**اکوهیدرولوژی**

**دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۹۴۲-۹۲۱**

# بررسی سیل استان گلستان در سال ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸ و ارائهٔ راه‌کارهای کنترل و مدیریت آن در آینده

**یوسف رجبی‌زاده[۱]، سید علی ایوب‌زاده[۲*]، عبدالرضا ظهیری[۳]**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲. استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۳. دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۳/۰۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۶/۰۶)

## چکیده

با توجه به وقوع سیلاب خسارت‌بار استان گلستان در سال ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸، بررسی و ریشه‌یابی ابعاد مختلف آن بسیار ضروری است. بنابراین، ابتدا مروری مختصر بر سیلاب‌های اخیر ایران صورت گرفت و پس از شرح مشخصات و جانمایی حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود، سیل‌های استان گلستان در دو دههٔ اخیر بررسی شد. پس از شرح گزارش‌های مربوط به سیل ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸ استان گلستان، دلایل وقوع آن طبق گزارش‌های موجود که توسط کارشناسان مطرح شده است، بررسی شد. در پایان، راه‌کارهایی جامع و متناسب با شرایط کشور و به‌ویژه استان گلستان ارائه شد. همچنین، برخی راه‌کارهای کشورهای پیشرفته در زمینهٔ مدیریت و کنترل سیلاب شرح داده شد که می‌تواند در صورت توجه و سرمایه‌گذاری مناسب، به پیشرفت کشورمان در این زمینه کمک کند. ایجاد نوعی سامانهٔ جامع فراقوه‌ای نظام‌نامهٔ مدیریت و کنترل سیل، توجه هرچه بیشتر به اقدامات آبخیزداری و آبخوان‌داری و نیز توجه به اصول و مبانی مهندسی رودخانه‌زیستی، اجرای دقیق حد و حریم بستر و در صورت لزوم، بازنگری در قانون مربوط به آن به منظور افزایش حدود بستر، بازنگری و طراحی اصولی سازه‌های تقاطعی، بازسازی و احیای هر چه بیشتر مسیل‌ها، چالاب‌ها و تالاب‌های طبیعی و رفع تعدی و تجاوزها به آنها، احیای مراتع در بخش شمالی رودخانهٔ گرگان‌رود با توجه به جغرافیای تاریخی آن، از جمله مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات برای پیشگیری و بهبود مدیریت و کنترل بهتر این مسئله است و با جلوگیری از تغییر شکل طبیعی حوضه‌های آبخیز و اقدامات غیر اصولی سازه‌ای، به مقابلهٔ بهتر در برابر این پدیده می‌پردازد.

**کلیدواژگان:** اقدامات پیشگیرانه، خسارت سیل، سیلاب، مدیریت سیلاب.

**مقدمه**

کشور ما همواره در معرض حوادث طبیعی از جمله سیل قرار داشته است. حوادث طبیعی همچون سیل خسارت‌های مالی و جانی زیادی بر جا می‌گذارند. اواخر سال ۱۳۹۷ و اوایل ۱۳۹۸ در کشور ایران بارندگی‌های بهاری ممتدی در چندین استان در شمال، شمال غربی، غرب و جنوب غربی کشور رخ داد که سیل‌های شدید و خسارت‌های زیان‌باری به همراه داشت. برخی از این سیلاب‌ها منشأ طبیعی داشتند، اما زیان‌بارترین آنها دارای منشأ انسانی و نیز حاصل فعالیت‌ها و اقدامات سازه‌ای غیر اصولی و ضعف در برنامه‌ریزی و مدیریت سیلاب بودند. همین امر ضرورت بررسی و تحلیل ابعاد مختلف این سیلاب‌ها و نیز چاره‌اندیشی برای پیشگیری از موارد مشابه آن در آینده را بیان می‌کند. سیل یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارت های زیادی را به جوامع انسانی وارد می‌آورد. در این میان، شهرها و مراکز جمعیتی، بیشترین ریسک و احتمال خسارت فیزیکی قابل لمس ناشی از وقوع سیل را دارند [۱]. سیل در حقیقت افزایش ارتفاع آب رودخانه و مسیل و بیرون زدن آب از آن و اشغال بخشی از دشت‌های حاشیهٔ رودخانه است که می‌تواند با غرقاب کردن منطقه، سبب وارد آمدن خسارت بر ساختمان ها و تأسیسات عمومی شود و تلفات انسانی و دامی به همراه داشته باشد. در مواردی نیز سیل می‌تواند ناشی از افزایش سطح آب دریاچه و یا دریا باشد که در این موارد، جریان بادهای شدید تأثیر زیادی بر این اتفاق خواهد داشت. سیل می‌تواند از راه‌های زیادی ایجاد شود. شایع‌ترین راه زمانی است که رودخانه‌ها و نهرها از کناره‌هایشان سرریز می‌کنند. این نوع سیل‌ها را رودخانه‌ای[1] می‌نامند [۲]. باران سنگین، سد یا خاکریز شکسته، ذوب سریع یخ در کوه‌ها و یا حتی شکستن سد در نقطه‌ای آسیب‌پذیر می‌تواند یک رودخانه را سیلابی کند و آن را در خشکی‌های اطرافش گسترش دهد. خشکی‌های اطراف یک رودخانه، دشت سیلاب نامیده می‌شود [۳]. امروزه، به دلیل دخالت‌های بی‌رویه در بسیاری نقاط که قبلاً سیل نمی‌آمده است، طغیان‌های بزرگی مشاهده می‌شود. در یک دسته‌بندی فشرده می‌توان سیلاب‌ها را به انواع فصلی، ناگهانی، سیلاب‌های ناشی از شکست سدها، سیلاب‌های نواحی ساحلی و خورها، سیلاب‌های ناشی از گرم شدن یخ مناطق یخچالی و یخزده[2]، توفان‌های دریایی و اقیانوسی تهاجمی به سواحل، سیلاب‌های ناشی از بارش‌های تند در مناطق کوهستانی و با شیب تند و... نامید. بعضی از سیلاب‌های فصلی در زمستان یا بهار هم‌زمان با ذوب برف رخ می‌دهند و به‌سرعت رودخانه را با حجم زیادی از جریان آب مواجه می‌کنند. ممکن است در این هنگام زمین یخ بسته و نفوذپذیری خاک کاهش یافته باشد و رواناب زیادی ایجاد شود. زمانی که رطوبت سالیانه افزایش یابد و خاک نیز اشباع باشد، هر نوع بارش اضافی می‌تواند رواناب زیادی را راهی رودخانه کند و سیلاب منطقه‌ای به وجود آورد. سیلاب‌های ناگهانی[3] می‌توانند طی چند ثانیه یا چند ساعت رخ دهند و هشدار آنها دشوار است. ممکن است تلفات آنها زیاد باشد، زیرا خیلی زود سطح آب افزایش می‌یابد و سرعت جریان بر اثر وقوع این نوع سیلاب بسیار زیاد است. عوامل مختلفی مانند شدت بارش، مدت بارش، شرایط سطحی زمین، عوارض (توپوگرافی) و شیب حوضه در وقوع این نوع سیلاب مؤثرند. مناطق شهری در معرض این نوع سیلاب هستند، زیرا سطح زمین با انواع روکش‌های آسفالت، سنگ‌فرش و غیره پوشانده شده و راه‌های نفوذ جریان بسته شده و رواناب به‌سرعت در سطح شهر توزیع می‌شود. حتی بیابان نیز از وقوع این نوع سیلاب در امان نیست. نصب و فعالیت سیستم‌های هشدار سیلاب می‌تواند تلفات را تا حد زیادی کاهش دهد. برخی سیلاب‌ها در رودخانه‌هایی که به‌طور جزئی یا کامل یخ زده‌اند، رخ می‌دهد. افزایش سطح آب می‌تواند موجب فشار و شکست یخ شود و جریان‌هایی از یخ شناور را در رودخانه ایجاد کند که حرکت آنها در مسیرهای تنگ یا کنار پایه‌های پل‌ها متوقف می‌شود و در این مکان‌ها سدهای یخی شکل می‌گیرند. با پس زدن آب در بالادست، آب از کناره‌ها سرریز می‌شود و سیلاب رخ می‌دهد. همچنین، در پایین‌دست با شکست سدهای یخی، سیلاب ناگهانی به وجود می‌آید و حجم زیادی از آب ذخیره‌شده به‌سرعت به پایین‌دست روانه می‌شود. با توجه به همراهی توده‌های یخ، خسارت های واردشده افزایش خواهند یافت [۴]. برخی سیلاب‌ها ناشی از شکست سد و خاکریز هستند. سدها و خاکریزها با توجه به دورهٔ برگشت سیلاب و معیارهای مهندسی و اقتصادی برای محافظت در برابر سیلاب ساخته می‌شوند. با وقوع سیلاب‌های

1. River Flood

2. Snow Flood
3. Flash Flood

بزرگ‌تر، سیلاب طراحی سازه مستغرق می شود و با شکست سازه، آب ذخیره‌شده در بالادست به‌صورت سیلاب ناگهانی به سمت پایین‌دست به راه می‌افتد. برخی دیگر از سیلاب‌ها ناشی از زمین‌لغزه هستند. بر اثر سقوط و تجمع حجم زیادی از سنگ و صخره، لجن و آشغال در رودخانه‌ها و نهرها، سدهای موقتی به وجود می‌آید و با وقوع سیلاب، حجم زیادی از رواناب در بالادست این سدهای موقتی ذخیره می‌شود و با شکست این سد موقتی، سیلاب به راه می‌افتد. جریان لجن هنگام وقوع آتشفشان و جاری شدن گدازه‌ها که ذوب یخ و گل‌آلود شدن خاک در محل را در پی دارد، تولید می‌شود و در راستای شیب منطقه به راه می‌افتد. وقوع زمین‌لغزه می‌تواند سبب تولید امواج در دریاچه‌ها و سقوط مقادیری از خاک و سنگ به داخل کانال‌ها و رودخانه‌ها شود [۵]. در سال‌های اخیر تعداد زیادی سیلاب در کشور گزارش شده است که مشخصهٔ بیشتر آنها، حمل مقدار زیادی رسوب اعم از ریزدانه، درشت‌دانه، تخته‌سنگ و تنهٔ درختان بوده است. به سیلاب‌هایی که مقدار زیادی رسوب حمل می‌کنند، سیلاب‌های با غلظت زیاد گفته می‌شود. اگر بیش از ۵۰ درصد رسوبات این سیلاب‌ها ریزدانه باشد و رسوبات چسبنده‌ای که در آن وارد شده، مقدار تعیین‌کننده‌ای داشته باشد، سیلاب گلی[1] گفته می‌شود و اگر کمتر از ۵۰ درصد رسوبات ریزدانه داشته باشد و با مقادیر زیادی مصالح درشت‌دانه مانند قلوه‌سنگ، سنگ یا تنهٔ درختان همراه باشد، سیلاب واریزه‌ای[2] گفته می‌شود. صرف نظر از علل افزایش رواناب، نوع جریان غلیظ نیز به دلیل تأثیرگذاری بر هیدرولیک جریان رودخانه و انتقال رسوب آن، طغیان رودخانه را در پی دارد. این علل به دو دستهٔ کاهش ضریب سرعت و کاهش ظرفیت انتقال رسوب در بازه‌های کم‌شیب پایین‌دستی رودخانه تقسیم می‌شوند [۶]. کشور ما همواره در معرض حوادث طبیعی از جمله سیل قرار گرفته که خسارت‌های مالی و جانی بسیاری را نیز به جا گذاشته است. بنابراین، همین امر ضرورت بررسی و تحلیل ابعاد مختلف این سیلاب‌ها و چاره‌اندیشی برای پیشگیری از موارد مشابه آن در آینده را بیان می‌کند. در مقالهٔ حاضر سعی شده است ابعاد مختلف سیل گلستان در سال ۱۳۹۷ــ ۱۳۹۸ بررسی شود. پس از مروری بر گزارش‌ها و جوانب مختلف این سیل، به ریشه‌یابی وقوع آن و ارائهٔ راه‌کارهای کنترل و مدیریت آن در آینده پرداخته می‌شود.

**مروری بر سیلاب‌های اخیر ایران**

کشور ایران به واسطهٔ شرایط اقلیمی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی در بسیاری از مناطق، همه‌ساله در معرض خطر این بلای طبیعی است، به طوری که بیش از ۸۰ درصد وسعت شهرهای ایران در معرض وقوع سیل قرار دارند [۴].

از ۲۹ اسفند ۱۳۹۷ مجموعه‌ای از سیل‌ها با خسارت‌های مالی و جانی زیاد آغاز شد. ابتدا چند شهر از استان‌های شمالی ایران را درگیر خود کرد و دو روز بعد، شهر شیراز در استان فارس را نیز دربرگرفت. سپس، استان‌های لرستان، خوزستان، ایلام، کرمانشاه، اراک و هرمزگان دچار این بلای طبیعی شدند. شدت بارش‌های سراسری در ایران به حدی بود که ۲۰ استان از ۳۱ استان ایران هم‌اکنون در معرض سیلاب قرار دارند یا در معرض احتمال سیل ناپایدار هستند. سال آبی گذشته طبق آمار بارندگی، از خشک‌ترین سال‌ها در چند دههٔ اخیر بوده است و حجم و شدت زیاد بارندگی در سال جاری بیان‌کنندهٔ درخور توجه بودن این تفاوت خشکسالی و ترسالی سال گذشته و سال جاری است. در شکل ۱ میزان بارندگی استان‌های سیل‌زده در سال آبی جاری و سال گذشته مقایسه شده است.

با توجه به شکل ۱، میزان بارندگی در استان لرستان بسیار زیاد است که با توجه به بی‌سابقه بودن آن، به سیل بزرگ اخیر این استان منجر شده است. استان‌های ایلام و کرمانشاه نیز در صدر رتبه‌های پرباران بوده‌اند و تفاوت بارندگی سال جاری نسبت به سال گذشته بسیار مشهود است. استان‌های دیگر نیز در سال آبی جاری روند افزایشی میزان بارش نسبت به سال آبی گذشته را دارند که درخور توجه است. البته، این نکته اهمیت دارد که میزان رطوبت خاک حوضه بر اثر بارش قبلی یا حجم موجود در مخزن قبل از وقوع سیلاب، می‌تواند تأثیر زیادی بر ابعاد سیلاب داشته باشد. بارندگی شدید در یک حوضهٔ آبخیز خشک ممکن است موجب سیلاب نشود، در حالی که بارندگی نسبتاً کم روی حوضه‌ای با خاک مرطوب می‌تواند سیلاب بزرگی به وجود آورد. با توجه به بارندگی ممتد از زمستان تا بهار، واضح است که رطوبت خاک در این مناطق درصدی از ظرفیت ذخیرهٔ خاک را اشغال کرده و میزانی از

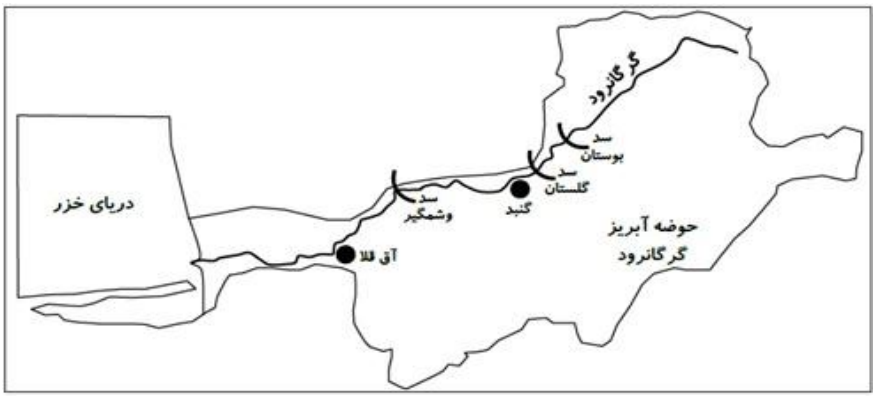
1. Mud flood
2. Debris flood

آن اشباع شده است که این تکرار بارندگی بر کاهش نفوذ و افزایش رواناب تأثیرگذار بوده است. طبق گزارش‌ها، تا کنون ۵۷ نفر قربانی این مجموعه سیل‌ها شده‌اند و در بسیاری از مناطق خسارت‌هایی از جمله ویرانی منازل، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و... به وجود آمده است.

**مشخصات و موقعیت جغرافیایی استان گلستان و جانمایی حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود**

استان گلستان با مساحت ۲۰۴۳۸ کیلومترمربع شامل پنج حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود، اترک، قره‌سو، خلیج گرگان و نکارود است. در مجموع، ۴۵ رودخانه به طول کلی ۲۷۰۰ کیلومتر در این استان جریان دارد. متوسط بارندگی سالیانهٔ استان در شرایط نرمال حدود ۴۵۰ میلی‌متر است. رودخانهٔ گرگان رود که آبراههٔ اصلی حوضهٔ گرگان رود است و بیشترین حجم آب استان گلستان در آن جریان دارد، ابتدا از به هم پیوستن رودخانه‌های زاو و قره‌ناوه در شمال شرقی شهرستان کلاله شکل می‌گیرد و به سد بوستان می‌ریزد. سپس، رودخانهٔ حاجی‌قوشان قبل از سد گلستان و رودخانه‌های دوغ، قره‌شور و اوغان در محل سد گلستان و رودخانهٔ قلی‌تپه بعد از سد گلستان به آن می‌پیوندند. مجموع رودخانه‌های چهل‌چای، نرماب و خرمالو در جنوب شهر گنبد با گذر از ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه به رودخانهٔ گرگان‌رود ملحق شده و سپس این رودخانه به سد وشمگیر وارد می‌شود. رودخانه‌های قره‌چای، شیرآباد، زرین‌گل، کبودوال، محمدآباد، تقی‌آباد و قرن‌آباد نیز بعد از سد وشمگیر و قبل از شهر آق‌قلا، به رودخانهٔ اصلی گرگان رود می ریزند و در نهایت، این رودخانه به دریای خزر منتهی می‌شود [۷]. شکل ۲ حوضهٔ آبخیز گرگان رود را به همراه رودخانهٔ گرگان‌رود نشان می‌دهد.

**شکل ۱. مقایسهٔ میزان بارندگی استان‌های سیل‌زده در سال آبی گذشته و سال آبی جاری [۷]**




**شکل ۲. حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود [۷]**

**مروری بر سیل‌های استان گلستان در دو دههٔ اخیر**

در مرداد ۱۳۸۰ سیل ویرانگری در استان گلستان جاری شد و خسارت‌های مالی و جانی بسیاری به مردم منطقه وارد کرد. کارشناسان علت وقوع سیل را بارش باران و از بین رفتن مراتع در استان‌های دیگر می‌دانستند. در پی این حادثهٔ ناگوار، ۲۵ روستای شهرستان کلاله در محاصرهٔ سیل قرار گرفت و بیش از ۱۵ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی تخریب شد. به رغم باز کردن دریچه‌های سد گلستان با دبی اوج سیل ورودی ۳۳۰۰ مترمکعب در ثانیه، باز هم انباشتگی آب سد را در پی داشت. بعد از گذشت یک سال از این حادثه، در پی بارش‌های شدید در مرداد ۱۳۸۱ در حوضهٔ گرگان‌رود در شرق استان گلستان، سیلاب شدیدی به وقوع پیوست و موجب خسارت‌های سنگینی به بخش‌های اقتصادی نظیر راه‌ها، پل‌ها، مزارع و باغ‌های کشاورزی و نیز سبب تلفات جانی تعدادی از مردم شد. همچنین، در پی وقوع سیل‌های نهم مرداد و بیستم مرداد ۱۳۸۴، خسارت‌های مالی و جانی زیادی به روستاهای پاشانی، چاتال، خوجه‌لر، آق‌تقه، قره‌ناوه علیا، کچیک آق‌امام، چنارلی گلیداغ، قولاق کسن، دالی بقچه، قزل ایاغ از توابع بخش مرکزی کلاله و مراوه‌تپه وارد شد. به گفتهٔ کارشناسان، علت این سیل، بارش ۱۳۵ میلی‌متر باران در یک شبانه‌روز بوده است. برآورد اولیهٔ خسارت سیل بیستم مرداد، حدود ۲۰۰ میلیارد ریال به مناطق گلبداغ و بخش مرکزی کلاله اعلام شد. بر اثر این پدیدهٔ غیرمترقبه، ۳۰۰ واحد مسکونی در ۳۵ روستا ۱۰۰ درصد تخریب شد، ۱۵۰۰ هکتار اراضی کشاورزی نابود شده و همچنین به تأسیسات زیربنایی ۱۵۰ روستا، خسارت وارد شد و تعدادی از مردم جان خود را از دست دادند. در روز ۲۲ مهر ۱۳۹۱ نیز به دلیل بارش شدید باران در استان گلستان سیل جاری شد که شهرهای بندرگز، گنبد کاووس، گرگان و آزادشهر مناطق سیل‌زدهٔ این حادثه بودند و شدت سیل در بندرگز از دیگر نقاط استان بیشتر بود. در هشتم خرداد ۱۳۹۳ نیز در پی بارندگی‌های شدید، در استان گلستان سیل جاری شد که حدود ۱۷۵ میلیارد تومان خسارت مادی به بار آورد. در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ نیز بارندگی شدید در استان گلستان سبب وقوع سیل در این منطقه شد و تلفات جانی و مالی در پی داشت.

**مروری بر سیل ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸ استان گلستان**

از تاریخ ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ بر اثر بارندگی‌های شدید در استان گلستان سیل جاری شد. این بارندگی‌ها موجب شد سدهای بوستان و گلستان در شرق استان گلستان سرریز شوند و رودخانه‌های چهل‌چای و گرگان‌رود در اطراف گنبد کاووس از توابع استان گلستان طغیان کنند. گفته می‌شود در این حادثهٔ طبیعی، طی دو روز، ۳۰۰ میلی‌متر بارش رخ داده که بیش از ۶۶ درصد متوسط بارش یک‌سالهٔ استان گلستان (۴۵۰ میلی‌متر) است. گزارش‌ها بیان کنندهٔ آن است که دیگر مناطق این استان نیز با بارشی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد کل بارش سالانه در بازهٔ زمانی کمتر از پنج روز رودررو بوده‌اند. با توجه به تحقیقات انجام‌شده این بارش‌ها سنگین و تا حدودی استثنایی بوده‌اند؛ از این نظر که تقریباً کل پهنهٔ استان درگیر بارش بوده و شدت بارش و مهم‌تر از آن، مدت دوام بارش‌ها بسیار زیاد بوده است. بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که سیلاب ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸ این استان تقریباً بی‌سابقه بوده است. در این حادثه مناطقی مانند آق‌قلا، گمیشان، بندر ترکمن، گنبد کاووس و... که در مسیر رودهایی مانند گرگان‌رود و قره‌سو و چهل‌چای قرار داشتند بر اثر طغیان این رودها خسارت‌هایی دیدند. شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب پهنهٔ سیلاب در شهرستان آق‌قلا و گمیشان در تاریخ ۹ فروردین ۱۳۹۸ را نشان می‌دهند.

بنا به گزارش‌ها و آمار جمع‌آوری‌شده، تمرکز بارندگی در شرق استان گلستان و بالادست سدهای بوستان و گلستان و نرماب و شهرستان‌های مینودشت، گالیکش و کلاله است. در ایستگاه‌های سازمان هواشناسی بیشترین مقدار بارندگی در ایستگاه توسکاچال در ارتفاعات منطقهٔ مینودشت برابر ۳۵۴ میلی‌متر روی داده است. آمار بارش‌های اخیر در حوضهٔ گرگان‌رود و آمار گذشته در این حوضه در جدول ۱ آورده شده است و با هم مقایسه شده‌اند. شایان یادآوری است که متوسط بارندگی سالانهٔ استان در شرایط نرمال حدود ۴۵۰ میلی‌متر است و در این سامانهٔ بارشی چندروزه، در یکی از ایستگاه‌های شرق استان حدود ۳۰۰ میلی‌متر (۶۵ درصد بارندگی کل سال استان) بارندگی رخ داده است که این حجم از بارش در منطقهٔ یادشده در تمام دوران ثبت داده‌های هواشناختی، دست‌کم در هفتاد سال گذشته، بی‌سابقه بوده است [۸].

شکل ۳. نمایی از سیل استان گلستان در مناطق مسکونی

شکل ۴. تصویر ماهواره‌ای پهنهٔ سیلاب شهرستان آق‌قلا در تاریخ ۹ فروردین ۱۳۹۸ [۸]

**شکل ۵. تصویر ماهواره‌ای پهنهٔ سیلاب شهرستان گمیشان در تاریخ ۹ فروردین ۱۳۹۸ [۸]**

**جدول ۱. آمار بارش‌های اخیر در حوضهٔ گرگان‌رود و مقایسهٔ آن با آمار گذشته [۸]**

| ردیف | حوضهٔ آبریز | ایستگاه | بارش مولد سیلاب اخیر (mm) | بارش سال آبی جاری تا ۲۵ اسفند ۱۳۹۷ (mm) | متوسط بارش درازمدت شش ماههٔ اول سال آبی (mm) | متوسط بارش سالانه (mm) | درصد تغییرات نسبت به بارش سال آبی جاری تا ۲۵ اسفند ۱۳۹۷ | درصد تغییرات نسبت به متوسط بارش درازمدت شش ماههٔ اول سال آبی | درصد تغییرات نسبت به متوسط بارش سالانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | گالیکش | ۲۴۶ | ۶۸۸ | ۴۶۵ | ۷۹۶ | ۳۶ | ۵۳ | ۳۱ |
| ۲ | | مینودشت | ۲۹۰ | ۶۳۹ | ۴۸۵ | ۸۵۱ | ۴۵ | ۶۰ | ۳۴ |
| ۳ | | تمر | ۱۷۴ | ۴۴۴ | ۳۰۹ | ۵۲۱ | ۳۹ | ۵۶ | ۳۳ |
| ۴ | گرگان‌رود | گلیداغ | ۱۷۱ | ۶۸۸ | ۴۶۲ | ۷۵۸ | ۲۵ | ۳۷ | ۲۳ |
| ۵ | | پارک ملی | ۲۳۱ | ۷۶۴ | ۵۶۰ | ۹۷۴ | ۳۰ | ۴۱ | ۲۴ |
| ۶ | | نوده | ۲۶۶ | ۶۵۱ | ۴۸۴ | ۸۳۶ | ۴۱ | ۵۵ | ۳۲ |
| ۷ | | رامیان | ۲۶۲ | ۸۱۳ | ۵۷۴ | ۹۰۰ | ۳۲ | ۴۶ | ۲۹ |

مطابق آمار تهیه‌شده از سازمان هواشناسی، برای سه ایستگاه گنبد کاووس، مراوه‌تپه و گرگان برای یک دورهٔ ده‌ساله از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵، متوسط سالیانهٔ بارش به‌ترتیب ۴۵۶، ۳۷۰ و ۵۵۵ اعلام شده است (جدول ۲) که در مقایسه با بارش سالانه در حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود در جدول ۱ که به‌طور متوسط ۸۰۵ میلی‌متر است، ارقام به‌مراتب کمتری هستند؛ بنابراین بارندگی‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸ تفاوت درخور توجهی نسبت به سال‌های گذشته در این استان را نشان می‌دهد.

طبق گزارش‌های موجود، مجموع حجم مخازن سدهای گرگان رود در حال حاضر ۱۱۸ میلیون مترمکعب است. در طراحی مخازن سدها میزان رسوب واردشده به عنوان یک مؤلفهٔ اساسی مورد توجه است. ولی به دلیل تغییر رژیم بارندگی در استان گلستان طی دو دههٔ اخیر، سیلاب‌های متعدد کوچک و بزرگی به وقوع پیوسته که موجب انباشت رسوب فراوان درون مخازن سدهای استان و کاهش حجم مخزن آنها شده است. بررسی برخی محققان در زمینهٔ خاک و آبخیزداری کشور در سیل‌های اخیر نشان داد در سیل گلستان حدود ۵۰ میلیون مترمکعب رسوب در مخازن بندهای آبخیزداری و سدهای استان گلستان انباشته شد و سدهای استان به دلیل حجم کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت آنها، عملکرد ضعیفی داشتند، اما با این حال بحث مدیریت مخازن بحث مفصلی است و این آمار و ارقام باید بررسی و تحلیل بیشتری شود [۹].

طبق گزارش‌ها، مقدار جریان ذخیره‌شده در مخازن سد بوستان و گلستان از بیلان جریان ورودی و خروجی از مخزن سدهای بوستان و گلستان و براساس گزارش‌های اعلام‌شده در بازهٔ زمانی ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ تا ۱۳۹۸/۱/۸ در جدول ۳ محاسبه شده است.

براساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌های ثبت‌شده در سیل اخیر، حداکثر دبی خروجی سیلاب اندازه‌گیری‌شده از سد وشمگیر (۶۶۶ مترمکعب بر ثانیه) و حداکثر ورودی برآوردشده به سد وشمگیر ۶۹۰ مترمکعب بر ثانیه است. حداکثر دبی خروجی سیلاب در ایستگاه باغه‌سالیان در پایین‌دست سد وشمگیر ۷۵ مترمکعب بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. بنابراین، با توجه به نتایج مطالعات انجام‌شده (جدول ۳) می‌توان دورهٔ بازگشت سیلاب رخداده در پایین‌دست سد وشمگیر را حدود ۵۰۰ سال تخمین زد و بر این اساس می‌توان دبی سیل با دورهٔ بازگشت ۵۰۰ ساله در ایستگاه آق‌قلا را بیش از ۳۸۰ مترمکعب بر ثانیه برآورد کرد. از آنجا که ظرفیت ایمن و قابل عبور رودخانهٔ گرگان‌رود در بازهٔ پایین‌دست سد وشمگیر (به‌خصوص در محدودهٔ شهر آق‌قلا) حدود ۱۲۰ مترمکعب بر ثانیه است، مازاد جریان به سیلاب‌دشت وارد شده است.

نکتهٔ درخور توجه اینکه به دلیل خشکسالی بسیار شدید سال آبی گذشته و خالی بودن بیش از حد مخازن سدها، وضعیت سدهای استان گلستان تا تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۰۱ مناسب نبوده، به طوری که درصد پر بودن سدهای بوستان، گلستان و وشمگیر تا این تاریخ، به‌ترتیب حدود ۳۵، ۲۱ و ۱۶ درصد بوده است. طبق گزارش‌ها به دلیل بارش‌های بالادست و زیرحوضه‌های گرگان‌رود، از نیمهٔ اول بهمن‌ماه ۱۳۹۷، وضعیت مخازن سدها رو به بهبود می‌گذارد و روند پر شدن آنها تسریع می‌شود، به طوری که در اول اسفندماه ۱۳۹۷ مخازن سدهای گلستان و وشمگیر به طور کامل از آب پر می‌شوند و در این زمان، سد بوستان نیز تا ۷۰ درصد از آب پر می‌شود (شکل‌های ۶ و ۷).

**جدول ۲. مقادیر بارش ده‌سالهٔ سه ایستگاه گنبد کاووس، مراوه‌تپه و گرگان**

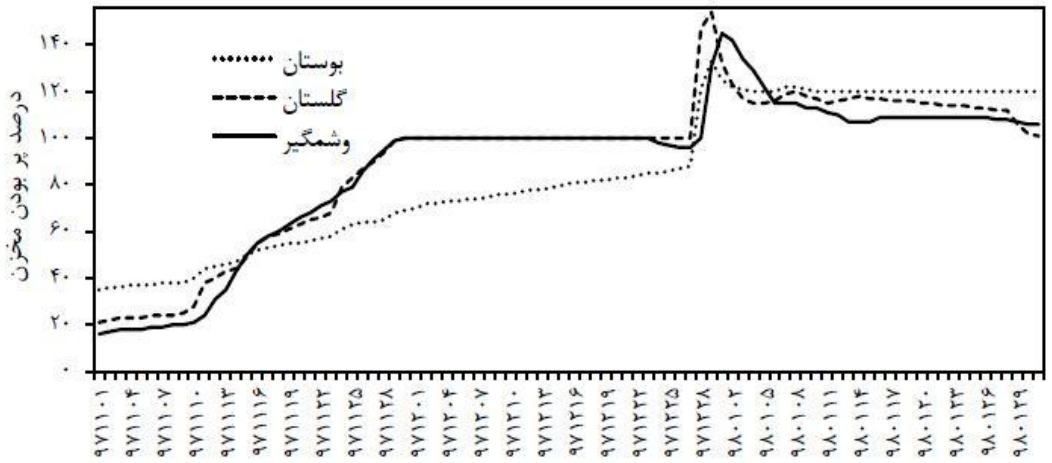
| سال | بارش سالانه (میلی‌متر) | | |
|---|---|---|---|
| | گنبد کاووس | مراوه‌تپه | گرگان |
| ۱۹۹۵ | ۳۵۳/۴ | ۳۳۳/۷ | ۵۶۷/۳ |
| ۱۹۹۶ | ۳۹۴/۳ | ۳۶۹/۰ | ۴۶۹/۵ |
| ۱۹۹۷ | ۴۱۳/۱ | ۴۴۴/۲ | ۵۱۷/۲ |
| ۱۹۹۸ | ۴۹۹/۱ | ۳۷۴/۳ | ۴۷۶/۰ |
| ۱۹۹۹ | ۴۶۵/۶ | ۳۴۲/۸ | ۵۹۲/۳ |
| ۲۰۰۰ | ۵۱۴/۷ | ۲۸۲/۰ | ۵۷۹/۰ |
| ۲۰۰۱ | ۲۸۵/۲ | ۲۴۴/۰ | ۴۵۱/۶ |
| ۲۰۰۲ | ۵۱۳/۴ | ۳۸۳/۱ | ۵۴۲/۹ |
| ۲۰۰۳ | ۴۸۴/۹ | ۴۱۴/۲ | ۶۳۱/۴ |
| ۲۰۰۴ | ۵۸۸/۶ | ۴۷۳/۲ | ۵۹۴/۳ |
| ۲۰۰۵ | ۵۰۶/۱ | ۴۱۹/۳ | ۶۷۹/۴ |
| **میانگین** | ۴۵۶/۲ | ۳۷۰/۸ | ۵۵۵/۴ |

**جدول ۳. حجم سیلاب ورودی و خروجی سدهای گرگان‌رود در سیلاب اخیر (میلیون مترمکعب) [۸]**

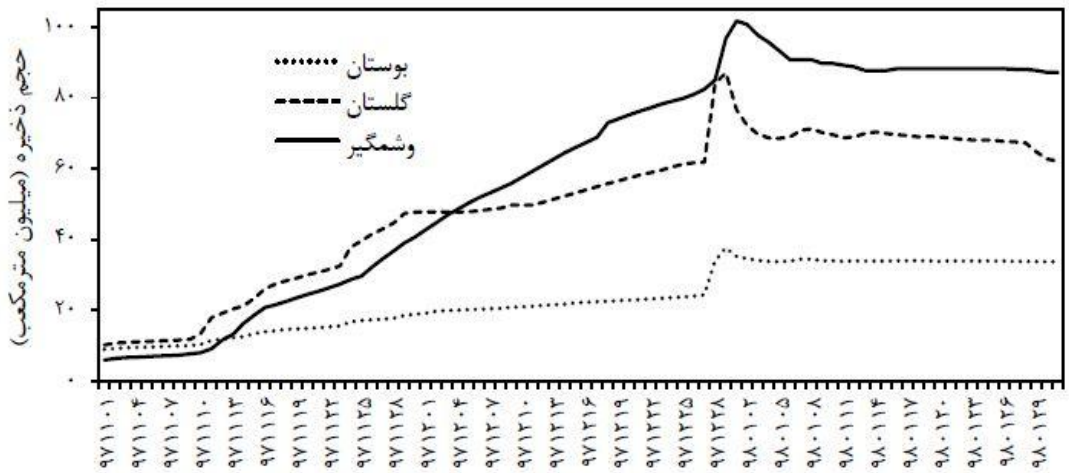
| نام سد | بوستان | گلستان |
|---|---|---|
| سیلاب ورودی | ۳۱ | ۱۵۵ |
| سیلاب خروجی | ۲۱ | ۱۴۶ |
| حجم سیلاب ذخیره‌شده (دائمی + موقت) | ۱۰ | ۹ |

**جدول ۴. مقادیر دبی سیل با دورهٔ بازگشت‌های مختلف (برحسب مترمکعب بر ثانیه) [۸]**

| ایستگاه | دورهٔ بازگشت سیل (سال) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۵۰۰ |
| سد وشمگیر | ۶۵/۵ | ۱۱۹/۴ | ۱۷۰/۴ | ۲۵۴/۶ | ۳۳۲/۹ | ۴۲۵/۵ | ۵۳۴/۵ | ۷۰۶/۴ |
| شهر آق‌قلا | ۷۸/۷ | ۱۲۱/۷ | ۱۵۴/۸ | ۲۰۱/۴ | ۲۳۹/۶ | ۲۸۰/۵ | ۳۲۴/۵ | ۳۸۷/۷ |




**شکل ۶. درصد پر بودن مخازن سدهای استان گلستان از تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۰۱ تا ۱۳۹۸/۰۱/۲۹ [۷]**




**شکل ۷. میزان حجم ذخیرهٔ سدهای استان گلستان از تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۰۱ تا ۱۳۹۸/۰۱/۲۹ [۷]**

سیلاب یادشده از ساعت ۱ بامداد ۱۳۹۷/۱۲/۲۸ به سد بوستان وارد شد و در ساعت ۲۱، خروجی این سد به اوج خود رسید. این سیلاب به حجم ۲۷ میلیون مترمکعب با دبی حداکثر ۲۳۰ مترمکعب بر ثانیه وارد مخزن ۳۳ میلیون مترمکعبی سد بوستان شده و با تعدیل سیلاب در مخزن سد، ۱۷ میلیون مترمکعب آن با دبی حداکثر ۱۰۳ مترمکعب بر ثانیه از سرریز سد خارج می‌شود. با تجمیع سیلاب رودخانه‌های در مسیر و حجم آب حوضهٔ بینابینی، حجم سیلاب ۱۳۵ میلیون مترمکعبی با دبی حداکثر ۸۲۹ مترمکعب بر ثانیه وارد مخزن ۴۸ میلیون مترمکعبی سد گلستان می‌شود و پس از تعدیل در مخزن سد، حجمی معادل ۱۳۰ میلیون مترمکعب با دبی حداکثر ۵۴۵ مترمکعب بر ثانیه از سرریز سد خارج می‌شود. آب خروجی از سد گلستان با پیمودن مسیر ۲۴ کیلومتری به شهر گنبد وارد می‌شود. دبی آستانهٔ تحمل رودخانه در این بازه حدود ۲۷۰ مترمکعب بر ثانیه است که در نتیجهٔ آن، از مجموع ۱۳۰ میلیون مترمکعب سیلاب تخلیه‌شده از سد گلستان، با توجه به محدودیت ظرفیت آب‌گذری رودخانه، به میزان ۲۷ میلیون مترمکعب آن وارد سیلاب‌دشت بالادست و محدودهٔ شهر گنبد می‌شود. با عبور سیلاب از شهر گنبد و اضافه شدن حجم سیلاب رودخانه‌های در مسیر و حوضهٔ بینابینی، حجم سیلاب ورودی به مخزن سد وشمگیر به ۱۳۵ میلیون مترمکعب می‌رسد. ساعت ۶ صبح ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ سیلاب با دبی حداکثر ۶۹۰ مترمکعب بر ثانیه و حجم ۱۳۵ میلیون مترمکعب وارد مخزن سد وشمگیر شده و پس از تعدیل جزئی با حجم ۱۲۷ میلیون مترمکعب و دبی حداکثر ۶۶۶ مترمکعب بر ثانیه از سد وشمگیر خارج می‌شود. به حجم سیلاب خروجی از سد وشمگیر، حجم آب ناشی از رودخانه‌های در مسیر و حوضهٔ بینابینی اضافه می‌شود و در نهایت سیلاب ۱۶۰ میلیون مترمکعبی در روز ۱۳۹۸/۰۱/۰۱ وارد شهر آق‌قلا می‌شود. با توجه به دبی آستانهٔ تحمل رودخانه در محل شهر آق‌قلا به میزان ۱۲۰ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۷۴ میلیون مترمکعب در بازهٔ زمانی بررسی‌شده)، حجم سیلابی معادل ۸۶ میلیون مترمکعب در محدودهٔ سیلاب‌دشت و شهر آق‌قلا وارد می‌شود [۷].

**دلایل وقوع سیل در استان گلستان**

بارش ممتد باران و برف و کاهش دما در استان گلستان که از یکشنبه ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ آغاز شده بود، موجب وقوع سیل در این استان شد. با توجه به اقلیم و آب و هوای بارانی این استان و همچنین با توجه به شکل ۱ که میزان بارندگی در سال آبی جاری نسبت به سال گذشته را نشان می‌دهد و در مقایسه با دیگر استان‌ها افزایش کمتری داشته، می‌توان نتیجه گرفت که سیل در این منطقه منشأ انسانی داشته است. فرسایش خاک بر اثر بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و بارش ممتد باران و رها ساختن آب از پشت سدها، سبب جاری شدن سیل در این استان شد. علت ویرانگری سیل در ترکمن‌صحرا و به‌ویژه آق‌قلا را باید در مجموعه‌ای از سوء مدیریت‌ها و عوامل طبیعی جست وجو کرد. بارش‌های شدید، پر بودن ظرفیت سدها پیش از آغاز بارش‌ها و نیز عدم لایروبی لازم رودهای گرگان، اترک و قره‌سو، همگی دست به دست هم دادند تا بزرگ‌ترین فاجعهٔ طبیعی و زیست‌محیطی ترکمن‌صحرا رقم بخورد. خشکسالی بسیار شدید سال آبی گذشته و خالی بودن بیش از حد مخازن سدها نیز موجب وضعیت نامناسب سدهای گلستان شد که بیان‌کنندهٔ نبود مدیریت صحیح مخازن سدها قبل از وقوع سیل است. همچنین، اثر چشمگیر آب ورودی از حوضه‌های بینابینی، توپوگرافی منطقه و اقدامات ضعیف سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل از دیگر علل وقوع سیل در این استان بود [۷].

نتایج تحقیقات محققان تغییر اقلیم بیان می‌کند که پدیدهٔ تغییر اقلیم و گرمایش جهانی سبب تشدید وقایع حدی اقلیمی (برای مثال، خشکسالی و سیل) می‌شود. بارش‌های گستردهٔ اخیر در سطح کشور، پس از دورهٔ چندین‌سالهٔ خشکسالی، میانگین بارش را به مقدار چشمگیری افزایش داده است. نکتهٔ دیگر، ارتباط بارش‌ها و سیل‌های اخیر با پدیدهٔ تغییر اقلیم است. در این مورد نمی‌توان با صراحت اظهار نظر کرد که آیا دلیل اصلی بارش‌های اخیر، پدیدهٔ تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بوده یا اینکه این بارش‌ها جزء نوسانات طبیعی اقلیم بوده است. براساس نتایج مطالعات معتبر نشریهٔ نیچر در سال ۲۰۱۸، برای تشخیص تأثیر تغییر اقلیم در پدیده‌های حدی اقلیمی، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. براساس نتایج تحقیقاتی که روی ۱۹۰ پدیدهٔ حدی اقلیمی شامل موج گرما، خشکسالی، سیل، تغییر دمای اقیانوس‌ها، ذوب شدن یخ‌ها و برف‌ها و توفان در نقاط مختلف جهان انجام شده، دو سوم این پدیده‌ها از تأثیر فعالیت‌های انسانی بر اقلیم نشئت گرفته یا حداقل به وسیلهٔ آن تشدید شده است. جدول ۵ جزئیات پدیدهٔ خشکسالی و سیل را نشان می‌دهد.

جدول ۵.ارتباط پدیده‌های حدی اقلیمی خشکسالی و سیل با نقش بشر در تغییر اقلیم [۷]

| پدیدهٔ حدی اقلیمی | تعداد | | |
|---|---|---|---|
| | کل | انسان‌ساخت یا متأثر از فعالیت‌های انسانی | طبیعی |
| خشکسالی | ۴۱ | ۲۳ | ۱۸ |
| سیل | ۳۹ | ۲۲ | ۱۷ |

همان طور که جدول ۵ نشان می‌دهد، از ۴۱ واقعهٔ خشکسالی اتفاق‌افتاده در سطح جهان، ۲۳ مورد آن (۵۶ درصد) انسان‌ساخت بوده یا حداقل به وسیلهٔ فعالیت‌های انسانی تشدید شده است. درمورد بارش‌های سیل‌آسا و سیل نیز از ۳۹ واقعهٔ بررسی‌شده، ۲۲ نمونهٔ آن (۵۶ درصد)، انسان‌ساخت بوده و یا به وسیلهٔ انسان تشدید شده است [۷]. تواتر بارندگی‌ها، افزایش میزان و شدت بارش از آثار تغییر اقلیم است و همین‌طور افزایش شدت خشکسالی‌ها در برخی مناطق از نتایج مدل‌های جهانی هواشناسی است، بنابراین با عدم قطعیت‌هایی که در نتایج این مدل‌ها وجود دارد، ارتباط مستقیم تغییر اقلیم با سیل‌های اخیر کشور را نمی‌توان قطعی دانست و باید به عوامل زمینی و انسانی تشدید سیلاب‌ها بیشتر توجه کرد.

به دنبال خشکسالی‌های پیاپی نیم قرن گذشته و حتی قبل از آن، خطهٔ شمال ایران پذیرای کسانی بوده است که می‌توان آنها را مهاجران اقلیمی نامید. افزایش جمعیت این خطه، تقاضای آب و مسکن را به‌شدت افزایش داد و بخشی از جنگل‌ها قطع شده و حریم رودخانه‌ها به اراضی شهری ملحق شد. افزایش جمعیت شهری و به تبع آن، ساخت‌وسازهای گسترده در حریم رودخانه‌ها و در مناطقی که قبلاً مسیل و یا بستر دوره‌ای رودخانه بوده است، سبب می‌شود رودخانه‌ها فضای کافی برای تخلیهٔ سیلاب نداشته باشند و در نتیجه، آب در کوچه‌ها و معابر به جریان می‌افتد. به این منظور، دولت برای تأمین منابع آبی شهرهای شمال کشور به ساخت سد بین کوه البرز و دریای خزر پرداخت. طبق گزارش ها، وسعت جنگل‌های شمال ایران از ۳/۴ به ۱/۸ میلیون کیلومترمربع کاهش یافته است. برداشت بی‌رویهٔ چوب، ساخت‌وساز در حریم جنگل و چرای بیش از حد دام در مراتع شمال ایران، به بروز سیلاب‌های متعدد در این مناطق منجر شده است که گلستان از دو استان شمالی دیگر یعنی گیلان و مازندران، دفعات سیل بیشتری را تجربه کرده است [۹].

یکی از دلایل تشدید خسارت‌های سیل که به آن در گزارش‌ها کمتر اشاره شده، بحث جغرافیای تاریخی گرگان‌رود و حوضهٔ گلستان است، به طوری که تأثیر بلندمدت آن را در زمان حاضر مشاهده می‌کنیم. در گذشته، بخش شمالی رودخانهٔ گرگان‌رود به دلیل وجود تالاب‌ها و مسیل‌ها شامل مراتع و دامداری عشایر ترکمن بوده است. تا زمان حکومت پهلوی ابتدا ساکنان اطراف گرگان‌رود و شهر فعلی آق‌قلا در اوبه‌های (به مجموعهٔ چند آلاچیق و کومه‌ای که در یک نقطه برپا شده باشد، اوبه می‌گویند.) ترکمنی زندگی می‌کردند و به‌راحتی امکان کوچ و جابه‌جایی را داشتند. در زمان وزارت جنگی و صدراعظمی رضاشاه، به دستور وی با حضور نیروهای دولتی و سرکوب ترکمن‌ها، در این ناحیه اوضاع منطقه رو به آرامی رفت و پس از به سلطنت رسیدن رضاشاه با تشویق دولت، ساخت منازل دائمی در آق‌قلعه (آق‌قلای کنونی) شروع شد و منازل ساخته‌شده از نی، گل، خشت و آجر، جای اوبه‌های ترکمن را گرفت و به سکونتگاه ثابت تبدیل شد [۱۰]. توسعهٔ مناطق مسکونی و شهری در حاشیهٔ رودخانه‌ها، تغییر کاربری اراضی زراعی به اراضی مسکونی سبب می‌شود که رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز شهری نسبت به حوضه‌های طبیعی، غیرعادی و نامنظم باشد. تغییرات کاربری موجب تغییر مؤلفه‌های مختلف چرخهٔ هیدرولوژیکی و افزایش و یا کاهش مقادیر رواناب می‌شوند. فعالیت‌های انسانی مانند برداشت شن و ماسه، احداث سازه‌ها و دیواره‌ها در کرانه‌رود، میان‌بری‌های مصنوعی، ساخت سدهای مخزنی، و تغییرات کاربری اراضی موجب تغییراتی در دینامیک ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها می‌شود [۱۱] و به این ترتیب، به صورت مستقیم یا غیرمستقیم آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تکرار وقوع سیلاب در دو دههٔ اخیر در استان گلستان نیز نشان می‌دهد یک عامل کلی و بلندمدت بر ایجاد این بلای طبیعی در این منطقه حاکم بوده است که همین بحث تغییرات کاربری اراضی و تغییرات در حوضهٔ گرگان‌رود را می‌توان به این مسئله گسترش داد.

از دلایل دیگر وقوع سیلاب در این منطقه، می‌توان به شرایط نفوذ آب در خاک اشاره کرد. طبق تحقیقات کارشناسان، سطح مسیر سیلاب و اراضی اطراف آن را نهشته‌های ریزدانهٔ لس با ۳۰ درصد تقریبی رس پوشانده است. نهشته‌های ریزدانه با درصد زیاد رس، بر اثر اشباع‌شدگی، نفوذپذیری و قابلیت انتقال بسیار کمی خواهند داشت که این امر، ماندگاری آب سیلاب و پخش‌شدگی آن را در سطح زمین موجب می‌شود. مصداق این نکته را در تمامی مسیر بین گنبد تا آق‌قلا می‌توان مشاهده کرد. چنین حالتی از آنجا که جذب آب سطحی به دلیل اشباع‌شدگی ناشی از بارش‌های روزهای پیشین و ریزدانه بودن نهشته‌های سطحی، در زمین صورت نمی‌گیرد، اثر مخرب سیلاب و آب‌گرفتگی‌های ناشی از آن را تشدید کرده است [۸]. به بیان دیگر، بارندگی ممتد روزهای پایانی سال ۱۳۹۷، نهشته‌های سطحی گسترهٔ حوضه را اشباع کرد و در ادامهٔ بارندگی، رواناب‌هایی با دبی بسیار زیاد در امتدادی که شیب و مورفولوژی حوضه آن را هدایت می‌کند، به وجود آورد و ظرفیت نداشتن خاک برای جذب باران، سبب ایجاد سیلاب و روان آب‌ها شد. همچنین، به دلیل تخریب پوشش گیاهی و عریان شدن سطح خاک، به‌شدت از نفوذپذیری خاک کم شده و یکی از دلایل سیلاب‌های اخیر بالا رفتن ضریب جریان بارش‌هاست. بنابراین، به طور کلی وضعیت رطوبت خاک قبل از بارش‌های سیل‌آسای اخیر به علت وقوع بارندگی‌های مکرر قبلی به حدی بوده که خاک مناطق به میزان درخور توجهی اشباع بوده است و به طبع، با کاهش نفوذ آب ناشی از بارندگی‌ها به علت عدم ظرفیت خاک و افزایش رواناب سطح زمین، شدت سیلاب افزایش پیدا کرده است.

اما مهم‌ترین علت اصلی در وقوع این پدیده را می‌توان در زمینهٔ بحث مدیریتی و مشخص نبودن وظایف دستگاه‌ها قبل، هم‌زمان و پس از سیلاب دانست که بی‌شک اگر این عامل طی برنامه‌ریزی و توجه جدی در سال‌های اخیر مد نظر قرار گرفته بود، به دنبال آن سایر دلایل وقوع سیل موجب تشدید خسارت‌های سیل نمی‌شدند. پس عوامل زمینی و انسانی سبب تشدید سیلاب در این مناطق شد که نشان‌دهندهٔ تأثیرگذاری بیشتر این عوامل نسبت به عوامل طبیعی بود.

## راه‌کارهای پیشگیری و کاهش خسارت‌های سیل

### راه‌کارهای در سطح ملی

- **ایجاد سامانهٔ فراسازمانی جامع نظام‌نامهٔ مدیریت و کنترل سیل**

در ایران تا کنون فعالیت‌های مختلف پیشگیری و کاهش خسارت‌های سیلاب چه در زمینه‌های سازه‌ای و چه غیرسازه‌ای صورت پذیرفته، ولی آنچه به عنوان معضل در این خصوص مشهود است، پراکنده بودن این فعالیت‌ها و انجام طرح‌های مطالعاتی و اجرایی توسط دستگاه‌های مختلف دولتی و نیمه‌دولتی در بخش‌هایی خاص از مبحث و بیشتر بدون هماهنگی با هم است. درخصوص هماهنگی اقدامات دستگاه‌ها در مرحلهٔ پیشگیری و قبل از رخداد سیل می‌توان گفت که هیچ ارگان خاصی موظف نشده است و همین موضوع از خلأهای جدی در کشور محسوب می‌شود. از طرفی، با توجه به فرابخشی بودن موضوع سیلاب و درگیری هر یک از نهادهای ملی در قسمتی از چرخهٔ مدیریت سیلاب به هنگام بروز سیل نیز عدم شفاف‌سازی مسئولیت‌ها و وظایف آنها و چگونگی تعامل و هماهنگی آنها، به بروز مشکلاتی در زمینهٔ کمک‌رسانی و انجام اقدامات لازم در مرحلهٔ پاسخ و احیا علاوه بر مرحلهٔ پیشگیری نیز منجر می‌شود. مهم‌ترین مسئله، همکاری و هماهنگی بین حوزه‌های سازمانی است، زیرا باید به این نکته توجه شود که اختیارات بسیاری از سازمان‌ها یا فقط بخشی از حوضهٔ آبخیز را پوشش می‌دهد یا اینکه از مرز حوضهٔ آبخیز بسیار فراتر می‌رود. در این رویکرد بر انتخاب استراتژی‌های انعطاف‌پذیر و مناسب برای هر یک از مناطق سیل‌خیز با شرایط فیزیکی، فرهنگی و اقتصادی مختلف تأکید می‌شود. همچنین، اهمیت ارزیابی راه‌های مختلف و محاسن و معایب نسبی آنها باید در نظر گرفته شود. در حال حاضر، وظیفهٔ اصلی هماهنگی اقدامات دستگاه‌ها به هنگام بروز سیل از لحاظ قانونی مشخص است و وزارت کشور در سطح ملی و ستاد حوادث و کارگروه‌های استانی در سطح منطقه موظف‌اند، ولی در این خصوص هنوز دستورالعمل‌های شفاف و مؤثری تدوین نشده است. همچنین، بحث مدیریتی و مشخص نبودن وظایف دستگاه‌ها قبل، هم‌زمان و پس از وقوع سیلاب، یکی از موارد مشهود در مسائل به‌وجودآمده در حیطهٔ سیل‌های اخیر بود. در حال حاضر، دستگاه‌ها و نهادهای مسئول مدیریت بحران، وزارتخانه‌های مربوطه

(وزارتخانه‌های تعریف‌شده در کارگروه سیل و طغیان رودخانه)، سازمان صدا و سیما، جمعیت هلال احمر و... هستند که در زمینه‌های هماهنگ‌سازی در سطح ملی، سازمان‌دهی، تصمیم‌سازی، نظام‌مند کردن مسئولیت‌ها و روابط دستگاه‌ها با یکدیگر ضعف‌هایی دارند. ازاین‌رو باید براساس نظام‌نامه‌ای برنامه‌ریزی‌شده و ساختاریافته سامانه‌ای جامع برای مدیریت و کنترل سیل در سطح فراسازمانی ایجاد شود که در آن به‌دقت وظایف و اختیارات دستگاه‌ها و نهادها برنامه‌ریزی شده باشد، به طوری که امکان انجام کارهای موازی و هم‌پوشان نباشد. این سامانه باید فراسازمانی باشد، زیرا ضرورت عملیاتی‌سازی و انسجام‌بخشی به اقدامات مدیریتی کنترل سیل قبل، هم‌زمان و پس از بروز آن و مرتبط بودن این اقدامات به هر سه قوهٔ حاکمیتی و حتی بخش‌های دیگر مانند ستاد کل نیروهای مسلح و بنیادهای عمومی در ساختار نظام‌نامه، مشخص است. این سامانه باید وظیفهٔ پایش برخط دستگاه‌ها و نهادهای قوای مجریه، قضاییه و مقننه و به علاوه نهادهای دیگر از جمله قوای مسلح را هم به عهده داشته باشد. نکتهٔ درخور توجه اینکه چگونگی مدیریت سیل و هماهنگی تمامی استان‌های مربوط به یک حوضهٔ آبخیز قبل، هم‌زمان و پس از سیل، بسیار مهم و تأثیرگذار است. در ضمن، حوضه‌های آبخیز رودخانه‌ها را باید به عنوان سیستم‌هایی به‌هم‌پیوسته در نظر گرفت، زیرا در بسیاری موارد مشاهده شده است که اقدامات موضعی انجام‌شده توسط یک ارگان در بخشی محدود از مناطق سیل‌خیز که با هدف کاهش خسارت‌ها نیز صورت می‌گیرد، سیل را از لحاظ زمانی و مکانی به منطقهٔ دیگر منتقل می‌کند و به بروز فاجعه‌ای سنگین در دیگر مناطق منجر می‌شود. بنابراین، سازماندهی و هماهنگی مدیریت بحران در سطح حوضهٔ آبخیز بین استان‌ها نیز باید ملاک بررسی و حتی بازنگری این سامانه به صورت جدی شود. همچنین، لازم است به منظور ایجاد بستری مناسب برای کاهش خسارت‌های سیل و نهادینه کردن مدیریت به‌هم‌پیوسته و جامع سیل در کشور، یک کمیتهٔ بالادستی با حضور وزرای مربوطه (وزرای دستگاه‌های تعریف‌شده در کارگروه سیل و طغیان رودخانه) به ریاست معاونت برنامه‌ریزی و نظارت ریاست جمهوری تشکیل شود که فعالیت‌های مدیریت سیل در کشور به‌ویژه در مرحلهٔ پیشگیری را هماهنگ کنند. بر این اساس، در زمینهٔ برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌های دقیق قبل از سیلاب و مدیریت مناسب به هنگام سیلاب و پس از آن، نوع عملکرد در زمینهٔ مدیریت بحران سیل تقویت می‌شود.

- **برنامه‌ریزی صحیح و مدیریت اقدامات کنترل سیلاب**

به طور کلی، وقوع سیل به صورت بلندمدت غیرقابل پیش‌بینی و پیشگیری است و فقط با مدیریت صحیح و اقدامات مناسب می‌توان میزان ویرانگری و خسارت‌های آن را کاهش داد و از احتمال وقوع یک سیل با شدت بیش از اندازه جلوگیری کرد. ضعف در مدیریت سیلاب مهم‌ترین دلیل در به وجود آمدن خسارت‌های چشمگیر سیلاب‌های اخیر است. باید هرگونه اقدام هنگام وقوع بحران و پیش از آن، برنامه‌ریزی شده باشد. این موضوع در مدیریت سیلاب‌های اخیر استان‌های سیل‌زده به چشم می‌خورد. از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه می‌توان به چند مورد اشاره کرد:

- تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری و خطرپذیری با توجه به سناریوهای مختلف وقوع سیلاب؛
- استقرار سامانهٔ هشدار سیل در مخازن سدها و رودخانه‌های پایین‌دست؛
- پیش‌بینی ورودی به سد و چگونگی رهاسازی براساس ورودی و ظرفیت پایین‌دست؛
- رها کردن به‌موقع آب از مخازن سدها؛
- تعیین محل‌های طبیعی برای انحراف و تسکین سیلاب.

- **جلوگیری و مقابله با فعالیت‌های انسانی سیل‌ساز**

همان طور که اشاره شد، سیل به غیر از داشتن منشأ طبیعی مانند وقوع بارندگی‌های شدید در مدت کم یا طغیان رودخانه‌ها و ذوب سریع برف و یخ، منشأ انسانی نیز دارد که امروزه تأثیر زیادی بر پیدایش سیل در بسیاری از مناطق داشته است. عواملی مانند تخریب پوشش گیاهی و جنگل‌زدایی، تغییر کاربری و دخالت در حریم رودخانه با ساخت‌وساز غیر اصولی و شکسته شدن سدها و آب‌بندها در وقوع و تشدید سیلاب‌ها بسیار تأثیرگذارند و منشأ انسانی دارند. پرواضح است که با استفاده از اقدامات لازم و اصولی برای جلوگیری و پیشگیری از عوامل مؤثر در وقوع پدیدهٔ سیل با منشأ انسانی می‌توان تا حد زیادی از احتمال وقوع این نوع سیلاب‌ها با شدت زیاد و به وجود آمدن خسارت‌های جبران‌ناپذیر جلوگیری کرد، اما این اقدامات

باید در چارچوب قوانین و نظامی استاندارد متناسب با شرایط منطقه و اقلیم مد نظر انجام گیرد و تمامی جزئیات مؤثر در وقوع این پدیده در نظر گرفته شود.

- **برنامه‌ریزی شهری و مدیریت کاربری اراضی**

سیاست‌های استفاده از اراضی از طریق تأثیر متقابل آن بر منطقه می‌تواند به کاهش خطر سیل کمک کند. برنامه‌ریزی شهری باید کمک کند تا شهرها بتوانند رخداد سیل را پیش از شرایط بحران پیش‌بینی کنند و رشد شهر و عملیاتی کردن خدمات (حمل‌ونقل، انرژی، آب و فاضلاب و...) از طریق اجرای نقشه‌های کارشناسی و توسعهٔ شهری برنامه‌ریزی و کنترل شود.

مدیریت کاربری اراضی و توسعهٔ شهری باید بر اساس موارد زیر ساماندهی شود:

- در مناطقی از شهر که آسیب‌پذیرند به جای گسترش و توسعهٔ شهری، تمهیداتی برای زمانی که بالا آمدن و طغیان رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد، در نظر گرفته شود تا سایر نقاط شهر در امان باشند.
- ایجاد مناطق کشاورزی در بالادست برای تسکین سیلاب و در پی آن، کاهش خطر بالا آمدن و طغیان رودخانه‌ها در پایین‌دست (نزدیک مناطق شهری).
- جلوگیری یا محدود کردن توسعهٔ جدید در نواحی سیل‌خیز. این اقدام می‌تواند بر مسائل اجتماعی و اقتصادی از لحاظ تجدید جمعیت و ضعف رشد اقتصادی مناطق تأثیرگذار باشد که باید راه‌کار جداگانه‌ای برای جبران آن اندیشیده شود.
- توسعهٔ مدیریت مناطق بالادست به‌خصوص عملیات آبخیزداری. این اقدامات می‌تواند با کاهش فرسایش خاک یا فراهم کردن کشاورزی سازگار با محیط اتفاق افتد. مطالعات و تجربیات گذشته نشان داده‌اند مدیریت استفاده از اراضی در نواحی سیل‌خیز در کنترل سیلاب ناشی از بالا آمدن آب رودخانه‌ها بسیار مؤثر بوده است [۱۲].

- **کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌ها**

کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌ها به منظور کاهش خرابی‌های ناشی از ورود سیلاب به منطقه و در صورت امکان، کاهش امکان ورود آب به داخل ساختمان صورت می‌گیرد. در این زمینه لزوم رعایت استانداردهای ساخت‌وساز در ساختمان‌های جدید و یا بازسازی و به‌سازی ساختمان‌های موجود مشاهده می‌شود. برای مثال، ممکن است در یک منطقهٔ به‌خصوص نیاز باشد تراز طبقهٔ همکف بالاتر از سطح زمین باشد، ساختمان روی پایه‌هایی بنا شود، حداکثر تعداد طبقات محدود شود و یا نوع خاصی از مصالح استفاده شود. این استانداردها با همکاری سازمان‌های مربوط به آن و استانداردسازی براساس مشخصات منطقه و ساختار و بافت آن منطقه تعیین می‌شود [۱۲].

- **آموزش همگانی به منظور آگاهی از پدیده و خطرهای آن**

تقویت فرهنگ ریسک در جوامع، نوعی پارامتر کلیدی در مدیریت بحران محسوب می‌شود. دو مورد مهم در این مقوله، ایجاد آگاهی عمومی نسبت به خطر محتمل و تقویت یکپارچگی رفتار و عملکرد هنگام مواجهه با بحران است. اغلب افراد درگیر در حوادث و ساکنان آن مناطق، آگاهی کافی از پدیده و خطرهای ناشی از آن را ندارند و به یک آموزش مناسب توسط مدارس، رسانه‌ها، کارگاه‌های آموزشی و... نیاز دارند.

- **اقدامات آبخیزداری**

از مهم‌ترین و کلی‌ترین اقدامات لازم و ضروری برای مدیریت صحیح هر منطقه با هر اقلیم، اقدامات آبخیزداری[1] است. آبخیزداری مطالعهٔ ویژگی‌های یک حوضهٔ آبخیز و فرایند بررسی و اجرای طرح‌ها و برنامه‌ها با هدف توزیع پایدار منابع حوضهٔ آبخیز و تضمین پایداری کارکردهای آن با توجه به تأثیری است که بر جوامع گیاهی و جانوری و انسانی آن حوضه دارد. علم آبخیزداری در اوایل قرن بیستم به دلایل کسب دانش و آگاهی بیشتر در مورد دورهٔ هیدرولوژیک و عملکرد آن، افزایش جمعیت و فشار به‌وجودآمده از آن به اراضی و منابع آب، افزایش بیش از حد مصرف آب که ناشی از پیشرفت فناوری و بالا رفتن سطح زندگی مردم و بروز مشکلات جدید و پیچیدهٔ مرتبط با آب مانند مشکل وجود مناطق سیل‌گیر، ایجاد آلودگی آب، سکونت در مناطق خشک و... ایجاد شده است. هدف از آبخیزداری، تحت کنترل درآوردن عملیات کشاورزی، دامپروری، ساختمان‌سازی، راهسازی، قطع درختان و به طور کلی، هرگونه عملی چه مفید و چه مضر، چه مثبت و چه منفی، ارزیابی آنها و توجه به وضعیت آبخیز براساس خصوصیات زمین‌شناسی،

1. Watershed Management

خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و ارائهٔ رهنمودها و پیشنهادها برای اجرا و مدیریت صحیح در مورد همهٔ عوامل طبیعی و زیستی هر اکوسیستم در واحدهای طبیعی خاص و اعمال مدیریت روی عواملی است که در توزیع آب و کیفیت هیدرولوژیکی تأثیر دارند، تا به صورت مطلوب و علمی، خاک حوضهٔ آبخیز دچار فرسایش نشود. در انجام یک پروژهٔ آبخیزداری علوم مختلفی از جمله فیزیوگرافی، هواشناسی، هیدرولوژی، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی دخیل‌اند و مطالعات مربوط به فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی و همچنین مطالعات اقتصادی، کشاورزی و اجتماعی بررسی می‌شوند. عملیات آبخیزداری به دو صورت بیولوژیکی و مکانیکی صورت می‌گیرد. عملیات بیولوژیکی به ارائهٔ طرح‌های کاشت نهال، بذرکاری و... برای حفظ عرصهٔ طبیعی آبخیز (از نظر پوشش‌گیاهی) و بهبود وضعیت آن و تثبیت بیولوژیک خاک از طریق پوشش‌گیاهی می‌پردازد. عملیات مکانیکی شامل ارائهٔ طرح‌هایی مانند احداث بندهای خاکی، گابیون، خشکه‌چین و عملیات ذخیرهٔ نزولات آسمانی از طریق احداث فارو، تراس و بانکت‌بندی در این مجموعه است. در برخی موارد این عملیات به صورت تلفیقی انجام می‌شود و به تعبیری عصارهٔ مطالعات بیولوژیکی و مکانیکی است که طرحی جامع و کلی ارائه می‌دهد و تعیین واحدهای کاری همگن از بخش‌های تلفیق به حساب می‌آید که در آن نقشه‌های تهیه‌شده از هر گزارش روی هم قرار می‌گیرد و پلیگون‌های به دست‌آمده به عنوان واحد کاری معرفی می‌شوند. تلفیق‌کننده برای هر یک از این واحدها عملیات خاصی را پیشنهاد می‌کند. در این واحدها خصوصیاتی مانند نوع خاک، مساحت، نوع تیپ (اعم از تیپ‌های گیاهی، رخنمون سنگی، زمین‌های دیم و زراعی و ...)، گروه هیدرولوژیک خاک، عمق خاک، بافت خاک، پتانسیل تولید هرزآب و... مشخص می‌شود. بنابراین، با استفاده از اقدامات آبخیزداری برای هر منطقه متناسب با مطالعات و خواص آن ناحیه می‌توان تمهیداتی برای پیشگیری از وقوع سیل‌های شدید و زیان‌بار انجام داد.

- **استفاده و احیای ظرفیت تالاب‌ها، چالاب‌ها و مسیل‌های طبیعی برای کاهش شدت سیل**

برخی مناطق طبیعی که بسیار به کاهش شدت سیلاب کمک می‌کنند، تالاب‌ها، چالاب‌ها و مسیل‌های طبیعی هستند. تالاب به مناطقی مردابی گفته می‌شود که مشخصاتی بین خشکی و آب دارند. آب تالاب‌ها به صورت طبیعی یا مصنوعی، دائم یا موقت با آب ساکن یا جاری شیرین یا شور است که از لحاظ زیست‌محیطی بسیار مهم‌اند. همچنین، چالاب گودالی است که آب باران یا آب سیل در آن مانده و جمع شده باشد. مسیل‌ها به جریان‌های سطحی آب گفته می‌شود که فقط در مواقع بارندگی و جاری شدن سیلاب، آب در آنها جریان می‌یابد. این نواحی طبیعی می‌توانند به هنگام وقوع سیلاب پذیرندهٔ سرریز آب رودخانه‌ها و رواناب‌های سطحی باشند و از شدت سیل بکاهند. بنابراین، اقدامات به منظور احیای ظرفیت تالاب‌ها، چالاب‌ها و مسیل‌های طبیعی و حفاظت از آنها و از بین نبردن یکپارچگی این منابع، از جمله راه‌کارهای مناسب برای پیشگیری و کاهش خسارت‌های سیل است.

- **طراحی و بازاحداث سازه‌های تقاطعی رودخانه با کفایت ظرفیت آب‌گذری برای دورهٔ بازگشت سیلاب طراحی**

ایجاد سازه‌های تقاطعی مانند پل‌ها و سد انحرافی در مسیر رودخانه‌ها روی الگوی جریان تأثیر می‌گذارد. این تأثیر به نوبهٔ خود، الگوی رودخانه، هندسهٔ آبراهه و رابطهٔ بین دبی و سطح آب را تغییر می‌دهد. برخی از این سازه‌ها سبب انحراف جریان می‌شوند که نتیجهٔ آن آبشستگی در مجاورت سازه است. افزایش سرعت ناشی از وجود این سازه‌ها، عمق آبشستگی و افت انرژی عبور جریان را افزایش می‌دهد. افت انرژی بیشتر، سبب افزایش سطح آب در بالادست پل‌ها می‌شود که افزایش سطح سیل‌گیری در بالادست را در پی دارد [۱۳]. میزان افزایش تراز سطح آب در بالادست سازه بیشتر به عواملی مانند نوع سازه، مورفولوژی رودخانه و دشت سیلابی آن، موقعیت قرارگیری رودخانه در دشت سیلابی، وضعیت قرارگیری سازه و دبی عبوری رودخانه بستگی دارد [۱۴]. بنابراین، طراحی و ساخت سازه‌های تقاطعی باید اصولی و در جهت حداقل تشدید سیل در رودخانه‌ها باشد. بنابراین، سازه‌هایی که طبق گزارش‌های کارشناسان در تشدید سیلاب و خسارت‌های تأثیر داشته‌اند نیز باید بازنگری و بازسازی شوند. در ضمن، باید علاوه بر توجه کردن به دوره‌های بازگشت مناسب برای سیل طراحی در این سازه‌ها،

پایداری سازه‌ای آنها برای سیل‌های تاریخی و بیش از سیل طراحی نیز بررسی شود.

**راه‌کارها در سطح استانی (استان گلستان)**

- **توجه و تحقیقات بیشتر در زمینهٔ جغرافیای تاریخی گرگان‌رود و حوضهٔ استان گلستان**

با توجه به تکرار وقوع پدیدهٔ سیلاب در استان گلستان در دو دههٔ اخیر، احتمال رخداد این بلای طبیعی در آینده نیز بسیار زیاد است. بنابراین، باید وقوع این پدیده که به صورت مکرر رخ می‌دهد، ریشه‌یابی شود و تا جای ممکن با آن مقابله کرده یا آن را رفع کرد. با توجه به جغرافیای تاریخی گرگان‌رود و حوضهٔ استان گلستان، تغییراتی ژئومورفولوژیکی به علت تغییرات کاربری اراضی یا محدود کردن حریم بستر رودخانه در این حوضه رخ داده است که تغییراتی در رفتارهای هیدرولوژیکی حوضه ایجاد می‌کند. به دنبال این تغییرات، خطر وقوع سیلاب و تشدید آن نیز با توجه به تغییرات ریخت‌شناسی منطقه تحت تأثیر قرار می‌گیرد که باید نهادها و ارگان‌های تحقیقاتی وابسته به آن توجه زیادی کنند. نتیجهٔ این تحقیقات باید اقداماتی به منظور اصلاح و به‌سازی رودخانه‌های این حوضه و حریم آنها و همچنین اقداماتی برای کنترل و مهار سیلاب در نواحی تغییریافته از نظر ریخت‌شناسی باشد. با توجه به اینکه این تغییرات در بخش شمالی رودخانهٔ گرگان‌رود به چشم می‌خورد، باید احیای مراتع در بخش شمالی رودخانهٔ گرگان‌رود با توجه به جغرافیای تاریخی آن از جمله ضروری‌ترین اقدامات آینده باشد. با استفاده از نقشه‌های قدیمی حوضه و شکل طبیعی آن در گذشته، می‌توان اقدامات مناسبی به منظور بهبود و اصلاحات لازم در این زمینه انجام داد که اجرای آن به تحقیقات و بررسی دقیق متخصصان مربوطه بستگی دارد.

- **لایروبی رودخانه**

لایروبی رودخانه عبارت است از: استخراج یا جابه‌جایی خاک یا سنگ در بستر رودخانه با هدف عمیق کردن آن، پر کردن گودی‌ها در زیر آب یا خشکی و جایگزینی مواد با کیفیت خوب و مناسب به جای مواد ضعیف در زیر آب. لایروبی رودخانه‌ها یکی از روش‌های کنترل سیلاب است و در صورتی که رودخانهٔ مد نظر شرایط لایروبی را از نظر زیست‌محیطی داشته باشد و کارایی آن در مدیریت سیل نسبت به روش‌های دیگر مطلوب باشد، انجام می‌گیرد. یکی از راه‌کارهای بهبود مدیریت و کنترل سیل در استان گلستان و رودخانه‌های آن، لایروبی به منظور افزایش ظرفیت عبور سیل از رودخانه است. این گزینه برای ساماندهی درازمدت رودخانهٔ گرگان‌رود قابل بررسی است. طبق گزارش‌های مربوطه، به منظور افزایش ظرفیت رودخانه برای عبور سیل با مقدار دبی پیک ۱۵۵ مترمکعب بر ثانیه، به لایروبی رودخانه تا ارتفاع ۲ متر نیاز است. با توجه به طول ۵۵ کیلومتر از رودخانه، میزان حجم لایروبی برابر ۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است [۸]. این نکته بااهمیت است که کارایی لایروبی باید با توجه به رژیم جریان و آبراهه و شرایط هیدرولیکی دریای خزر برای رودخانهٔ گرگان‌رود پس از بررسی‌های فنی و اقتصادی و مقایسه با روش‌های دیگر کنترل سیلاب مورد توجه قرار گیرد.

- **اجرای حفاظت از خاکریز در طرفین رودخانه**

یکی از اقدامات سازه‌ای مهار سیلاب، احداث گوره یا خاکریز است که بیشتر برای کاهش دبی اوج سیل یا جلوگیری از سیل‌گیری انجام می‌شود. خاکریز بند خاکی کوتاهی است که در فواصل مختلف از کنارهٔ دو طرف رودخانه و در امتداد آن ساخته می‌شود تا به عنوان کناره‌های مصنوعی، در دوره‌های سیلابی که آب رودخانه از کناره‌های طبیعی خود بیرون می‌رود، زمین‌های اطراف رودخانه را از آب‌گرفتگی محافظت کند [۱۵]. یکی از گزینه‌ها برای افزایش ظرفیت عبور مطمئن رودخانه، اجرای خاکریزهای مهندسی‌ساز در کنار رودخانهٔ گرگان‌رود است. این گزینه به عنوان روش مهار سیل در درازمدت قابل بررسی است. بنا به گزارش‌ها، با اجرای دیواره‌های با ارتفاع متوسط ۲ متر در طول ۵۵ کیلومتر و اجرای دیوارهای بتنی در دو طرف رودخانه در محدودهٔ نقاطی که مناطق مسکونی در کنار رودخانه هستند، ظرفیت عبور رودخانه تا حدود ۱۵۵ مترمکعب بر ثانیه افزایش می‌یابد [۸].

- **افزایش حجم مخزن سد**

وظیفهٔ مخزن سدها، مهار سیلاب و ذخیرهٔ قسمتی از جریان سیلاب به منظور کاهش حداکثر دبی آن است. در شرایط ایده‌آل، مخزن درست در بالادست منطقهٔ حفاظت‌شده قرار دارد و بهره‌برداری از آن به منظور کاهش حداکثر دبی سیلاب به ظرفیت گذردهی ایمن پایین‌دست صورت می‌گیرد. سیلاب ذخیره‌شده با توجه به زمان وقوع

آن یا به‌تدریج رها می‌شود و یا در صورتی که پایان فصل سیلاب نزدیک باشد، برای مصارف آبیاری و تولید برق ذخیره می‌شود. افزایش حجم مخزن سد وشمگیر بر رودخانه گرگان‌رود، یکی از راه‌کارهای کارشناسی‌شده بنا به گزارش‌هاست که با افزایش ارتفاع دیواره‌های موجود و ایجاد مخزن جدید در کنار مخازن کنونی، انجام می‌گیرد. براساس مطالعات انجام‌شده توسط کارشناسان، افزایش حجمی بیش از ۴۶ میلیون‌مترمکعب برای سد وشمگیر پیش‌بینی شده است [۸].

- **انحراف رودخانه و انتقال به مناطق سیل‌گیر**

از راه‌کارهای دیگری که توسط کارشناسان و محققان در حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود بررسی شده، بحث انحراف رودخانه است. در این روش برای صرفه‌جویی در احداث سیل‌بند در تمامی طول رودخانه در محلی مناسب، سیلاب منحرف می‌شود، اما در هر حال با کسب اطمینان از این امر که محل مد نظر، قابلیت ذخیرهٔ حجم سیلاب را دارد، محل انحراف در رودخانه مشخص می شود. سپس، سیلاب مازاد بر کشش طبیعی رودخانه یا به طور طبیعی و یا به کمک یک سازهٔ انحرافی در محل مد نظر به داخل یک کانال سیلاب‌بر منحرف می‌شود. این رودخانه پس از انحراف به گودال‌های طبیعی (اراضی‌ای که تراز کمتری نسبت به اراضی مجاور دارند)، دریاچهٔ سدها، شوره‌زارهای نمک یا زهکش‌های موجود در منطقه انتقال می‌یابند و می‌توانند از حجم و شدت سیل به طور درخور توجهی بکاهند. برخی از این انحراف‌های رودخانه‌ای که توسط کارشناسان بررسی شده به شرح زیر است:

- انحراف رودخانه در بالادست روستای آق‌دکش و انتقال به گودال طبیعی در پایین منطقهٔ آق‌قبر؛
- انحراف رودخانه در نزدیکی روستای دیگچه در بالادست سد وشمگیر؛
- انحراف قسمتی از جریان رودخانه به سمت دریا از طریق زهکش‌های قره‌تپه، قارقی، قره‌کیله و بصیرآباد [۸].

**راه‌کارهای برخی کشورهای پیشرفته در مقابل سیل**

- **استفاده از سیستم‌های هشدار سیل**

برنامه‌ریزی متوازن در چرخهٔ مدیریت بلایا در کشورهای توسعه‌یافته مانند امریکا، کانادا و ژاپن به گونه‌ای که در تمامی ابعاد پیشگیری، آمادگی مقابله، بازسازی داوری راهبردهای مناسبی هستند، می‌تواند مد نظر برنامه‌ریزان در کشورهای در حال توسعه در زمینهٔ مدیریت بلایا قرار گیرد. چرا که برنامه‌ریزی در کشورهای در حال توسعه به صورت متوازن معطوف به تمامی مراحل مدیریت بلایا نیست، بلکه بیشتر روی امداد و نجات تمرکز دارد. در کشورهای مختلف دنیا بسته به امکانات موجود، از روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی و مدیریت سیلاب استفاده می‌شود. در کشورهای توسعه‌یافته، این روش‌ها با توجه به امکانات پیشرفتهٔ موجود در این کشورها، بسیار دقیق و کارآمد است که استفاده از سیستم‌های هشدار سیل پیشرفته یکی از این روش‌هاست. فقط در کشور آمریکا، ۴۰۰ سیستم هشدار سیل راه‌اندازی شده است که غالباً در ایالت کالیفرنیا متمرکزند. نکتهٔ مهم آنکه این سیستم‌های پیشرفتهٔ هشدار سیل طی سال‌های متمادی توسعه یافته و تکمیل شده‌اند. ازجمله سیستم‌های هشدار سیل پیشرفته می‌توان سیستم‌های پیش‌بینی رودخانه‌های نیل و کلرادو را نام برد [۱۶].

- **استفاده از سازه‌های متحرک کنترل سیلاب**

در انگلستان، مهندسان یک سد متحرک برای جلوگیری از سیل در امتداد رودخانهٔ تایمز[1] طراحی کرده‌اند. سد یادشده از فولاد توخالی ساخته شده است. درخور توجه اینکه سد تیمز متحرک است، بنابراین گاهی برای عبور کشتی‌ها باز می‌شود. در صورت نیاز نیز گاهی با چرخاندن مخزن‌های خروجی میزان آب پشت سد را کنترل می‌کنند تا امنیت رودخانهٔ تایمز حفظ شود. این دروازه‌ها بخشی به نام underspill position دارند که این بخش اجازه می‌دهد آب کمی در زیر سد جریان داشته باشد. این سد از پوسته‌های براق و فولادی هیدرولیک ساخته شده است که بازوهای سد و دروازهٔ غول‌پیکر را باز و بسته می‌کند. بنابراین، در یک موقعیت کم‌آبی اجازه می‌دهد آب در زیر سد جریان یابد. سد تایمز طی سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۸۴ ساخته شده و تا کنون بیش از ۱۰۰ بار برای جلوگیری از سیل بسته شده است [۱۷]. شکل ۸ نمایی از این سد را نشان می‌دهد.

1. River Thames

**شکل ۸. نمایی از سد تایمز در انگلستان**

**شکل ۹. نمایی از سد اوسترشل‌کرینگ در هلند**

حدود ۶۰ درصد جمعیت کشور هلند در پایین‌تر از سطح دریا زندگی می‌کنند، بنابراین توسعهٔ سیستم‌های کنترل سیلاب بسیار ضروری است. طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۷، هلندی‌ها پروژهٔ دلتاورکن[1] را آغاز کردند. پروژهٔ دلتاورکن متشکل از یک شبکهٔ پیچیده از سدها، کانال‌های آب، سدهای سلولی، جوی و سدهای خیزآب است. از چشمگیرترین پروژه‌های دلتاورکن، ساخت سد اوسترشل‌کرینگ[2] است. هلندی‌ها طی این پروژه به جای ساختن یک سد معمولی، یک سد با دروازه‌های متحرک ساختند (شکل ۹). پس از سال ۱۹۸۶، زمانی که ساخت اوسترشل‌کرینگ تمام شد، ارتفاع جزر و مد از ۳/۴۰ متر (۱۱/۲ فوت) به ۳/۲۵ متر (۱۰/۷ فوت) کاهش یافت. آنچه سدهای هلندی را از سدهای رایج متمایز می‌کند، استفاده از دروازه‌های متحرک در این بندهاست که در زمان لزوم باز و در وقت نیاز بسته می‌شوند، مکانیزمی که به کنترل و مدیریت جریان سیل کمک زیادی می‌کند.

مثال دیگری از پروژهٔ دلتاورکن هلند، سد خیزآب میسلنت[3] در آبراه نیووه[4] بین شهرهای هوئک‌ون هلند[5] و منطقهٔ ماس‌اسلایس[6] هلند است. سد یادشده در سال ۱۹۹۷ ساخته شده است و به عنوان یکی از سازه‌های بزرگ متحرک جهان محسوب می‌شود (شکل ۱۰). هنگامی که سطح آب افزایش می‌یابد، دیوارهای سد به طور هوشمند بسته می‌شود و آب، مخازن در امتداد سد را پر می‌کند [۱۸].

1. Deltawerken
2. Oosterscheldekering
3. Maeslant Storm Surge Barrier
4. Nieuwe
5. Hoek van Holland
6. Maassluis

**شکل ۱۰. نمایی از سد خیزآب میسلنت در هلند**

ونیز ایتالیا به داشتن کانال‌های معروف و قایق‌های پارویی موسوم به گوندولا[1] شناخته شده است. از دههٔ ۱۹۸۰، مقامات روی پروژه‌ای به نام MOSE[2] سرمایه‌گذاری کردند. این پروژه شامل چند دروازهٔ متحرک است که به‌صورت ردیفی در کنار هم قرار می‌گیرند و زمانی که ارتفاع موج‌ها از حد تعیین‌شده (۱۱۰ سانتی‌متر) بیشتر شود، به‌صورت اتوماتیک دریاچهٔ محیطی ونیز را از دریای آدریاتیک[3] جدا می‌کنند. این موج‌شکن‌های متحرک می‌توانند جلوی موج‌های تا ارتفاع ۳ متر را بگیرند. این پروژه شامل مجموعه‌ای از ۷۸ سد است که می‌تواند به طور مستقل آب سراسر لاگون[4] (پهنهٔ آبی نسبتاً کم‌عمق با آب شور یا نیمه‌شور است که به واسطهٔ حائلی طبیعی، همچون دیواره‌ای شنی یا جزایر سد مانند یا صخره‌های دریایی، از پهنهٔ آبی بزرگ‌تری مانند دریا، جدا افتاده باشد.) را پس از اینکه سطح آب واردشده از دریای آدریاتیک افزایش یافت، کنترل کند [۱۹]. شکل ۱۱ نمایی از این پروژه را نشان می‌دهد.

- **استفاده از موتورهای آبی خودکار برای تأمین نیروی دریچه‌ها و دروازه‌های رودخانه**

جزایری در ژاپن وجود دارد که بارها در آنجا سیل آمده است. مناطق نزدیک ساحل و در امتداد رودخانه‌های ژاپن در معرض خطر سیل قرار دارند. برای محافظت از این مناطق، مهندسان ژاپنی سیستم پیچیده‌ای از کانال‌ها و سد سلولی را توسعه داده‌اند. پس از یک سیل فاجعه‌بار در سال ۱۹۱۰، ژاپن توسعهٔ فناوری‌های لازم برای حفاظت از مناطق کم ارتفاع در مناطق کیوتو و توکیو را آغاز کرد. ژاپنی‌ها موتورهای آبی خودکار[5] را توسعه داده‌اند که این موتورها قدرت زیادی از دروازه‌های آبی مناطق سیل زده را تأمین می‌کنند. فشار آب، نیرویی ایجاد می‌کند که دروازه‌ها در صورت نیاز باز و بسته می‌شوند (شکل ۱۲). موتورهای هیدرولیک برای کار کردن نیازی به برق ندارند و بنابراین می‌توان در مواقع سیل که برق نیز قطع می‌شود، از آنها استفاده کرد [۲۰].

- **تخلیهٔ آب مازاد بارندگی توسط کانال زیرزمینی تخلیهٔ خارجی در ژاپن**

ژاپنی‌ها به منظور کنترل سیلاب پروژه‌ای را با عنوان «کانال زیرزمینی تخلیهٔ خارجی حوزهٔ کلان‌شهر»[6] به راه انداخته‌اند که هدف اصلی آن، منحرف کردن مسیر آب اضافی حاصل از بارش‌های سنگین از ناحیهٔ شهری به سمت شفت‌های زیرزمینی است. این آب در ادامه به رودهایی که فاصلهٔ زیادی با کانون‌های جمعیتی دارند، منتقل می‌شود. در این سیستم دست‌کم ۵ شفت عمودی به کار رفته که آن‌چنان بلند و عمیق هستند که می‌توانند یک شاتل فضایی را در خود جای دهند. هر شفت به یک کانال ۶/۳ کیلومتری با قطر ۱۰ متر متصل است که به یک مخزن بزرگ تنظیم فشار منتهی می‌شود. هدف از تعبیهٔ این مخزن آن است که از سرعت جریان بی‌وقفهٔ آب بکاهد و فشار مطلوب آب را حفظ کند. این سیستم ۱۷۷ متری، دست‌کم ۲۲ متر زیر زمین قرار دارد و پمپ‌های بزرگی در آن تعبیه شده‌اند که سطح و فشار آب را کنترل می‌کنند و قادرند تا در هر ثانیه بیش از ۲۰۰ مترمربع آب تخلیه کنند [۲۱].

1. Gondola
2. Modulo Sperimentale Elettromeccanico
3. Adriatic Sea
4. Lagoon
5. Automated Aqua-Drive Motors
6. The Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel

**شکل ۱۱. نمایی از پروژهٔ MOSE در ونیز ایتالیا**

**شکل ۱۲. نمایی از دروازه‌های آب در ژاپن**

## نتیجه‌گیری

سیل از جمله مخاطرات طبیعی است که همواره در بسیاری از مناطق مختلف جهان و همچنین کشور ایران هرساله رخ می‌دهد. علاوه بر عوامل طبیعی، عوامل انسانی نیز بسیار تأثیرگذار و تشدیدکنندهٔ این پدیده هستند که علت بیشتر سیل‌های بهاری اخیر کشور از جمله سیل استان گلستان نیز همین عامل است. پس از مرور و بررسی ابعاد و جوانب مختلف سیل سال ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸ استان گلستان مشخص شد که بحث مدیریت و تشکیل سامانهٔ جامع نظام‌نامهٔ مدیریت و کنترل سیلاب بسیار ضروری و بااهمیت است. باید براساس نظام‌نامه‌ای برنامه‌ریزی‌شده و ساختاریافته، سامانه‌ای جامع برای مدیریت و کنترل سیل در سطح فراقوه‌ای ایجاد شود که در آن دقیقاً وظایف و اختیارات دستگاه‌ها و نهادها برنامه‌ریزی‌شده باشد، به طوری که امکان انجام کارهای موازی و هم‌پوشان نباشد. در این صورت قبل، هم‌زمان و پس از وقوع سیلاب طبق برنامه‌ریزی‌های دقیق و این سامانه، مدیریت و کنترل سیل به صورت جدی و بهتر انجام خواهد شد. نکتهٔ بسیار مهم اینکه همهٔ کشورهای توسعه‌یافته بعد از تجربهٔ یک سیل بزرگ و خسارت‌بار، قانون‌گذاری، توسعهٔ راهنماها و بهبود رویه‌های مدیریت سیلاب را شروع کرده‌اند، پس دور از انتظار نیست که در کشور ما و به‌ویژه استان گلستان نیز در آینده این بهبود رویه را در عرصهٔ مدیریت داشته باشیم. استفاده از تجارب و اقدامات کشورهای توسعه‌یافته در زمینهٔ مدیریت و کنترل سیلاب بسیار به ما در مقابله با این بلای طبیعی کمک خواهد کرد. از اقدامات غیرسازه‌ای می‌توان به توسعه و پیشرفته‌سازی سیستم‌های هشدار سیل اشاره کرد و با سرمایه‌گذاری‌های لازم از اقدامات سازه‌ای مفید مانند

کشورهای پیشرفته‌ای همچون ژاپن، هلند و انگلستان بهره برد. از جملهٔ این اقدامات می‌توان به ساخت سدها و سازه‌های متحرک هوشمند، استفاده از موتورهای آبی خودکار برای تأمین قدرت دروازه‌های آبی ساخته‌شده در مسیر سیل برای باز و بسته شدن و احداث کانال‌های زیرزمینی تخلیهٔ خارجی آب اضافی بارش‌ها اشاره کرد که در کشورهای توسعه‌یافته اجرا شده و نتیجهٔ خوبی در زمینهٔ مهار و مدیریت سیلاب داشته است. از جمله اقدامات مهم و ضروری دیگر در کنترل و مدیریت سیلاب، توجه به عملیات آبخیزداری است. مطالعات آبخیزداری در نقاطی از کشور انجام نشده و لازم است به صورت جدی بررسی شود. همچنین، در مورد نقاطی از کشور نیز که مورد مطالعات آبخیزداری قرار گرفته‌اند، باید بازنگری صورت گیرد و مطالعات دقیق‌تری به‌خصوص در مناطق بحرانی در زمینهٔ وقوع سیل انجام شود. در حوضه‌هایی که سدهای بسیار متعددی دارند و به بیانی، کنترل‌شده هستند باید مدیریت و برنامه‌ریزی بسیار دقیق و خطاهای انسانی و تصمیم‌های نادرست حداقل باشد. عملیات آبخیزداری باید در چارچوب مطالعات دقیق و مربوط به آن منطقه انجام شود و بهترین وجه آن چه به صورت مکانیکی یا بیولوژیکی و چه به صورت تلفیقی از منظر اقتصادی، اجتماعی و... صورت گیرد. از آنجا که پیش‌بینی بلندمدت سیل امکان‌پذیر نیست، باید اقدامات مدیریتی و حفاظتی مناسب در چارچوب آبخیزداری انجام شود. طی این عملیات باید اقدامات حفاظتی و امنیتی لازم توسط سازمان‌های مربوطه برای جلوگیری از تخریب بیشتر پوشش‌گیاهی در استان گلستان نیز مورد توجه قرار گیرد و توسط ارگان‌های قضایی بررسی شود. در برخی مناطق حوضهٔ استان گلستان پروژه‌های آبخیزداری اجرا شده که نتیجهٔ خوبی داشته است و در جریان سیل اخیر استان در این مناطق کمترین خسارت سیل به بار آمده است. همچنین، در مقالهٔ حاضر به اهمیت بررسی و تحقیق در زمینهٔ جغرافیای تاریخی استان گلستان و حوضهٔ گرگان‌رود اشاره شد که تغییرات ایجادشده در این حوضه در گذشته می‌تواند دلیلی بر وقوع سیلاب‌های مکرر طی دو دههٔ گذشتهٔ این استان باشد. بنابراین، ریشه‌یابی و تحقیقات گسترده در این زمینه توسط محققان و متخصصان مربوطه لازم و ضروری است و به نظر می‌رسد که احیای مراتع در بخش شمالی گرگان‌رود که تحت تأثیر این تغییرات شده، باید مورد توجه ویژه قرار گیرد. همچنین، مسائلی مانند احیای ظرفیت تالاب‌ها، چالاب‌ها و مسیل‌های طبیعی، طراحی و بازاحداث سازه‌های تقاطعی رودخانه‌ها و نیز اجرای دقیق حد و حریم بستر و در صورت لزوم، بازنگری در قانون مربوطه برای افزایش حدود آن، از جمله مواردی هستند که باید مورد بررسی و توجه بیشتر قرار گیرند. در مقالهٔ حاضر راه‌کارهایی نیز بنا به گزارش‌های کارشناسان در سطح استانی (استان گلستان) و به‌ویژه برای حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود ارائه شد مانند لایروبی رودخانه، اجرای حفاظت از خاکریز در طرفین رودخانه، افزایش حجم مخزن سدها و انحراف رودخانه به مناطق سیل‌گیر که اجرای این اقدامات تأثیر فراوانی در مدیریت و کنترل سیل‌های آینده در این منطقه خواهد داشت. به طور کلی، جدا از تقویت مدیریت سیلاب و برنامه‌ریزی لازم قبل از وقوع سیل برای پیشگیری و کنترل سیلاب‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی عملیات آبخیزداری و توجه به مهندسی رودخانه‌زیستی بسیار مفید و ضروری است و در مورد سیلاب‌های طبیعی کنترل و مدیریت سیلاب با اقدامات سازه‌ای و اصول مهندسی با استفاده از مطالعات صحیح و دقیق و با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی چاره‌ساز خواهد بود.

## منابع


[1]. Snead DB. and Maidment DR. Development and application of unsteady flood models using geographical information systems, Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin; 2000.

[2]. Ardestani M. and Golestaneh M. Investigating the River Flood Properties and its Role in Flood Management (Case Study: Korkanloo Stream). 3th Conference on Iran Water Resources Management. Faculty of Civil Engineering. Tabriz University; 2008. [Persian]

[3]. Yamani M., Moradi A. and Rahimi Harabadi S. Determination of flood privacy and its role in the sustainability of residential development (Case study: Tootshami River). Journal of Geography and Environmental Sustainability. 2013; 3(9): 1-10. [Persian]

[4]. Moayeri M. and Entezari M. Floods and review floods in province of Esfahan. Journal of Geographic perspective. 2008; 3(6): 110-124. [Persian]

[5]. Bambaeichi S., Banihashemi M. and Monem M. Types of floods due to dam failure and Crisis Management Operational Program in Golestan Province. 2th National Conference on Flood Management and Engineering with Urban Flood Approach. Tehran; 2014. [Persian]

[6]. Banihabib, ME. Mud and debris floods, Seminar on mitigate and prevent flooding, Gorgan; 2003. [Persian]

[7]. Report on the investigation and analysis of flood events in Farvardin of 2019, Researches Center of the Islamic Consultative Assembly; 2019. [Persian]

[8]. Golestan Flood Report (esfand 97 and Farvardin 98), Golestan Regional Water Company, Iran Water Resources Management Co. Ministry of Power; 2019. [Persian]

[9]. Beytollahi , A. Golestan flood report (3/19/2019). Road, Housing and Urban Development Research Center; 2019. [Persian]

[10]. Karimian A. Historical Report on: Golestan Forest Basin Flood Control. Treasury of Documents. 2006; 15(4): 52-78. [Persian]

[11]. Yao Z., Xiao J., Ta W. and Jia X. Planform channel dynamics along the Ningxia–Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008: analysis using Landsat images and topographic maps, Environ Earth Sci. 2013; 70(1): 97-106.

[12]. Flood Investigation Report Farvardin 2019 (Housing and Urban Development), Researches Center of the Islamic Consultative Assembly; 2019. [Persian]

[13]. Farraday RV. and Charlton, FG. Hydraulic factors in bridge design. Report No. IT 180, Pp. 4-5, Hydraulics Research Station, Wallingford; 1978.

[14]. George AB. Devon floods and Watereays of bridges. Part2: 125-134. Proc. Instn Civ. Engrs; 1982.

[15]. Alimohammadi S., Rafiei Anzab N. and Moradi M. Optimum Design of Levees by Risk Analysis Method (Case Study: Khoshk River of Shiraz). Journal of Water and Wastewater. 2014; 25(1): 95-110. [Persian]

[16]. Sadr momtaz N., Tabibi SJ. and Mahmoudi M. comparative study in disaster planning in selected countries. Tehran Univ Med J. 2008; 65(13):14-19. [Persian]

[17]. Gric, J. and Hepplewhite E. Design and construction of the Thames barrier cofferdams. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1983; 74(2): 191-224.

[18]. Withagen L. and Feenstra E. Delta 2000: inventory of the current situation of the Deltawerken. Rapport RIKZ Netherlands; 2000.

[19]. Ghezzo M., Gurzoni S., Cucco A. and Umgiesser G. Changes in Venice Lagoon dynamics due to construction of mobile barriers. Coastal Engineering. 2010; 57(7): 694-708.

[20]. Takeuchi K. Flood management in Japan—from rivers to basins. Water International. 2002; 27(1): 20-26.

[21]. Kishii T. Utilization of underground space in Japan. Tunnelling and Underground Space Technology. 2016; 55: 320-323.