DOI: 10.22092/irn.2022.354454

دیدگاه

ضرورت توجه به خصوصیات ژئوتکنیکی خاک در توسعه مناطق شهری برای کاهش خسارت‌های سیلاب و پایداری محیط‌زیست

مریم نعیمی[1*] و محمد درویش[2]

چکیده

ازجمله مهم‌ترین دلایل افزایش خسارت‌های سیلاب، بی‌توجهی به ملاحظات ژئوتکنیک خاک در مناطق توسعه شهری است. از دیدگاه ژئوتکنیک محیط‌زیستی، بی‌توجهی به جایگاه و کارکرد بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیک خاک‌ها در مکان‌یابی صحیح و ارزیابی‌های آثار توسعه شهری بر محیط‌زیست (EIA) منجر به تشدید خسارت‌های سیلاب شده است. براین‌اساس، پیش‌نیاز توسعه، در نظر گرفتن قوانین محیط‌زیست و نظام استاندارد متناسب با شرایط منطقه و اقلیم برای کنترل و مدیریت سیلاب با رعایت هنجارهای مرتبط با ژئوتکنیک محیط‌زیستی خواهد بود. معدود مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، انجام EIA با هدف بررسی آثار اندرکنش خصوصیات مکانیکی خاک و فعالیت عمرانی در کاهش تخریب محیط‌زیست می‌تواند گامی مؤثر باشد. براین‌اساس، ورود متخصصان حوزه ژئوتکنیک محیط‌زیستی، با دید حفاظت و مدیریت محیط‌زیست برای بازبینی یا تعریف معیارها و شاخص‌های نو در آیین‌نامه‌های سازمان حفاظت از محیط‌زیست پیشنهاد می‌شود.

مقدمه

بخش قابل‌توجهی از فلات ایران در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه نیمکره شمالی، در قلمروی کمربند خشک جهان قرار دارد و متأثر از شرایطی است که دامنه آسیب‌پذیری یا شکنندگی سرزمین را در مواجهه با رخدادهای طبیعی چون سیلاب، خشک‌سالی، آتش سوزی و غیره افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، به‌دلیل دامنه تغییرات ارتفاع و اقلیم و شرایط حاکم بر شیوه توسعه، همواره با بروز حوادث متعدد طبیعی و به‌ویژه طغیان و جریان نابهنگام آب‌های سطحی (سیلاب) در بسیاری از مناطق کشور، صرف‌نظر از شرایط متنوع جغرافیایی خود در چالش بوده است. در یک سیلاب، جریان بحرانی، همواره مقدار جریان مازاد بر دبی حداکثر ظرفیت عبور جریان در رودخانه است که مشکل‌آفرین می‌شود (تلوری، ۱۳۷۶). بررسی سیلاب‌های مرگبار در جهان نشان می‌دهد، با پیشرفت علوم و تکنولوژی، همچنان سیلاب ازجمله مهلک‌ترین بلایای طبیعی است که هر ساله در جهان و ایران خسارت‌های زیادی را ازجمله تلفات جانی، ویرانی ساختمان‌ها و تأسیسات، تخریب راه‌ها و اختلال در حمل‌ونقل، آلودگی مخازن آب، قطع گاز و برق و خسارت به کشاورزی به دنبال دارد. براین‌اساس، نیاز به بررسی‌های بین‌رشته‌ای در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد که گزارش ملی سیلاب‌ها (۱۳۹۹) با همکاری ۱۵ کارگروه مختلف گواه این مهم است.

رخداد سیلاب در هر منطقه به عوامل متعدی بستگی دارد، که برجسته‌ترین آنها شامل عوامل اقلیمی (نوع سیستم جوی، بارندگی‌های مداوم و سنگین، بالا آمدن آب دریاها و دریاچه‌ها) (مقیمی و حقی، ۱۳۸۵)، عوامل حوزه‌ای (عوامل فیزیکی نظیر سطح، شیب، شکل و تراکم

شکل ۱- فرسایش پذیری خاک واگرا و امکان ایجاد خسارت به تاسیسات (برگرفته از اینترنت)

۱*- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. پست الکترونیک: naeimi@rifr-ac.ir
۲- بازنشسته، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

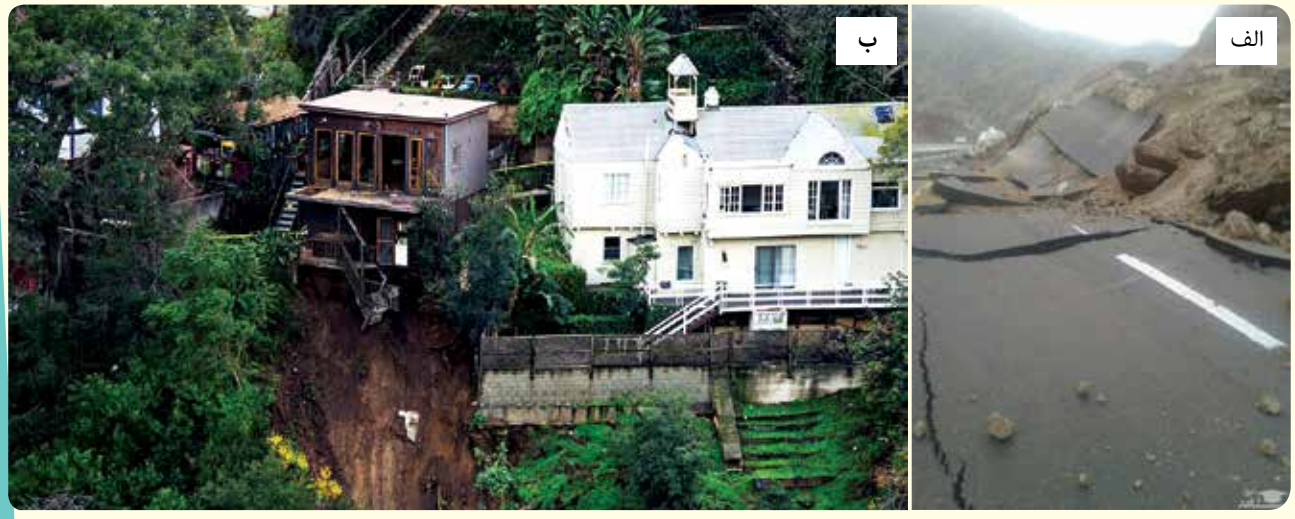
سطحی)، عوامل مربوط به ویژگی‌های رودخانه و مصالح رودخانه‌ای (رسوب‌گذاری بستر رودها و بالا آمدن کف آنها)، عوامل زمین‌شناسی و تکتونیکی (فروافتادگی زمین، وقوع زمین‌لرزه یا ریزش دامنه‌ها) (غیور، ۱۳۷۵) عوامل خاک‌شناسی (اسلامی و واعظی،۱۳۹۴)، ویژگی‌های پوشش گیاهی و عدم اعمال مدیریت صحیح است.

در این میان، نوع و جنس خاک‌ها ازجمله مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند سبب افزایش یا کاهش جریان رواناب‌های سطحی منتج به سیل‌خیزی منطقه شود. با توجه به ترکیب ناهمگون خاک، خصوصیات ژئوتکنیکی مؤثر بر نفوذپذیری شامل دانه‌بندی، وزن مخصوص، تخلخل، ترکیب کانی‌شناسی بخش جامد و نوع کاتیون‌های جذب شده و درجه حرارت آب است که بر ویسکوزیته آن به‌طور محسوس مؤثر است (Das & Sobhan, 2013). به‌دلیل تراکم طبقات خاک در عمق، نفوذپذیری خاک با افزایش عمق کاهش می‌یابد(واعظی و همکاران ۱۳۹۵)، همچنین به‌دلیل فرم لایه‌بندی و طرز تشکیل طبقات رسوبی، نفوذپذیری خاک در لایه‌های مختلف در امتداد موازی یا عمود بر لایه کاملاً متفاوت است. مطالعات پیشین نشان داده است، پس از سیلاب، میزان رس و جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش و در مقابل فراوانی ذرات شن و مواد آلی خاک کاهش می‌یابد. افزایش درصد رس و کاهش درصد شن در عرصه‌های مورد تهاجم سیلاب، دلیل اصلی کاهش نفوذپذیری خاک در آنها بود (Nguyen *et al.*, 2018). ازنظر فاکتورهای شیمیایی، با افزایش میزان رس خاک، میزان آب قابل دسترس گیاه در خاک، کاهش و شوری افزایش خواهد یافت (نصرتی و محمدی، ۱۳۹۵). به نظر می‌رسد انتقال بخشی از کاتیون‌ها (پتاسیم) از طریق سطوح تبادلی آنها، یکی از عوامل بروز شوری در خاک عرصه‌ها است (واعظی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان داد، موقعی که سیل در نزدیکی منابع فلزی مانند تأسیسات ذوب آهن (Wang *et al.*, 2019) و فراوری سنگ معدن (Hafeez *et al.*, 2019)) رخ داده باشد، خطر آلودگی با فلزات بالا خواهد بود، چه بسا خطرات ناشی از آن برای جوامع انسانی، به مراتب بیشتر از سیلاب باشد. از سوی دیگر، مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در ارزیابی پتانسیل ریزش خاک شامل وزن مخصوص خشک، آب محتوی اولیه، فشار آب کاربردی، درصد رس و ماسه محتوی و ضریب یکنواختی است (بلوری و معروف، ۱۳۹۱). به‌عنوان‌مثال، خاک‌های مارنی و آهکی، مخروط‌افکنه‌های کواترنری و رسوبات جوان به‌دلیل سستی و ناپایداری، بسیار حساس هستند و شرایط مناسبی را برای وقوع سیل فراهم می‌کنند (مقیمی و حقی، ۱۳۸۵). ذکر این نکته ضروری است که تمامی تغییرات شیمیایی یادشده نمادی از تخریب وضعیت خاک از دیدگاه ژئوتکنیک محیط‌زیستی است.

مخاطرات سیلاب از دیدگاه ژئوتکنیک محیط‌زیستی

مطالعات ویژگی‌های ژئوتکنیک خاک‌ها در برنامه‌ریزی شهری برای پروژه‌های عمرانی شهرها از اهمیت زیادی برخوردار است، موضوعی که به نظر می‌رسد به جایگاه و تأثیر این مطالعات در عمران و توسعه شهری کمتر توجه شده است. از دیدگاه ژئوتکنیک، پیامد نحوه رسوب‌گذاری و تکامل ژئومرفولوژی در مخروط‌افکنه‌ها که بیشتر منتج از تحولات اقلیمی کواترنر است، رسوب‌هایی با ضخامت زیاد و تنوع فیزیکی و شیمیایی متفاوت به وجود آورده است که «خاک‌های مسئله‌دار» معرفی می‌شوند. این خاک‌ها در برخورد با شبکه آب‌ها، مسدود می‌شوند و با خطر سیل‌خیزی و نشست زمین، نواحی مسکونی را تهدید می‌کنند. یادآوری این نکته لازم است که ازجمله موارد یادشده به‌عنوان عوامل مؤثر در تشدید خسارت‌های سیلاب، افزایش ساخت و ساز به‌ویژه ویلاسازی است.

شکل ۲- بیش از ۵۰۰ متر ترک زمین ناشی از فرونشست در دشت ورامین (برگرفته از اینترنت)



شکل ۳- رانش در الف) دامنه‌های طبیعی شیب‌دار و تخریب جاده در منطقه کن و سولوقن در استان تهران و ب) حاشیه مسیل‌ها و در نزدیکی پی ساختمان (برگرفته از اینترنت)

مهم‌ترین «خاک‌های مسئله‌دار» در توسعه شهری به شرح زیر است.

۱- خاک رمبنده (فروریزشی): این خاک‌ها در حالت طبیعی با درصد رطوبت اندک دارای مقاومت ظاهری به نسبت زیادی هستند. لیکن پس از جذب رطوبت و بارگذاری فضای خالی بین ذرات، کاهش زیادی می‌یابند و در ساختار آنها خردشدگی به وجود می‌آید، درنتیجه منجر به نشست‌های چشمگیری می‌شود (بلوری و معروف، ۱۳۹۱). خصوصیات مهم این نوع خاک‌ها تخلخل زیاد، وزن مخصوص کم و چسبندگی صفر، یا ناچیز است. از نمونه‌های خاک فروریزشی می‌توان به ماسه بادی، رسی سیلتی، رس با پلاستیسیته پایین و لس‌ها اشاره کرد. این خاک‌ها بیشتر، در نهشته‌های واریزه‌ای بر اثر نیروی ثقل در پای دامنه، نهشته‌های آبرفتی در بستر رودها یا مسیل‌ها و نهشته‌های بادی ناشی از فرونشست گرد و غبار، سیلت و ماسه ریزدانه (بادرفت) به وجود می‌آیند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷). این خاک‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارند، جایی که آب خاک، به سرعت تبخیر شده و زمانی برای تحکیم تحت اثر وزن نداشته است. ساختار این خاک لانه‌زنبوری است و چسبندگی آنها به‌دلیل وجود رس خشک یا دیگر مواد شیمیایی است. خیس شدن خاک تحت چسبندگی ضعیف، مقدار مکش بافتی را در خاک کم و باعث ریزش خاک می‌شود (بلوری و معروف، ۱۳۹۱). سازه‌هایی که روی چنین خاک‌هایی احداث می‌شوند، در صورت به اشباع درآمدن خاک به‌دلیل رطوبتی غیرمنتظره، ممکن است تحت نشست زیاد و ناگهانی قرار گیرند. این رطوبت ممکن است درنتیجه عوامل و منابع مختلفی نظیر لوله‌های آبرسانی شکسته، نشت از لوله‌های فاضلاب، نشت از مخازن آب، یا استخرهای شنا یا بالا آمدن تدریجی تراز آب زیرزمینی باشد که هر یک ممکن است ناشی از وقوع سیلاب، یا تجمع آب‌های سطحی (Nikbakhti *et al*., 2018) باشد. نشست خاک‌های رمبنده معمولاً باعث خسارت‌های چشمگیر سازه‌ای می‌شود. بنابراین، شناسایی خاک‌های رمبنده حین عملیات صحرایی بسیار حائز اهمیت است.

۲- خاک‌های واگرا : خاک واگرا به خاکی گفته می‌شود که حالت فیزیکی- شیمیایی دانه‌های آن به گونه‌ای است که در تماس با آب، ذرات منفرد رس پراکنده، از یکدیگر جدا و به‌صورت سوسپانسیون ته‌نشین می‌شوند (حداد و همکاران، ۱۳۹۶). در این حالت خاک رس به شدت فرسایش‌پذیر است، به‌طوری‌که حتی تحت تأثیر تنش‌های بسیار کوچک و با گرادیان هیدرولیکی کم، روان می‌شود (شکل ۱). رس‌های واگرا در مقایسه با رس‌های معمولی دارای درصد بالاتری از سدیم محلول در آب هستند. رفتار خاک‌های واگرا متأثر از هر دو جنبه کانی‌شناسی و شیمیایی است که به‌دلیل حضور کانی‌های فعال رس همانند مونتموریونیت و حضور کاتیون‌های سدیم است. رس‌ها معمولاً ذرات کریستالی صفحه‌ای شکلی هستند که از دو واحد اصلی سیلیکات‌های چهار وجهی ($(Si)_2O_5$) و آلومینیوم هیدروکسید هشت وجهی ($Al(OH)_3$) ساخته شده‌اند. این دو واحد در لایه‌های متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. به‌دلیل نقص در ساختار شبکه کریستالی، برخی از یون‌های Al^{+3} جایگزین یون‌های Si^{+4} و برخی دیگر جایگزین یون‌های Mg^{+2} می‌شوند. درنتیجه، کانی‌های رس ازنظر بار الکتریکی مثبت، ضعف دارند، یعنی دارای یک بار منفی دائمی هستند و برای جبران این ضعف، کاتیون‌های آب موجود در اطراف خود را جذب می‌کنند (حداد و همکاران، ۱۳۹۶). شناسایی نکردن دقیق رس‌های واگرا خسارت‌ها و خرابی‌هایی را به دنبال خواهد داشت، زیرا ذرات خاک‌های رسی واگرا تحت شرایط خاصی متفرق و به سرعت شسته می‌شوند. این خاک‌ها در تماس با آب به‌راحتی شسته می‌شوند. آب عبوری روی این خاک‌ها، خیلی زود گل‌آلود می‌شود و آبراهه‌هایی را در بخش‌هایی از خاک به وجود می‌آورد. درصورتی‌که این خاک‌ها در بستر کانال‌ها وجود داشته باشند، باید آنها را تعویض کرد. شیب‌ها و سدهای خاکی بسیاری در اثر بروز پدیده واگرایی تخریب شدند. با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی ایران و مسئله سدسازی در مناطق «کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان و فارس» بررسی پژوهشی خاک‌های واگرا ضرورت تام دارد.

تحقیقات پیشین حاکی از خطر فرونشست زمین (Shvi-

ro *et al.*, 2017) و ایجاد فروچاله‌ها (Nicholas *et al.*, 2021) در خاک‌های مسئله‌دار (Duong *et*Fulton, 2005; *al.*, 2010) تحت تأثیر مرفولوژی سطحی و درنتیجه تغییر در رطوبت خاک است (Hua *et al.*, 2004). برای مثال نشست‌های ناشی از خاک‌های رمبنده تا یک متر هم گزارش شده است (Scheffe, 2005). یادآوری این نکته لازم است که رویداد فرونشست در بیشتر موارد متأثر از سه زمینه متفاوت و متمایز (قوام و پیوستگی لایه‌های رسی و سیلتی متشکله لایه آبدار، زهکشی و اکسیداسیون ساختمان خاک، تجزیه و متلاشی شدن سنگ‌های مستعد مرتبط با عامل آب است (Allen, 1984).

نتایج مطالعات بررسی آثار سیلاب بر منابع خاکی نشان می‌دهد، ویرانگرترین اثر سیلاب بر خاک، رانش زمین (Birigandi *et al.*, 2017) است که از نقاط مختلف دنیا از اروپا (Andres & Badoux, 2019) تا آسیا (Nurdin *et al.*, 2019)، آمریکا (Ardaya *et al.*, 2017) و ایران (Arabameri *et al.*, 1389، شریفی‌کیا، ۱۳۸۹) گزارش شده است. رانش، شامل کلیه حرکات و گسیختگی‌های دامنه‌ای به نسبت سریع است که در اثر کاهش ضریب اطمینان، تحت تأثیر غلبه نیروهای مخرب، محرک بر نیروی مقاوم در سطوح شیب‌دار طبیعی و مصنوعی به وقوع می‌پیوندد. توده‌های خاکی شیب‌دار طبیعی از قبیل تپه‌ها، کوه‌ها، دامنه رودخانه‌ها و تشکیلات ساحلی و انواع پرشدگی‌ها (مانند خاکریزها، سدهای خاکی و بندها) و انواع بریدگی‌ها (شامل بریدگی‌های بزرگراه، راه‌آهن، دیوار کانال، حفاری‌های پی‌ها و ترانشه)، نمونه‌هایی از شیب‌های مصنوعی هستند (Wang *et al.*, 2019). انتظار می‌رود، روند وقوع زمین‌لغزش در سال‌های آینده به‌دلیل توسعه شهرنشینی (Handayani *et al.*, 2020)، جنگل‌زدایی (Peptena-to *et al.*, 2020)، تغییر کاربری (Akter *et al.*, 2018) و تغییرات آب‌وهوایی افزایش یابد (Nordbeck *et al.*, 2019, Maghsood *et al.*, 2019). برای نمونه در گزارش‌های سیلاب سال ۱۳۹۸ لرستان، خسارت‌هایی همچون رانش زمین، تخریب مناطق مسکونی و جاده‌ها و به زیر آب رفتن بخش‌هایی از دورود، خرم‌آباد، معمولان و پلدختر گزارش شد.

راهکارهای کنترل و مدیریت سیلاب از دیدگاه ژئوتکنیک محیط‌زیستی

• دیدگاه ژئوتکنیک محیط‌زیستی در مکان‌یابی و ارزیابی آثار توسعه مناطق شهری

اما سؤال اساسی این است، راهکار مدیریت یا کنترل چیست؟ پاسخ را می‌توان در توسعه پایدار بر پایه توان اکولوژیک منطقه تعریف کرد. یکی از راه‌های رسیدن به توسعه پایدار ارزیابی آثار توسعه بر محیط‌زیست(Environmental Impact Assessment: EIA) است (EIA , 2013; Pope *et al.*, 2004). با بررسی همه‌جانبه به درک آثار ناشی از اجرا و بهره‌برداری از یک پروژه بر محیط‌زیست کمک شایانی می‌کند. براین‌اساس، در هنگام ساخت یا پس از بهره‌برداری پروژه، با توجه به شناخت وضعیت موجود و نوع آثار، عملیات به‌صورتی انجام می‌شود تا کمترین اثر تخریبی بر محیط‌زیست وارد شود. در ایران، لزوم مطالعات برای برخی از پروژه‌های عمرانی، تنها EIA و برای برخی، تنها بررسی‌های مقدماتی مکان‌یابی تعریف شده است. برای ارزیابی آثار محیط‌زیستی برخی از طرح‌های (پروژه‌های) صنعتی و عمرانی الزام قانونی وجود دارد، اما در همه آنها و به‌طور خاص ایجاد شهرهای جدید حتی در دقیق‌ترین حالت، ارزیابی بدون در نظر گرفتن شرایط ژئوتکنیکی انجام می‌شود. این در حالی است که برای ساخت شهرک‌های مسکونی، به‌ویژه شهرک‌های ویلایی (کمتر از ۱۰ هزار مترمربع) نه تنها این الزام وجود ندارد، بلکه مکان‌یابی‌ها نیز با توجه به توان اکولوژیکی منطقه و شرایط ژئوتکنیکی، انجام نشده و نمی‌شود. توسعه شهرها و ساخت شهرک‌های جدید در بیشتر استان‌های کشور تنها با اجرای روتین مکان‌یابی توسط شرکت‌های خصوصی است.

نمونه پیامدهای آن، شهرهایی است که به سرعت رشد کرده‌اند و به‌دلیل تخریب محیط طبیعی در حال حاضر خود، با بحران‌های محیط‌زیستی متعددی مواجه شده‌اند و تقریباً همه شهرهای ایران نمونه بارز آن هستند (حسین‌زاده، ۱۳۸۵). بررسی دلایل افزایش مخاطرات سیلاب در حاشیه مسکن مهر شهرستان گنبد نشان می‌دهد، ساخت و ساز و رشد بی‌برنامه، بدون در نظر گرفتن توان اکولوژیکی خاک، تنها با هدف کاهش قیمت مسکن (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۹) انجام شده است. از دیگر عواقب توسعه شهری، احداث سازه‌های خطی برای اتصال مناطق جدید به مرکز شهر است. مغفول ماندن مکان‌یابی صحیح و بررسی آثار سازه‌های خطی احداث شده بر منطقه مانند آنچه در آق‌قلا دیده شد، به مدد توسعه جریان سیلاب دشت‌ها به سمت اراضی شمال غرب و غرب منطقه و در جهت حرکت طبیعی جریان به سمت دریا، جاده کمربندی و نیز راه‌آهن، نقش یک دایک یا خاکریز را به عهده گرفت و مانع تخلیه سریع آب از مناطق مسکونی شد (گزارش ملی سیلاب، ۱۳۹۹). نمونه دیگر در پل‌های قره‌تپه و نیازآباد در جاده گرگان– بندر ترکمن و پل آخوند نوریزاد (در ورودی شهر گنبد)، ایلام و دره‌شهر بوده است (گزارش ملی سیلاب، ۱۳۹۹).

مثال دیگر، شهر جدید شیرین است که هر چند مکان‌یابی آن محصول شهرسازی خردمندانه و آکادمیک دوران معاصر است، اما به‌طور کاملاً نادرست در رژیم سیلابی رودخانه کارون (گزارش ملی سیلاب، ۱۳۹۹) قرار گرفته و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خصوصیات ژئوتکنیکی بستر، روی خاک‌های رمبنده واقع شده است. مطالعات گذشته نشان می‌دهد، رودخانه‌ها در هنگام طغیان به پهنه‌های آبی وسیعی تبدیل شده‌اند که حریم در نظر گرفته شده برای آنها چنان ناچیز است که نقشی در حفاظت از شهر ندارد. این امر به‌ویژه در دشت‌های سیلابی همچون گرگان‌رود و رودخانه‌های استان خوزستان که در دشت‌های مسطح و کم‌شیب جاری هستند، ضروری است (گزارش ملی سیلاب، ۱۳۹۹). نمونه‌های دیگر دره‌های سرسبز شمال تهران (سیلاب تجریش، کن و فرحزاد)، تجاوز به حریم پل‌های آق‌قلا و طاق عباسی (سیلاب آق‌قلا)، گرگان‌رود (سیلاب گنبد)، کشکان (سیلاب پلدختر) و ورودی کرخه به تالاب هورالعظیم (رضوی‌زاده، ۱۳۹۹)

است. احداث سازه‌های متعدد تفریحی در حاشیه رودخانه‌هایی همچون کارون و دز و ساحل‌سازی بدون مطالعات ارزیابی و دقت در بررسی شاخص‌های محیط‌زیستی مکان‌یابی و بررسی اصولی EIA در عرض کم رودخانه و دست‌اندازی گسترده به بستر و حریم این رودخانه‌ها، منجر به بروز خسارت به سایرین، تخریب و حتی از بین رفتن امکان سکونت در این ساخت و سازهای غیرقانونی شده است (گزارش ملی سیلاب، ۱۳۹۹). احداث استخرهای پرورش ماهی و کشاورزی در بستر رودخانه‌ها یا حریم مستقیم آنها از دیگر مصادیقی است که منجر به افزایش خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی شده است.

توسعه و اجرای طرح‌های کلان تغییر کاربری با تجاوز به حریم منابع باارزش آب سطحی مانند تالاب‌ها، سبب شکنندگی و ناپایداری بافت خاک و کاهش قدرت و توان‌پذیری مازاد آب‌های ناشی از بارش به‌دلیل وجود موانع فیزیکی و ساخت و سازهای سر راهی شده است. ازجمله مصادیق این امر، احداث جاده‌های متعدد توسط وزارت نفت و نیروهای نظامی در تالاب هورالعظیم است که یکپارچگی تالاب را از بین برده و امکان رهاسازی آب را در تالاب دچار مشکل کرده است. مطالعات گذشته نشان می‌دهد، کنترل تغییرات کاربری/ پوشش زمین تا سال ۲۰۲۰ باعث کاهش ۱۰/۹درصدی حجم طغیان سیلاب تا سال ۲۰۵۰ خواهد شد (Moe *et al*., 2017). با توجه به موارد یادشده، اطلاعات بزرگ‌ترین سیلاب‌های دو دهه گذشته در ایران و دلایل ایجاد آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

درعین‌حال، مطالعه فاکتورهای ژئوتکنیکی در ارزیابی آثار محیط‌زیستی کارخانه سیمان آبیک (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۸) نشان داد، تغییرات توپوگرافی ناشی از فعالیت‌های توسعه‌ای کارخانه سیمان آبیک ازجمله فاکتورهای ژئوتکنیکی است که موجب کاهش ضریب گسیختگی شیب به میزان ۰/۱۰ می‌شود و در اثر وقوع زلزله احتمالی، شیب‌های منطقه تغییر مکان بیشینه‌ای در حدود ۴۲۸ سانتی‌متر را تجربه می‌کنند. نعیمی و همکاران (۱۳۹۹ ب) با ارزیابی تأثیر خط لوله نفت ری- ساری بر محیط‌زیست با به‌کارگیری پارامترهای ژئوتکنیک زیست‌محیطی نشان دادند، بیشترین آثار منفی بر محیط‌زیست ناشی از تغییر مسیر رودخانه، ایجاد بند و ریسه کردن و بیشترین عواقب مربوط به لغزش و آلودگی خاک است. براین‌اساس، پیشنهاد شد برای کاهش آثار و پیامدهای منفی پروژه سعی شود تا حد امکان خطوط لوله از مناطق جنگلی و شیب‌دار عبور نکنند. در ادامه، نعیمی و همکاران (۱۳۹۹ الف) آثار محیط‌زیستی و ژئوتکنیکی ناشی از احداث و بهره‌برداری غیراصولی خاکچال شهرستان قوچان را به کمک ماتریس ایرانی بررسی کردند و نشان دادند، آثار تسطیح و آماده‌سازی و پیامد گسیختگی بستر و پایداری دیواره نیازمند بررسی‌های جزیی‌تر است. در خاکچال قوچان در صورت خاک‌برداری با شیب کمتر از ۵۳ درجه و ارتفاع حدود ۴ متر ترانشه‌های موجود دچار لغزش نمی‌شود.

با توجه به مطالب مطرح شده، انجام هر گونه توسعه عمرانی در چهارچوب قوانین محیط‌زیست و نظام استاندارد متناسب با شرایط منطقه و اقلیم مد نظر، راهکار اصلی در کنترل و مدیریت سیلاب از دیدگاه ژئوتکنیک محیط‌زیستی است. براین‌اساس، نظارت مستمر و جدی در اجرای قوانین و گزارش‌های مرتبط با ارزیابی آثار توسعه بر محیط‌زیست می‌تواند راهگشا باشد. به‌طور حتم بررسی جوانب محیط‌زیستی پروژه‌های توسعه ازجمله سدسازی (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۹ ج) و شهرسازی (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴) به‌طور عام و ارزیابی آثار محیط‌زیستی به‌طور خاص می‌تواند سبب جلوگیری از تشدید مشکلات محیط‌زیستی و عوارض ناخواسته حاصله بر کیفیت زیست شهری شود. برای مثال، می‌توان اذعان داشت توسعه جاده‌ها در برنامه توسعه شهری اجتناب‌ناپذیر است، درعین‌حال، بدون بررسی آثار و مکان‌یابی با در نظر گرفتن دیدگاه ژئوتکنیک زیست‌محیطی، پیامد خسارت‌های ناشی از تخریب را ایجاد می‌کند. همچنین، معدود مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، انجام EIA با هدف بررسی آثار اندرکنش خصوصیات مکانیکی خاک و فعالیت عمرانی، گامی مؤثر در کاهش تخریب محیط‌زیست است.

• مدیریت سیلاب با استفاده از سازه‌های کنترل جریان دوستدار محیط‌زیست

در شرایط توسعه شهری بدون در نظر گرفتن توسعه پایدار و آثار آن بر محیط‌زیست، جهان‌بینی‌های مبتنی بر مقابله با سیل، راه‌حل‌های سازه‌ای برای حل این معضل در مکان‌یابی‌ها پیشنهاد شده است، در صورت ضعف عملکردی سازه‌ها ابعاد فجایع بزرگ‌تر خواهد شد

جدول ۱- بزرگ‌ترین سیلاب‌های دو دهه گذشته در ایران و دلایل ایجاد آنها

ردیف	مرکز سیلاب	سال	دلایل ایجاد
۱	گلستان	۱۳۸۱-۱۳۸۰	تخریب منابع طبیعی بالادست و درنتیجه شکسته شدن سد/ قرارگیری جاده گلستان در بستر سیلاب‌خیز رودخانه «دوغ»در داخل پارک ملی گلستان
۲	قم	۱۳۸۸	تبدیل بستر رودخانه خشکیده قمرود توسط شهرداری به پارکینگ
۳	سیستان و بلوچستان	۱۳۹۵	طغیان رودخانه‌های فصلی
۴	گلستان (آق قلا)	۱۳۹۸	احداث سازه تقاطعی روی مسیل
۵	شیراز	۱۳۹۸	قرارگیری جاده دروازه قرآن در مسیل
۶	خوزستان	۱۳۹۹	تخریب جنگل‌ها و مراتع بالادست، عدم شبکه‌بندی درست فاضلاب

(گزارش ملی سیلاب، ۱۳۹۹). روش‌های سازه‌ای مدیریت سیل و اهداف اصلی روش‌های سازه‌ای مدیریت سیلاب در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

براین‌اساس، در صورت ضرورت، سازه‌های کنترل جریان به غیر از سدها، شامل سیل‌بندها و کانال‌های سیل، به‌نحوی طراحی می‌شوند تا از مناطق با ملاحظات سیلاب با دوره بازگشت معین، محافظت کنند. این سطح ایمنی براساس ملاحظات اقتصادی، تمایلات جوامع مربوطه، آثار محیط‌زیستی و عوامل دیگر تعیین می‌شود. گزارش‌های پیشین نشان داد، در سیل‌بندهای طراحی شده، ملاحظات تخصصی در خصوص شرایط خاک پی، نوع خاک مورد استفاده در خاکریز، تراکم مناسب خاکریز، حفاظت بالادست سیل‌بند در مقابل آب‌شستگی و دیگر عوامل باید مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به موارد مطرح شده، روش‌های بهسازی خاک در ساخت سازه‌های کنترل جریان مانند سیل‌بندها و ایجاد حوضچه‌های رسوب‌گیر با استفاده از روش‌های میکروبی (Stabnikov *et al.*, 2011) می‌تواند ازجمله راهکارهای اجرایی دوستدار محیط‌زیست و جایگزین باشد. نتایج نشان می‌دهد، کارایی فرایند رسوب میکروبی کربنات کلسیم (MICP) به‌عنوان یک روش افزایش مقاومت خاک و کاهش نفوذپذیری (Gao *et al.*, 2019) در مقابل تنش برشی جریان آب بررسی شده است. یادآوری این نکته لازم است، مهندسین با مطالعه سیلاب‌های گذشته، احتمال وقوع سیلاب‌هایی با ابعاد مختلف و مقاومت موردنیاز سازه‌های کنترلی را برآورد می‌کنند.

نتیجه‌گیری

سیلاب نمادی از تخریب سرزمین یعنی از دست رفتن آب و خاک است. علاوه‌بر عوامل طبیعی که موجب ایجاد سیلاب می‌شود، علت تشدید بسیاری از آنها، افزایش جمعیت و پیشروی مناطق مسکونی در حریم رودخانه‌ها و توسعه زمین‌های غیر قابل نفوذ در مناطق شهری است و توسعه بدون توجه به آثار آن بر محیط‌زیست بوده است. توسعه شهری به‌واسطه تغییرات کاربری، دخالت در مسیل‌ها، تالاب‌ها و دست‌کاری آب‌گذرها، تصرف غیرقانونی دشت سیلابی رودخانه و تجاوز به حریم رودخانه‌ها، مسیل‌ها، سطوح مخروط‌افکنه‌ای و جلگه‌های سیلابی، تخریب جنگل‌ها و برداشت غیرصحیح مصالح یا شهرک‌سازی‌ها بدون در نظر گرفتن ارزیابی آثار آن بر محیط‌زیست و مکان‌یابی اصولی ازجمله عواملی است که منجر به افزایش رواناب ناشی از بارش، در بعضی موارد، تا بیش از ۳۰ برابر (Rogger *et al.*, 2017) افزایش فرونشست (Moe *et al.*, 2017) و درنهایت افزایش خسارت‌های سیلاب در سال‌های اخیر شده است.

جدول ۳- روش‌های سازه‌ای مدیریت سیل و اهداف اصلی

روش	هدف
سیل‌بندها	محدود کردن سیلاب
مخازن تأخیری (حوضچه رسوب‌گیر)	کاهش پیک سیلاب و افزایش زمان تمرکز برای جلوگیری از افت کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک
اصلاح و بهسازی مسیر	افزایش سرعت جریان و گذردهی رودخانه و حفاظت از کناره‌ها و بستر آن
انحراف سیلاب	کاهش میزان سیلاب در یک بازه از رودخانه

شکل۴- نمونه‌های ساخته شده با سیمان میکروبی به‌عنوان رسوب‌گیر (Chu *et al.*, 2015)

توجه به رعایت هنجارهای محیط‌زیستی، ادافیکی و ژئوتکنیکی در مکان‌یابی سکونتگاه‌های انسانی و مدیریت هم‌زمان تاب‌آوری زیستگاه‌های طبیعی در حریم شهرها و تمکین به اصول آبخیزداری شهری ازجمله مهم‌ترین مؤلفه‌ها در کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب در محیط‌های شهری است. برای مثال، ساخت پروژه‌های عمرانی در نواحی دارای خاک‌های واگرا بسیار مشکل است و احتمال فرسایش خاک همواره خطری جدی برای سازه‌های مستقر بر نهشته‌های دارای خاصیت واگرایی محسوب می‌شود.

براین‌اساس، انجام هر گونه توسعه صنعتی ازجمله شهرسازی در چهارچوب قوانین محیط‌زیست و نظام استاندارد متناسب با شرایط منطقه و اقلیم منطقه هم‌سو با هنجارهای مبتنی بر آمایش سرزمین راهکار اصلی در کنترل و مدیریت سیلاب از دیدگاه ژئوتکنیک محیط‌زیستی است. برای ساخت شهرک‌های مسکونی، شهرهای جدید و توسعه تفرجگاه‌ها و حتی جاده‌سازی در این مناطق، نه تنها الزام قانونی انجام EIA وجود ندارد، بلکه مکان‌یابی‌ها نیز با توجه به توان اکولوژیکی منطقه و شرایط ژئوتکنیکی انجام نشده‌اند و انجام نمی‌شوند. با توجه به الزام قانونی انجام EIA برای برخی از پروژه‌های عمرانی، در بهترین حالت پروژه‌های عمرانی، بدون لحاظ کردن بررسی‌های ژئوتکنیک محیط‌زیست اجرا می‌شود. معدود مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، انجام EIA با هدف بررسی آثار اندرکنش خصوصیات مکانیکی خاک و فعالیت عمرانی می‌تواند گامی مؤثر در کاهش تخریب محیط‌زیست باشد. براین‌اساس، ورود متخصصان حوزه ژئوتکنیک محیط‌زیست، با دید حفاظت و مدیریت محیط‌زیست برای بازبینی یا تعریف معیارها و شاخص‌های نو در آیین‌نامه‌های سازمان حفاظت از محیط‌زیست پیشنهاد می‌شود. درنهایت، برای حل مشکلات مناطق درگیر، شناسایی و تقویت خواص خاک و ایجاد سازه‌های کنترلی غیر از سدها با روش‌های دوستدار محیط‌زیست به‌عنوان راهکاری مناسب پیشنهاد می‌شود.

منابع

اسلامی، س.ف. و واعظی، ع.ر.،۱۳۹۴. بررسی تولید رواناب و رسوب تحت رخدادهای یکسان بارندگی در خاک کشاورزی با اندازه متفاوت خاکدانه. آب و خاک، ۲۹(۶): ۱۶۰۰-۱۵۹۰.

بلوری بزاز، ج. و معروف، م.ع.، ۱۳۹۱. شناسایی و ارزیابی خصوصیات مکانیکی خاک‌های رمبنده، مطالعه موردی: منطقه شمال شرق ایران. زمین‌شناسی مهندسی، ۵(۱-۲): ۴۰-۲۷.

تلوری، ع.، ۱۳۷۶. مدیریت مهار سیلاب. کارگاه آموزشی - تخصصی مهار سیلاب رودخانه ها. انجمن هیدرولیک ایران، ۱(۱): ۱۰۳-۹۶.

حبیبی، ک.، بهزادفر، م.، ترابی، ک. و محکی، و.، ۱۳۸۹. نقد و آسیب‌شناسی سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی عملیاتی مسکن مهر در ایران. فصلنامه آبادی، ۳: ۸۱-۷.

حداد، ع.، جاودانیان، ح. و ابراهیم‌پور، ف.، ۱۳۹۶. شناسایی و تثبیت خاک‌های واگرا، مطالعه موردی: کانال انتقال آب سیمین دشت-گرمسار. زمین‌شناسی مهندسی، ۱۱(۱): ۵۰-۲۹.

حسینی، م.، برقچی، م.، باقرزاده، ف. و صیامی، ق.، ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی گسترش بی‌رویه شهرها)مطالعه موردی: پروژه مسکن مهر- شهر طرقبه(.برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۵(۱۸): ۵۸-۴۳.

حسین‌زاده دلیر، ک. و ساسان پور، ف.، ۱۳۸۵. روش جاپای اکولوژیکی در پایداری کلان‌شهرها با نگرشی بر کلان‌شهر تهران. تحقیقات جغرافیایی، ۱۰: ۷۸-۱۸.

خلاصه یافته‌ها، درس‌آموخته‌ها و پیشنهادهای گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۹. مرکز امور اجتماعی منابع آب و انرژی وزارت نیرو. ۴۰۰صفحه.

رضوی‌زاده، س.، ۱۳۹۹. پایش تحلیلی سیلاب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. مطالعات طرح جامع گرد و غبار خوزستان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۱۶۶ صفحه.

شریفی‌کیا، م.، ۱۳۸۹. بررسی پیامدهای ناشی از پدیده فرونشست در اراضی و دشت‌های مسکونی ایران. انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، ۳(۳-۴): ۴۳-۵.

غیور، ح.ع.، ۱۳۷۵. سیل و مناطق سیل خیز در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴۰: ۱۲۰-۱۰۱.

مقیمی، ا.، ۱۳۸۵. ژئومرفولوژی شهری. دانشگاه تهران، تهران، ۴۰۰ صفحه.

نصرتی، ک. و محمدی, ز.، ۱۳۹۵. بررسی اثرات پخش سیلاب بر خصوصیات خاک و مورفومتری مخروط‌افکنه دشت ذهاب کرمانشاه. پژوهش‌های دانش زمین، ۷(۳): ۸۲-۶۵.

نعیمی، م.، لشگری، ع. و حداد، ع.، ۱۳۹۸. تأثیر پارامترهای ژئوتکنیکی بر ارزیابی اثرات توسعه بر محیط‌زیست، مطالعه موردی: کارخانه سیمان آبیک. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱۸: ۳۱۱-۲۹۹.

نعیمی، م.، حداد، ع.، نوکنده، ص.، زندی‌فر، س. و لشگری، ع.، ۱۳۹۹ الف. ارزیابی تأثیر خط لولهٔ نفت ری- ساری بر محیط‌زیست با به‌کارگیری پارامترهای ژئوتکنیک زیست‌محیطی. نشریه آمایش سرزمین، ۱۲(۲): ۴۷۸-۴۵۷.

نعیمی، م.، حداد، ع.، دهستانی، ح. و زندی‌فر، س.، ۱۳۹۹ ب. ارزیابی اثرات خاکچال بر محیط‌زیست با به‌کارگیری فاکتورهای ژئوتکنیکی، مطالعه موردی: خاکچال قوچان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰ (۳۰): ۱۲۹-۱۱۰.

نعیمی، م.، زندی‌فر، س.، فیجانی، الف. و فرزین، س.، ۱۳۹۹ ج. ارزیابی آثار تغییر اقلیم و فعالیت انسانی بر منابع آب (مطالعهٔ موردی: رودخانه کارون. اکوهیدرولوژی، ۷(۴): ۱۰۰۵-۹۹۳.

واعظی، ع.، حسین‌شاهی، الف. و عبدی‌نژاد، پ.، ۱۳۹۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر پخش سیلاب در ایستگاه قره‌چریان زنجان. مجله علوم آب و خاک، ۱۶(۶۲): ۱۶۱-۱۴۹.

هاشمی، م.، محمودیان، ح. و اجل‌لوئیان، ر.، ۱۳۹۷. بررسی مقاومت و تغییر شکل کششی خاک‌های رمبنده دشت ورامین در حالت‌های دست‌نخورده، بازسازی‌شده و به‌سازی شده. انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، (۲)۱۱: ۸۰-۶۱.

Arabameri, A., Saha, S., Roy, J., Tiefenbacher, J.P., Cerda, A., Biggs, T., Pradhan, B., Ngo, P.T.T. and Collins, A.L., 2020. A novel ensemble computational intelligence approach for the spatial prediction of land subsidence susceptibility. Science of The Total Environment, 726, p.138595.

Akter, T., Quevauviller, P., Eisenreich, S.J. and Vaes, G., 2018. Impacts of climate and land use changes on flood risk management for the Schijn River, Belgium. Environmental science & policy, 89: 163-175.

Allen, A.S., 1984. Types of land subsidence. In: Poland, F., 1984. Guidebook to Studies of Land Subsidence due to Ground Water Withdrawal. UNESCO, Chelsea, Michigan, pp. 133-142.

Andres, N. and Badoux, A., 2019. The Swiss flood and landslide damage database: Normalisation and trends. Journal of Flood Risk Management, 12: e12510.

Ardaya, A.B., Evers, M. and Ribbe, L., 2017. What influences disaster risk perception? Intervention measures, flood and landslide risk perception of the population living in flood risk areas in Rio de Janeiro state, Brazil. Internation-

logical hazards along the route of the Haram-to-Haram Highway, Iran. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 77: 1421-1438.
Nordbeck, R., Löschner, L., Pelaez Jara, M. and Pregernig, M., 2019. Exploring Science–Policy Interactions in a Technical Policy Field: Climate Change and Flood Risk Management in Austria, Southern Germany, and Switzerland. Water, 11(8): 1675.
Nurdin, P.F., Kubota, T. and Soma, A.S., 2019. Investigation of flood and landslide in the Jeneberang catchment area, Indonesia in 2019. International Journal of Erosion Control Engineering, 12(1): 13-18.
Peptenatu, D., Grecu, A., Simion, A.G., Gruia, K.A., Andronache, I., Draghici, C.C. and Diaconu, D.C., 2020. Deforestation and frequency of floods in Romania. In: Negm, A.M., Romanescu, Gh. and Zeleňáková, M., 2020. Water resources management in Romania. Springer, Cham, pp. 279-306.
Pope, J., 2004. Conceptualizing sustainability assessment. Environmental Impact Assessment Review, 24: 595-616.
Rogger, M., Agnoletti, M., Alaoui, A., Bathurst, J.C., Bodner, G., Borga, M., Chaplot, V., Gallart, F., Glatzel, G., Hall, J., Holden, J., Holko, L., Horn, R., Kiss, A., Kohnová, S., Leitinger, G., Lennartz, B., Parajka, J., Perdigão, R., Peth, S., Plavcová, L., Quinton, J.N., Robinson, M., Salinas, J.L., Santoro, A., Szolgay, J., Tron, S., van den Akker, J.J.H., Viglione, A. and Blöschl, G., 2017. Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. Water resources research, 53(7): 5209-5219.
Shviro, M., Haviv, I. and Baer, G., 2017. High-resolution InSAR constraints on flood-related subsidence and evaporite dissolution along the Dead Sea shores: Interplay between hydrology and rheology. Geomorphology, 293: 53-68.
Stabnikov, V., Naeimi, M., Ivanov, V. and Chu, J., 2011. Formation of water-impermeable crust on sand surface using biocement. Cement and Concrete Research, 41(11): 1143-1149.
Wang, P., Chen, H., Kopittke, P.M. and Zhao, F.J., 2019. Cadmium contamination in agricultural soils of China and the impact on food safety. Environmental pollution, 249: 1038-1048.
al journal of disaster risk reduction, 25: 227-237.
Brigandì, G., Aronica, G.T., Bonaccorso, B., Gueli, R. and Basile, G., 2017. Flood and landslide warning based on rainfall thresholds and soil moisture indexes: the HEWS (Hydrohazards Early Warning System) for Sicily. Advances in Geosciences, 44: 79-88.
Chu, J., Ivanov, V., He, J., Naeimi, M. and Wu, S., 2015. Use of biogeotechnologies for soil improvement. In: Indraratna, B., Chu, J. and Rujikiatkamjorn, C., 2015. Ground Improvement Case Histories: Chemical, Electrokinetic, Thermal and Bioengineering Methods. Butterworth-Heinemann, UK, pp. 571-589.
Das, B.M. and Sobhan, K., 2013. Principles of geotechnical engineering. Cengage learning, Stamford USA, pp. 770.
Duong, T.T., Vu, C.M. and Doan, V.T., 2010. Land Subsidence Hazard due to Karts in Vietnam and Mitigation Measures. Proceeding of International Symposium Hanoi Geo-Engineering, Hanoi, Vietnam, 2010, pp. 267- 273.
Fulton, A., 2005. Land Subsidence: What Is and Why Is It an Important Aspect of Ground Water Management? California Department of Water Resources, 4(3): 181-197.
Gao, Y., Tang, X., Chu, J. and He, J., 2019. Microbially induced calcite precipitation for seepage control in sandy soil. Geomicrobiology Journal, 36(4): 366-375.
Hafeez, F., Zafar, N., Nazir, R., Javeed, H.M.R., Rizwan, M., Asad, S.A. and Iqbal, A., 2019. Assessment of flood-induced changes in soil heavy metal and nutrient status in Rajanpur, Pakistan. Environmental monitoring and assessment, 191(4): 1-11.
Handayani, W., Chigbu, U.E., Rudiarto, I. and Putri, I.H.S., 2020. Urbanization and Increasing Flood Risk in the Northern Coast of Central Java—Indonesia: An Assessment towards Better Land Use Policy and Flood Management. Land, 9(10): 343.
Scheffe, K.F., 2005. Collapsible soils in the Rio Grande valley of central New Mexico. In Geological Society of America Abstracts with Programs 37(7): 327.
Hua, R.L., Yueb, Z.Q., Wanga, L.C. and Wang, S.J., 2004. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. Engineering Geology, 76: 65–77
Maghsood, F.F., Moradi, H., Massah Bavani, A.R., Panahi, M., Berndtsson, R. and Hashemi, H., 2019. Climate change impact on flood frequency and source area in northern Iran under CMIP5 scenarios. Water, 11(2): 273.
Moe, I.R., Kure, S., Januriyadi, N.F., Farid, M., Udo, K., Kazama, S. and Koshimura, S., 2017. Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. Hydrological Research Letters, 11(2): 99-105.
Naeimi, M., 2014. Biocementation of sand in geotechnical engineering. Doctoral dissertation, Nanyang Technological University, Singapore, pp. 250.
Nguyen, L.T., Osanai, Y., Anderson, I.C., Bange, M.P., Tissue, D.T. and Singh, B.K., 2018. Flooding and prolonged drought have differential legacy impacts on soil nitrogen cycling, microbial communities and plant productivity. Plant and Soil, 431(1): 371-387.
Nicholls, R.J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A.T., Meyssignac, B., Hanson, S.E., Merkens, J-L. and Fang, J., 2021. A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. Nature Climate Change, 11: 338–342
Nikbakhti, O., Hashemi, M., Banikheir, M. and Khabbazi Basmenj, M., 2018. Geoenvironmental assessment of the formation and expansion of earth fissures as geo-