تبیین و بررسی جنبه‌های مختلف تاب‌آوری در سامانه‌های آبی

ثمین جباری قره‌باغ[۱]، علی عبدالهی نسب[۲،*]، زهره بشارتی راد[۳]، آرش تقی‌پور زارعی[۴]

۱- دانشجوی دکترای مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه و پژوهشگر پژوهشکده مطالعات فناوری، تهران، ایران، samin.jabbari@gmail.com

۲- دبیر کمیته آب، پژوهشکده مطالعات فناوری ریاست جمهوری، تهران، ایران، abdollahinasab@tsi.ir

۳- معاون پژوهشی مرکز توسعه نوآوری های انرژی برق و مشاور پژوهشکده مطالعات فناوری، تهران، ایران، radtaba@yahoo.com

۴- پژوهشگر، پژوهشکده مطالعات فناوری ریاست جمهوری، تهران، ایران، arash.taghipourz@gmail.com

چکیده

سیستم‌های منابع آب با ارائه خدمات اساسی برای زندگی بشر، نقش قابل توجهی در رشد اقتصاد و رفاه جوامع و همچنین حفاظت از اکوسیستم‌ها را دارند. انواع وقایع مخرب با منشأ طبیعی و انسانی نظیر زلزله، کمبود آب، سیل، خشکسالی و آلودگی آب، سیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این رویدادهای نامطلوب که می‌توانند باعث بروز فاجعه، ایجاد خطر یا تغییر عملکرد طبیعی سیستم‌های آبی شوند، به عنوان اختلال در نظر گرفته می‌شوند. تاب‌آوری به معنای توانایی سیستم در واکنش به آشفتگی‌ها (خرابی‌های درونی و وقایع محیطی) با جذب آشفتگی و یا سازماندهی مجدد سیستم برای حفظ عملکرد است. بنابراین بررسی و ارتقای تاب‌آوری سیستم‌های منابع آب و اجزای آن مانند سیستم‌های تأمین و توزیع آب و سیستم‌های تصفیه فاضلاب در برابر رویدادهای مخرب، باتوجه به نقش حیاتی آن‌ها در تحقق اهداف توسعه پایدار، بسیار حائز اهمیت است. پژوهش حاضر بر آن است با مرور منابع در زمینه تاب‌آوری در حوزه آب به تشریح مفهوم تاب‌آوری و جنبه‌های مختلف آن و بررسی روش‌های سنجش تاب‌آوری در سیستم‌های آبی بپردازد و زمینه‌ی مناسبی برای مطالعه در خصوص ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های آبی فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های تأمین و توزیع آب، سیستم‌های تصفیه فاضلاب، روش‌های سنجش تاب‌آوری، عملکرد سیستم، توسعه پایدار.

۱- مقدمه

کشورها، جوامع، سازمان‌ها و افراد همگی تحت تسلط محیط‌های متنوع و در حال تغییر هستند. تهدیدهایی که این محیط‌های گاه پرتلاطم ایجاد می‌کنند، از نظر شدت و تناوب می‌توانند متفاوت باشند. این تهدیدها ممکن است به شکل درون‌زا و یا برون‌زا در یک سیستم پدیدار شوند. بلایای طبیعی، بیماری‌های همه‌گیر، حملات تروریستی، رکود اقتصادی، خرابی تجهیزات و خطای انسانی، نمونه‌هایی از این تهدیدات بالقوه و غیر قابل پیش‌بینی بوده که می‌توانند عملکرد یک سیستم را با مشکل مواجه سازند (Bhamra et al., 2011).

یک سیستم منابع، آب شامل تمامی جنبه‌های چرخه‌ی آب و تأثیر آن بر انسان، موجودات زنده و محیط طبیعی

است. سیستم‌های منابع آب، خدمات اساسی برای زندگی روزمره ارائه کرده و نقش قابل توجهی در رشد اقتصادی، رفاه اجتماعی و حفاظت اکوسیستم هر منطقه دارند. با این حال، این سیستم‌ها در معرض انواع بلایا با منشأ طبیعی و انسانی نظیر کمبود آب، سیل و آلودگی آب هستند. سیستم‌های منابع آب نسبت به تغییرات آب‌وهوایی بسیار حساس هستند. تشدید تغییرات آب‌وهوایی و به تبع آن تغییرات اقلیمی، منجر به افزایش تناوب و شدت وقایع حدی آب و هوایی نظیر سیل و خشکسالی و همچنین آلودگی آب می‌شوند (Liu, 2019). از سوی دیگر، فعالیت‌های انسانی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم باعث ایجاد مشکلات آبی می‌شوند. به طور مثال، آلودگی می‌تواند به طور مستقیم بر کیفیت آب تأثیر بگذارد، در حالی‌که انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند به‌طور غیر مستقیم منجر به خشکسالی یا وقوع سیل شود (Liu, et al., 2012). این مشکلات را می‌توان به عنوان پاسخ سیستم‌های منابع آب به فشارهای تحمیل‌شده توسط فعالیت‌های انسانی در نظر گرفت. این رویدادهای نامطلوب که می‌توانند باعث بروز فاجعه[۱]، ایجاد خطر[۲] یا تغییر عملکرد طبیعی سیستم‌های منابع آب شوند، به عنوان اختلال[۳] در نظر گرفته می‌شوند. بحران‌های حاصل از این اختلال‌ها اغلب به طور طبیعی و یا با تلاش و صرف هزینه برطرف می‌شوند. هرچند برخی مواقع، این بحران‌ها ویرانگر بوده و صدمات غیر قابل جبران بر جای می‌گذارند (Martin-Breen and Anderies, 2011). تجربه‌های اخیر در رابطه با بلایای مرتبط با آب نشان می‌دهد که زیرساخت‌های آبی فعلی نمی‌توانند در مقابل تمامی اختلال‌ها، نقش محافظتی و پیشگیرانه داشته باشند. عملکرد سیستم ممکن است به دلیل عدم قطعیت بالای اختلال‌ها، وابستگی پیچیده‌ی درون‌سیستمی زیرساخت‌ها و خرابی‌های تصادفی ناشی از رویدادهای پیش‌بینی ناپذیر، غیر قابل اعتماد باشد (Shin et al., 2018). توانایی سیستم منابع آب در تحمل حوادث مخرب و بازیابی در مقابل این اختلال‌ها عامل مهمی است که قابلیت اطمینان و پایداری سیستم‌های منابع آب در شرایط نامعین اقلیمی و هیدرولوژیکی در یک منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Liu, 2019). مفهوم تاب‌آوری[۴] به منظور سنجش این توانایی ارائه شده است. به طور کل، توانایی یک سیستم در واکنش به آشفتگی‌ها، خرابی‌های درونی و وقایع محیطی با جذب آشفتگی و یا سازماندهی مجدد سیستم برای حفظ یا بهبود عملکرد خود را تاب‌آوری گویند (Fraccascia, et al., 2018).

کلمه تاب‌آوری در قرن هفدهم از اصطلاح لاتین "resiliere" به معنی *بازگشت به عقب*[۵] سرچشمه گرفته است. در ادبیات دانشگاهی، این مفهوم در دهه ۱۹۷۰ میلادی از مطالعات بوم‌شناسی در مورد جمعیت متقابل شکارچی و شکار و واکنش‌های عملکردی آن‌ها پدید آمد. طبق مطالعه‌ی Holling (1973)، «تاب‌آوری، تداوم روابط در درون یک سیستم را تعیین می‌کند و سنجشی از توانایی این سیستم‌ها برای جذب تغییرات متغیرهای حالت، پیشران‌ها و پارامترها و نیز پابرجایی آن‌ها است». مفهوم تاب‌آوری به طور عام در منابع دیگری نیز ارائه شده است. به طور مثال Allenby and Fink (2005)، تاب‌آوری را قابلیت یک سیستم برای حفظ عملکردها و ساختار در مواجهه با تغییرات درونی و بیرونی و در صورت لزوم حفظ عملکرد محدود و تنزل‌یافته آن تعریف کرده است. و یا طبق تعریف Pregenzer (2011)، تاب‌آوری، اندازه‌گیری توانایی سیستم در جذب تغییرات مداوم و غیرقابل پیش‌بینی بوده به طوری‌که سیستم بتواند همچنان عملکردهای حیاتی خود را حفظ کند. در تعریفی دیگر، تاب‌آوری، توانایی سیستم برای تحمل اختلال‌های بزرگ با مقادیر قابل قبولی از تنزل در عملکرد سیستم بوده، به طوری‌که بازیابی سیستم در مدت زمان مناسب، همراه با هزینه‌ها و ریسک‌های معقول باشد (Haimes, 2009). همچنین در تعریف ارائه شده توسط Vugrin et al. (2010)، باتوجه به وقوع یک رویداد مختل‌کننده‌ی خاص (یا مجموعه‌ای از وقایع) تاب‌آوری یک سیستم در برابر آن رویداد (یا رویدادها) عبارت است از توانایی سیستم برای کاهش موثر میزان و مدت زمان انحراف از سطح عملکرد مورد انتظار سیستم.

مفهوم تاب‌آوری به طور خاص و در سیستم‌های مختلف، به شکل متفاوتی تعریف می‌گردد. در جدول ۱ تعریف سه جنبه مختلف از مفهوم تاب‌آوری با توجه به مشخصه، تمرکز و زمینه آن‌ها ارائه شده است (Folke, 2006).

جدول ۱- جنبه‌های مختلف از مفهوم تاب‌آوری (Folke, 2006)

مفهوم تاب‌آوری	تعریف	مشخصه	تمرکز بر	زمینه
تاب‌آوری مهندسی	سرعت بازگشت سیستم به حالت تعادل پس از بروز یک شوک	زمان بازگشت، کارایی	بازیابی، ثبات	نزدیکی به یک تعادل پایدار
تاب‌آوری اکولوژیکی/اکوسیستم تاب‌آوری اجتماعی	توانایی یک سیستم برای تحمل شوک و حفظ روابط و کارکردهای اساسی سیستم	ظرفیت میانگیر[۶]، مقاومت در برابر شوک، حفظ عملکرد	دوام، استحکام	تعادل‌های متعدد، منظرهای پایداری
تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی	۱) میزان اختلالی که یک سیستم می تواند جذب کند و همچنان در همان حالت یا حوزه جذب[۷] باقی بماند. ۲) میزان توانایی سیستم در خودسازماندهی در مقابل عوامل خارجی که تحمیل شده است. ۳) درجه‌ای که سیستم قادر به ایجاد ظرفیت و افزایش یادگیری و سازگاری است	برهم‌کنش اختلال و سازمان‌دهی مجدد، پایداری و توسعه	قابلیت تبدیل، ظرفیت سازگاری، یادگیری، نوآوری،	بازخورد یکپارچه سیستم، تعامل پویا در مقیاس‌های مختلف

ایجاد تاب‌آوری در سیستم‌های منابع آب باعث افزایش ظرفیت سازگاری این سیستم‌ها در مقابله با رویدادهای غافلگیرکننده در آینده شده و احتمال تحقق اهداف آبی توسعه پایدار یعنی تضمین دسترسی به آب و مدیریت پایدار آب و بهداشت را افزایش می‌دهد (Folke et al., 2002). لذا ضرورت پرداختن به تاب‌آوری سیستم‌های آبی در کشور احساس می‌گردد.

بنابراین در این مقاله، با استفاده از مرور ادبیات، جنبه‌های مختلفی از تاب‌آوری در حوزه آب بررسی شده است. بدین ترتیب، مقالات گردآوری شده باتوجه به تعریف تاب‌آوری، مسأله و چالش مورد بررسی و نوع روش مورد استفاده، طبقه‌بندی شد. در نهایت، مراحل کلی برای مطالعه تاب‌آوری سیستم‌های منابع آب و اجزای آن‌ها نظیر سیستم‌های آب و فاضلاب پیشنهاد گردید.

۲-روش‌شناسی

چارچوب روش‌شناسی مورد استفاده برای مرور ادبیات در این مقاله بدین ترتیب است: ۱) جست‌وجوی کلیدواژه‌های مرتبط با موضوع[۸] در پایگاه اطلاعات کتاب‌شناختی گوگل[۹]، ۲) بررسی سریع عنوان، چکیده و متن مقالات و انتخاب مقالات باتوجه به اهداف پژوهش، ۳) ارزیابی اعتبار مجلات و مقالات گردآوری‌شده و انتخاب مقالات معتبر، ۴) طبقه‌بندی مقالات منتخب باتوجه به تعریف تاب‌آوری، مسأله و چالش مورد بررسی و نوع روش مورد استفاده در مقالات، ۵) مطالعه دقیق‌تر مقالات و ۶) استخراج چارچوب ارزیابی تاب‌آوری در حوزه آب.

لازم به ذکر است، از بین حدود ۶۰ مقاله، در نهایت تعداد ۳۰ مقاله خارجی و داخلی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی به منظور بررسی انتخاب گردید.

۳-نتایج

در جدول ۲، طبقه‌بندی چند نمونه از منابع بررسی شده باتوجه به جنبه تاب‌آوری، سیستم آبی و چالش مورد نظر و نیز نوع روش ارزیابی تاب‌آوری، ارائه شده است. بررسی مقالات منتخب نشان داد که در مطالعات سیستم‌های آبی، هر سه جنبه تاب‌آوری مهندسی، تاب‌آوری اکولوژیکی و تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی، که در حوزه‌های مختلف ارائه شده، به کار رفته است. در ادامه نتایج کسب شده بررسی شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی چند نمونه از پژوهش‌های ارزیابی‌های تاب‌آوری در سیستم‌های مرتبط با حوزه آب

پژوهش	موضوع	جنبه تاب‌آوری	سیستم	چالش	نوع روش ارزیابی
(Todini, 2000)	طراحی شبکه‌های توزیع آب با استفاده از یک رویکرد مبتنی بر شاخص تاب‌آوری	تاب‌آوری مهندسی	سیستم‌های توزیع آب	خرابی‌های مکانیکی و هیدرولیکی	کمی
(Roach, et al., 2018)	ارائه یک روش مبتنی بر تاب‌آوری برای بهبود برنامه‌ریزی سازگاری منابع آب با عدم قطعیت‌ها	تاب‌آوری مهندسی	سیستم تأمین آب	دوره‌های کمبود آب	کمی
(Liu, et al, 2012)	ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های منابع آب	تاب‌آوری اکولوژیکی	سیستم منابع آب	خشکسالی، سیل، آلودگی آب	کمی
(Nemec et al., 2014)	ارزیابی تاثیر پروژه سدسازی بزرگ مقیاس بر تاب‌آوری حوضه آبریز	تاب‌آوری اکولوژیکی	حوضه‌های آبریز	اختلال‌های غیر منتظره	کیفی
(Barua et al., 2014)	تاب‌آور ساختن جوامع روستایی در برابر تغییرات اقلیمی	تاب‌آوری اجتماعی	جوامع روستایی	تغییرات اقلیمی	کیفی
(Urquiza and Billi, 2018)	تأثیر بازار آب بر تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی حوضه آبریز در برابر تنش‌های آبی حاصل از تغییرات اقلیمی	تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی	سیستم اجتماعی-اقتصادی یک حوضه آبریز	تنش آبی در نتیجه تغییرات اقلیمی	کیفی
(کارآموز و خلیلی ۱۳۹۸)	ارائه چارچوب فرایند همکارانه در افزایش تاب‌آوری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب در مواجهه با سیلاب	تاب‌آوری مهندسی	تصفیه‌خانه آب و فاضلاب	سیل	کمی
(بهرامی و همکاران ۱۳۹۸)	تفکر تاب‌آوری در برابر آشوب سیل در رودخانه‌های شهری	تاب‌آوری اکولوژیکی	سیستم رودخانه‌های شهری	سیل	کیفی

۳-۱-جنبه‌های مختلف تاب‌آوری در سیستم‌های منابع آب

برای استفاده از مفهوم تاب‌آوری، باید تعیین کرد که کدام جنبه از مفهوم تاب‌آوری مد نظر است. همچنین باید به این سوال پاسخ داد که «تاب‌آوری چه چیزی در مقابل چه چیز؟» (Martin-Breen and Anderies, 2011). باتوجه به این موضوع، جنبه‌های مختلف مهندسی، اکولوژیکی و اجتماعی-اکولوژیکی از مفهوم تاب‌آوری در ابعاد مختلفی از

سیستم‌های منابع آب در پاسخ به انواع مختلفی از چالش‌ها و اختلال‌ها به‌کار رفته است که در ادامه بررسی می‌گردد.

۳-۱-۱- تاب‌آوری مهندسی

در اولین مطالعات صورت گرفته در خصوص اندازه‌گیری تاب‌آوری سیستم‌های منابع آب، Hashimoto, et al. (1982) تاب‌آوری را به عنوان متوسط احتمال بازیابی سیستم در گام زمانی t+1 پس از حالت خرابی در گام زمانی t تعریف کردند. باتوجه به این تعریف، هرچه احتمال بازیابی بیشتر باشد، تاب‌آوری بالاتر است. لذا از این نظر، تاب‌آوری نشان‌دهنده سرعت بازگشت سیستم به حالت رضایت‌بخش پس از وقوع خرابی است. این تعریف، به سرعت واکنش و بازیابی سیستم پس از بروز اختلال اشاره می‌کند. این جنبه از تاب‌آوری به طور کلی در سیستم‌های مهندسی و در حوزه آب، به طور مشخص در مطالعات مربوط به زیرساخت‌های آبی به کار رفته است. تاب‌آوری زیرساخت‌های آبی، توانایی این زیرساخت‌ها نظیر سیستم‌های تأمین، انتقال و توزیع آب، سیستم‌های تصفیه آب و فاضلاب و... در جذب شوک (در صورت بروز) و بازیابی سریع پس از شوک را نشان می‌دهد. این شوک‌ها، بلایای طبیعی (همچون سیل، زلزله، طوفان و خشکسالی) و وضعیت‌های غیر طبیعی (همچون توسعه ناموزون اجتماعی-اقتصادی) است که منجر به افزایش تقاضای آب و دوره‌های کمبود آب می‌گردد (Wang and Blackmore, 2009; Matthews, 2016). به طور مثال Todini (2000) از شاخص تاب‌آوری برای طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب استفاده کرد. وی تاب‌آوری سیستم‌های توزیع آب را در برابر خرابی‌های مکانیکی نظیر شکست لوله‌ها، خرابی پمپ و خرابی‌های هیدرولیکی نظیر تغییرات در تقاضا، ظرفیت ناکافی پمپاژ بررسی کرد. در این تحقیق، تاب‌آوری به عنوان توانایی سیستم طراحی‌شده برای واکنش و غلبه بر این شرایط در نظر گرفته شد. در تحقیقی دیگر، کارآموز و خلیلی (۱۳۹۸)، به منظور کمی‌سازی خصوصیات تصفیه‌خانه‌ها در مواجهه با سیل، از شاخص تاب‌آوری استفاده نمودند. در این پژوهش تاب‌آوری به عنوان توانایی بهبود پس از مشکل، نقص و یا بازگشت به حالت اولیه و سرعت بازگشت از شکست به حالت پیش از آن توصیف شده است. باتوجه به این تعریف، شاخص تاب‌آوری مورد استفاده در این پژوهش با بکارگیری فاکتورهای توصیف‌کننده تاب‌آوری تصفیه‌خانه‌ها (سرعت در برگشت، مقاومت ذاتی سیستم، داشتن تجهیزات بازسازی و داشتن امکانات موازی) و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره استخراج گردید.

۳-۱-۲-تاب‌آوری اکولوژیکی

در برخی دیگر از مطالعات انجام گرفته در حوزه آب، تاب‌آوری سیستم‌های آبی در برابر تغییر رژیم[۱۰] ارزیابی می‌گردد. این جنبه از تاب‌آوری به عنوان تاب‌آوری اکولوژیکی شناخته می‌شود. منظور از رژیم در سیستم‌های اکولوژیکی، یک ساختار و کارکرد خاص در سیستم است (Cosens and Fremier, 2014). در زمینه سیستم‌های منابع آب، این نوع از تاب‌آوری، اجزای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی سیستم‌های آبی و ارتباط آن‌ها با موجودات زنده را در بر می‌گیرد؛ زیرا درک تاب‌آوری هر یک از این اجزا به‌تنهایی کافی نیست. سیستم‌های اکولوژیکی به داشتن چندین حالت جایگزین، شناخته می‌شوند و اختلال در سیستم می‌تواند باعث تغییر رفتار سیستم از یک حالت به حالت دیگر شود. تاب‌آوری سیستم در برابر تغییر رژیم، به عنوان میزان بزرگی اختلالی است که بدون انتقال سیستم به حالت جایگزین[۱۱]، یعنی بدون تغییر حالت سیستم از یک وضعیت تعادل به وضعیت تعادل دیگر، قابل جذب است (Wang and Blackmore, 2009). به عبارتی، به میزان اختلالی که یک سیستم می‌تواند جذب کند و همچنان در همان حالت یا وضعیت تعادل اولیه باقی بماند، اشاره می‌کند (Folke, 2006). جذب اختلال می‌تواند از طریق توانایی خودسازماندهی سیستم انجام شود (Quinlan et al., 2016). به طور مثال، Nemec et al. (2014) تاب‌آوری اکولوژیکی را بزرگی اختلالی که یک اکوسیستم می‌تواند قبل از تبدیل به یک رژیم جدید (که توسط مجموعه‌ای متفاوت از فرایندهای اکولوژیکی کنترل می شود) جذب نماید، تعریف کردند. در مطالعاتی دیگر، این جنبه از تاب‌آوری در سیستم‌های تأمین آب و مخازن در برابر دوره‌های طبیعی کمبود آب و خشکسالی ارزیابی شده است (Mehran, et al., 2015; Amarasinghe et al., 2016).

هرچند تاب‌آوری در برابر تغییر رژیم، بیشتر به عنوان تاب‌آوری اکولوژیکی شناخته شده است، اما این تفسیر از تاب‌آوری در سیستم‌های اجتماعی و با عنوان تاب‌آوری اجتماعی نیز به‌کار می‌رود. تاب‌آوری اجتماعی عبارت است از توانایی جوامع بشری برای تحمل شوک‌های خارجی نظیر تغییرات محیطی یا تحولات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی در زیرساخت‌های اجتماعی خود. به طور مثال در پژوهشی که Barua et al. (2014) به منظور ایجاد تاب‌آوری جوامع روستایی در برابر تغییرات اقلیمی انجام دادند، تاب‌آوری اجتماعی، توانایی گروه‌ها و جوامع برای مقابله با استرس‌های خارجی و اختلال‌های منتج از تغییرات اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی ذکر گردید.

۳-۱-۳- تاب‌آوری اجتماعی- اکولوژیکی

عمده نگرانی‌های مربوط به سیستم‌های منابع آب در مواجهه با اختلالات این است که ۱) آیا عملکرد سیستم متوقف خواهد شد و ۲) در صورت بهبودی، با چه سرعتی می‌تواند به شرایط مطلوب خدمات‌دهی به انسان و محیط زیست بازگردد. برای پاسخ به این دو سوال، در منابع، از دو تعبیر تاب‌آوری به عنوان سرعت واکنش و بازیابی سیستم پس از بروز اختلال و تاب‌آوری به عنوان مقابله با اختلال‌های خارجی و تغییر رژیم استفاده شده است. تاب‌آوری بر مبنای هر یک از این تفاسیر را می‌توان با افزایش ظرفیت سازگاری و مدیریت در سیستم بهبود بخشید (Wang and Blackmore, 2009). در سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی، ظرفیت تطبیق یا سازگاری به عنوان ظرفیت انسان‌ها برای تأثیرگذاری بر تاب‌آوری سیستم تعریف شده است (Walker et al. 2004). این جنبه از تاب‌آوری، یعنی ایجاد ظرفیت سازگاری، در مطالعات سیستم‌های منابع آب به عنوان یک سیستم اجتماعی-اکولوژیکی نیز به‌کار رفته است. به طور مثال، Ashton, et al. (2008) با استفاده از تحلیل‌های کیفی، ظرفیت سازگاری جوامع روستایی و شهری در حوضه رودخانه‌ای مشترک در آفریقای شمالی را در برابر تنش‌های آبی ناشی از تغییرات آب در دسترس و تقاضا مورد بررسی قرار دادند. و یا Urquiza and Billi (2018)، این جنبه از تاب‌آوری را در ارزیابی تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیکی یک حوضه آبریز در برابر تنش‌های آبی نظیر تنش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی به کار برده‌اند.

۳-۲-روش‌های سنجش تاب‌آوری در سیستم‌های منابع آب

در انجام ارزیابی تاب‌آوری در مطالعات حوزه آب، طیف گسترده‌ای از روش‌های کیفی، کمی و کمی-کیفی استفاده می‌شود. از بین روش‌های کیفی مورد استفاده در منابع می‌توان به تحلیل‌های مبتنی بر روش‌های پیمایشی و بحث‌های گروهی (Barua et al., 2014)، مرور ادبیات (Nemec et al., 2014) و تجزیه و تحلیل‌های تجربی و کیفی (Urquiza and Billi, 2018) اشاره کرد.

Barua et al. (2014) با استفاده از تشکیل گروه‌های تمرکز و نظرسنجی از خانوارها، میزان تاب‌آوری جوامع روستایی در برابر تغییرات اقلیمی را مورد ارزیابی قرار داده و با استفاده از کارشناسان و تسهیلگران در این زمینه اقدام به ارتقا تاب‌آوری در این جوامع نمودند. در یک مطالعه کیفی دیگر، Nemec et al. (2014) با مرور مطالعات علمی، تاریخی و اجتماعی در حوضه رودخانه پِلَت ایالت نبراسکای آمریکا، با استفاده از ۹ معیار مرتبط با تاب‌آوری (تنوع اکولوژیکی و اجتماعی، تغییرپذیری اکولوژیکی و اجتماعی، پیمانه‌ای بودن[۱۲]، ظرفیت اجتماعی، متغیرهای آهسته، بازخوردهای دقیق، نوآوری، همپوشانی در حاکمیت و خدمات اکوسیستم)، تأثیر دو پروژه بزرگ‌مقیاس (احداث سد و اجرای یک برنامه بازیابی اکوسیستم) در حوضه رودخانه پلت را در تاب‌آوری اکولوژیکی این حوضه بررسی نمودند. بدین منظور این مشخصات از ۱ تا ۵ امتیازدهی گردید. Urquiza and Billi (2018) با استفاده از تحلیل‌های تجربی و کیفی، نحوه عملکرد بازار آب در حوضه لیماری کشور شیلی را با توجه به چهار بعد تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی (انعطاف‌پذیری، اقدامات جمعی، یادگیری اجتماعی و خودسازماندهی) ارزیابی کردند. بدین منظور، مقایسه اطلاعات جغرافیایی، اقلیمی، اقتصادی-نهادی و اسناد رسمی در مورد بازار آب و انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ذینفعان مختلف انجام گردید.

از جمله روش‌های کمی مورد استفاده در ارزیابی تاب‌آوری در حوزه آب، می‌توان استفاده از شاخص‌های کمی

(Mehran, et al., 2015; Ortega et al., 2016)، روش‌های بهینه‌سازی (Roach, et al., 2018) و روش‌های شبیه‌سازی (Amarasinghe et al., 2016) را نام برد.

به طور مثال، Ortega et al. (2016) یک شاخص تاب‌آوری برای ارزیابی تاب‌آوری آب‌های سطحی حوضه‌ها توسعه دادند. در این شاخص از نشانگرهایی نظیر کیفیت آب، مساحت اراضی شهری، شیب زمین و... استفاده شد. نتایج نشان داد از این شاخص در مقیاس‌های دیگر نیز می‌توان استفاده کرد. Roach, et al. (2018) یک روش بهینه‌سازی چندهدفه بر مبنای تاب‌آوری برای شناسایی برنامه‌های استراتژیک بلندمدت در زمینه تاب‌آوری سیستم‌های تأمین آب در مواجهه با تقاضاهای آینده، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی ارائه نمودند. این بهینه‌سازی با هدف به حداکثر رساندن تاب‌آوری سیستم تأمین آب و به حداقل رساندن هزینه‌ها انجام گردید. Amarasinghe et al. (2016) از سه شاخص فنی برای ارزیابی تاب‌آوری سیستم تأمین آب در برابر کاهش بارندگی ناشی از تغییرات اقلیمی استفاده کردند. بدین منظور آن‌ها برای ایجاد سازوکار تغییرات بارندگی و تحلیل بیلان آبی در یک مخزن، یک مدل پویایی‌های سیستم توسعه دادند و با استفاده از این شاخص‌ها وضعیت‌های مختلف را شبیه‌سازی نمودند.

۳-۳- چارچوب جامع ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های آبی شهری

باتوجه به تعریف‌های مختلف تاب‌آوری در ابعاد متفاوتی از سیستم‌های آبی و با در نظر گرفتن چالش‌های متفاوت با منشأ طبیعی و انسانی، رویکردها و چارچوب‌های متفاوتی به منظور ارزیابی تاب‌آوری در سیستم‌های آبی به کار رفته است. به طور مثال رویکرد تاب‌آوری آب شهری (CWRA)[۱۳] با هدف ایجاد یک بینش جامع به سیستم‌های آبی شهری در بین تصمیم‌گیرندگان و ایجاد تاب‌آوری در برابر چالش‌های آبی محلی ایجاد شده است. پنج مرحله کلی ارائه شده در این رویکرد عبارت‌اند از (Arup, 2019):

۱- شناخت سیستم
۲- ارزیابی تاب آوری سیستم آب شهری
۳- توسعه یک طرح اقدام
۴- اجرای طرح
۵- ارزیابی، یادگیری و سازگاری

در این پروژه، تاب‌آوری آب شهری، ظرفیت سیستم آب شهری در ابعاد انسانی، اجتماعی، سیاسی، اقتصادی، فیزیکی و طبیعی برای پیش‌بینی شوک‌ها و استرس‌ها، سازگاری، پاسخگویی و یادگیری از آن‌ها به منظور محافظت از سلامت عمومی، رفاه بشری و محیط زیست و همچین به حداقل رساندن مشکلات اقتصادی تعریف شده است.

در این رویکرد، تاب‌آوری آب شهری به این معنی است که یک شهر توانایی این را داشته باشد که دسترسی به آب با کیفیت بالا را برای همه‌ی ساکنان فراهم کند، از شهروندان در برابر مخاطرات آبی محافظت کند و آبراهه‌ها برای انتقال شهروندان به نقاط مختلف را فراهم آورد..

در این پروژه، ارزیابی تاب‌آوری سیستم آب شهری با استفاده از یک چارچوب ارزیابی به نحوی طراحی شده است که از شهرها و دولت‌ها برای جمع‌آوری اطلاعات به روشی ساختاریافته پشتیبانی شوند، ارزیابی اقدامات موجود به وسیله‌ی شاخص‌های کمی و کیفی با هدف هدایت اقدامات آینده ممکن شود، و موانع و ملزومات ایجاد تاب‌آوری آب شهری شناسایی گردند. چارچوب تاب‌آوری آب شهری (CWRF)[۱۴] به شهرها کمک می‌کند تا نقاط قوت و ضعف فعلی سیستم‌های آب شهری را ارزیابی کنند. ایجاد تاب‌آوری با استفاده از این چارچوب در چهار بعد انجام می‌گیرد: ۱) رهبری و استراتژی، ۲) برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری، ۳) زیرساخت‌ها و اکوسیستم و ۴) سلامتی و رفاه. هر یک از این ابعاد به ۸ هدف اصلی و ۵۳ هدف فرعی تقسیم می‌شوند. شاخص‌های ارائه شده برای اهداف فرعی، امکان سنجش عملکرد و ارزیابی وضعیت فعلی تاب‌آوری سیستم‌های آب شهری را فراهم می‌نماید.

۴- نتیجه‌گیری

مفهوم تاب‌آوری پس از آن که برای نخستین بار در مطالعات اکولوژیکی پدید آمد، تا به امروز تکامل یافته و جنبه‌های مختلفی را در بر گرفته است. به طور کلی تاب‌آوری به عنوان توانایی سیستم در واکنش به آشفتگی‌ها، خرابی های درونی و وقایع محیطی با جذب آشفتگی و یا سازماندهی مجدد سیستم برای حفظ عملکرد تعریف می‌گردد.

مفهوم تاب‌آوری در سیستم‌های منابع آب را می‌توان در سه گروه طبقه‌بندی کرد: ۱) تاب‌آوری به عنوان سرعت واکنش و بازیابی پس از بروز اختلال به عنوان تاب‌آوری مهندسی، ۲) تاب‌آوری در برابر تغییر رژیم به عنوان تاب‌آوری اکولوژیکی و ۳) تاب‌آوری به عنوان ظرفیت سازگاری و مدیریت. از این مفاهیم در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، نهادی و زیست‌محیطی سیستم‌های منابع آبی استفاده شده است. مطالعات تاب‌آوری در حوزه آب، به شکل منفرد (نظیر سدها و شبکه‌های آبرسانی) و یا باتوجه به جنبه‌های مختلف سیستم‌های منابع آبی در مقیاس حوضه‌های آبریز، شهرها و استان‌ها انجام می‌گیرد. این مطالعات دامنه گسترده‌ای از مطالعات بلایای طبیعی مرتبط با آب نظیر سیل، خشکسالی و آلودگی آب تا عوامل تاثیرگذار اجتماعی، اقتصادی و نهادی را در بر می‌گیرد. در انجام ارزیابی تاب‌آوری در مطالعات منابع آبی، روش‌های کیفی نظیر مصاحبه و پرسشنامه و روش‌های کمی نظیر مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

با توجه به موارد ذکر شده و مرور منابع انجام گرفته، مراحل کلی زیر برای انجام پروژه ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های منابع آب پیشنهاد می‌گردد:

۱- توصیف سیستم مورد مطالعه، شامل:
- شناسایی مسائل اصلی سیستم و ریسک‌های مرتبط با آب
- تعیین مرزهای سیستم و مقیاس ارزیابی (مکانی و زمانی)
- تعیین ابعاد سیستم (نظیر اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی) و مولفه‌های درونزا و برونزای تأثیرگذار بر وضعیت سیستم
- مشخص کردن اینکه تاب‌آوری کدام بخش (باتوجه به ابعاد سیستم) در برابر کدام چالش یا تهدید (با توجه به مولفه‌های تأثیرگذار) مورد نظر است.

۲- تعیین رویکرد و تعریف تاب‌آوری باتوجه به مسأله مورد نظر

۳- تعیین روش سنجش تاب‌آوری (کمی یا کیفی)

۴- تعیین معیارهای مناسب ارزیابی تاب‌آوری تعریف شده و شناسایی آستانه‌های سیستم.

پس از ارزیابی وضعیت تاب‌آوری سیستم مورد مطالعه و شناسایی چالش‌های پیش روی سیستم در آینده، به منظور ارتقاء تاب‌آوری، استفاده از رویکردهایی نظیر رویکرد تاب‌آوری آب شهری (CWRA) پیشنهاد می‌گردد.

۵-پی‌نوشت

[1]Disaster
[2] Hazard
[3] Disturbance
[4] Resilience
[5] Bounce back
[6] Buffer capacity

[۷] حوزه جذب یا domain of attraction اشاره به یک حالت تعادل پایدار در سیستم دارد.

[۸] کلیدواژه‌هایی نظیر resilience definition، resilience concepts، resilience and sustainable development، water

water related disasters و resources system resilience.

[9] آدرس پایگاه اطلاعات کتاب‌شناختی گوگل: http://scholar.google.com/

[10] Regime change
[11] Alternative
[12] Modularity
[13] The City Water Resilience Approach
[14] The City Water Resilience Framework

۶- مراجع

بهرامی، ف.، آل هاشمی، الف.، و متدین، ح.، (۱۳۹۸)،"رودخانه‌های شهری و تفکر تاب‌آوری در برابر آشوب سیل، برنامه‌ریزی تاب‌آور رودخانهٔ کن." *مجله علمی منظر* ۱۱ (۴۷): ۶۰–۷۳.

کارآموز، م.، و خلیلی، پ.، (۱۳۹۸)، "ارائه چارچوب فرایند همکارانه در افزایش تاب‌آوری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب در مواجهه با سیلاب."*مجله آب و فاضلاب* ۳۰ (۲): ۲۴–۳۵.

Allenby, B. and Fink, J. (2005) "Toward inherently secure and resilient societies", *Science*. American Association for the Advancement of Science, 309(5737), pp. 1034–1036.

Amarasinghe, P. *et al.* (2016) "Quantitative assessment of resilience of a water supply system under rainfall reduction due to climate change", *Journal of Hydrology*. Elsevier, 540, pp. 1043–1052.

Arup (2019) *The City Water Resilience Approach*.

Ashton, P. J., Hardwick, D. and Breen, C. M. (2008) "Changes in water availability and demand within South Africa"s shared river basins as determinants of regional social-ecological resilience", *Burns, MJ & Weaver, AvB*, pp. 279–310.

Barua, A. *et al.* (2014) "Climate change and poverty: building resilience of rural mountain communities in South Sikkim, Eastern Himalaya, India", *Regional Environmental Change*. Springer, 14(1), pp. 267–280.

Bhamra, R., Dani, S. and Burnard, K. (2011) "Resilience: the concept, a literature review and future directions", *International Journal of Production Research*. Taylor & Francis, 49(18), pp. 5375–5393.

Cosens, B. and Fremier, A. (2014) "Assessing system resilience and ecosystem services in large river basins: a case study of the Columbia River Basin", *Idaho L. Rev.* HeinOnline, 51, p. 91.

Folke, C. *et al.* (2002) "Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations", *AMBIO: A journal of the human environment*. BioOne, 31(5), pp. 437–440.

Folke, C. (2006) "Resilience: The emergence of a perspective for social--ecological systems analyses", *Global environmental change*. Elsevier, 16(3), pp. 253–267.

Fraccascia, L., Giannoccaro, I. and Albino, V. (2018) "Resilience of complex systems: state of the art and directions for future research", *Complexity*. Hindawi, 2018.

Haimes, Y. Y. (2009) "On the definition of resilience in systems", *Risk Analysis: An International Journal*. Wiley Online Library, 29(4), pp. 498–501.

Hashimoto, T., Stedinger, J. R. and Loucks, D. P. (1982) "Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation", *Water resources research*. Wiley Online Library, 18(1), pp. 14–20.

Holling, C. S. (1973) "Resilience and stability of ecological systems", *Annual review of ecology and systematics*. Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, 4(1), pp. 1–23.

Liu, D. (2019) "Evaluating the dynamic resilience process of a regional water resource system through the nexus approach and resilience routing analysis", *Journal of Hydrology*, 578(124028), p. 13.

Liu, D., Xiaohong, C. and Nakato, T. (2012) "Resilience Assessment of Water Resources System", *Water Resour Manage*, 26(19), pp. 3743–3755.

Martin-Breen, P. and Anderies, J. M. (2011) "Resilience: A literature review". IDS.

Matthews, J. C. (2016) "Disaster resilience of critical water infrastructure systems", *Journal of Structural Engineering*. American Society of Civil Engineers, 142(8), p. C6015001.

Mehran, A., Mazdiyasni, O. and AghaKouchak, A. (2015) "A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. Wiley Online Library, 120(15), pp. 7520–7533.
Nemec, K. T. *et al.* (2014) "Assessing resilience in stressed watersheds", *Ecology and Society*. JSTOR, 19(1).
Ortega, D. J. P. *et al.* (2016) "Development of index of resilience for surface water in watersheds", *Journal of Urban and Environmental Engineering*. JSTOR, 10(1), pp. 72–82.
Pregenzer, A. (2011) "Systems resilience: a new analytical framework for nuclear nonproliferation", *Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories*.
Quinlan, A. E. *et al.* (2016) "Measuring and assessing resilience: broadening understanding through multiple disciplinary perspectives", *Journal of Applied Ecology*. Wiley Online Library, 53(3), pp. 677–687.
Roach, T., Kapelan, Z. and Ledbetter, R. (2018) "A resilience-based methodology for improved water resources adaptation planning under deep uncertainty with real world application", *Water resources management*. Springer, 32(6), pp. 2013–2031.
Shin, S. *et al.* (2018) "A systematic review of quantitative resilience measures for water infrastructure systems", *Water*, 10(2), p. 164.
Todini, E. (2000) "Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach", *Urban water*. Elsevier, 2(2), pp. 115–122.
Urquiza, A. and Billi, M. (2018) "Water markets and social--ecological resilience to water stress in the context of climate change: an analysis of the Limar{\"\i} Basin, Chile", *Environment, Development and Sustainability*. Springer, pp. 1–23.
Vugrin, E. D. *et al.* (2010) "A framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems", in *Sustainable and resilient critical infrastructure systems*. Springer, pp. 77–116.
Walker, B. *et al.* (2004) "Resilience, adaptability and transformability in social--ecological systems", *Ecology and society*. JSTOR, 9(2).
Wang, C. and Blackmore, J. M. (2009) "Resilience concepts for water resource systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*. American Society of Civil Engineers, 135(6), pp. 528–536.

Investigating different aspects of resilience in water systems

Samin Jabbari Gharabagh[1], Ali Abdollahi-Nasab[2,*], Zohre Besharati Rad[3], Arash Taghipour Zarei

1- PhD candidate of Water resources engineering, Urmia University and Researcher of Technology Studies Institute, Tehran, Iran, samin.jabbari@gmail.com

2- Head of water committee, Technology Studies Institute, Tehran, Iran, abdollahinasab@tsi.ir

3- Research deputy of the Center For Energy Innovation Development and Technology Studies Institute Consultant, Tehran, Iran, radtaba@yahoo.com

4- Researcher, Technology Studies Institute, Tehran, Iran, arash.taghipourz@gmail.com

Abstract

Water resources systems play a considerable role in the economic growth and well-being of communities as well as the conservation of ecosystems by providing essential services for human life. A variety of natural and man-made destructive events such as earthquakes, water scarcity, flooding, droughts and water pollution affect water systems. These Undesirable events, which can cause disaster, hazard, or change the normal functioning of water resources systems, are considered as disturbances. Resilience means the ability of the system to react to perturbations (internal failures, and environmental events) by absorbing the disturbance and/or reorganizing to maintain its functions. Therefore, it is very important to evaluate and improve the resilience of water resources systems and their components such as water supply and distribution systems and wastewater treatment systems against destructive events, considering their vital role in achieving the goals of sustainable development. The present study intends to explain the concept of resilience and its various aspects, investigate the methods of measuring resilience in water systems by using literature review in the field of resilience in water domain, and provide a proper condition for studying the resilience of water systems.

Keywords: Water supply and distribution systems, wastewater treatment systems, resilience measurement methods, system performance, sustainable development.