

تدوین برنامه مدیریت رودخانه‌های شهری مبتنی بر مطالعات رسوب‌شناسی، با مثال‌هایی از کارون و کرخه

اکبر حیدری

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

نویسنده مسئول: A.Heidari@SCU.ac.ir

نوع مقاله: نقطه‌نظر

پذیرش: ۹۹/۲/۲۹

دریافت: ۹۸/۱۲/۱۲

چکیده

رودخانه‌ها به لحاظ زیست‌محیط و تأمین آب، دارای اهمیت بسزایی هستند. استفاده درست از منابع رودخانه‌ها می‌تواند در حفظ این منابع ارزشمند نقش برجسته‌ای داشته باشد. در کشور ایران به سبب میانگین بارش سالانه پایین و قرارگیری بیش‌تر مناطق کشور در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، بسیاری از شهرها در حاشیه رودخانه‌ها بنا شده‌اند. از آنجایی که منابع حیاتی آب شرب، کشاورزی و صنعت از این رودخانه‌ها تأمین می‌گردد، اهمیت حفظ و پاسداری از آن‌ها در سلامت جامعه امری انکارناپذیر است. طی دو دهه گذشته به سبب وقوع چندین سال خشکسالی پیاپی و احداث سدهای متعدد، سطح آب زیرزمینی و به تبع آن رودخانه‌ها افت اساسی داشته است. به سبب افت سطح آب بخش‌هایی از بستر و دشت سیلابی رودخانه‌ها مورد تعرض شهری قرار گرفته و در این تعرض گاهی سازمان‌های دولتی نیز دخیل بوده‌اند و مجوزهایی برای آن صادر نموده‌اند. در این مطالعه به‌عنوان مثال رودخانه‌های کارون، کرخه و تغییرات ایجاد شده در آن بررسی شده است. در خلال ۴ سال گذشته روند بارندگی‌ها در منطقه غرب و جنوب‌غرب کشور به سبب تغییرات اقلیمی سیاره زمین با بارندگی‌های بالاتر از میانگین‌های بلندمدت و به‌صورت سیل آسا رخ داده و هنوز هم ادامه دارد. به‌نظر می‌رسد عقب‌نشینی توده‌های یخی در قطب شمال موجب انحراف چند درجه‌ای توده‌های باران‌زای اقیانوس اطلس جنوبی شده و این توده‌ها با عبور از قاره آفریقا و منطقه عربستان خود را به فراز ایران می‌رسانند. پیش‌تر اغلب این توده‌های باران‌زا به طرف پاکستان و هند رفته و سبب باران‌های شدید در آنجا می‌شدند. برخورد این توده‌های اطلسی با توده‌های مدیترانه‌ای پرخنده‌های بزرگی را بر فراز زاگرس ایجاد نموده و باران‌های سیل‌آسا را در غرب و جنوب‌غرب سبب شده است. در این مطالعه اثرات چنین بارش‌هایی بر شرایط رودخانه‌های کارون و کرخه طی چند سال اخیر بررسی شده است. در این بررسی‌ها مشخص گردید که رفتار رودخانه‌های مذکور به نحوی تغییر کرده که می‌بایست رویکردهای مواجهه با آن‌ها به‌ویژه در محدوده شهرها تغییر یابد. اصلی‌ترین تغییر در راهبرد کمک به تحمل بار رسوبی و حجم آب رودخانه در طی سیلاب‌هاست.

واژه‌های کلیدی: رودخانه، رسوب‌شناسی، تدوین برنامه، زیست‌محیط

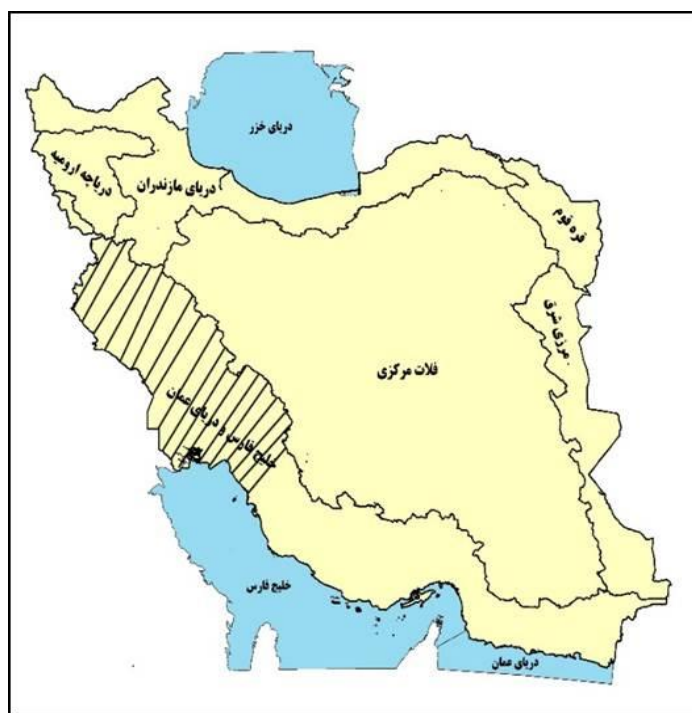
پیشگفتار

استان از شمال‌غربی با استان‌های ایلام و لرستان، از شمال‌شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق دارای مرز مشترک می‌باشد. این استان مطابق با تقسیمات کشوری سال ۱۳۷۵، دارای ۱۵ شهرستان، ۳۵ بخش، ۱۳ دهستان و ۴۴۹۶ روستای دارای ساکنین است. مرکز استان خوزستان، شهر اهواز است. سایر شهرستان‌های این استان شامل آبادان، اندیمشک، اهواز، ایذه، باغ ملک، بندر ماهشهر، بهبهان، خرمشهر، دزفول، دشت آزادگان، رامهرمز، شادگان، شوش، شوشتر و مسجد سلیمان هستند. در این مطالعه

استان خوزستان با جمعیتی بالغ بر چهار میلیون و هفتصد هزار نفر در جنوب‌غربی ایران واقع شده است که یکی از استان‌های پرجمعیت ایران محسوب می‌شود (پایگاه خبری شوشان). این استان به لحاظ اقلیمی از استان‌های چهارفصل است که نواحی جنوبی آن گرم و نواحی شرق و شمال شرق آن معتدل است. استان خوزستان با مساحت ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع، در موقعیت ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و در جنوب‌غربی ایران قرار گرفته است. این

به صورت موردی سیستم رودخانه‌ای دو ابرزهکش استان خوزستان یعنی رودخانه‌های کرخه و کارون مورد بررسی قرار گرفته است (شکل‌های ۱ و ۲). از آنجا که تعداد زیادی از شهرهای استان خوزستان در حاشیه این رودخانه‌ها احداث شده است، بررسی و مطالعه اثرات مقابل شهرها و مراکز جمعیتی، انسان‌ها و سیستم‌های رودخانه بر همدیگر حایز اهمیت بسزایی است. (پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی کشور). داشتن برنامه‌ای مدون برای رودخانه‌های شهری یک ضرورت محسوب می‌گردد (روبیناتو و همکاران، ۲۰۱۹). به سبب افزایش روزافزون جوامع شهری، آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها، نهرها، دریاچه‌ها، آب‌گیرها به شدت توسط انسان تغییر داده شده‌اند. اثرات این تغییرات در مطالعات زیادی در ارتباط با هیدرولوژی بررسی شده است (برای مثال آرنل و همکاران، ۲۰۱۵؛ اشتاوی و همکاران، ۲۰۱۶؛

ژو و ژائو، ۲۰۱۶). هم‌چنین گسترش مناطق صنعتی و شهری باعث محدود شدن مناطق نفوذپذیر می‌شود که این رخداد مانع ورود آب به زیرزمین شده و موجب افزایش روان‌آب‌ها می‌شود. این پدیده مناطق شهری را حتی در زمان باندگی‌های کمتر برای وقوع سیلاب مستعد می‌کند (دیاراتنه و پیرا، ۲۰۰۸؛ وسترا و همکاران، ۲۰۱۳؛ سوئنتنو و همکاران، ۲۰۱۷). بیش‌ترین مخاطره مرتبط با آب در اغلب حوضه‌های رودخانه‌ای کشورهای جهان، مسأله‌ی سیلاب است (کووکا و همکاران، ۲۰۱۶). امروزه به دو علت سیلاب‌ها اهمیت بیش‌تری یافته‌اند. دلیل نخست افزایش تعداد و قدرت سیلاب‌ها و علت دوم افزایش جمعیت و فعالیت اقتصادی در حوضه‌های رودخانه‌ای می‌باشد (جَنکَمَن، ۲۰۰۵؛ شَرِستا و همکاران، ۲۰۱۹؛ فین و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۱. نقشه حوضه‌های اصلی پهنه ایران که زیر حوضه‌های کارون بزرگ و کرخه در آن با هاشور مشخص شده است.

مواد و روش‌ها

مبنای مطالعاتی این تحقیق بازدیدهای صحرایی، داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای رودخانه‌های کارون، کرخه در استان خوزستان است. تصاویر ماهواره‌ای حدود ۳۰ سال گذشته از ماهواره سنتینال-۲ و ماهواره‌های گوگل‌ارث دریافت شده و پهنه رودخانه‌ها و تغییرات کانال‌ها و دشت‌های سیلابی آن‌ها بررسی شده

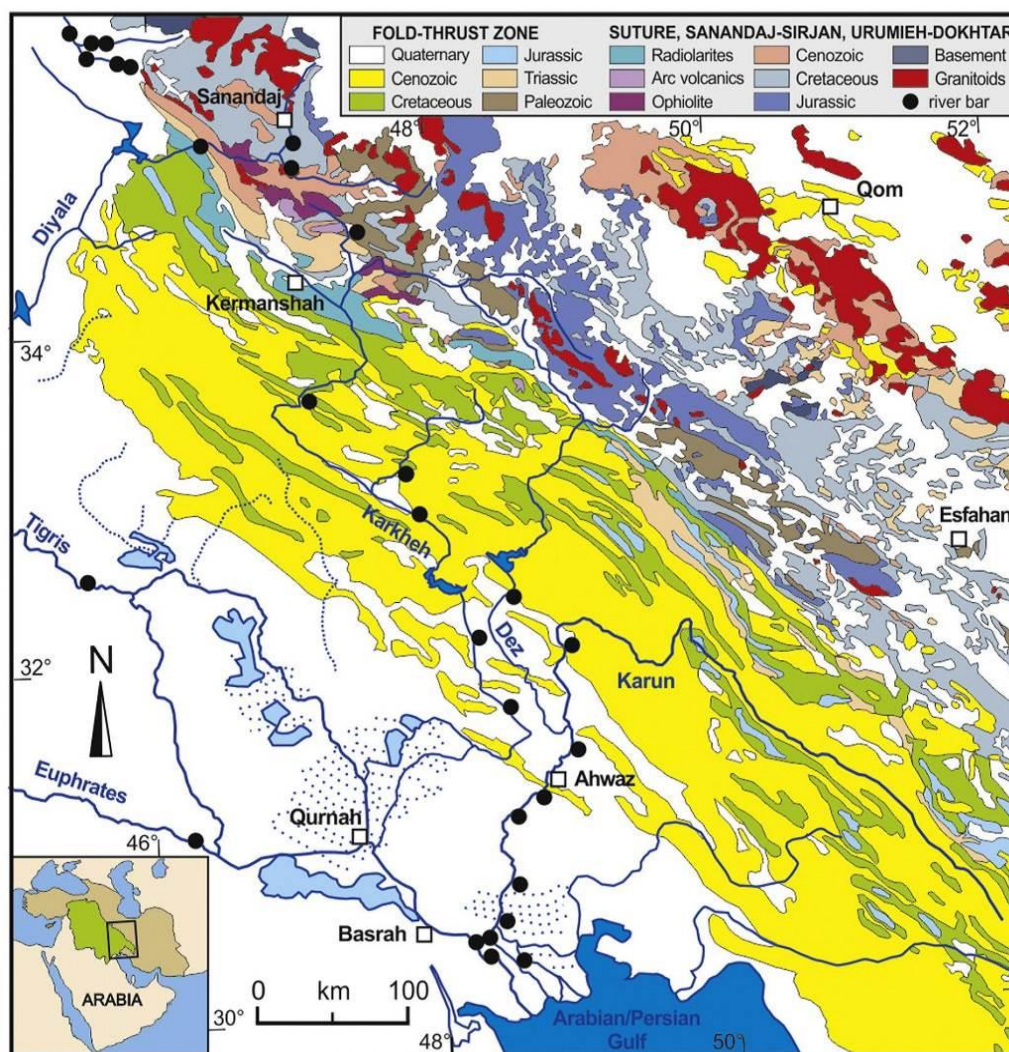
است. هم‌چنین از برخی از این عارضه‌ها بازدید صحرایی صورت گرفته است.

بحث

رودخانه کارون بزرگ‌ترین رودخانه پهنه ایران زمین محسوب می‌گردد. این رودخانه در سنگ نوشته‌های باستانی کرن، کرنک و کوهرنگ نیز نامیده می‌شد و اولین

در طی تاریخ به عنوان زیرساخت اصلی در رونق اقتصادی شهر عمل کرده و از جنبه اجتماعی نیز در منطقه برای مردم دارای اهمیت زیاد است. در چند دهه اخیر رویکردهای متفاوتی نسبت به رودخانه کارون اتخاذ شده و به تدریج نقش اقتصادی آن در سیستم شهری و ارتباطاتی از دست رفته است. در طی این چند دهه تثبیت دیواره‌های متحرک طبیعی این رودخانه با دیواره‌های بتونی و گیاهی و تغییرات در نظام ارتباطی سیستم رودخانه شامل دشت سیلابی، پوینت بار، دشت سیلابی و سیستم مآندری اخلال ایجاد شده و تا حد زیادی رودخانه از شرایط طبیعی خود خارج شده است. ساکنین اطراف سیستم رودخانه‌ای، اقتصادی مجزا از یرهش معسوت‌دور و دناه‌دوم‌مانب‌ناخدوراز رودخانه جدا شده است (همتی و همکاران، ۱۳۹۵).

تمدن‌های بشری در کنار این رود تشکیل گردیده است (گارزانتی و همکاران، ۲۰۱۶). این رودخانه با طول ۹۵۰ کیلومتر طول‌ترین رودخانه ایران می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲). هم‌چنین کارون تنها رودخانه ایران است که در صورت مهیا بودن شرایط، امکان کشتیرانی در بخشی از آن امکان‌پذیر است. رودخانه کارون یکی از مجموعه رودهای سازنده ناحیه مزوپتامیا در ارتباط با منطقه تاریخی بین‌النهرین است. این رود در جنوب‌غربی ایران از پیش از اسلام، از تمدن‌سازترین رودخانه‌های این منطقه است و شهر اهواز که پیشینه آن به پیش از دوران ساسانی باز می‌گردد در کنار همین رودخانه شکل گرفته است (گارزانتی و همکاران، ۲۰۱۶). بخش‌های شهری رودخانه کارون در شهر اهواز همواره تحت تاثیر تعاملات این شهر با رودخانه بوده است. اهمیت کارون برای ساکنین خوزستان صرفاً تأمین آب نیست و این رودخانه



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و زیرحوضه‌های کرخه و کارون جنوب‌غرب ایران و جنوب‌شرق عراق (گارزانتی و همکاران، ۲۰۱۶)

نسبت به چند دهه قبل داشته است. از جمله نشانه‌های وقوع این تغییرات، سیل سال‌های ۹۵ و ۹۷ در استان‌های لرستان، خوزستان، کرمانشاه و ایلام و بارندگی بیش از حد میانگین از سال ۹۵ به بعد است. مقدار بارندگی‌ها در سال ۱۳۹۷ در برخی از این استان‌ها به ارقام بی‌نظیر بیش از ۱۳۰۰ میلی‌متر رسیده است که از لحاظ تاریخی نیز بی‌سابقه و اعجاب‌انگیز بوده است (گزارش بارش استانی جهاد کشاورزی و جدول ۱). این مقادیر بالای بارندگی در حجم آب ورودی و خروجی سدهای جنوب غرب کشور کاملاً مشهود است که در این مطالعه داده‌های بازه زمانی ۲۰ اسفند ۱۳۹۷ تا ۱ اردیبهشت ۱۳۹۸ ارایه شده است (جدول ۲). داده‌های جدول ۲ نشان‌دهنده یک افزایش چشم‌گیر در بازه اشاره شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌های هواشناسی که در این مطالعه انجام شده است نشان‌دهنده ایجاد تغییراتی در نوع و منشأ ابرهای بارشی شده است که بر فراز ایران حرکت نموده و بارندگی‌های سیل‌آسا را سبب شده‌اند (شکل ۳). تصاویر ماهواره‌ای مربوط توده‌های ابری سال ۱۳۹۷ که منجر به سیل لرستان و خوزستان گردید، مؤید برخورد دو توده اطلسی و مدیترانه‌ای بر فراز رشته کوه‌های زاگرس است (شکل ۳).

به سبب گرمایش رو به افزایشی که در چند دهه اخیر در کره زمین ایجاد شده است، زاویه حرکتی توده‌های رطوبتی و ابرها از منشأ اقیانوس اطلس جنوبی اندکی به سمت شمال انحراف نشان می‌دهد. بسیاری از توده‌هایی که پیشتر در مسیر خود از روی قاره آفریقا عبور می‌نمودند و به سمت کشورهای پاکستان و هندوستان می‌رفتند، به نظر می‌رسد که سمت و سوی حرکت خود را به طرف پهنه ایران منحرف نموده‌اند (شکل ۴). در شرایط متداول هنگامی که تنها یک توده از مدیترانه و یا اطلس وارد ایران می‌شود بارندگی‌های معمول رخ می‌دهد، اما هنگامی که هم‌زمان دو توده از اطلس جنوبی و مدیترانه از سمت غرب و جنوب‌غربی وارد کشور می‌گردند. با برخورد دو توده مذکور بر فراز زاگرس، توده‌های ابر چرخشی ایجاد می‌شود که به سبب افت فشار شدید هوا، از دریا‌های اطراف (دریای سرخ، خلیج فارس، دریای عمان) رطوبت جذب شده و بارندگی‌های سیل‌آسا را مناطق بالادست حوضه آبریز کارون و کرخه رخ می‌دهد (شکل ۴). از طرفی برخورد

شرایط اقلیمی خشک به همراه عقب‌نشینی خط ساحلی در هولوسن میانی سبب شده که دلتای کارون و کرخه توسعه پیدا کرده و جابجایی و تغییر مسیرهایی نیز در بستر این رودخانه‌ها پدیدار شود. این تغییرات در مسیر روستای عبدالخان تا تالاب هویزه دارای حداقل دو تغییر شکل پلان خم رودخانه و چندین مسیر متروکه طبیعی می‌باشد. به دلیل سرعت و تنش برشی، ناحیه پیچشی مقعر رودخانه با پدیده انتقال و گسترش همراه بوده و ضمن ایجاد خسارت به اراضی کشاورزی و مسکونی، موجب جابجایی آن‌ها نیز شده است (ایران‌منش و همکاران، ۱۳۹۲). البته چنین جابجایی‌هایی رفتار طبیعی رودخانه محسوب شده و خسارت‌های ایجاد شده بیش‌تر به سبب تعرض به حریم طبیعی سیستم‌های رودخانه‌ای است.

تغییرپذیری رودخانه‌های اصلی یکی از خصوصیات طبیعی و ذاتی آن‌هاست. این تغییرپذیری به لحاظ فضایی در دامنه وسیعی از لحاظ وسعت رخ می‌دهد و از حاشیه‌های رودخانه‌های پربپیچش نظیر رودخانه‌های ماندری کارون و کرخه تا پهنه‌های وسیعی در سطحی به وسعت ده‌ها کیلومتر متغیر است (لئوپارد و وولمن، ۱۹۵۷؛ شام، ۲۰۰۵). از جمله این رخداد‌های تغییردهنده رودخانه‌ها می‌توان به تغییرات الگوی کانال و جابجایی‌های بزرگ آن اشاره نمود. این تغییرات خودکار تحت تأثیر برخی عوامل نظیر توپوگرافی، هیدرولوژی و رسوب‌شناسی رودخانه رخ می‌دهد (داونز و گرگوری، ۲۰۰۴). البته برخی دیگر از پارامترهای خارجی نیز نظیر آب و هوا، تغییرات سطح آب دریا (یا سطح اساس) فعالیت‌های انسانی و تکتونیک نیز بر تغییرات سیستم‌های رودخانه‌ای اثرگذار هستند (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۴؛ باربنک و اندرسون، ۲۰۱۲). تغییراتی که انسان بر سیستم‌های رودخانه‌ای اعمال می‌کند، گاهی نظیر قطع درختان و نابودی جنگل‌ها و انقراض موجودات زنده غیرمستقیم است. گروهی دیگر از تغییرات نظیر تغییرات در کانال (هیوئرت و همکاران، ۲۰۱۲)، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و ایجاد دیواره‌های طبیعی و مصنوعی ثابت کننده رودخانه‌ها به‌صورت مستقیم بر رودخانه اثرگذار هستند.

از سال ۱۳۹۵ میزان و نوع بارندگی‌ها در نواحی بالادست رودخانه‌های کارون بزرگ و کرخه تغییرات عمده‌ای

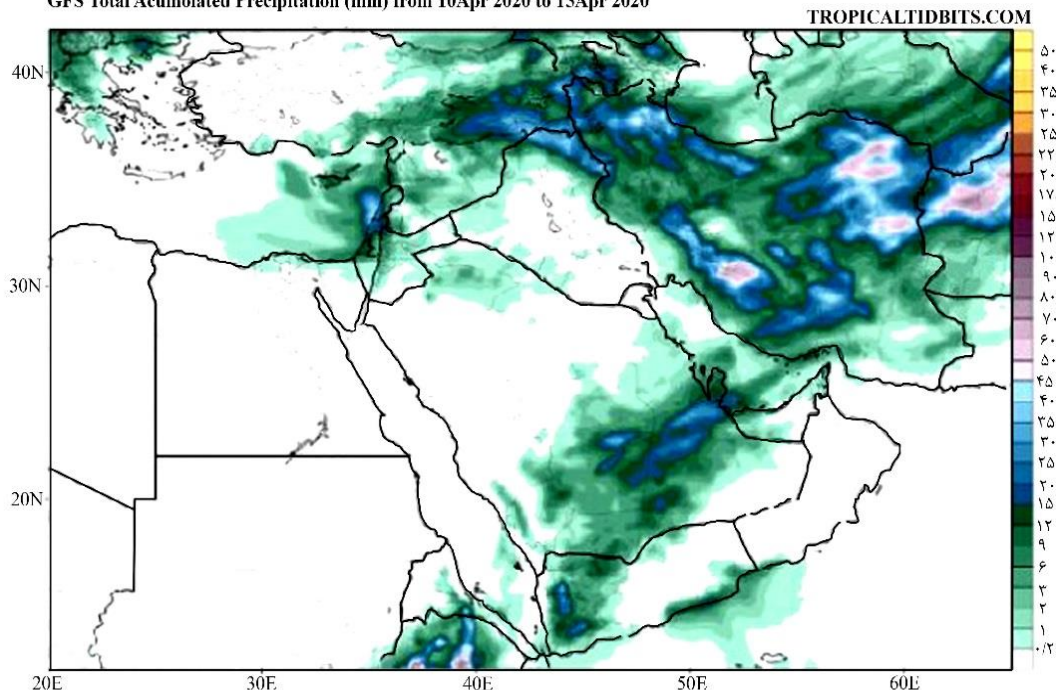
رسیدن به محدوده شهرها مشکلاتی را ایجاد می‌کند، که عمده آن‌ها ناشی از عدم وجود برنامه‌ای مدون با نگاه رسوب‌شناسانه و محیط‌زیستی به سیستم‌های رودخانه‌ای شهری در کشور است.

توده‌های ابر با ارتفاعات زاگرس تراکم زیادی ایجاد نموده و مقدار رطوبت را در توده‌های ابری افزایش می‌دهد. این تغییرات اقلیمی باعث افزایش آب رودخانه‌های حوضه آبریز غرب و جنوب‌غرب کشور (شکل ۱) شده است. این افزایش حجم آب رودخانه‌ها، در مسیر رودخانه و با

جدول ۱. میزان بارندگی حوضه‌ها و زیرحوضه‌های مرتبط با رودخانه‌های کارون و کرخه (گزارش استانی بارش وزرات نیرو). دوره آماری ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ و مقایسه با میانگین ۵۰ سال گذشته

حوضه ها و زیرحوضه‌ها	سال آبی ۹۸-۹۹	سال آبی ۹۷-۹۸	میانگین ۱۱ ساله	میانگین ۵۰ ساله
خلیج فارس و دریای عمان	۱۶۳	۵۳۵	۴۱،۴	۵۱،۷
کرخه	۸۳	۷۴۲	۸۹،۳	۴۱۹
کارون بزرگ	۳۱،۷	۹۷۶	۱۲۲،۵	۶۲۹
لرستان	۱۱۵۷	۱۱۵۷	۰	۲۷۲
ایلام	۱۷۹	۸۹۷	۰	۴۰۳
خوزستان	۱۶۵	۵۷۵	۰	۳۵۱
چهارمحال و بختیاری	۱۸۴	۹۷۷	۰	۶۴۶
کهگیلویه و بویراحمد	۲۲۳	۱۰۱۸	۰	۶۱۶
کرمانشاه	۱۵۹	۷۶۵	۰	۴۷۳

GFS Total Accumulated Precipitation (mm) from 10Apr 2020 to 15Apr 2020



شکل ۳. سامانه‌های بارشی با منشأ اقیانوس اطلس از جنوب‌غرب و مدیترانه از غرب و شمال‌غرب بر فراز ایران به هم می‌پیوندند. طی چند سال اخیر این فرآیند سبب بارندگی‌های شدید در ایران شده است. تصویر مربوط به میزان تجمعی پیش‌بینی شده سایت هواشناسی تروپیکال (WWW.Tropicaltidbits.com) برای بازه زمانی ۲۲ تا ۲۷ فروردین ۱۳۹۹ که منجر به سیل ۹۹ برخی مناطق مرکز و شرق ایران گردید.

جدول ۲. داده‌های مربوط به سد کارون ۴ به‌عنوان مثالی از میزان ورود و خروج آب به سدهای جنوب غرب کشور در سیلاب ۹۷-۹۸.

Date/Time	سد مخزنی کارون ۴- مخزنی تراز آب M	سد مخزنی کارون ۴- مخزنی حجم MCM	سد مخزنی کارون ۴- مخزنی ورودی CMS	سد مخزنی کارون ۴- مخزنی خروجی کل CMS	سد مخزنی کارون ۴- مخزنی حجم مفید MCM
1397/12/20	1005.58	1626.7	150	384	169
1397/12/21	1005.16	1616.5	150.8	268	154.7
1397/12/22	1004.68	1605	141.7	275.7	
1397/12/23	1004.46	1599.7	156.6	218	
1397/12/24	1004.38	1597.7	200.9	223.2	
1397/12/25	1003.96	1587.6	232	349	
1397/12/26	1004.13	1591.7	280	232.8	
1397/12/27	1004.7	1605.5	325.2	166.1	
1397/12/28	1004.47	1599.9	247.8	312	
1397/12/29	1004.45	1599.4	228.8	234.4	
1398/01/01	1004.61	1603	223	178	131.3
1398/01/02	1004.84	1609	202	138	136.8
1398/01/03	1004.67	1605	205	253	132.7
1398/01/04	1004.46	1600	209	267	127.7
1398/01/05	1006.83	1657	913	247	185.2
1398/01/06	1014.6	1856	2546	250	383.6
1398/01/07	1018.06	1949	1262	185	476.6
1398/01/08	1019.45	1987	748	305	514.9
1398/01/09	1020.37	2012	569	274	540.4
1398/01/10	1020.5	2016	477	435	544.1
1398/01/11	1020.85	2026	642	528	553.9
1398/01/12	1023.01	2087	1184	477	614.9
1398/01/13	1024.78	2138	1188	600	665.8
1398/01/14	1025.08	2146	710	609	674.5
1398/01/15	1025.18	2149	626	592	677.4
1398/01/16	1025.17	2149	588	591	677.1
1398/01/17	1025.39	2155	664	590	683.5
1398/01/18	1025.51	2159	848	808	686.9
1398/01/19	1025.52	2159	913	910	687.2
1398/01/20	1025.15	2149	717	841	676.5
1398/01/21	1025.17	2149	721	714	677.1
1398/01/22	1024.8	2138	596	721	666.4
1398/01/23	1024.74	2137	591	611	664.6
1398/01/24	1024.62	2133	548	588	661.1
1398/01/25	1024.38	2126	468	549	654.2
1398/01/26	1024.03	2116	453	570	644
1398/01/27	1023.7	2107	449	558	634.6
1398/01/28	1023.39	2098	432	534	625.8
1398/01/29	1023.14	2091	441	524	618.6
1398/01/30	1023.35	2097	595	526	624.6
1398/01/31	1023.47	2100	540	500	628.1
1398/02/01	1023.27	2094	466	532	622.4

در سیستم‌های رودخانه‌ای طبیعی در مواقع وقوع سیلاب، آب وارد دشت سیلابی می‌شود و ضمن آبیاری دشت و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، باعث بهبود حاصل‌خیزی خاک و گسترش گیاهان شده و از فرسایش خاک و ایجاد

ریزگردها و گرد و خاک جلوگیری می‌کند. امروزه با توسعه زندگی شهری و ایجاد شهرهای بزرگ در محدوده رودخانه‌ها شهرها و کلان‌شهرهایی نظیر اهواز گسترش یافته است. رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز دارای

چند پیچ مآندر است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید پیچش رودخانه‌ها در بخش مقعر رود محل فرسایش و حرکت در دشت سیلابی رودخانه است. امروزه که این دشت‌های سیلابی توسط شهرها اشغال شده، دیواره‌های طبیعی مآندر با دیوارهای بتونی و گیاهی ثابت شده و عملاً رفتار طبیعی رودخانه توسط انسان مختل شده است. رسوب و آبی که باید وارد دشت سیلابی گردد، در کانال اصلی مانده و به مرور باعث پر شدن کانال اصلی می‌گردد. چنانچه در سیلاب ۹۷-۹۸ خوزستان فقط در محدوده شهر اهواز چندین سد طولی بزرگ توسط رسوبات در کانال اصلی ایجاد گردید و وسعت سدهای پیشین نیز بسیار افزایش یافت (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۵ الف تا پ دیده می‌شود، سد طولی بزرگی که در شهر اهواز موسوم به پارک جزیره از سال ۲۰۰۶ (شکل ۵ الف) تا ۲۰۱۸ (شکل ۵ ب) مقدار کمی گسترش یافته است؛ اما تنها در فاصله سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ (شکل ۵ پ) وسعت سد طولی به حدود دو برابر افزایش یافته است. این افزایش وسعت ناگهانی سد مذکور نشان‌دهنده بار رسوب بسیار بالای سیلاب رخ داد است. رفتار طبیعی رودخانه‌های مآندری در هنگام وقوع سیلابی این‌چنینی، شکستن خاکریز طبیعی و جاری شدن در دشت سیلابی است. به واسطه این ورود به دشت سیلابی بخش زیادی از رسوبات به صورت کروس‌های پهن در دشت سیلابی پخش می‌شود. اما رودخانه‌ای که با در محدوده شهری با دیواره‌های مصنوعی مهار می‌گردد، عاجز از تخلیه بار رسوبی در دشت سیلابی شده و به ناچار رسوبات در کانال اصلی به شکل سدهای طولی متعدد ته‌نشین می‌گردد. اگر افزایش بارندگی‌ها با توجه به تغییرات اقلیمی که قبل‌تر اشاره گردید ادامه یابد، قطعاً با کاهش فضای رسوب‌گذاری کانال اصلی رودخانه، در سیلاب‌های بعدی شهر و مراکز جمعیتی اطراف رودخانه با خطر بسیار جدی و مهلک روبرو خواهد بود. حال با توجه به این مسایل، در یک برنامه زیست‌محیط محور می‌بایست که راهکارهای مناسب با دیدگاه رسوب‌شناسانه ارائه گردد تا در سیلاب‌های بعدی با مسأله‌ای غیرقابل کنترل مواجه نشویم.

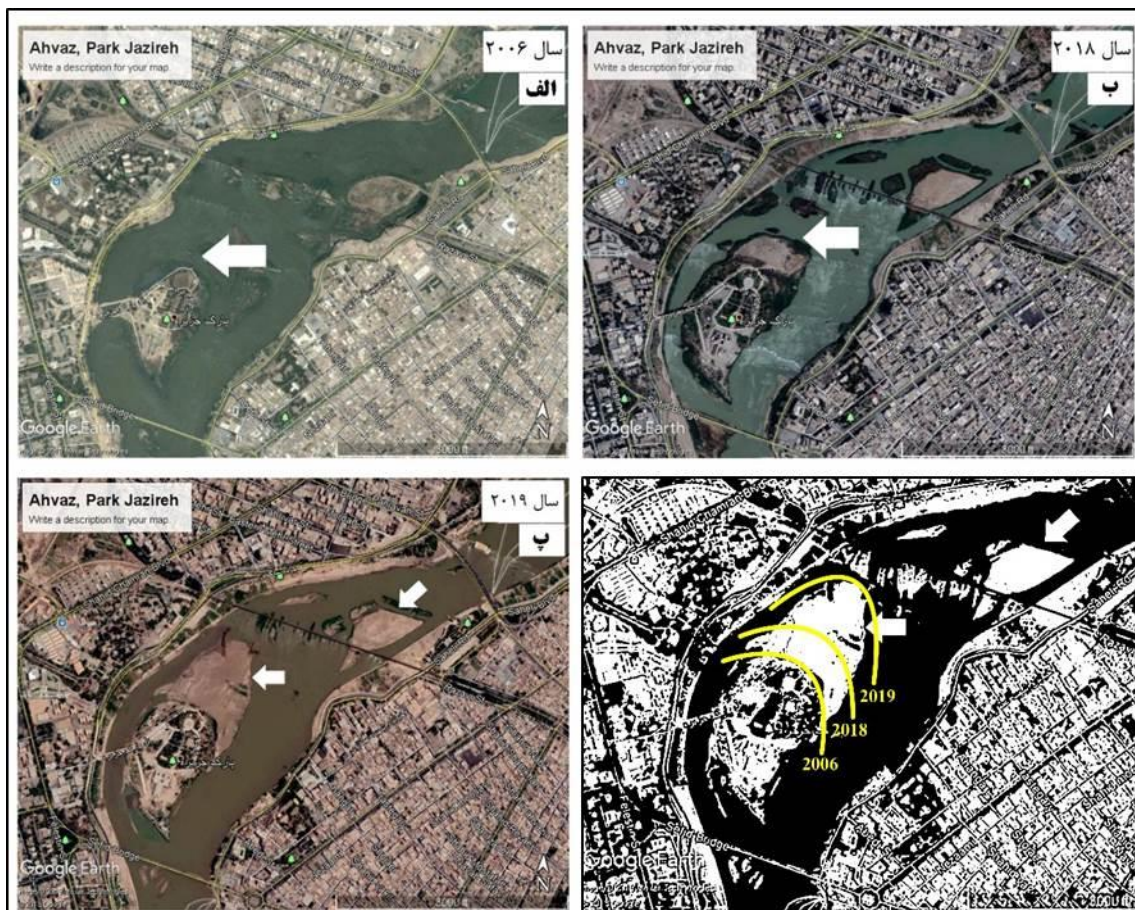
در خلال سیلاب فروردین ۱۳۹۸ رودخانه کرخه نیز که در غرب رودخانه کارون واقع شده است، طغیان نمود و با جاری شدن در دشت سیلابی شرقی خود به سمت دشت

سیلابی غربی رودخانه دز که شاخه اصلی غربی کارون بزرگ است سرازیر گردید. در شرایط عادی رودخانه دز پس از تغییر مسیر شمالی جنوبی خود و پیش از الحاق به کارون بزرگ روند شرقی- غربی گرفته و سپس به کارون بزرگ ملحق می‌گردد. در این مسیر انتهایی رودخانه دز دارای چند پیچش مآندری سنگین است که پتانسیل بالایی برای تغییر مسیر ناگهانی رودخانه را دارد. هم‌چنین بررسی تصاویر هوایی رودخانه دز نشان می‌دهد که این رودخانه پیش از الحاق به کارون بزرگ یک کانال اصلی شمالی- جنوبی داشته است (شکل ۶ الف). در تصویر ۶ الف، با پیکان تیره چند بخش مقعر از پیچش رودخانه دز پیش از الحاق با رودخانه کارون نشان داده شده است که دارای پتانسیل شکستن خاکریز طبیعی و ورود سیلاب به دشت سیلابی هستند؛ در شکل ۶ الف، هم‌چنین مسیر مآندر قدیمی رودخانه دز با پیکان سیاه کوتاه‌تر نشان داده شده است که قابلیت بای‌پس رودخانه و تغییر ناگهانی مسیر آن را دارد. رودخانه دز در انتهای مسیر خود و قبل از الحاق به کارون بزرگ با یک پیچش مواجه است که سمت حرکت آن به سوی جنوب است (شکل ۲). در خلال سیلاب مذکور در این پیچش، بخش مقعر رودخانه در ناحیه خاکریز طبیعی شکسته و رودخانه دز مسیری مستقیم خارج از الحاق به کارون باز نموده و بخش زیادی از سیلاب، به دلیل نبود ظرفیت لازم در کانال قدیمی وارد دشت سیلابی غربی آن گردید (شکل ۶). در شکل ۶ ب، در محل پیکان تیره در حدفاصل شهرهای شیبان و ملاثانی یکی از پیچ‌های مآندر کارون بزرگ شکسته و آب وارد دشت سیلابی شده است (که عمده‌تاً زمین‌های کشاورزی است) و آسیب وارد نموده است. در بخش پ شکل ۶، تصویر همان منطقه شکل الف در تاریخ ۲۰ فروردین ۱۳۹۸ که رودخانه‌های دز و کرخه با ورود به دشت سیلابی در مناطق نزدیک به هم مانند شهر الهایی که در شکل مشخص است با هم درآمیخته و عملاً دور رودخانه با هم ادغام شده‌اند.

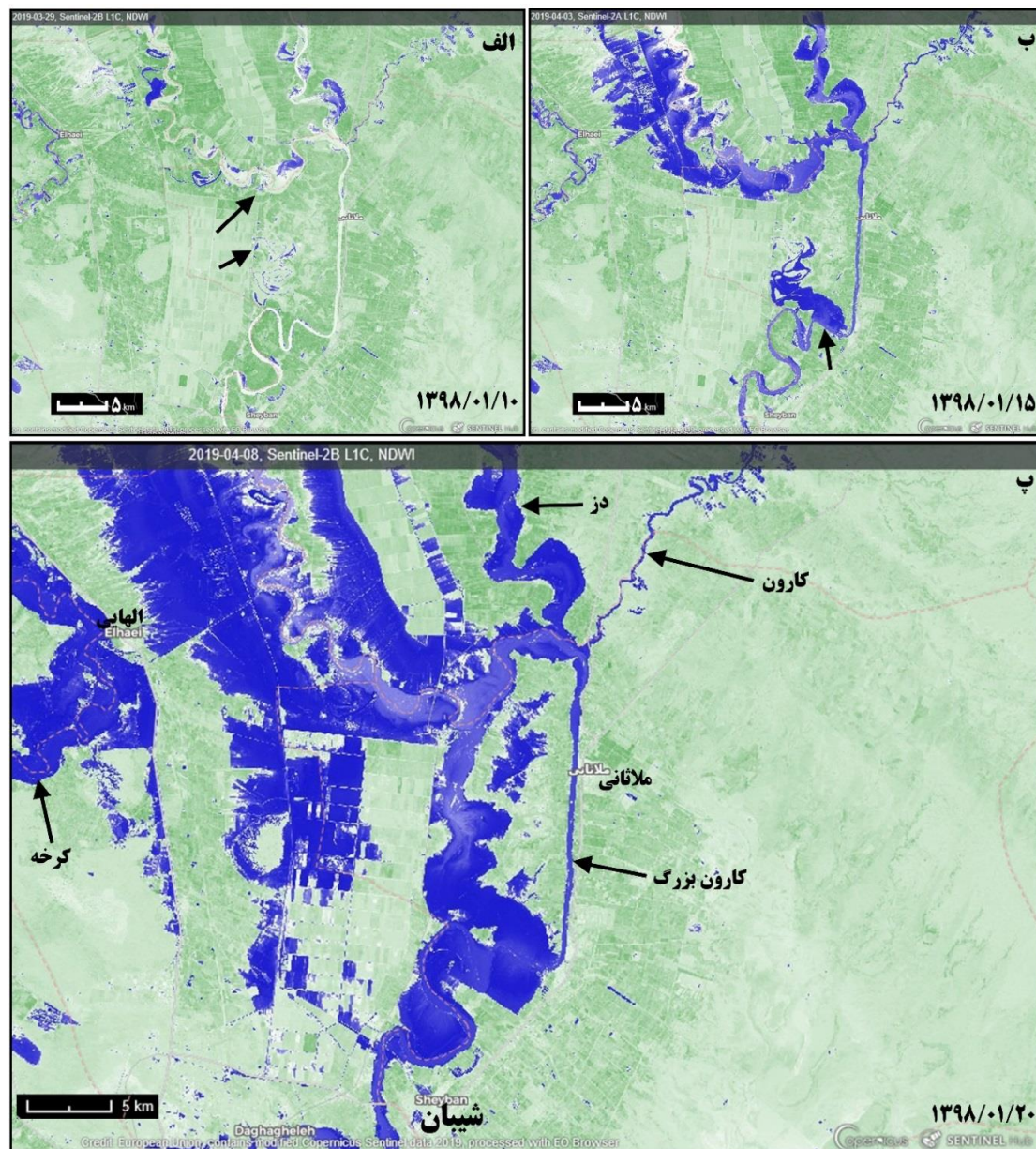
لذا در ارایه برنامه‌ای بر پایه رسوب‌شناسی برای رودخانه‌های کشور، یکی از مواردی که باید به آن توجه داشت احیای کانال‌های قدیمی رودخانه‌های مآندری در کشور است تا در زمان وقوع سیلاب‌هایی از این دست، کانال توان انتقال آب و رسوب را داشته باشد و مجبور به انتقال آن به دشت سیلابی نشود.



شکل ۴. تغییر مسیر سامانه‌های بارشی. پیکان آبی منقطع مسیر پیشین و پیکان قرمز جدید پیمایش توده‌های بارشی را نشان می‌دهند. پیکان با حاشیه‌ی قرمز مسیر پس از ۲۰۱۶ و پیکان با حاشیه‌ی آبی مسیر حرکت توده‌های بارشی پس از ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد.



شکل ۵. سدهای طولی رودخانه مآندری کارون در شهر اهواز. الف) تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت مربوط به سال ۲۰۰۶ که از یکی از سدهای طولی رودخانه کارون موسوم به پارک جزیره تهیه شده است. ب) تصویر دیگری از سد طولی پارک جزیره که در سال ۲۰۱۸ تهیه شده است. پ) تصویر تهیه شده از سد طولی مذکور در سال ۲۰۱۹ و ت) نقشه تغییرات وسعت سد طولی موسوم به پارک جزیره که خطوط محدوده برای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ ترسیم شده است. برای توضیحات پیش‌تر به متن مراجعه گردد.



شکل ۶. تصاویر NDWI ماهواره Sentinel از سیلاب رخ داده در فروردین ۹۸ در محدوده استان‌های لرستان، ایلام، کرمانشاه و خوزستان. (الف) تصویر پیش از وقوع سیلاب رودخانه‌های کارون، کارون بزرگ و کرخه در شمال اهواز در تاریخ ۱۰ فروردین ۱۳۹۸، (ب) تصویر همان منطقه شکل الف در تاریخ ۱۵ فروردین ۱۳۹۸ که نشان‌دهنده افزایش چشمگیر حجم آب رودخانه‌های کرخه و دز است.

دخالت انسانی تقویت شده است. در برخی موارد نیز پوشش‌های گیاهی باعث تقویت خاکریز طبیعی رودخانه ماندری شده است. اما در برخی شرایط که خاکریز طبیعی یکسان بوده، رفتار رودخانه متغیر بوده و دیده می‌شود که برخی خاکریزهای شکسته و برخی نشکسته است. عامل این مورد در ماهیت جریان هیدرولیک رودخانه نهفته است که در پیش‌های مشابه ماندری، رخدادهای متفاوتی را رقم می‌زند. از این‌رو، در برنامه مدونی که برای کنترل رودخانه‌های باید مورد توجه قرار

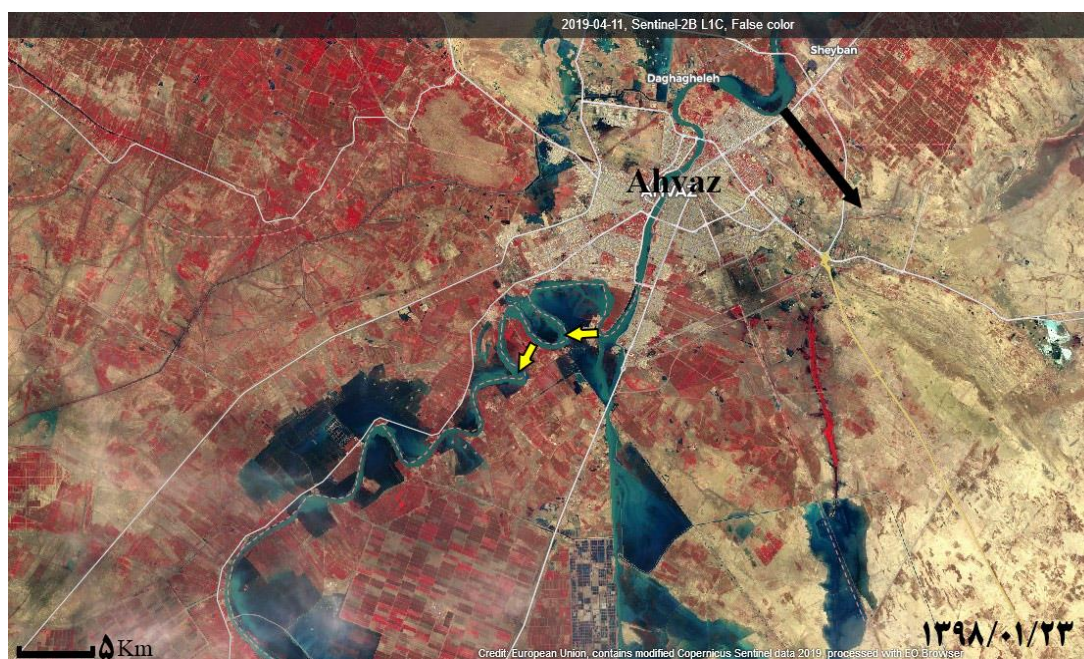
از موارد دیگری که باید به آن در برنامه‌های تدوینی برای رودخانه و سیلاب‌ها در کشور باید در نظر گرفت، ارزیابی پیش‌های رودخانه‌های ماندری است. همان‌طور که در تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سیلاب رودخانه‌های کارون و کرخه دیده می‌شود (شکل ۶ پ)، در هنگام وقوع سیلاب در رودخانه ماندری در محل تقعر برخی پیش‌ها شکست خاکریز اتفاق افتاده و در برخی این شکست رخ نداده است. بازدیدهای صحرائی نشان داد که برخی از این خاکریزها مانند تقعر پیش بالای شهر شیبان توسط

آب زیرزمینی و هم‌چنین کنترل چشمه‌ها و کانون‌های تولید ریزگرد استفاده گردد (شکل ۷). در شکل ۷، در این تصویر پیکان تیره شمال‌شرق اهواز مکان پیشنهادی احداث کانال بای‌پسی را نشان می‌دهد که اولاً می‌تواند سیلاب را از محدوده شهری اهواز دور کند و دوماً آب را پهنه‌های تولیدی ریزگرد شرق اهواز رسانده و در آینده از وقوع ریزگردها جلوگیری کند. در ناحیه جنوب‌غرب نیز با دو پیکان روشن کوچک‌تر محل احداث دو کانال بای‌پس پیشنهادی مشخص شده است که مانند آنچه در این شکل دیده می‌شود آب وارد زمین‌های کشاورزی صنعت نیشکر نگردد. کانال بالاتر اگر احداث گردد بار رسوب و آب در زمان سیلاب ممکن است از پیچش بعدی وارد دشت سیلابی گردد لذا پیشنهاد احداث کانال دوم که در جنوب‌غرب کانال قبل است برای احتمال بالای شکست پیچش مآندر دوم است. در بخش‌های پایین‌تر با توجه به باز شدن پیچش‌ها امکان ایجاد مشکلات ناشی از سیلاب کمتر است. از طرفی مناطق پایین‌تر اغلب بیابانی بوده که ورود آب به آن‌ها نه تنها مشکل‌زا نخواهد بود بلکه در حاصل‌خیز سازی مناطق بیابانی و جلوگیری از ایجاد چشمه‌های ریزگرد مفید خواهد بود. امید است که نتایج این مطالعه هشدار برای رعایت حریم رودخانه‌ها و کنترل رفتار آن‌ها باشد تا از فجایع آینده جلوگیری گردد.

گیرد، تعیین رفتار پیچش‌ها و میزان قدرت و ارزیابی بخش مقعر است. داشتن چنین برنامه‌ای کمک می‌کند که در زمان وقوع بحران، بتوان به‌سرعت نقاط حادثه‌خیزتر را مورد توجه قرار داد.

هم‌چنین در برنامه کنترل رودخانه‌ها در دوره‌های سیلابی، می‌بایست در دوره‌های بین سیلابی متناسب با آورد رسوب به محدوده شهری رودخانه، بستر کانال اصلی رودخانه رسوب‌زدایی گردد تا حجم لازم برای هدایت سیلاب از دست نرود. در حال حاضر پس از وقوع سیلاب فروردین ۹۸ رسوب‌زدایی مناسبی از رودخانه کارون انجام نشده است که مؤید این امر ظهور تعداد زیاد سدهای طولی در مسیر رودخانه در شهر اهواز است. در چنین شرایطی اگر سیلاب دیگری رخ دهد، شرایط بسیار دشوارتر از سیلاب فروردین ۹۸ شده و ممکن است سیلاب بخش وسیعی از شهر را در بر گرفته و آسیب‌های زیادی وارد کند.

راهکار دیگر که در دوره‌های بین‌سیلابی باید مورد توجه قرار گیرد، تعبیه کانال‌های بای‌پس است که بتواند در شرایط اضطرار آب را از محدوده شهری به بخش‌هایی از دشت سیلابی هدایت کند که اولاً کم جمعیت باشد، دوماً کمترین آسیب را به زمین‌های کشاورزی دشت سیلابی وارد کند و در آخر از بحران سیلاب به یک فرصت تبدیل شده و از آن برای تغذیه مصنوعی سفره‌های تخلیه شده



شکل ۷. تصویر False Color ماهواره Sentinel اهواز و اطراف آن در ایام سیل فروردین ۱۳۹۸

نتیجه‌گیری

نتایج این مقاله نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد روند افزایش بارندگی‌ها در پهنه ایران ادامه‌دار بوده و در آینده کشور به دفعات با مشکل وقوع سیلاب‌ها مواجه گردد. در چنین شرایطی ایجاد برنامه‌ای مدون مبنی بر ملاحظات رسوب‌شناسانه و زیست‌محیطی برای کنترل رودخانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. به مرور زمان و با ادامه روند پربارش سال‌های اخیر بیم آن می‌رود که حجم زیادی از کانال اصلی پر شده و در نهایت سیلاب‌های آیند صدمات بسیار بزرگی را به شهرها وارد کنند. لذا هر چه سریع‌تر باید میزان ورود و خروج رسوبات رودخانه‌ها بررسی شده و حریم آن‌ها و مناطق پرخطر آن‌ها شناسایی شده و کاملاً به آن‌ها توجه گردد تا شاهد وقوع رخدادهای دلخراشی همچون حادثه سیلاب شیراز در بهار ۹۸ و از دست رفتن جان صدها و هزاران نفر و نابودی امکانات شهری و مزارع کشاورزی نباشیم. در این مطالعه تعداد ۳ کانال بای‌پس برای کنترل سیلاب رودخانه کارون پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها به رفع خطر سیلاب برای اهواز و رفع مشکل کانون‌های ریزگرد می‌گردد. دو کانال دیگر برای کمک به زمین‌های زراعی صنعت نیشکر و جلوگیری از آسیب به آن‌ها پیش‌بینی شده است. هم‌چنین در این مطالعه ضرورت تدوین یک برنامه مدون برای رودخانه‌های بزرگ کشور اعلام شده است. در چنین برنامه‌های می‌بایست که تمامی مناطق پرخطر رودخانه‌ها برای زمین‌های زراعی و شهرها مشخص شده و با رعایت روش‌های رسوب‌شناختی در جهت بهره‌گیری از سیلاب‌ها برای رفع کم‌آب و کانون‌های ریزگرد گامی بزرگ برداشته شود.

تشکر و قدردانی

در پایان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز جهت حمایت مادی و معنوی این مطالعه بسیار سپاس‌گزارم. هم‌چنین از ریاست محترم انجمن رسوب‌شناسی ایران، جناب آقای دکتر موسوی‌حرمی و دبیر محترم علمی پنجمین همایش ملی رسوب‌شناسی ایران جناب آقای دکتر زندمقدم بابت منتخب نمودن این مطالعه از مجموعه مقالات همایش بسیار قدردانی می‌نمایم. بر خود لازم می‌بینم که از سردبیر و مدیر مسئول محترم مجله رسوب‌شناسی کاربردی دانشگاه

بوعلی‌سینا آقایان دکتر خدابخش و دکتر رفیعی برای حمایت از همایش ملی رسوب‌شناسی و چاپ مقالات برگزیده تشکر نمایم.

منابع

پایگاه خبری شوشان:

<http://shooshan.ir/fa/news/66772>

وب‌سایت سازمان هواشناسی کشور:

<http://www.irimo.ir/far/services/climate>

پایگاه داده‌ای تصاویر ماهواره‌ای سنتینل:

<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>

ایران‌منش، ف.، مقصودی، م.؛ مقیمی، الف.، یمانی، م.، چرخابی،

الف (۱۳۹۲) نقش مورفودینامیک دیرینه رودخانه کرخه

در تجلی ساختار فضایی دشت آزادگان، فصلنامه جغرافیا و

مخاطرات محیطی، شماره ۸، سال دوم، ص ۱۹-۳۲.

همتی، مرتضی و آذرنوش امیری (۱۳۹۵) تعامل شهر اهواز با

رود کارون، فصلنامه منظر، شماره ۳۷، دوره ۸، ۲۲-۳۱.

Arnell, N. W., Halliday, S. J., Battarbee, R. W., Skeffington, R. A., Wade, A. J (2015) Wade The implications of climate change for the water environment in England Prog. Physical Geography, 39 (1): 93-120.

Brierley, G. J., Fryirs, K. A (2005) Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. Blackwell Publishing, Malden, Massachusetts, USA.

Burbank, D. W., Anderson, R. S (2012) Tectonic Geomorphology, second edition Wiley-Blackwell, hichester, UK.

Dayaratne, S. T., Perera B. J. C (2008) Regionalisation of impervious area parameters of urban drainage models. Urban Water Journal, 5 (3): 231-246.

Eshtawi, T., Evers, M., Tischbein B (2016) Quantifying the impact of urban area expansion on groundwater recharge and surface runoff. Hydrology Sciences Journal, 61 (5): 826-843.

Feyen, L., Dankers, R., Bodis, K., Salamon, P., Barredo, J. I (2012) Fluvial flood risk in Europe in present and future climates. Climatic Change, 112: 47-62.

Garzanti, E., Al-Juboury, A. I., Zoleikhaei, Y., Vermeesch, P., Jotheri, J., Akkoca, D. B., Obaid, A. K., Allen, M. B; Andó, S., Limonta, M., Padoan, M., Resentini, A., Rittner, M., Vezzoli, G (2016) The Euphrates-Tigris-Karun river system: Provenance, recycling and dispersal of quartz-poor foreland-basin sediments in arid climate. Earth-Science Reviews, 162: 107-128.

- Jonkman, S. N (2005) Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Natural Hazards*, 34: 151–175.
- Kvocka, D., Falconer, R. A., Bray, M (2016) Flood hazard assessment for extreme flood events. *Natural Hazards*, 84: 1569–1599.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G (1957) *River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight*; United States Geological Survey Professional Paper 282-B, 39-85.
- Rubinato, M., Nichols, A., Peng, Y., Zhang, J., Lashford, C., Cai, Y., Lin, P., Tait, S (2019) Urban and river flooding: Comparison of flood risk management approaches in the UK and China and an assessment of future knowledge needs. *Water Science and Engineering*, 12 (4): 274-283.
- Schumm, S. A (2005) *River Variability and Complexity*; Cambridge University Press, Cambridge, UK, 197p.
- Shrestha, E. D. P., Perera, S., Kudo, M., Miyamoto, Y., Yamazaki, D., Kuribayashi, H., Sawano, T., Sayama, J., Magome, A., Hasegawa, T., Ushiyama, Y., Iwami, Y (2019) Assessing flood disaster impacts in agriculture under climate change in the river basins of Southeast Asia. *Natural Hazards*, 97: 157–192.
- Soetanto, R., Mullins, A., Achour, N (2017) The perceptions of social responsibility for community resilience to flooding: The impact of past experience, age, gender and ethnicity. *Natural Hazards*, 86 (3): 1105-1126.
- Westra, S., Evans, J. P., Mehrotra, R., Sharma, A (2013) A conditional disaggregation algorithm for generating fine time-scale rainfall data in a warmer climate. *Journal of Hydrology*, 479: 86-99.
- Woodbridge, K. P., Parsons, D. R., Heyvaert, V. M. A., Walstra, J., Frostick, L. E (2016) Characteristics of direct human impacts on the rivers Karun and Dez in lowland south-west Iran and their interactions with earth surface movements. *Quaternary International*, 392: 315-334.
- Xu, Z. X., Zhao, G (2016) Impact of urbanization on rainfall-runoff processes: Case study in the Liangshui River Basin in Beijing, China *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 373: 7-12.