-220.
- Harvey, D. (1989). From managerialism to entrepreneurialism: The transformation in urban governance in late capitalism. Geografiska Annaler: Series B, Human Geography, 71(1), 3-17.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4(1), 1-23.
- IPCC. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K. A., & Wang, L. (2019). A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. Agricultural and Forest Meteorology, 268, 74-85.
- Kulkarni, S. S., Wardlow, B. D., Bayissa, Y. A., Tadesse, T., Svoboda, M. D., & Gedam, S. S. (2020). Developing a remote sensing-based combined drought indicator approach for agricultural drought monitoring over Marathwada, India. Remote Sensing, 12(2), 91.
- Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: Challenges of a water-bankrupt nation. Iranian Studies, 49(6), 997–1016.
- Manyena, B., Machingura, F., & O'Keefe, P. (2019). Disaster Resilience Integrated Framework for Transformation (DRIFT): A new approach to theorising and operationalising resilience. World Development, 122, 1-12.
- Masoudi, M., & Hakimi, S. (2014). A new model for vulnerability assessment of drought in Iran using Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). Iranian Journal of Science, 38(4), 435-440.
- Millington, N., & Scheba, S. (2021). Day zero and the infrastructures of climate change: Water governance, inequality, and infrastructural politics in Cape Town's water crisis. International Journal of Urban and Regional Research, 45(1), 116-132.
- Ng, E., & Ren, C. (2018). China's adaptation to climate & urban climatic changes: A critical review. Urban Climate, 24, 1-12.
- Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. American Journal of Community Psychology, 41(1-2), 127-150.
- Ribeiro, P. J. G., & Gonçalves, L. A. P. J. (2019). Urban resilience: A conceptual framework. Sustainable Cities and Society, 50, 101625.
- Sakurai, A., & Sato, T. (2021). Promoting education for disaster resilience and the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. International Journal of Disaster Risk Reduction, 55, 102115.
- Segnestam, L., Persson, A., Nilsson, M., Arvidsson, A., & Ijjasz, E. (2002). Country Environment Analysis: A review of international experience (Environment Strategy Papers, No. 8). World Bank.
- Sharifi, A., & Yamagata, Y. (Eds.). (2018). Resilience-oriented urban planning: Theoretical and empirical insights. Springer.
- Shayanmehr, S., Rastegari Henneberry, S., Sabouhi Sabouni, M., & Shahnoushi Foroushani, N. (2020). Climate change and sustainability of crop yield in dry regions: Food insecurity. Sustainability, 12(23), 9890.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

- Shen, R., Huang, A., Li, B., & Guo, J. (2019). Construction of a drought monitoring model using deep learning based on multi-source remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 75, 1-12.
- Tortajada, C., Joshi, Y. K., & Biswas, A. K. (2013). The Singapore water story: Sustainable development in an urban city-state. Routledge.
- Ward, P. J., Blauhut, V., Bloemendaal, N., Daniell, J. E., Ruiter, M. C. D., Duncan, M. J., & Winsemius, H. C. (2020). Natural hazard risk assessments at the global scale. Natural Hazards and Earth System Sciences, 20(4), 1069-1096.
- Wright, J. H., Hill, N. A. O., Roe, D., Rowcliffe, J. M., Kumpel, N. F., Day, M., Booker, F., & Milner-Gulland, E. J. (2016). Reframing the concept of alternative livelihoods. Conservation Biology, 30(1), 7-13.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]

Systematic and comprehensive assessment of drought in Tehran metropolis in three time periods: 2011, 2016, and 2021.

Zahra Shiri, *Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
Mahta Mirmoghtadaee*, *Assistant Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
Atoosa Modiri, *Assistant Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
Hasti borgheipour, *Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

Received: 2025/6/12 *Accepted: 2025/8/15*

Extended abstract
Introduction: Considering the importance of drought as a destructive natural disaster impacting urban systems, this research assesses drought in Tehran metropolis over three periods (2011, 2016, 2021) and examines the role of institutional management in reproducing urban resilience.
Methodology: Using a quantitative explanatory approach, the study employed Monte Carlo sampling of 50 managers and experts, along with statistical data from the Statistical Center of Iran. Vulnerability indices for six systems (social, economic, agricultural, environmental, water resources, industry-energy) were calculated using four weighting methods: Equal weighting (Eq), random weighting (Ra), weighting based on the opinions of experts in their field of expertise (Ex-sp), and weighting based on the opinions of experts in all fields (Ex-ov). Drought resilience was measured using SPI, SPEI, multivariate linear regression, and the Composite Drought Vulnerability Index (CDVI). From 154 initial factors, 76 were selected after VIF collinearity testing, and 28 key factors were identified.
Results: Drought in Tehran is more influenced by human and managerial factors (excessive groundwater withdrawal, unsustainable development, institutional fragmentation) than climatic factors. Social (CDVI=0.72) and economic (CDVI=0.68) systems showed the highest vulnerability, while only the environmental system demonstrated significant correlation with climatic variables (moderate correlation: temperature 0.56, precipitation -0.51, aridity index -0.57). Institutional coordination, resource allocation, and public participation were key resilience factors. The coefficient of determination between climatic variables and CDVI was very low (R^2=0.06 for temperature, 0.12 for precipitation), and correlations between SPI/SPEI and vulnerability indices remained below 0.15, confirming the decisive role of non-climatic factors. Among 28 influential factors, 12 were classified as rapidly changeable (CH) factors (e.g., literacy rate, urban green space, treatment capacity) and 16 as changeable with limitations (CHL) requiring long-term planning (e.g., precipitation, water infrastructure, population density). The economic system showed the widest vulnerability range, while water resources and environmental systems displayed the lowest vulnerability.
Conclusion: Tehran's drought resilience is less a product of climatic factors than a result of unsustainable resource management and weak institutional governance. Key solutions include establishing a cross-sectoral drought management institution, reforming water pricing, implementing local capacity-building programs, strengthening institutional coordination, integrated water resource management, and developing resilient infrastructure. Drawing on successful experiences from Barcelona (desalination), Cape Town (Day Zero demand management), Singapore (NEWater and integrated governance), and Melbourne (storage and conservation), long-term programs focusing on reducing human-induced vulnerability are essential.
Keywords: Drought assessment, resilient city, institutional management role, Tehran metropolis

* Corresponding Author's E-mail: mirmoghtadaee@bhrc.ac.ir

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-06-05]