سال پنجم، شماره ۱، ۱۳۹۷، صفحات ۵۵ تا ۶۶
نشریه آب و توسعه پایدار

2018, Vol.5, No.1, Pages 55 to 66
Journal of Water and Sustainable Development

لزوم بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های زهکشی شهری تحت شرایط غیر قطعی آینده

نگین بینش[۱]، محمدحسین نیک‌سخن[۲*]، امین سارنگ[۳]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست، دانشیار و استادیار، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: niksokhan@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۰۲

چکیده

امروزه با توجه به اثرات مخرب سیل بر روی حوضه‌های شهری، بازگشت‌پذیری به عنوان رویکردی نوین در افزایش ارتقاء آمادگی و افزایش پایداری و سازگاری در مواجهه با وقوع سیلاب و کاهش آسیب‌پذیری جوامع در معرض خطر سیل، اهمیت ویژه‌ای یافته است. بازگشت‌پذیری یک سیستم به معنای توانایی آن در جذب اختلالات وارد شده و بازیابی آن پس از وقوع شکست می‌باشد. با وجود پیشرفت‌های قابل توجهی که تاکنون در سراسر جهان برای رسیدن به مدیریت پایدار آب شهری صورت گرفته، سیستم‌های زهکشی شهری به طور فزاینده‌ای توسط محرک‌های غیرقطعی متعدد در رابطه با تغییرات آینده تهدید می‌شوند. بنابراین امروزه در بسیاری از نقاط جهان بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های زهکشی رواناب شهری نسبت به سیل با هدف افزایش پایداری بلند مدت جوامع شهری، امری ضروری است. این مقاله پس از معرفی مفهوم بازگشت‌پذیری و کاربرد آن در رابطه با زیرساخت‌های منابع آب، به طور خاص بازگشت‌پذیری سیستم زهکشی شهری در رابطه با اثرات شرایط غیرقطعی آینده (ناشی از تغییرات اقلیمی و توسعه شهری) و کمّی‌سازی بازگشت‌پذیری این سیستم‌ها نسبت به سیل را بحث و بررسی می‌کند. همچنین چگونگی به کارگیری روش‌های مناسب در رابطه با اعمال رویکرد بازگشت‌پذیری در مدیریت یکپارچه زهکشی شهری بحث می‌شود. در نهایت ضرورت به‌کارگیری دید جامع و یکپارچه در مدیریت سیل و رواناب‌های شهری و نیز توجه به معیارهای پایداری در این رابطه و لزوم در نظر گرفتن اولویت‌های تصمیم‌گیری در استفاده از رویکردهای زهکشی پایدار با توجه به شرایط منطقه مورد نظر، شرح داده شده است.

واژه‌های کلیدی: بازگشت‌پذیری، پایداری، زهکشی شهری، رواناب.

The Need for Making Urban Drainage Systems Resilient to Uncertain Future Changes

N. Binesh[1], M.H. Niksokhan[2*], A. Sarang[3]

1,2,3- PhD Candidate in Environmental Engineering, Associate Professor & Assistant Professor, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: niksokhan@ut.ac.ir)

Received: 29-07-2016
Accepted: 23-06-2017

Abstract

Nowadays, resilience has become increasingly important as a novel approach for enhancing preparedness, increasing the adaptability in coping with flood occurrence, and decreasing the vulnerability of flood-prone communities due to undesirable effects of floods in urban catchments. Resiliency refers to the ability of a system to absorb and recover from a disruption. Despite the significant advances in achieving a sustainable urban water management worldwide, urban drainage systems are progressively being threatened by future uncertain drivers. Therefore today, making urban drainage systems resilient to floods has become an essential task around the world in order to increase the long-term sustainability of urban communities. After an introduction to the resilience concept and its applicability in the context of water resources infrastructures, this paper discusses the urban drainage system resilience under the effects of future uncertain conditions (due to climate change and urban development), and investigates quantifying such systems' resistance to flooding. The paper reviews some important researches on the subject, and discusses the appropriate methods related to applying the resilience approach to integrated urban drainage management. Finally, conclusions will be offered according to presented discussions, the necessity of using an integrated perspective in managing urban runoff and floods, paying attention to sustainability criteria, and also the necessity of taking preferences into account in decision making on using sustainable drainage techniques, considering the condition of the studied region will be emphasised.

Keywords: Resilience, Sustainability, Urban drainage, Runoff.

DOI: 10.22067/jwsd.v4i2.57826

مقدمه

توسعه شهری و تغییرات اقلیمی دو نیرو محرکه تغییرات هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز، و از مهمترین عوامل ایجاد عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌های مربوط به طرح‌ها و پروژه‌های زمان حال و برنامه‌ریزی برای دوره زمانی آینده می‌باشد. بر طبق برآورد صورت گرفته در مطالعات مختلف، تغییرات اقلیمی، اغلب افزایش رخدادهای بارش حدی و افزایش بار آلودگی و مواد مغذی را به دنبال دارد. از سوی دیگر توسعه شهری، قابلیت بازگشت‌پذیری و توانایی اکوسیستم‌های طبیعی برای مهار وقایع حدی چون سیلاب، امواج گرمایی، و کمبود آب و خشکسالی را کاهش می‌دهد (Berte و Panagopoulos، ۲۰۱۴). بسیاری از دانشمندان، افزایش تعداد و شدت طوفان‌ها، از جمله طوفان سندی و کاترینا در آمریکا را که سبب تخریب گسترده‌ای شدند، ناشی از عدم توانایی اکوسیستم برای دفاع از خود در مقابل سوانح طبیعی می‌دانند. اکوسیستم‌های شهری باید قدرت و بازگشت‌پذیری لازم را برای حفاظت خود در مقابل حوادث طبیعی آتی داشته باشند. بنابراین امروزه نیاز به رویکردی در برنامه‌ریزی و مدیریت سیلاب شهری است که بازگشت‌پذیری سیستم را مد نظر قرار دهد. سیستم‌های زهکشی رواناب به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت‌های آبی در شهرها که وظیفه مقابله با سیل شهری را بر عهده دارند، تحت تأثیر محرک‌های غیر قطعی آینده چون تغییرات اقلیمی می‌باشند (Malaekepour و همکاران، ۲۰۱۳؛ Tahmasebi Birgani و Yazdandoost، ۲۰۱۳). به عقیده Gersonius (۲۰۰۸)، به منظور برنامه‌ریزی برای یک سیستم زهکشی شهری در مقیاس زمانی طولانی، نیازمند تغییر از رویکرد ریسک محور به رویکرد بازگشت‌پذیری هستیم. رویکردهای بر پایه بازگشت‌پذیری، سیستم-محور هستند، دید پویاتری دارند و ظرفیت مواجهه با اختلال و تشخیص را در هنگام رخداد تغییرات، به عنوان ویژگی‌های کلیدی و اصلی سیستم، افزایش می‌دهند.

مفهوم بازگشت‌پذیری

در رابطه با تعریف بازگشت‌پذیری به طور کلی اتفاق نظر وجود ندارد. در منابع مختلف، تعاریف و تفاسیر متعددی از بازگشت‌پذیری ارائه گردیده است. تفاسیر و تعاریف متنوعِ ارائه شده، ناشی از طبیعت پیچیده این مفهوم است که این مسأله، به عمل درآوردن مدیریت یکپارچه زهکشی شهری را مشکل می‌نماید. بنابراین به منظور مطالعه اهمیت و کاربرد مفهوم بازگشت‌پذیری در مدیریت یکپارچه سیستم زهکشی رواناب، زیرساخت‌های مهم شهری، از جمله شبکه زهکشی رواناب، تحت عدم قطعیت‌های متعددی ناشی از تغییرات اقلیمی، مسائل اجتماعی و توسعه کاربری‌های مختلف شهری قرار دارند. بنابراین بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های زهکشی شهری نسبت به سیل، امری ضروری در جهت ارتقاء پایداری بلند مدت مناطق شهری و برای به حداقل رساندن آثار و پیامدهای سیلاب، تحت شرایط غیر قطعی تغییرات آینده اقلیمی و توسعه شهری محسوب می‌شود (Butler و Davies، ۲۰۱۱؛ Djordjević و همکاران، ۲۰۱۱؛ Blockley و همکاران، ۲۰۱۲؛ Gersonius و همکاران، ۲۰۱۳). در واقع می‌توان گفت که مهمترین شاخص در اندازه‌گیری بحران و میزان موفقیت سیاست‌های مدیریت بحران، شاخص برگشت پذیری می‌باشد (Karamouz و همکاران، ۲۰۰۳).

مفهوم بازگشت‌پذیری، در برگیرنده تغییر از رویکرد سنتی "شکست ایمن[۱]" به دیدگاه جامع "ایمنی در برابر شکست[۲]" می‌باشد که البته پیش‌بینی‌های شکست سیستم را تحت شرایط استثنائی که در طراحی در نظر گرفته نشده و ممکن است در طول عمر طراحی سیستم رخ دهد، نیز می‌پذیرد (Ahern، ۲۰۱۱؛ Francis و Bekera، ۲۰۱۴). در زمینه مدیریت سیل شهری، بازگشت‌پذیری می‌تواند تحت عناوینی چون صلابت[۳]، قابلیت احیاء[۴] و بازیابی[۵] سیستم در طول عمر طراحی آن، در هنگام مواجهه با شرایط استثنائی و بحرانی تعریف شود. صلابت اشاره دارد به اینکه سیستم زهکشی شهری تا چه میزان بزرگی[۶] شکست رخ داده در کارایی و سطح خدمات‌رسانی خود را، هنگام مواجهه با شرایط بحرانی کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، قابلیت احیاء و بازگشت بیانگر آن است که سیستم تا چه حد "مدت زمان" شکست در کارایی و سطح خدمات رسانی خود را هنگامی که در طول عمر طراحی، در معرض شرایط استثنائی (بحرانی) قرار می‌گیرد، کاهش می‌دهد (McDaniels و همکاران، ۲۰۰۸؛ Francis و Bekera، ۲۰۱۴). در ادامه به تشریح مفهوم بازگشت‌پذیری و کاربرد آن در موارد مختلف، جهت نیل به اهداف پایداری سیستم پرداخته می شود.

لازم است که درک اولیه‌ای از تعاریف مختلف (و بعضاً متضاد) بازگشت‌پذیری، و عوامل تعیین کننده آن داشته باشیم.

بر طبق یکی از مهمترین این تعاریف که متناسب با بحث مورد نظر این مقاله می‌باشد، بازگشت‌پذیری معیاری است از ظرفیت یک سیستم در جذب اختلالات و تطبیق با شرایط استثنائی رخ داده، به طوریکه با همان ساختار اولیه، پابرجا باقی بماند (Holling، ۱۹۷۳؛ Walker و همکاران، ۲۰۰۴؛ Cummingو همکاران، ۲۰۰۵). در واقع بازگشت‌پذیری معیاری است از اینکه پس از مواجهه با یک وضعیت نامطلوب و رخداد شکست، سیستم با چه سرعتی احتمال

دارد به وضعیت مطلوب بازگردد. Hashimoto و همکاران (۱۹۸۲) بازگشت‌پذیری را به صورت یک احتمال شرطی بیان می‌کنند:

$$\mathrm{Re}\,s = P\{S(t+1) \in NF \mid S(t) \in F\} \qquad (۱)$$

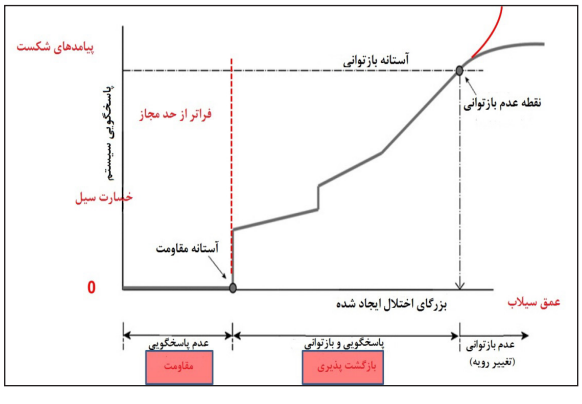
که $S(t)$ متغیر حالت سیستم مورد نظر است، F حالت شکست[۷] سیستم و NF حالت عدم شکست[۸] می‌باشد. بر اساس رابطه فوق، بازگشت‌پذیری (Res) به صورت احتمال اینکه سیستم در زمان (t+1) در حالت غیر شکست (وضعیت مطلوب) به سر ببرد، با فرض اینکه در زمان t در وضعیت شکست بوده باشد، تعریف می‌شود.

از جمله مفاهیم مرتبط با بازگشت‌پذیری، اصطلاح "حوضه جذب" و "جاذب" می‌باشد. "حوضه جذب" به منطقه‌ای از فضای حالت سیستم گفته می‌شود که سیستم تمایل دارد در آن وضعیت باقی بماند. به عنوان مثال، برای سیستم‌هایی که به سوی وضعیت تعادل متمایل هستند، حالت تعادل به عنوان یک جاذب تعریف می‌شود، و تمام شرایط اولیه‌ای که به سوی حالت تعادل متمایل هستند، حوضه جذب را تشکیل می‌دهند. اما در جهان واقعی، سیستم‌های اجتماعی- زیست‌محیطی به طور مداوم با انواع اختلالات، عدم قطعیت‌ها، تصمیمات و عملگرهایی که سیستم را به خارج از حوضه جاذب سوق می‌دهند، مواجه می‌باشند (Walker و همکاران، ۲۰۰۴). سه ویژگی کلیدی یک سیستم بازگشت‌پذیر عبارتند از: ثبات[۹]، پابرجایی[۱۰] و مقاومت[۱۱]. شکل (۱) انواع معیارهایی که تعاریف متعدد بازگشت‌پذیری بر اساس آنها صورت گرفته است را نشان می‌دهد. دو سوال اساسی و کلی که در رابطه با این شکل لازم است به آنها پاسخ داده شود، عبارتند از: ۱) یک سیستم تا چه میزان می‌تواند اختلالات وارده را تحمل نموده و با آنها مقابله نماید؟ ۲) در صورتی که تغییرات آینده بر طبق سناریوی خاصی رخ دهد، چه اتفاقی می‌افتد؟ (Mugume و همکاران، ۲۰۱۴).

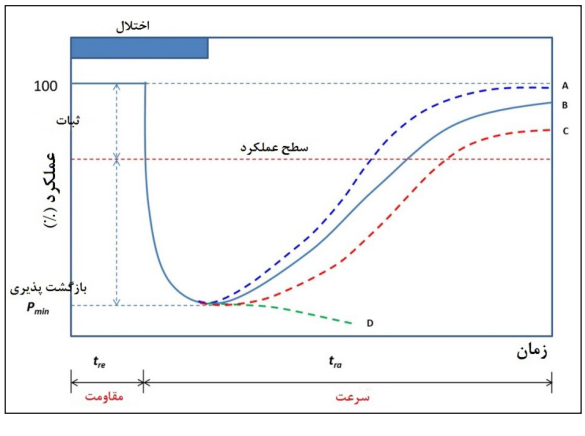
براساس شکل (۱)، به عنوان نمونه می‌توان بازگشت‌پذیری را در رابطه با عبور از آستانه بحرانی عملکرد، و یا براساس مفهوم پاسخگویی و بازتوانی سیستم تعریف نمود. با توجه به مفهوم پاسخگویی و بازتوانی، بازگشت‌پذیری معیاری است از اینکه سیستم با چه سرعتی می‌تواند پس از وقوع شکست، خود را بازیابی نماید (Hashimoto و همکاران، ۱۹۸۲؛ Kjeldsen و Rosbjerg، ۲۰۰۴). شکل (۲) منحنی پاسخ یک سیستم زهکشی شهری را نشان می‌دهد. در این شکل پاسخگویی سیستم به عنوان تابعی از بزرگای اختلال وارده رسم گردیده است. در حالیکه شکل (۳) عملکرد سیستم را نسبت به زمان نشان می‌دهد.

همچنین بازگشت‌پذیری می‌تواند انواع مختلفی داشته باشد که در شکل (۴) اقسام مختلف بازگشت‌پذیری و تعاریف مربوط به هر گروه ارائه شده است.

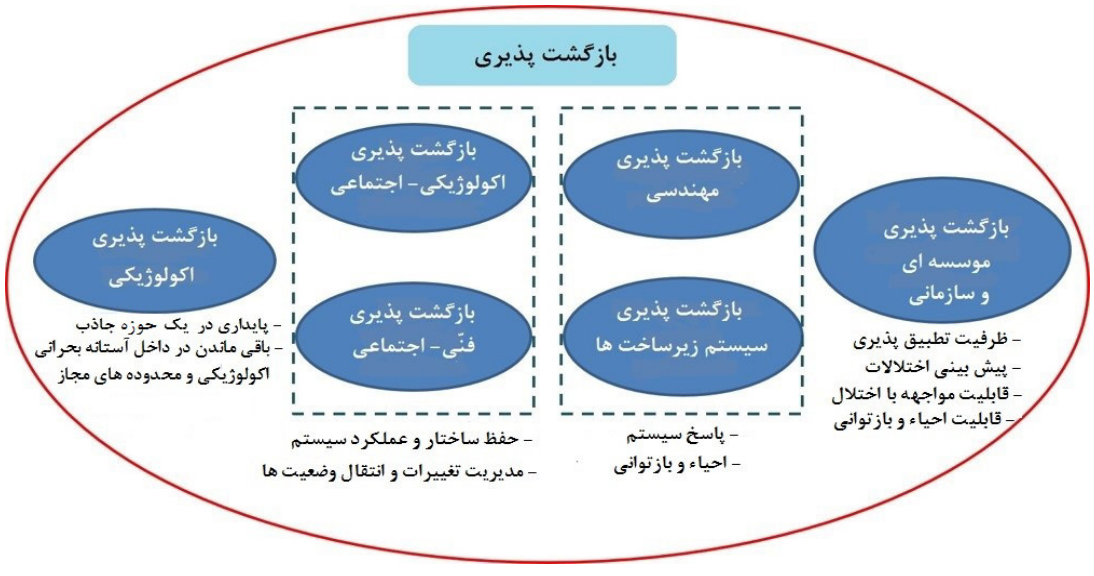
شکل ۱- تصمیم گیری تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد بازگشت‌پذیری (Mugume و همکاران، ۲۰۱۴)



شکل ۲- منحنی پاسخ سیستم (Mens و همکاران، ۲۰۱۱؛ Butler، ۲۰۱۶)



شکل ۳- منحنی عملکرد سیستم (Wang و Blackmore، ۲۰۰۹؛ Butler، ۲۰۱۶)



شکل ۴- انواع بازگشت‌پذیری و مشخصات و تعاریف آنها (Holling، ۱۹۷۳؛ Cumming و همکاران، ۲۰۰۵، Wang و Blackmore، ۲۰۰۹؛ Blockley و همکاران، ۲۰۱۲)

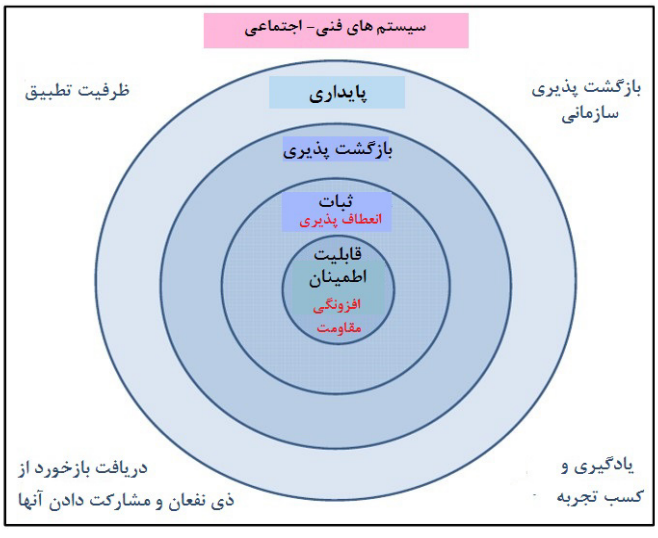
Gersonius (۲۰۰۸) نیز به سه نوع تعریف بازگشت‌پذیری اشاره کرده و آنها را در قالب جدولی به صورت زیر مشخص نموده است.

جدول ۱- انواع اصلی بازگشت‌پذیری (Gersonius، ۲۰۰۸)

مفهوم	مشخصات	نقطه تمرکز
بازگشت‌پذیری مهندسی	زمان بازگشت	قابلیت ترمیم
بازگشت‌پذیری اکوسیستم	حفظ عملکرد	قابلیت جذب اختلالات
بازگشت‌پذیری اجتماعی- زیست‌محیطی	پایداری و توسعه	قابلیت جذب اختلالات، قابلیت تطبیق

بازگشت‌پذیری مهندسی (Pimm، ۱۹۹۱) به رفتار یک سیستم در مجاورت یک تعادل پایدار اشاره دارد. این تفسیر از مفهوم بازگشت‌پذیری، مربوط به پایداری وضعیت سیستم در داخل حوضه جذب بوده و می‌تواند از طریق معیار سرعت بازگشت به حالت تعادل پس از وقوع یک اختلال، اندازه‌گیری شود. بازگشت‌پذیری مهندسی، نشان‌دهنده مقاومت در برابر اختلالات وارده است و غالباً با عبارت قابلیت بازتوانی مورد بحث قرار می‌گیرد. به دلیل وجود حوضه‌های جذب متعدد، زمان بازگشت نمی‌تواند معیار مناسبی را برای تعیین تمام روش‌هایی که سیستم در حفظ عملکرد خود دچار شکست می‌شود ارائه نماید. بر این اساس، نوع دوم بازگشت‌پذیری بیانگر توانایی یک سیستمِ دارای چند وضعیت پایداری، برای حفظ مقادیر متغیرهای حالت خود در داخل یک حوضه جذب مشخص در مواجهه با اختلالات و تنش‌های خارجی است. از این منظر، بازگشت‌پذیری می‌تواند به صورت بزرگای اختلالی که پیش از خارج شدن وضعیت سیستم از حوضه جذب مورد نظر، می‌تواند جذب گردد، تعریف شود. در واقع بازگشت‌پذیری اکوسیستم، معرف ظرفیت حاشیه ای است که باقی ماندن در حوضه جذب را امکان‌پذیر می‌سازد (Holling، ۱۹۷۳).

بازگشت‌پذیری اجتماعی - زیست‌محیطی (Walker و همکاران ۲۰۰۲) نیز به قابلیت یک سیستم برای باقی‌ماندن در یک حوضه جذب به منظور حفظ بازخوردها و عملکرد خود اشاره دارد و شامل توانایی سیستم برای پذیرش تغییرات ناشی از اختلالات می‌باشد. بدین مفهوم، بازگشت‌پذیری اغلب به عنوان یک دیدگاه یا حتی الگویی برای تحلیل سیستم‌های اجتماعی- زیست‌محیطی بیان می‌شود. بازگشت‌پذیری اجتماعی- زیست‌محیطی به عنوان معیاری از موقعیت جغرافیایی حوضه‌های جذب معرفی می‌شود و ویژگی‌های متعددی دارد که تعیین‌کننده اندازه و شکل حوضه‌ها و قابلیت تأثیرگذاری بر خط سیر سیستم در حوضه‌های پایداری مورد نظر آن سیستم است. هر یک از این انواع بازگشت‌پذیری نیز دارای ویژگی‌هایی هستند و با دیگر انواع بازگشت‌پذیری در ارتباط می‌باشند. به عنوان نمونه، شکل (۵) طبقه‌بندی ویژگی‌های بازگشت‌پذیری سیستم‌های فنّی- اجتماعی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- طبقه‌بندی ویژگی‌های بازگشت‌پذیری در سیستم‌های فنّی- اجتماعی (Mugume و همکاران، ۲۰۱۴)

بازگشت‌پذیری سیستم‌های زهکشی شهری نسبت به سیل

تعریف بازگشت‌پذیری یک سیستم نسبت به یک مجموعه عوامل مشخص، در مقایسه با بحث پیرامون مفهوم بازگشت‌پذیری به طور عام، ملموس‌تر و ساده‌تر است. چنین تعریفی با شناسایی ویژگی‌هایی از سیستم که لازم است در مقابل عوامل مشخص مذکور، بازگشت‌پذیر بوده و سطحی از اختلالات که لازم است جذب و تحمل نمایند، امکان‌پذیر می‌شود.

مفهوم بازگشت‌پذیری به طور فزاینده‌ای در رابطه با مدیریت یکپارچه زهکشی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Klein و همکاران، ۱۹۹۸؛ McFadden، ۲۰۰۱؛ Vis و همکاران، ۲۰۰۳؛ Sayers و همکاران، ۲۰۰۳؛ Ashley و همکاران، ۲۰۰۷؛ Sendzimir و همکاران ۲۰۰۷).

طرح‌های مربوط به زیرساخت‌های زهکشی شهری، اغلب پروژه‌هایی بزرگ، هزینه‌بر و با عمر طراحی طولانی مدت می‌باشند. این ویژگی‌ها منجر به عدم قطعیت در برنامه‌ریزی و طراحی این سیستم‌ها برای تضمین سطح مشخصی از کارایی و خدمات‌رسانی در طول عمر طراحی سیستم می‌شود (Djordjevic و همکاران، ۲۰۱۱؛ Mailhot و Duchesne، ۲۰۱۱). De Graaf و همکاران (۲۰۰۹) معتقدند برای افزایش بازگشت‌پذیری سیستم‌های زهکشی رواناب شهری در رابطه با سیل و مواجهه با تغییرات اقلیمی، چهار نوع ظرفیت را می‌توان در جهت افزایش آستانه تحمل سیستم و یا کاهش مقدار تغییر عملکرد سیستم در پاسخ به امواج سیل تقویت نمود:

- ظرفیت سازه‌ای: توسعه ظرفیت با اجرای اقدامات فنی و فیزیکی برای اجتناب از خسارت؛
- ظرفیت مقابله[۱۲]: قابلیت کاهش خسارت در رابطه با وقوع اختلالی که از آستانه واکنش تجاوز می‌نماید؛
- ظرفیت بازتوانی: قابلیت احیاء و بازیابی سریع سیستم به حالت پیش از وقوع اختلال یا وضعیتی معادل آن؛
- ظرفیت تطبیق: قابلیت و ظرفیت سازگاری با تغییرات غیر قطعی آینده که از طریق یک رویکرد تطبیقی مدیریتی یا پیشگیرانه صورت می‌گیرد. در رویکرد پیشگیرانه، تأکید بر حفاظت سرمایه‌گذاری‌های بلند مدت است، در حالیکه رویکرد مدیریتی به منظور افزایش تطبیق و سازگاری در نظر گرفته می‌شود.

کمّی‌سازی بازگشت‌پذیری در سیستم‌های زهکشی شهری

مفهوم بازگشت‌پذیری به صورت نظری روز به روز ارتقا یافته و تعاریف دقیق‌تری از آن ارائه می‌شود، اما به‌کارگیری آن در عمل به منظور توسعه و ارزیابی استراتژی‌ها و راهبردهای مختلف، هنوز در مراحل اولیه به سر می‌برد (Gersonius، ۲۰۰۸). توسعه روش‌های مناسب ارزیابی کمّی بازگشت‌پذیری، امکان آزمون و ارزیابی نحوه رفتار و عملکرد سیستم‌های زهکشی شهری در شرایط سیلابی را فراهم می‌آورد. با درک بهتر رفتار سیستم، راهبردهای تطبیق و کاهش خطر با هدف ارائه سطح مناسب خدمات به ذی‌نفعان، می‌تواند آزمون، بررسی اولویت‌بندی شود. به منظور کمّی‌سازی شاخص بازگشت‌پذیری، ابتدا لازم است مدل‌سازی سیلاب شهری انجام گیرد، سپس میزان و چگونگی سرریز از شبکه و آب‌گرفتگی سطح معابر و خیابان‌ها تعیین شود. مدل‌های مختلف موجود، اغلب برای شبیه‌سازی سیل شهری و مشاهده احتمال وقوع و پیامدهای رخداد سیل (که تعیین‌کننده بازگشت‌پذیری و خط سیر

کل سیستم می‌باشند) به کار گرفته می‌شوند تا تصمیمات مدیریتی صحیح اتخاذ گردد.

تاکنون شاخص‌ها و معیارهای مختلفی برای ارزیابی بازگشت‌پذیری سیستم زهکشی شهری توسط محققین مختلف معرفی گردیده است. De Bruijn (۲۰۰۴a) از جمله بهترین تحلیل‌های صورت گرفته در زمینه شناسایی و اندازه‌گیری عوامل معرف بازگشت‌پذیری را پیشنهاد داده است. Mugume و همکاران در ۲۰۱۴ شاخص‌های ارائه شده توسط De Bruijn (۲۰۰۴b) را تکمیل نموده و نهایتاً مجموعه‌ای از معیارهای معرف بازگشت‌پذیری نسبت به سیل شهری در اثر بارش را پیشنهاد نمودند. بر اساس تعریفِ کمّیِ ارائه شده توسط محققین مختلف، بازگشت‌پذیری عبارت است از معکوس "متوسط" زمانی که سیستم در حالت شکست سپری می‌کند:

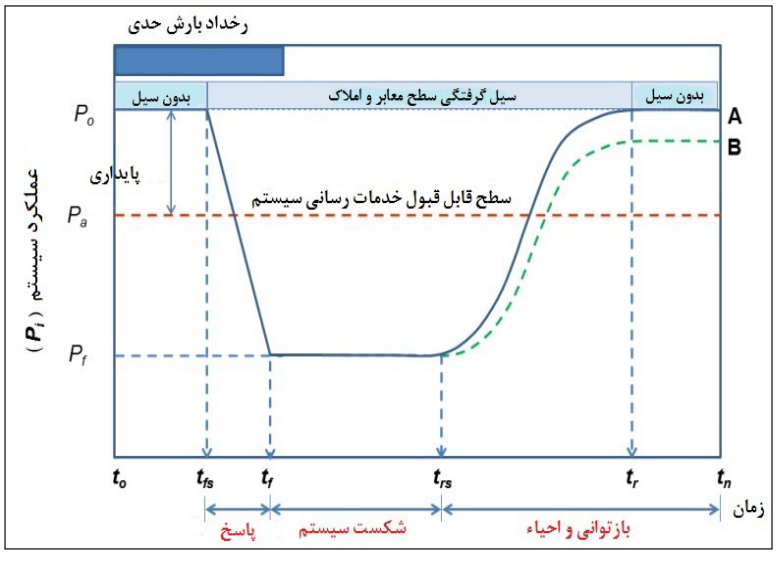
$$\mathrm{Re}\, s_1 = \left\{ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} d(j) \right\}^{-1} \qquad (۲)$$

در برخی منابع نیز معکوس "حداکثر" مدت زمان پیوسته‌ای که سیستم در وضعیت شکست باقی می‌ماند، به عنوان بازگشت‌پذیری در نظر گرفته شده است.

$$\mathrm{Re}\, s_2 = \left\{ \max_j \{ d(j) \} \right\}^{-1} \qquad (۳)$$

که d(j) مدت زمان j اُمین واقعه شکست، و M کل تعداد وقایع شکست است. دو ویژگی کلیدی بازگشت‌پذیری در این مورد، عبارتند از: زمان شکست و سرعت در بازیابی سیستم.

اندازه‌گیری بازگشت‌پذیری به طور مستقیم مشکل است؛ چرا که نیازمند شناسایی موارد عبور از آستانه (وقوع شرایط حدی) می‌باشد و چنین مواردی اغلب اوقات رخ نمی‌دهد (Gersonius، ۲۰۰۸)؛ لذا لازم است بازگشت‌پذیری به طور غیر مستقیم برآورد شود. Carpenter و همکاران (۲۰۰۵) پیشنهاد دادند، ویژگی‌هایی از سیستم که قابل اندازه‌گیری و مرتبط با ابعاد مختلف مفهوم بازگشت‌پذیری است ارزیابی شوند. در واقع چنین ویژگی‌هایی به عنوان جایگزین‌هایی برای اندازه‌گیری مستقیم بازگشت‌پذیری استفاده می‌شوند. شکل (۶) منحنی عملکرد سیستم را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، "پایداری" و "شکست سیستم" به عنوان توابع "عملکرد سیستم (Pi)" و "مستقل از زمان" هستند؛ در حالیکه "پاسخ سیستم" و "بازتوانی" به صورت توابع "عملکرد سیستم" و "وابسته به زمان" تعریف شده‌اند.



شکل ۶- منحنی عملکرد سیستم مربوط به سیستم زهکشی شهری (Henry و Ramirez-Marquez، ۲۰۱۲؛ McDaniels و همکاران، ۲۰۰۸؛ Mens و همکاران، ۲۰۱۱)

اصطلاح "صلابت"، به روش‌ها و سازوکارهای متعدد "شکست ایمن" در داخل سیستم (از جمله لوله‌های موازی، تانک‌های ذخیره و حوضچه‌های نگهداشت سیل) وابسته است. بر این اساس سیستم هنگامیکه در معرض اضافه بار شرایط بحرانی قرار می‌گیرد قادر به حفظ کارایی خود و کاهش بزرگای شکست خواهد بود (Jung و همکاران، ۲۰۱۳؛ Lansey، ۲۰۱۲؛ NIAC، ۲۰۰۹). در شکل (۶)، صلابت سیستم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Rob_i = f[P_0 - P_a] \qquad (۴)$$

P_0 سطح عملکرد اولیه سیستم در حالت پایدار و پیش از اعمال اضافه بار بر شبکه و آغاز سیلاب (سرریز جریان از شبکه) و P_a حداقل سطح عملکرد قابل قبول سیستم است که در این سطح، املاک و دارایی‌ها دچار سیل‌گرفتگی نمی‌شوند. می‌توان اینگونه فرض نمود که با حداقل‌شدن عمق سیل‌گرفتگی، صلابت سیستم به حداکثر میزان خود می‌رسد. مسلّماً تصمیم گیران اجرایی از یک

سیستم زهکشی پایدار[13]، که به سهولت رواناب ایجاد شده از یک رخداد بارش حدی مشخص را با کمترین میزان سیل‌گرفتگی انتقال می‌دهد، استقبال می‌کنند، زیرا نسبت به شبکه‌ای که سبب عمق سیل گرفتگی بیشتری می‌شود، عملکرد بالاتری دارد.

پاسخ سیستم (Response)، به توانایی سیستم برای حفظ خود در برابر تنش‌های وارد شده به آن اشاره دارد؛ به طوریکه هنگام مواجهه با شرایط بحرانی که در معرض کاهش سریع عملکرد سیستم قرار می‌گیرد، بتواند وضعیت اولیه و مطلوب خود را حفظ نموده و کارا باقی بماند. شیب بخش "پاسخ" از منحنی عملکرد سیستم، شاخصی از میزان حساسیت کارایی شبکه زهکشی شهری است (Lansey، ۲۰۱۲). پاسخ سیستم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f[(P_f - P_0)/(t_f - t_{fs})] \quad (۵)$$

P_f شکست سیستم است که به عمق سیل گرفتگی ارتباط دارد (۰/۶m<x<۳/۰m)، t_{fs} زمان شروع زوال عملکرد سیستم و t_f زمان تا آغاز شکست است.

قابلیت بازگشت (احیاء) سیستم (Restorability) تابعی از زمان بازگشت به سطح کارایی اولیه سیستم (یا کمتر از آن، اما در حد قابل قبول) پس از رخداد شکست است. قابلیت احیاء عمدتاً به منابع موجود انسانی و سرمایه‌ای، برنامه‌ریزی مؤثر برای وقوع شرایط احتمالی و عملیات پاسخگویی اضطراری مناسب و مقتضی بستگی دارد (McDaniels و همکاران، ۲۰۰۸؛ NIAC، ۲۰۰۹). در شکل (۶)، قابلیت احیاء سیستم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathrm{Re}store_i = f[t_r - t_f] \quad (۶)$$

که t_r زمان بازگشت به کارایی اولیه سیستم است. با به حداقل رسیدن زمان بازگشت به سطح عملکرد اولیه، قابلیت احیاء سیستم به حداکثر خود می‌رسد (Mugume و همکاران، ۲۰۱۴). مسلماً تصمیم‌گیران اجرایی سیستمی را ترجیح می‌دهند که قابلیت احیاء (resorability) بالایی داشته باشد، به طوریکه بتواند پس از وقوع شکست، سریعاً بازتوانی شده و به سطح کارایی اولیه خود برگردد، زیرا چنین سیستمی عملکرد بالاتری دارد.

پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه بازگشت‌پذیری و سیستم‌های آب شهری

تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های منابع آب شهری (به ویژه سیستم تأمین و توزیع آب) نسبت به اثرات غیرقطعی تغییرات آینده چون تغییر اقلیم انجام شده است؛ اما در رابطه با بازگشت‌پذیری سیستم‌های زهکشی رواناب، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. در ادامه به برخی از مهم‌ترین پژوهش‌های انجام شده در حوزه بازگشت‌پذیری سیستم‌های منابع آب و از جمله زیرساخت‌های زهکشی شهری اشاره می‌شود.

نظیف (۱۳۸۹) با مطالعه چرخه آب در شهر تهران و ارائه سه شاخص اطمینان‌پذیری، بازگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری، الگویی برای ارزیابی میزان آمادگی سیستم‌های مرتبط با اجزای مختلف چرخه آب شهری در مواجهه با بحران‌های محتمل پیشنهاد نموده است. Gersonius (۲۰۱۲) با هدف ایجاد یک راهبرد تطبیقی پویا، کارایی روش‌های مختلف براساس رویکرد بازگشت‌پذیری و مفید بودن این روش‌ها را به لحاظ تعیین زمان، مکان و چگونگی تطبیق با تغییرات اقلیمی بررسی کرد. نتایج تحقیق وی نشان داد رویکرد بازگشت‌پذیری قابلیت زیادی برای ارتقاء ظرفیت تطبیق سیستم‌های مدیریت ریسک سیل با تغییر اقلیم داشته و توانایی این سیستم‌ها را برای مواجهه با تغییرات آتی افزایش می‌دهد. Yazdandoost و همکاران (۲۰۱۳) شاخصی برای بازگشت‌پذیری با عنوان "ظرفیت بازتوانی" ارائه نمودند و آن را برای اولویت‌بندی سناریوهای مختلف به‌کارگیری بهترین راهکارهای مطالعاتی (BMP)[14] استفاده کردند. اعمال این شاخص بر منطقه ۲۲ شهرداری تهران با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان داد روش پیشنهادی در کمک به مدیران شهری برای گرفتن تصمیمات بر پایه مفاهیم بازگشت‌پذیری و پایداری در مناطق شهری کارا است. Tahmasebi Birgani و Yazdandoost (۲۰۱۴) بر مبنای دو دیدگاه بازگشت‌پذیری و مقاومت چارچوبی برای ارزیابی مفهوم تداوم[15] مدیریت ریسک در سیستم‌های زهکشی شهری معرفی نموده، آن را بر شبکه زهکشی بخشی از شهر تهران اعمال کردند. نتایج این بررسی نشان داد که تحلیل تداوم می‌تواند در کمک به برنامه‌ریزان برای انتخاب معیارهای لازم در رابطه با سیستم‌های مدیریت ریسک زهکشی شهری در مواجهه با اختلالات مؤثر باشد. زحمتکش (۱۳۹۳) بازگشت‌پذیری شهرهای ساحلی نسبت به وقوع سیل و کمّی‌سازی این مفهوم را در یک نمونه موردی در کشور آمریکا بررسی کرد. Behzadian و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی عملکرد برنامه‌های بازیافت آب در سیستم آب شهری از چند شاخص عملکرد هیدرولیکی یک مدل متابولیسم شهری (WaterMet) استفاده کردند. بدین منظور یک الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه را برای شناسایی جواب‌های بهینه پارتو براساس سه هدف: حداکثر بازگشت‌پذیری، حداکثر کارایی و حداقل هزینه کل به کار گرفتندرویکرد پیشنهادی بر روی یک نمونه واقعی (سیستم آب شهر اوسلو[16] در نروژ) اعمال شد و نتایج اهمیت استفاده از شاخص بازگشت‌پذیری در تعیین برنامه‌های مناسب را نشان داد. این محققین همچنین نتیجه گرفتند که در نمونه موردی تحلیل شده، برنامه استحصال آب باران، نقش قابل توجهی در ارتقاء شاخص بازگشت‌پذیری دارد. Batica (۲۰۱۵) روشی را برای ارزیابی مدیریت ریسک سیل در محیط زیست شهری، با تأکید بر مفاهیم

بازگشت‌پذیری و کاهش خطر سیل ارائه نمود و در نهایت، یک شاخص بازگشت‌پذیری نسبت به سیل در سیستم‌های شهری، با تأکید بر ساختار سیستم (در مقیاس کوچک و متوسط) و با تمرکز بر ابعاد سیستم (در مقیاس بزرگ) پیشنهاد داد. Yazdandoost و Moradian (۲۰۱۶) در مطالعه خود بر اثرات اختلالات وارد شده بر سیستم‌های آبی در حوضه‌های کم‌آب تمرکز نمودند؛ بدین منظور پایداری سیستم را بر اساس ترکیبی از دو مفهوم بازگشت‌پذیری و مقاومت در برابر اختلالات مد نظر قرار داده، جعبه‌ابزاری برای اتخاذ رویکردی با ساختار نظام‌مند در شناسایی و کمّی‌سازی مفهوم بازگشت‌پذیری توسعه دادند. نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف نشان داد که بازگشت‌پذیری مستقیماً با دو مفهوم نرخ بازتوانی و تدریج (graduality) در ارتباط است، حال آنکه با دامنه اختلالات نسبت عکس دارد. Tahmasebi Birgani و Yazdandoost (۲۰۱۶) مجموعه‌ای از معیارها را برای عملیاتی نمودن مفهوم بازگشت‌پذیری در سیستم‌های مدیریت ریسک زهکشی شهری ارائه کردند. آنها به منظور کمّی‌سازی این معیارها یک سیستم فازی سلسله‌مراتبی توسعه دادند که امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها را در رابطه با پارامترهای اجتماعی و سازمانی داشته باشد. نتایج حاصل از اعمال این روش بر بخشی از سیستم زهکشیِ شهر تهران، کاربردی بودن شاخص‌های پیشنهادی را به عنوان معیار تصمیم‌گیری در کمک به مسئولان شهری نشان می‌دهد. این شاخص‌ها در فرایند انتخاب گزینه‌های مناسب برای زهکشی شهری، بر اساس مدیریت ریسک و تحت وقایع مختلف بارش می باشند.

همانطور که از مطالب فوق‌الذکر ملاحظه می‌شود، در سال‌های اخیر، توجه به کمّی‌سازی بازگشت‌پذیری در سیستم‌های زهکشی رواناب شهری جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده و به تدریج رو به گسترش است. با این حال، همانطور که اشاره گردید، تعداد این قبیل تحقیقات نسبتاً اندک بوده و لازم است محققین و دست‌اندرکاران اجرایی، توجه بیشتری به این مسأله اساسی داشته باشند.

اعمال رویکرد بازگشت‌پذیری در مدیریت یکپارچه زهکشی شهری

دو گروه از روش‌ها در رابطه با اعمال رویکرد بازگشت‌پذیری برای مدیریت یکپارچه زهکشی شهری قابل بحث و بررسی هستند:

۱- روش‌های مبتنی بر جذب اختلالات ایجاد شده و مقاومت در تأثیرپذیری از آنها،

۲- روش‌های بر پایه تطبیق و سازگاری سیستم با شرایط نامطلوب و اختلالات وارد شده.

در توضیح این مطلب می‌توان گفت که یک جنبه از بازگشت‌پذیری، به توانایی کل سیستم برای باقی ماندن در سطح مطلوب یا قابل قبولی از عملکرد، در هنگام مواجهه با یک عامل مختل‌کننده اشاره دارد. در رابطه با مدیریت یکپارچه زهکشی شهری، این مسأله را می‌توان به صورت توانایی انتقال امواج سیل و جریان رواناب، همزمان با حداقل‌سازی اثرات سیل و بازتوانی سریع بیان نمود. سازگار نمودن زیرساخت‌های شهری، سیستم‌های خدمات‌رسانی، املاک و دارایی‌ها و رفتار ذی‌نفعان، همگی از جمله مواردی هستند که ظرفیت و قابلیت بازتوانی را ارتقاء می‌دهند. بهتر است در طراحی‌های شهری، برخی کاربری‌ها (مانند فضاهای باز) که نسبت به وقوع سیل، آسیب‌پذیری کمتری داشته و سازگارتر هستند، در مناطق با بیشترین ریسک سیلاب واقع شود. در مقابل، زیرساخت‌های مهم و ضروری، کاربری‌های آسیب‌پذیر و مناطق مسکونی پرتراکم در مناطق با ریسک (باقیمانده) کم لحاظ گردند. در این صورت کل محدوده شهر، بازگشت‌پذیری بیشتری نسبت به سیل خواهد داشت. به عبارت دیگر لازم است تنوع اقدامات و سطوح دفاعی، متناسب با هر نوع کاربری زمین و براساس میزان آسیب‌پذیری آن به کار گرفته شود (جدول (۲) را ببینید). مدل‌سازی و ارزیابی دقیق و تفصیلی ریسک سیلاب، برای حصول درک بهتر از آسیب‌پذیری کل سیستم، اهمیت زیادی داشته و لازم است به طور جدی دنبال شود (Gersonius، ۲۰۰۸).

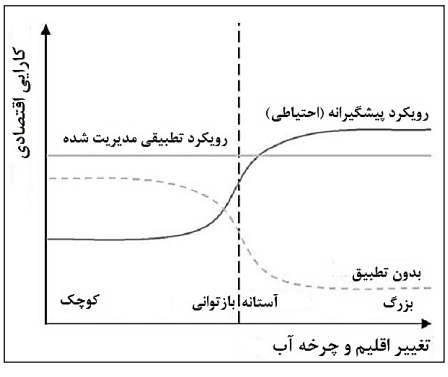
جدول ۲- مواردی که در اعمال رویکرد بازگشت‌پذیر نمودن شهرها در برابر سیل می‌تواند مد نظر قرار گیرد (Gersonius، ۲۰۰۸)

ریسک باقیمانده بالا- ایمن نگاه داشتن مردم در سکونتگاه خود	ریسک باقیمانده متوسط- فراهم نمودن مسیر ایمن برای فرار	ریسک باقیمانده پایین- ممانعت از سیل‌گرفتگی املاک و ساکنین
- ایجاد پناهگاه ایمن در سطوح مرتفع - پهنه‌بندی کاربری‌ها - بازگشت‌پذیر ساخت زیرساخت‌ها - اجرای مانور و هشدار سریع - دریافت اطلاعات و اطلاع‌رسانی بهنگام/ بسته‌های حفاظت در مقابل سیل - ذخیره آب سیلاب در محل - ایجاد سیستمی برای عقب‌نشینی جریان	- استقرار کاربری مسکونی در بالای سطح سیل‌گرفتگی - اجرای مانور و هشدار سریع - ایجاد پشت‌بام‌های سبز و ایجاد پل‌هایی برای دسترسی سریع در هنگام وقوع سیل - بازگشت‌پذیر ساختن زیرساخت‌های اضطراری	- تجهیزات دفاع ثانویه - تغییر سطح و بالا بردن تراز زمین - ایجاد موانع از پیش آماده در برابر سیل که نصب و جداسازی آن آسان باشد -بازگشت‌پذیر ساختن اجزای مختلف ساختمان‌ها - استفاده از رویکردهای زهکشی پایدار و فضای سبز در محیط شهری

در صورتی که در رویکردهای برنامه‌ریزی شهرها، مدیریت سیل شهری به عنوان یک اصل مهم و جزء جدایی‌ناپذیر طراحی شهری لحاظ شود، به خودی خود مزایای اجتماعی متعددی همچون توجه به ارزش‌های رفاهی/تفریحی، ایجاد مناظر سبز-آبی و زیباسازی چشم‌انداز محیط شهری رابه دنبال دارد؛ زیرا رویکرد نوین در مدیریت سیل -از جمله به‌کارگیری سیستم‌های زهکشی پایدار- نه تنها مغایر با اصول طراحی و برنامه‌ریزی شهری نیستند، بلکه کمک‌کننده به آن نیز هستند (Gersonius،۲۰۰۸). تطبیق شبکه زهکشی رواناب شهری با تغییرات غیرقطعی آینده نیازمند تصمیمات مقتضی در این باره است که آیا باید سیستم را به صورت منفعلانه[۱۷] و با اتخاذ یک رویکرد پیشگیرانه و احتیاطی (که بدون هیچ‌گونه تصمیم‌گیری مدیریتی در رابطه با آینده عمل می‌کند) حفاظت نمود و یا آن را به طور فعالانه[۱۸] و با سازگار نمودن آن با عدم قطعیت‌های آینده در مقابل سیل حفاظت کرد. هر دوی این رویکردها موجب افزایش هزینه‌ها می‌شوند. هزینه‌های رویکرد پیشگیرانه عمدتاً شناخته شده هستند و در زمان حال مورد توجه و تمرکز می‌باشند؛ اما هزینه‌های رویکرد تطبیقیِ مدیریت شده، غیر قطعی بوده و برای زمان آینده برنامه‌ریزی شده‌اند.

به طور کلی، هزینه‌های اعمال شده برای افزایش پایداری سیستم در رویکرد نخست، با هر دستاوردی در ارزش‌های پروژه تعدیل و جبران نمی‌شوند؛ چراکه رویکرد پیشگیرانه (در مقایسه با رویکرد تطبیقی مدیریت شده) از ارزش تولید شده از عدم قطعیت سودی نمی‌برد. بر این اساس، رویکرد تطبیقی، در مقایسه با روش سنتی مدیریت زهکشی شهری، منفعت اقتصادی را به دنبال دارد؛ زیرا این رویکرد هزینه‌ها را در زمان توزیع می‌کند. در رویکرد تطبیقی مدیریت شده تلاش می‌شود تا هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه از طریق توسعه ظرفیت حداقل شود. سود حاصله در رویکرد تطبیقی، به دلیل دید باز و انعطاف‌پذیر در به‌کارگیری گزینه‌های مدیریتی مناسب است؛ چرا که زمان‌بندی بخش‌های مختلف پروژه ممکن است با یکدیگر متفاوت باشد (Gersonius،۲۰۰۸؛ Wang،۲۰۰۵).

با افزایش عدم قطعیت، ارزش انعطاف‌پذیری نیز افزایش می‌یابد؛ زیرا با به‌کارگیری یک سیستم انعطاف‌پذیر، از پیامدهای نامطلوب شرایط غیرقطعی آینده جلوگیری می‌شود. اگر این انعطاف‌پذیری، واقعاً کل هزینه عمر سیستم را در مقایسه با یک رویکرد پیشگیرانه کاهش دهد، اهمیت زیادی می‌یابد؛ حتی اگر لازم باشد که متحمل هزینه اضافه و سنگینی بابت مجموعه‌ای از اقدامات با قابلیت تطبیق بالا شویم.



شکل ۷- کارایی اقتصادی به عنوان تابعی از تغییرات اقلیمی و (تأثیر آن بر) چرخه آب (که متغیر کُندی محسوب می‌شود) برای دو رویکرد پیشگیرانه و تطبیقی مدیریت شده (Gersonius، ۲۰۰۸)

در شکل (۷) موقعیت خط چین عمودی، سطح آستانه بحرانی تغییر اقلیم-چرخه آب را نشان می‌دهد که بیانگرِ گذار از یک حوضه پایدار به حالت پایدار دیگر در رویکردهای مختلف است.

جمع‌بندی

به دلیل اثرات ناشی از توسعه شهری و تغییرات اقلیمی، رواناب مناطق شهری در بسیاری از نقاط جهان افزایش یافته، به طوریکه سیستم‌های سنتی جمع‌آوری آب‌های سطحی، عملکرد مطلوب و مورد انتظار را در انتقال رواناب شهری ندارند. این مسأله منجر به کاهش کیفیت آب، افزایش حجم و دبی اوج رواناب و در نتیجه ایجاد سیل شهری می‌شود. بنابراین به کارگیری یک دید جامع و یکپارچه به منظور مدیریت رواناب‌های شهری، ضروری به نظر می‌رسد. مدیریت یکپارچه رواناب می‌تواند به طور مؤثری، با به‌کارگیری گزینه‌های مختلف تأمین‌کننده پایداری، در حرکت جوامع شهری به سوی توسعه پایدار، کمک‌کننده باشد. به کارگیری بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) و رویکردهای زهکشی پایدار (SUDS)[۱۹] در کنار تصمیمات مدیریتی مناسب، از جمله مصادیق بازگشت‌پذیر ساختن مدیریت رواناب در جوامع شهری است.

در این مقاله تلاش شد این مفهوم بیان شود که استفاده از مفهوم بازگشت‌پذیری، مبنای بهتری را برای رویکردهای یکپارچه در مدیریت زهکشی شهری، نسبت به دیگر رویکردها چون الگوهای ریسک-محور ارائه می‌دهد. رویکرد بازگشت‌پذیری به دلیل ماهیت ویژه و نیز چارچوب وسیع خود، می‌تواند در زمینه یکپارچه‌سازی بسیاری از اصول و مفاهیم مدیریتی همچون همزیستی با سیلاب، مدیریت و یادگیری و نمونه‌هایی از این قبیل با روشی که به یک رویکرد منسجم بر مبنای پایداری منجر شود، مفید باشد. بنابراین لازم است مفهوم بازگشت‌پذیری نسبت به سیل و تغییرات اقلیمی در عمل به کار گرفته شده که این امر، به دلیل ماهیت بین رشته‌ای خود، با به کارگیری تخصص‌های مختلف در حوزه‌های پژوهشی متعدد امکان‌پذیر است. از جمله شرایط لازم و کلیدی در این رابطه، توسعه یک چارچوب جامع تصمیم‌گیری برای ارزیابی و مدیریت بازگشت‌پذیری جوامع و مناطق شهری نسبت به سیل و تغییر اقلیم است. همچنین اولویت‌های مدیریت رواناب در فرایند

تصمیم‌گیری لازم است مد نظر قرار گیرد؛ زیرا تکنیک‌های مختلف زهکشی پایدار، بر اهداف گوناگون اقتصادی، اجتماعی، هیدرولیکی و معیارهای کمّی، کیفی و زیست محیطی تمرکز دارند، بنابراین اولویت‌بندی‌های مورد نظر در یک منطقه، می‌تواند در انتخاب نوع تکنیک‌های مورد استفاده تأثیرگذار باشد. از این رو بهینه‌سازی سیستم‌های زهکشی پایدار شهری به منظور یافتن بهترین گزینه‌های منطبق بر اولویت‌های تصمیم‌گیری و شرایط موجود منطقه، می‌تواند کمک بسیاری کند.

پی‌نوشت

1- fail-safe
2- safe-to-fail
3- robustness
4- recoverability
5- Restorability
6- Magnitude
7- Failure
8- Non-failure
9- Stability
10- Persistence
11- Resistance
12- Coping capacity
13- robust
14- Best Management Practices
15- persistence
16- Oslo
17- passively
18- actively
19- Sustainable Urban Drainage System

منابع

زحمتکش، ز. ۱۳۹۳. الگوی ارزیابی سازگاری و برگشت‌پذیری در مدیریت شهرهای ساحلی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.

نظیف، س. ۱۳۸۹. تدوین الگوی ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر چرخه آب شهری، پایان نامه دکتری در رشته مهندسی عمران-آب، دانشکده فنّی، دانشگاه تهران.

Ahern J.F. 2011. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. Landscape, 100: 341–343.

Ashley R.M., Blanksby J., Cashman A. and Newman R. 2007. An adaptable approach to flood risk management for local urban drainage. Defra Flood and Coastal Erosion Conference, York.

Batica J. 2015. Methodology for ood resilience assessment in urban environments and mitigation strategy development, PhD thesis, ther. Universite Nice Sophia Antipolis.

Behzadian K., Kapelana Z. and Morley M.S. 2014. Resilience-Based Performance Assessment of Water-Recycling Schemes in Urban Water Systems, 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA., Procedia Engineering, 89: 719–726.

Berte E. and Panagopoulos T. 2014. Enhancing city resilience to climate change by means of ecosystem services improvement: A SWOT analysis for the City of Faro, Portugal. International Journal of Urban Sustainable Development, 6(2): 241-253.

Blockley D., Agarwal J. and Godfrey P. 2012. Infrastructure resilience for high-impact low-chance risks, in: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Civil Engineering Special Issue 165, Issue CE6. ICE Publishing, pp. 13–19.

Butler D. 2016. Resilience framework, Safe and SURE Project. International Perspectives on Water Resilience: a Bristol Workshop.

Butler D. and Davies J.W. 2011. Urban Drainage, 3rd ed. Spon Press, Taylor and Francis Group, London and New York.

Carpenter S.R., Westley F. and Turner M.G. 2005. Surrogates for resilience of social-ecological systems. Ecosystems, 8: 941-44.

Cumming G.S., Barnes G., Perz S., Schmink M., Sieving K.E., Southworth J., Binford M., Holt R.D. and Van Holt T. 2005. An Exploratory Framework for the Empirical Measurement of Resilience. Ecosystems, 8: 975–987.

De Bruijn K.M. 2004a. Resilience and flood risk management. Water Policy, 6: 53-66.

De Bruijn K. M. 2004b. Resilience indicators for flood risk management systems of lowland rivers. International Journal of River Basin Management, 2(3): 199–210.

Kjeldsen T.R. and Rosbjerg D. 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. Hydrological Sciences, 49(5): 755 – 767.

Klein R.J.T., Smit M.J., Goosen H. and Hulsbergen C.H. 1998. Resilience and Vulnerability: Coastal Dynamics or Dutch Dikes? The Geographical Journal, 164(3): 259-268.

Lansey K. 2012. Sustainable, robust, resilient, water distribution systems, in: 14th Water Distribution Systems Analysis Conference. Engineers Australia, 1: 1–18.

Mailhot A. and Duchesne S. 2010. Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change. Water Resources Planning and Management, 136: 201–208.

Malaekepour S.M., Yazdandoost F. and Tahmasebi Birgani Y. 2013. Assessment of Climate Change Impact on IDF Curves: Case Study for Tehran- Iran. IAHR World Congress, Tsinghua University Press, Beijing, China.

McDaniels T., Chang S., Cole D., Mikawoz J. and Longstaff H. 2008. Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. Global Environmental Change, 18: 310–318.

McFadden L. 2001. Developing an integrated basis for coastal zone management with reference to the eastern seaboard of Northern Ireland. Ph.D. Dissertation, Queen's University of Belfast, Belfast, UK.

Mens M.J.P., Klijn F., de Bruijn K.M. and van Beek E. 2011. The meaning of system robustness for flood risk management. Environmental Science & Policy, 14: 1121–1131.

Mugume S., Gomez D. and Butler D. 2014. Quantifying the Resilience of Urban Drainage Systems Using a Hydraulic Performance Assessment Approach, 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia.

NIAC. 2009. Critical infrastructure resilience - Final report and recommendations.

Pimm S.L. 1991. The Balance of Nature? Ecological Issues in the Conservation of Species and Communities. University of Chicago Press, Chicago.

De Graaf R., van de Giesen N. and van de Ven F. 2009. Alternative water management options to reduce vulnerability for climate change in the Netherlands. Journal Natural Hazards, 51: 407-422.

DjordjeviĆ S., Butler D., Gourbesville P., Mark O. and Pasche E. 2011. New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience toflooding in urban areas: the CORFU approach. Environ. Sci. Policy, 14: 864–873.

Francis R. and Bekera B. 2014. A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. Reliability Engineering and System Safety, 121: 90–103.

Gersonius B. 2008. Can resilience support integratedapproaches to urban drainage management?, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.

Gersonius B. 2012. The resilience approach to climate adaptation applied for flood risk, PhD. Thesis in Civil Engineering, UNESCO-IHE, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Gersonius B., Ashley R., Pathirana A. and Zevenbergen C. 2013. Climate change uncertainty: building flexibility into water and flood risk infrastructure. Clim. Chang., 116: 411–423.

Hashimoto T., Loucks D.P. and Stedinger J. 1982. Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resources Research, 18(1): 14–20.

Henry D. and Ramirez-Marquez J.E. 2012. Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. Reliability Engineering and System Safty, 99: 114–122.

Holling C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4: 1–23.

Jung D., Kang D., Kim J.H. and Lansey K. 2013. Robustness-based design of water distribution systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 140: 1-14.

Karamouz M., Szidarovsky F. and Zahraie B. 2003. Water Resources System Analyses. Leris Publ., Boca Raton, Fla.

Walker B., Carpenter S., Anderies J., Abel N., Cumming G.S., Janssen M., Lebel L., Norberg J., Peterson G.D. and Pritchard R. 2002. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. Conservation Ecology, 6(1): 14. [online] URL: http://www.consecol.org/vol6/ iss1/ art14/

Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R. and Kinzig A. 2004. Resilience, adaptability and transformability in socio-ecological systems. Ecology and Society, 9(2): 1-9.

Wang T. 2005. Real Options "in" Projects and Systems Design-Identification of Options and Solution for Path Dependency. Phd thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Wang C. and Blackmore J.M. 2009. Resilience concepts for water resource systems. Water Resources Planning and Management, 135(6): 528 – 536.

Yazdandoost F. and Moradian S. 2016. A resilient approach to Integrated Water Resources Management I Water Scarce Basins, Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8(3S): 137-151.

Yazdandoost F., Tahmasebi Birgani Y. and Moghadam M. 2013. Resilient Risk Management Strategies in Urban Drainage Systems, IAHR World Congress, Tsinghua University Press, Beijing, China.

Sayers P., Gouldby B.P., Simm J.D., Meadowcroft I. and Hall J. 2003. Risk, Performance and uncertainty in flood and coastal defence – A review. R&D Technical report FD2302/TR1.

Sendzimir J., Magnuszewski P., Flachner Z., Balogh P., Molnar G., Sarvari A. and Nagy Z. 2007. Assessing the resilience of a river management regime: informal learning in a shadow network in the Tisza River Basin. Ecology and Society, 13(1): 11. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/ art11/.

Tahmasebi Birgani Y. and Yazdandoost F. 2013. Urban Drainage Systems Risk Assessment under Climate Change Conditions, IAHR World Congress, Tsinghua University Press, Beijing, China.

Tahmasebi Birgani Y. and Yazdandoost F. 2014. A framework for evaluating the persistence of urban drainage risk management systems, Journal of Hydro-Environment Research, 8(4): 330-342.

Tahmasebi Birgani Y. and Yazdandoost F. 2016. Resilience in Urban Drainage Risk Management systems, Journal of Water Management, Institute of Civil Engineers publishing, 13 pages.

Vis M., Klijn F., de Bruijn K.M. and van Buuren M. 2003. Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. International journal of river basin management, 1(1): 33-40.