

تحلیل هیدرولیکی و سازه‌ای ساماندهی رودخانه بابل‌رود با استفاده از چند نرم‌افزار کاربردی

رضا موسی‌پور، سید فرهاد موسوی* و خسرو حسینی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۱۶)

چکیده

وقوع سیلاب‌های سهمگین در رودخانه‌ها موجب آسیب‌های زیادی می‌شود. در این پژوهش، برای ساماندهی محدوده‌ای از رودخانه بابل‌رود به طول ۱۰/۹ کیلومتر، ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه، لایه Tin در نرم‌افزار GIS ایجاد شد. با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS مسیر اصلی و مقاطع عرضی رودخانه تهیه و به مدل HEC-RAS معرفی شدند. دبی جریان رودخانه با دوره‌های بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال به دست آمد. تحلیل جریان در محدوده‌های کشاورزی و شهری انجام شد و نواحی ساماندهی با لحاظ دیوار سیل‌بند و خاکریز مشخص و طراحی شدند. طراحی سازه‌ای، کنترل پایداری و لغزش بر اساس نشریه ۵۱۸ با استفاده از نرم‌افزار RetainWall و طراحی و کنترل پایداری گوره‌ها بر اساس نشریه ۲۱۴ با استفاده از نرم‌افزار GeoStudio انجام گرفت. برآورد هزینه اجرای پروژه بر اساس فهرست بهای سال ۱۳۹۶ ارائه شد. با توجه به خروجی نرم‌افزار HEC-RAS، ارتفاع کلی دیوار سیل‌بند برای ساماندهی رودخانه در سه بازه منطقه شهری ۱/۷۳ تا ۲/۸ متر و در پنج بازه منطقه کشاورزی ۱/۴۶ تا ۲/۲۵ متر تعیین شد. هزینه کلی ایجاد خاکریز حدود ۹/۰۱ میلیارد ریال، سیل‌بند بتنی حدود ۹/۲۶ میلیارد ریال و سیل‌بند بتنی طره‌ای T شکل معکوس حدود ۱۰/۰۵ میلیارد ریال برآورد شد. بنابراین، استفاده از خاکریز سیل‌بند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

واژه‌های کلیدی: ساماندهی رودخانه‌ها، روش‌های بیومهندسی، دیوار سیل‌بند

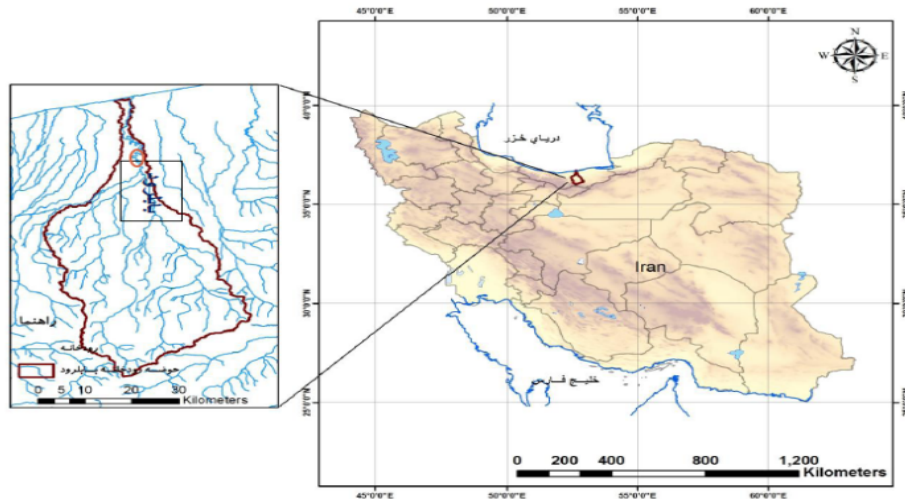
۱. گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fmousavi@semnan.ac.ir

مقدمه

رودخانه‌ها به‌عنوان مجاری طبیعی جمع‌آوری و انتقال بارش‌های جوی، از دیرباز به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین منابع تأمین آب مورد توجه انسان‌ها بوده‌اند. تمدن‌های بشری برای بهره‌گیری از نعمت آب، در حاشیه رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند. سکونت در کنار رودخانه‌ها در برخی مواقع مخاطراتی نیز در بر داشته است (۱۷). سیل یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارات 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 (۲۰). مجموعه اقداماتی که به منظور تثبیت آبراهه در امتداد یک مسیر معین با مقطع عرضی مشخص برای تحقق یک یا چند مورد از اهداف خاص صورت می‌پذیرد را ساماندهی رودخانه گویند. در زمینه ساماندهی رودخانه، اقدامات مدیریتی که به‌منظور کاهش خسارت سیل انجام می‌شود را می‌توان در دو بخش اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم‌بندی کرد. در اقدامات غیرسازه‌ای مدیریت سیل، برای رفع یا تسکین اثرهای تخریبی سیلاب، سازه‌های فیزیکی احداث نمی‌شوند. با ذخیره، محدودسازی، تعدیل یا انحراف سیلاب، مهار آن تا حدی ممکن می‌شود (۱۱). اقدامات فیزیکی که در سیلاب‌دشت به‌منظور دور کردن سیلاب از مردم و املاک و تأسیسات قبل از وقوع سیل صورت می‌گیرد، روش سازه‌ای مهار سیلاب نامیده می‌شوند. اقدامات سازه‌ای شامل به‌سازی آبراهه، احداث گوره‌ها و سیل‌بند، انحراف سیلاب، حوضچه تأخیری و اراضی ویژه ذخیره سیلاب و مخازن تسکین سیلاب است (۱۶). ابهری رشت‌آبادی و همکاران (۱) به بررسی رفتار هیدرولیکی بازه‌های مختلف رودخانه کن در محدوده شهری با استفاده از مدل HEC-RAS پرداخته‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که عمق زیاد آبشستگی پایین‌دست پل آزادراه تهران- کرج و بزرگراه فتح، استاندارد نبودن طراحی مناطق تفرجگاهی و عدم کفایت ظرفیت مسیر رودخانه برای سیلاب‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، کنترل تراز سطح آب با دیواره موجود در بخشی از بازه قابل مشاهده بوده

است. قربانی واقعی و همکاران (۱۰)، به برآورد جریان سیلابی با دوره‌های بازگشت مختلف و آنالیز منطقه‌ای سیلاب در پایین‌دست رودخانه پل‌رود در استان گیلان پرداختند. پس از نقشه‌برداری، هندسه رودخانه با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط GIS ترسیم شد. سپس، با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC، حد بستر با دوره بازگشت ۲۵ سال، قبل و بعد از ساماندهی رودخانه، شبیه‌سازی شده و با پهنه‌بندی سیلاب‌دشت، تأثیر سازه‌ها در بهبود شرایط منطقه بررسی شد. قدرتی و همکاران (۹)، به بررسی مهار فرسایش در کناره رودخانه‌ها با استفاده از روش‌های بیولوژیک پرداختند. با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS، شرایط هیدرولیک مرزی جریان و تنش برشی ارزیابی شد. نتیجه این شد که در صورت کشت نهال، به همراه پایدارسازی و ایجاد مقاومت نهال در مقابل جریان‌های شدید، با استفاده از سیستم حفاظتی مانند چپر کردن، میخ‌کوبی، بافت حصیری دیوارها و یا با استفاده از مصالح توری و گابیون می‌توان از وقوع جریان‌های شدید جلوگیری کرد. فرحمن‌دکناری و همکاران (۸)، علاوه بر بررسی رفتار هیدرولیکی جریان رودخانه بابل‌رود، محل سیل‌گیر را شناسایی کرده و درصد پیشروی سیلاب و ارتفاع نسبت به رقوم سطح زمین، ویژگی‌های سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف و پهنه‌بندی سیلاب را تعیین کردند. نتایج مشخص کرد که حدود ۸۰/۳ درصد از پهنه سیل گرفته متعلق به سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۲۵ سال یا کمتر است. بهادرنژاد و لاشدی (۴)، به‌منظور تعیین بازه‌های ساماندهی برای جلوگیری از پخش سیلاب در محدوده بین پل کمربندی تا پل داخل شهر نکا، از مدل هیدرولیکی HEC-RAS استفاده کرده است. ابتدا، از نقشه‌های توپوگرافی رودخانه، مقاطع عرضی تهیه و به نرم‌افزار معرفی شد. تحلیل جریان بر اساس دبی‌های با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال انجام گرفت و در نتیجه نواحی ساماندهی با دیوار سیل‌بند بتنی و خاکریزها مشخص و با استفاده از نشریات مختلف طراحی شدند. برآورد هزینه سیل‌بند بتنی و خاکریزها صورت گرفت و مشخص شد که



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز بابلرود

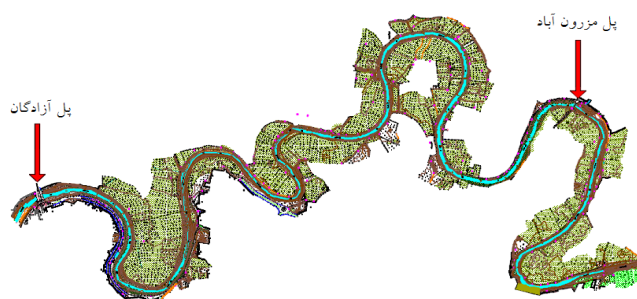
به‌دست آوردند. تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که ساماندهی رودخانه‌ها منحصر به استفاده از روش‌های خاصی نبوده و با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و منطقه‌ای، گزینه‌های مورد نظر ارائه می‌شود. در پژوهش حاضر، تحلیل هیدرولیکی و سازه‌ای بازه داخل شهر رودخانه بابلرود، برای تعیین بخش‌هایی که نیاز به ساماندهی دارند، با استفاده از چند نرم‌افزار کاربردی انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

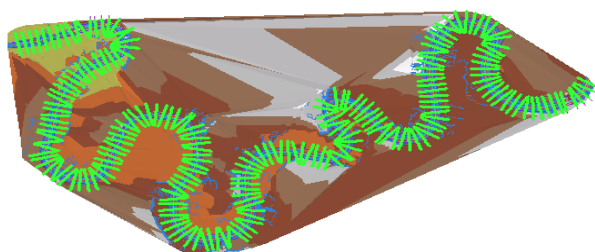
منطقه مورد مطالعه

رودخانه بابلرود در شهرستان بابل، استان مازندران، جریان دارد. این رودخانه از رشته کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و پس از عبور از یک مسیر پریپچ و خم در شهرستان بابلسر وارد دریای خزر می‌شود. شاخه‌های اولیه این رودخانه به نام اسکلیم، کرسنگ، آذر، بابلک و آزررود در دهکلان به هم پیوسته و رودخانه بابلرود را تشکیل می‌دهند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، در بازه‌ای به طول تقریبی $10/9$ کیلومتر روی رودخانه بابلرود در محدوده شهری بابل واقع شده است. حدود رودخانه مورد بررسی در عرض جغرافیایی 36 درجه و 23 دقیقه تا 36 درجه و 30 دقیقه شمالی و طول 52 درجه و 40 دقیقه تا 52 درجه و 44 دقیقه شرقی است. شکل‌های (۱) و (۲) به ترتیب

اجرای خاکریز از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است. مامی زاده و همکاران (۱۴)، بخشی از محدوده سیل‌گیر رودخانه چرداول (چناره) را مطالعه کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که احتمال سیل‌گیر شدن اراضی حاشیه به‌علت عریض بودن بستر کانال در بیشتر نواحی به‌طور نسبی کم است. این مسئله، حتی در سیل با دوره بازگشت زیاد هم مشاهده می‌شود. آندام (۳)، با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS تغییرات سرعت و عدد فرود را در رودخانه‌های جنگلی و خارج جنگلی بررسی و تأثیر پوشش گیاهی بر رژیم و رفتار فیزیکی جریان را مقایسه کرد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را برای مطالعه رژیم و سایر خصوصیات هیدرولیکی جریان رودخانه در اختیار قرار دهد. لی و همکاران (۱۳) با اندازه‌گیری پارامترهای اکولوژیک، رطوبت خاک و تنش برشی به این نتیجه رسیدند که پروژه اجرا شده با پوشش گیاهی در رودخانه شهرک فرودگاهی شانگ‌های چین، به‌طور معنی‌داری فرسایش رودخانه را کاهش و تنوع زیستی موجود را افزایش داده است. دونکر (۷)، کوریا و همکاران (۶)، هوندچا و همکاران (۱۲) و شاه و همکاران (۱۹) همگی از GIS به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای تکمیل و تحلیل داده‌های منابع مختلف به‌منظور مدیریت دشت‌های سیلابی استفاده کرده و با اتصال GIS و مدل‌های هیدرولوژیک و هیدرولیک، مناطق تحت تأثیر سیل را طبقه‌بندی و به نقشه تبدیل کرده و نتایج رضایت‌بخشی



شکل ۲. پلان رودخانه بابل رود



شکل ۳. پلان سه بعدی و موقعیت مقاطع عرضی در رودخانه در نرم‌افزار ArcGIS

از نقشه توپوگرافی، Tin منطقه تهیه و با استفاده از الحاقیه HEC-geo-RAS در محیط نرم‌افزار مذکور خط مرکزی جریان، سواحل کانال اصلی و مسیر جریان ترسیم شد. در نهایت، این اطلاعات به نرم‌افزار HEC-RAS انتقال داده شده و پلان بازه مطالعاتی در نرم‌افزارهای GIS و HEC-RAS مانند شکل‌های (۳ و ۴) به دست آمده است.

دبی جریان

دبی حداکثر لحظه‌ای در رودخانه اهمیت زیادی در تجزیه و تحلیل هیدرولوژی سیل دارد. دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه، بیشترین میزان دبی است که در لحظه‌ای از سال اتفاق افتاده است (۱۵). در این تحقیق، توزیع آماری سیلاب حداکثر روزانه و لحظه‌ای ایستگاه‌های واقع در محدوده مورد مطالعه پس از تصحیح، تکمیل و انجام مجدد تست اعداد پرت (Outliers)، با استفاده از توزیع‌های مختلف آماری لوگ نرمال دوپارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، گامبل تیپ یک، دوپارامتری گاما و لوگ پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سپس، برای تعیین بهترین توزیع آماری از آزمون‌های کاسکوئر و

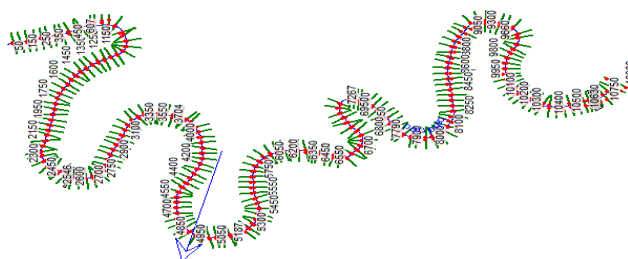
موقعیت حوضه آبریز بابل رود و پلان رودخانه بابل رود را نشان می‌دهند.

روش تحقیق

در این بخش، به تشریح چگونگی مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه و سازه‌های متقاطع در آن پرداخته خواهد شد. اطلاعاتی که به منظور مدل‌سازی جریان آب در بستر رودخانه برای مدل هیدرولیکی HEC-RAS مورد نیاز است را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد (۲۱): اطلاعات هندسی و فیزیکی رودخانه، دبی جریان، شرایط مرزی و ضریب زبری.

اطلاعات هندسی و فیزیکی رودخانه

هندس رودخانه جزو اولین و اصلی‌ترین اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی هیدرولیک رودخانه است. در واقع، بر مبنای شکل سطح مقطع رودخانه است که پارامترهای هیدرولیکی آن نظیر سرعت، عمق، و سطح آب‌گرفتگی مشخص می‌شود. در این تحقیق، از نقشه توپوگرافی رودخانه بابل رود در قالب فایل Autocad استفاده شده است. سپس در محیط Arc GIS



شکل ۴. پلان و موقعیت مقاطع عرضی در رودخانه در نرم‌افزار HEC-RAS

جدول ۱. مقادیر دبی با دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
دبی (متر مکعب بر ثانیه)	۶۰	۸۱	۱۳۵	۱۹۴	۲۳۵	۲۷۷	۳۵۰

کانال در نظر گرفته می‌شود. مقدار شیب طولی برای بالادست برابر ۰/۰۰۰۷ و برای پایین دست برابر ۰/۰۰۰۵۶ منظور شده است.

ضریب زبری

مقاومت در مقابل جریان در ضرایب زبری مختلف نظیر زبری شزی، مانینگ و دارسی- وایسباخ متبلور می‌شود. در رودخانه‌ها، ضریب زبری مانینگ بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). در این پژوهش، از روش کاون به‌عنوان بهترین روش تخمین ضریب مانینگ استفاده شده است. بنابراین، با توجه به جداول ارائه شده و بازدهی‌های میدانی، مقدار ضریب مانینگ n برای یازده بازه به‌صورت جدول (۲) است.

تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی

تصمیم‌گیری در مورد دوره بازگشت سیلاب طراحی بر اساس تحلیل‌ها و بررسی‌های مختلفی صورت می‌گیرد. طبق توصیه نشریه ۳۱۶ سازمان مدیریت منابع آب، برای تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی، به‌دلیل اینکه بازه مورد نظر وارد منطقه مسکونی با جمعیت متراکم و زمین‌های کشاورزی (شهرستان بابل) می‌شود، لذا سیلاب ۵۰ ساله به‌عنوان سیلاب طراحی در محدوده مسکونی و سیلاب ۲۵ ساله به‌عنوان سیلاب

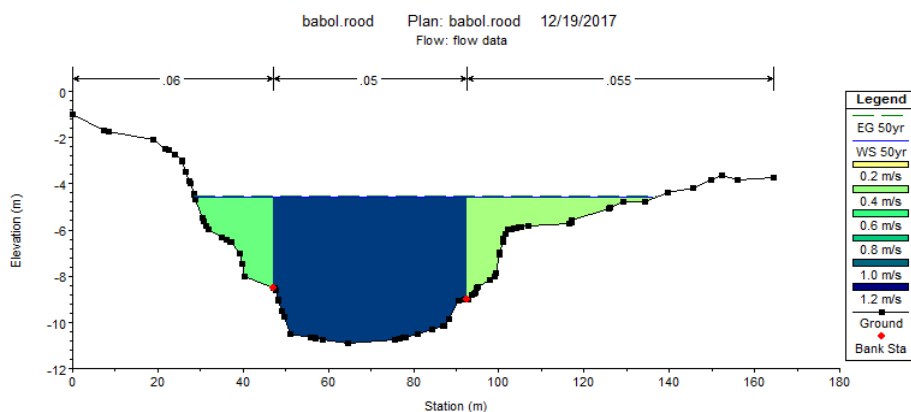
RSS استفاده شده است. بر اساس کمترین مقدار کاسکوئر و RSS و تطابق داده‌های مشاهداتی و محاسباتی و پارامترهای آماری محاسبه شده در هر توزیع، مناسب‌ترین توزیع انتخاب شده است که توزیع آماری پیرسون سه پارامتری به‌عنوان توزیع غالب گزینش شد. نتایج حاصل از نرم‌افزار SMADA برای دبی‌های با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال در جدول (۱) ارائه شده است.

شرایط مرزی

برای پیش‌بینی مشخصه‌های جریان در بازه‌ای از رودخانه، نیاز به شرایط مرزی منطبق با طبیعت است. در مدل هیدرولیکی HEC-RAS، شرایط مرزی معرف وضعیت ورودی و خروجی جریان در بالادست و پایین دست در طول بازه مورد مطالعه است و می‌تواند شامل مقادیر دبی و تراز سطح آب، شیب سطح آب و یا عمق بحرانی باشد (۱۵). با توجه به اینکه اطلاعات مناسبی در خصوص شرایط مرزی ورودی و خروجی مدل موجود نیست، لذا برای تعیین شرایط مرزی به‌منظور مدل‌سازی جریان رودخانه بابلرود در محدوده مورد مطالعه، از روش عمق نرمال استفاده شده است. با شرط عمق نرمال در مرزها، لازم است شیب نرمال به مدل داده شود. در شرایطی که جریان با عمق نرمال در مقطع باشد، شیب نرمال برابر با شیب کف

جدول ۲. مقادیر ضریب زبری مانینگ در مسیر اصلی و سیلاب‌دشت‌ها

مسیر رودخانه	مقاطع در HEC-RAS	سیلاب‌دشت چپ	مسیر اصلی	سیلاب‌دشت راست
بخش اول	۵۰ تا ۱۰۰۰	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵۵
بخش دوم	۱۰۵۰ تا ۲۰۰۰	۰/۰۸	۰/۰۴۶	۰/۰۵۵
بخش سوم	۲۰۵۰ تا ۳۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵۷	۰/۰۸
بخش چهارم	۳۰۵۰ تا ۴۰۰۰	۰/۰۸	۰/۰۴۶	۰/۰۸
بخش پنجم	۴۰۵۰ تا ۵۰۰۰	۰/۰۸	۰/۰۴۶	۰/۰۵۵
بخش ششم	۵۰۵۰ تا ۶۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵۵
بخش هفتم	۶۰۵۰ تا ۷۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵۵
بخش هشتم	۷۰۵۰ تا ۸۰۰۰	۰/۰۶	۰/۰۴۶	۰/۰۸
بخش نهم	۸۰۵۰ تا ۹۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵	۰/۰۵۵
بخش دهم	۹۰۵۰ تا ۱۰۰۰۰	۰/۰۶	۰/۰۵۱	۰/۰۵۵
بخش یازدهم	۱۰۹۰۰ تا ۱۰۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵	۰/۰۶



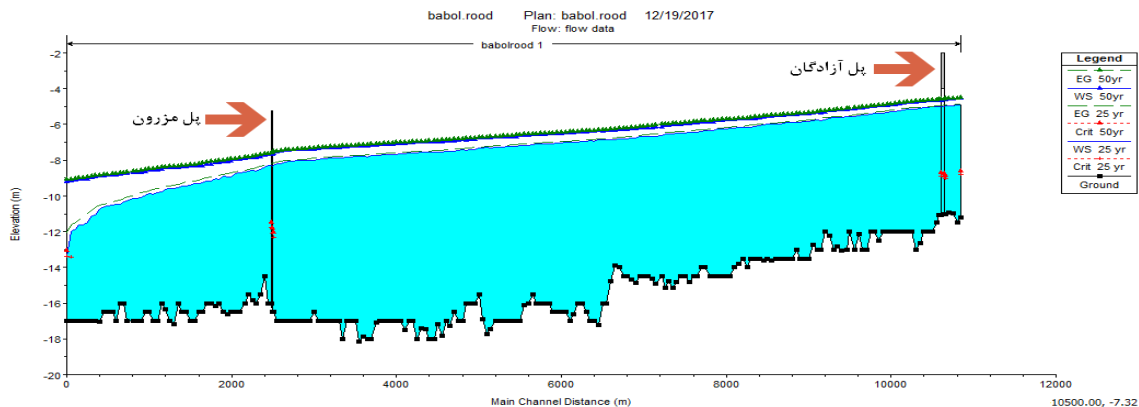
شکل ۵. مقطع عرضی تپ رودخانه بابل رود

مسیر رودخانه بابل رود، به همراه پروفیل سرعت و پروفیل سطح آب به ازای دوره بازگشت ۵۰ سال، در شکل (۵) نمایش داده شده است. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ریخت‌شناسی رودخانه، پروفیل طولی آن است. شکل عمومی نیم‌رخ طولی رودخانه از یک الگوی ثابتی پیروی می‌کند. به طوری که در بالادست رودخانه شیب بستر تند بوده و به تدریج به سمت پایین‌دست و بخش دلتایی کاهش یافته و در سطح دریا به سمت صفر مسیر رودخانه میل می‌کند. شکل (۶)، پروفیل طولی سطح آب برای دبی با دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال را نشان می‌دهد. سرعت جریان به عوامل مختلفی از قبیل شیب کف

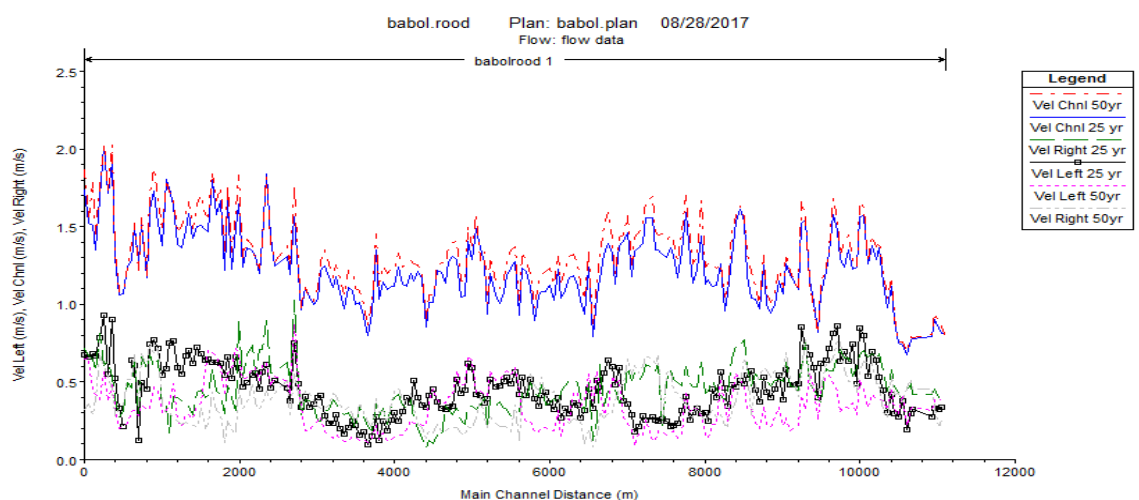
طراحی در محدوده کشاورزی، ملاک انتخاب قرار گرفت. لازم به ذکر است که در ساماندهی رودخانه، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله و ۱۰۰ ساله به عنوان سیلاب‌های کنترل به ترتیب برای محدوده زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی در نظر گرفته شده‌اند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در قالب نمودار و شکل ارائه شده است. داده‌های مقاطع عرضی، نمایش‌دهنده مرز هندسی آبراهه هستند که نمونه‌ای از مقاطع عرضی در طول



شکل ۶. پروفیل طولی سطح آب رودخانه بابلرود



شکل ۷. تغییرات سرعت جریان در رودخانه بابلرود

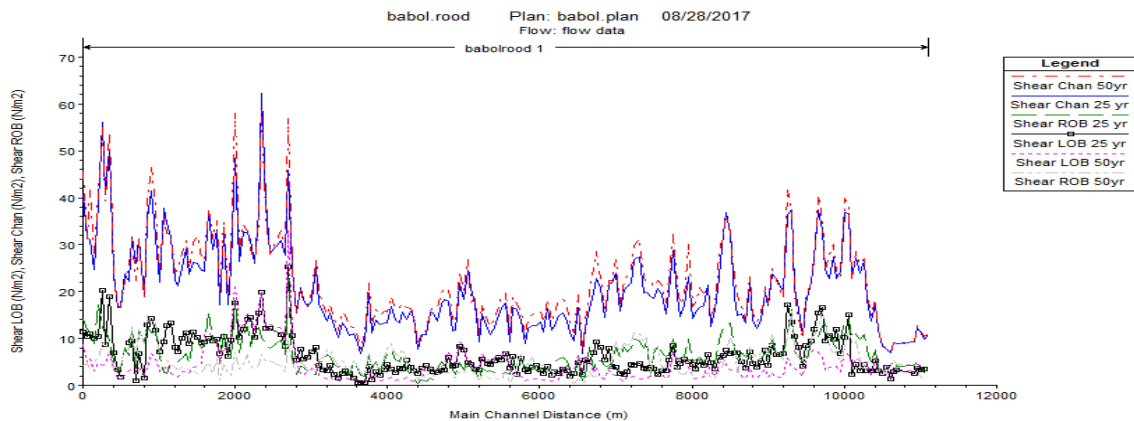
سطح آب با استفاده از دبی با دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال، با بررسی‌های صورت گرفته در محدوده مورد مطالعه، مشخص شد که هشت بازه نیاز به سیل‌بند دارند (شکل ۹). مونیوز و همکاران (۱۸) تأثیر شهرنشینی بر بزرگی سیلاب‌ها را بررسی کرده و خاطر نشان کردند که در طرح‌های ساماندهی، اثرات ناشی از تغییرات در کاربری‌ها بایستی در نظر گرفته شوند. آدامسون (۲) راهکارهای مدیریت و کنترل سیلاب در رودخانه را در یک پهنه وسیع از رودخانه ارائه کرد و نتیجه گرفت که برای مدیریت بهینه سیلاب، تلفیق روش‌های مدیریت حوضه و رودخانه می‌تواند کارآمد باشد.

به‌منظور نشان دادن بهتر رودخانه در بازه‌های ساماندهی شده، نقشه پهنه‌بندی سیلاب در شکل (۱۰) و مقاطع تیپ

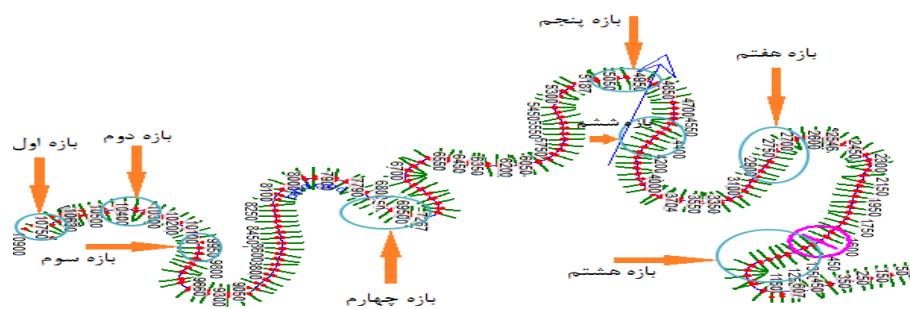
بستر، ضریب زبری مانینگ و سطح مقطع جریان بستگی دارد. با توجه به دوره بازگشت ۲۵ ساله، تغییرات سرعت در کمترین و بیشترین مقدار بین ۰/۶۷ و ۲/۰۲ متر بر ثانیه و در دوره بازگشت ۵۰ ساله این تغییرات بین ۰/۷ و ۲/۰۴ متر بر ثانیه نیز مشاهده می‌شود (شکل ۷). یکی از مهم‌ترین عوامل هیدرولیکی در مجاری روباز، تنش برشی است. با توجه به دوره بازگشت ۲۵ ساله، تغییرات تنش برشی در کمترین و بیشترین مقدار بین ۶/۷ و ۵۸/۷ نیوتن بر متر مربع و در دوره بازگشت ۵۰ ساله این تغییرات بین ۷/۱ و ۶۲/۳ نیوتن بر متر مربع مشاهده می‌شود (شکل ۸).

ساماندهی بازه‌ها

پس از تحلیل جریان در نرم افزار HEC-RAS و تعیین تراز



شکل ۸. تغییرات تنش برشی در رودخانه بابلرود



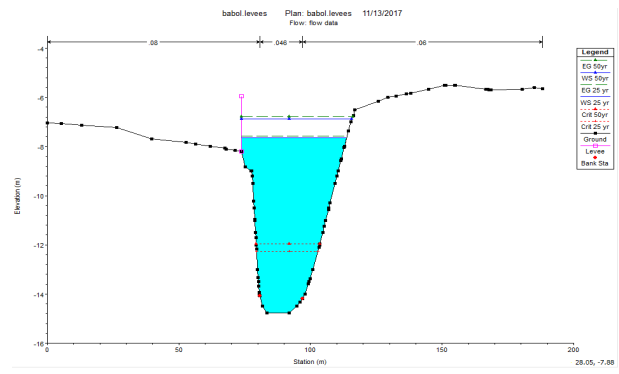
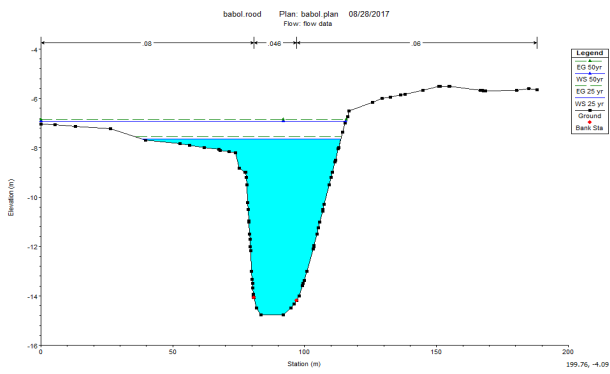
شکل ۹. پلان رودخانه بابلرود و محدوده‌های نیازمند ساماندهی



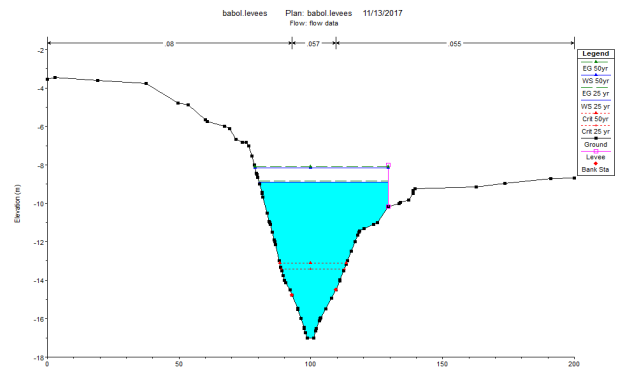
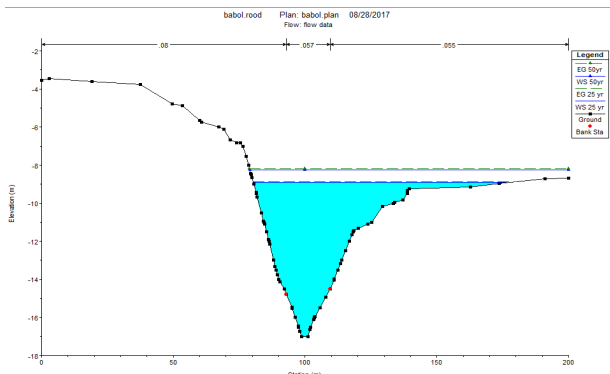
شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه بابلرود برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

نشان می‌دهد که پارامترهای هیدرولیکی نظیر سرعت و تنش برشی قبل و بعد از ساماندهی با یکدیگر اختلاف چندانی نداشته و تأثیر زیادی بر مورفولوژی رودخانه نخواهند داشت. تعیین ارتفاع دیوار سیل‌بند به دلیل اهداف خاصی که مهم‌ترین آنها پایداری دیوار و به دنبال آن تأمین امنیت مالی و جانی است، نیاز به دقت و توجه زیادی دارد (۱۵). با توجه به

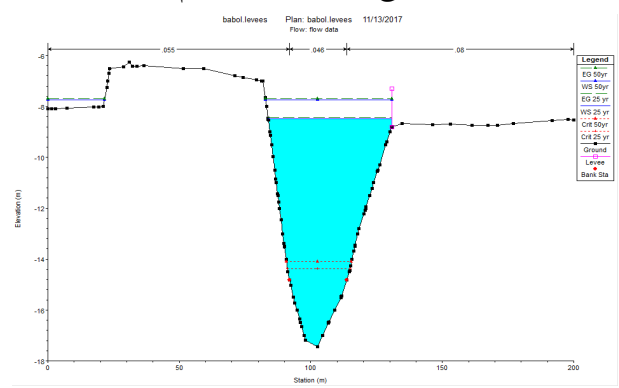
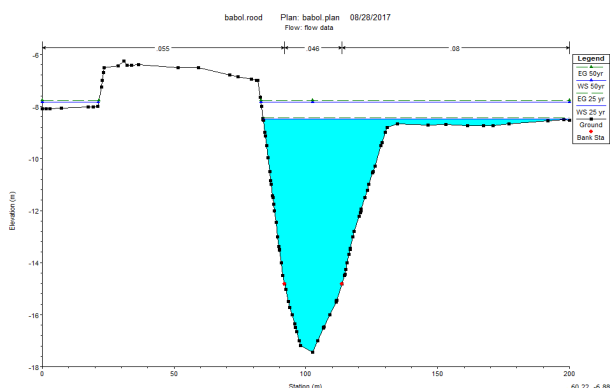
ساماندهی شده در برخی بازه‌های منتخب در شکل (۱۱) نشان داده شده‌اند. همان گونه که در شکل (۱۱) مشخص است، ساماندهی در یک جناح از رودخانه صورت گرفته است که ضمن حفاظت جناح ساماندهی شده، تأثیر به‌سزایی بر رقوم سطح آب و در نتیجه تنگ‌شدگی در مقطع صورت نگرفته است. این وضعیت



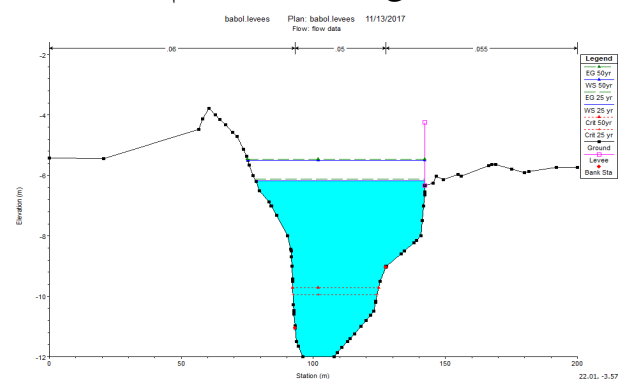
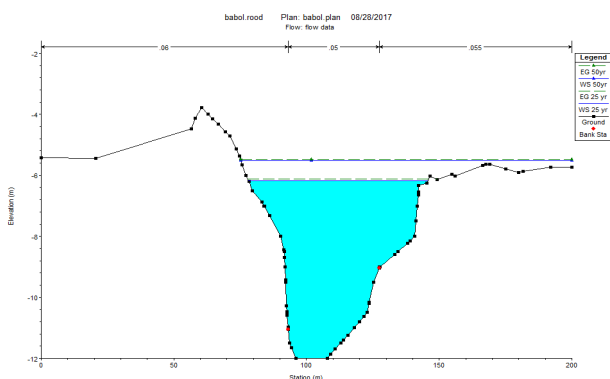
مقطع عرضی تیب بازه چهارم، قبل از ساماندهی (سمت چپ) و پس از ساماندهی (سمت راست)



مقطع عرضی تیب بازه دوم، قبل از ساماندهی (سمت چپ) و پس از ساماندهی (سمت راست)



مقطع عرضی تیب بازه هشتم، قبل از ساماندهی (سمت چپ) و پس از ساماندهی (سمت راست)



مقطع عرضی تیب بازه ششم، قبل از ساماندهی (سمت چپ) و پس از ساماندهی (سمت راست)

شکل ۱۱. مقاطع عرضی در بازه‌های منتخب، قبل و بعد از ساماندهی

جدول ۳. ابعاد سیل‌بند با توجه به تراز سطح آب در بازه‌های شهری

بازه‌های ساماندهی	طول بازه (m)	تراز سطح آب دبی ۵۰ ساله (m)	تراز سطح آب دبی ۱۰۰ ساله (m)	تراز کل سیل‌بند (m)	ارتفاع کلی سیل‌بند (m)
بازه اول	۱۶۳	-۵/۳۴	-۴/۹۷	-۴/۳	۱/۷۳
بازه دوم	۲۳۷	-۵/۴۸	-۵/۱۳	-۴/۴	۲/۰۸
بازه سوم	۲۸۱	-۵/۷۹	-۵/۳۸	-۴/۶	۲/۰۵

جدول ۴. ابعاد سیل‌بند با توجه به تراز سطح آب در بازه‌های کشاورزی

بازه‌های ساماندهی	طول بازه (m)	تراز سطح آب دبی ۲۵ ساله (m)	تراز سطح آب دبی ۵۰ ساله (m)	تراز کل سیل‌بند (m)	ارتفاع کلی سیل‌بند (m)
بازه چهارم	۳۴۵	-۷/۶۱	-۶/۹۲	-۶/۷۵	۲/۲۵
بازه پنجم	۲۶۶	-۸/۳	-۷/۶۶	-۷/۳۹	۲/۲۳
بازه ششم	۳۰۶	-۸/۴۸	-۷/۸۵	-۷/۶۱	۱/۵۱
بازه هفتم	۲۹۴	-۸/۸۸	-۸/۲۶	-۸/۰۱	۲/۱۹
بازه هشتم	۲۸۷	-۹/۸۸	-۹/۳	-۹/۰۳	۱/۴۶

جدول ۵. خلاصه نتایج تحلیل پایداری خاکریز

بازه	حجم کل گوه (m ^۳)	وزن کل گوه (KN)	لنگر مقاوم (KN.m)	لنگر محرک (KN.m)	مجموع نیروهای مقاوم (KN)	مجموع نیروهای محرک (KN)	ضریب اطمینان	نتیجه
بازه اول	۲/۱	۳۵/۲	۹۹/۳۶	۹۲/۹	۱۲/۸	۱۲	۱/۰۷	۱ ≤ پایدار
بازه دوم	۳/۲	۵۸	۱۹۷/۱	۱۷۶/۳	۲۰/۷	۱۸/۵	۱/۱۲	۱ ≤ پایدار
بازه سوم	۳/۵	۶۳/۲	۲۳۴/۳	۱۹۵/۳	۲۴	۲۰	۱/۲	۱ ≤ پایدار
بازه چهارم	۳	۵۴/۷	۱۹۳/۷	۱۷۰/۷	۲۰/۸	۱۸/۳	۱/۱۴	۱ ≤ پایدار
بازه پنجم	۳/۱	۵۵/۵	۱۷۳/۵	۱۶۳/۶	۱۷/۸	۱۶/۷	۱/۰۶	۱ ≤ پایدار
بازه ششم	۱/۵	۲۵/۹	۶۰/۹	۵۶/۷	۹	۸/۴	۱/۰۸	۱ ≤ پایدار
بازه هفتم	۳/۱	۵۵/۸	۱۶۸/۳	۱۵۳/۶	۱۷/۳	۱۵/۸	۱/۱	۱ ≤ پایدار
بازه هشتم	۱/۶	۲۷	۶۳	۵۸/۴	۹/۵	۸/۸	۱/۰۸	۱ ≤ پایدار

مد نظر باشد و فضای لازم برای احداث گوره مهیا است، از خاکریز سیل‌بند استفاده می‌شود. طراحی گوره‌ها بر اساس نشریه ۲۱۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (حالت بارگذاری زلزله)، با استفاده از نرم‌افزار GeoStudio و روش مورگنسترن-پرایس انجام شده است. خلاصه‌ای از نتایج حاصل از طراحی خاکریزهای سیل‌بند در جدول (۵) ارائه می‌شود.

خروجی نرم‌افزار HEC-RAS، طول بازه‌ها و ارتفاع کلی دیوار سیل‌بند در هشت بازه ساماندهی به شرح جداول (۳ و ۴) است.

طراحی و کنترل دیواره‌های سیل‌بند

طراحی خاکریزهای سیل‌بند

معمولاً برای ساماندهی رودخانه، زمانی که هزینه اجرای پروژه

جدول ۶. خلاصه نتایج تحلیل پایداری سیل‌بند بتنی طره‌ای T شکل معکوس

نتیجه	ضریب اطمینان	کنترل لغزش		کنترل واژگونی			برآورد نیروها			حالت	بازه
		منطقه تحت فشار (%)	خروج از مرکزیت (m)	فاصله نقطه واژگونی (m)	شاخص پایداری	لنگرواژگونی حول نقطه (T.m)	نیروهای قائم (T)	نیروهای افقی (T)			
پایدار	۱/۱	۱۰۰	-۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳	۱/۲۴	۴/۲۱	-۲/۲۲	I _۳	بازه اول	
پایدار	۱/۲	۶۷	-۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۹	۱/۵۹	۵/۴۴	-۲/۹۰	I _۳	بازه دوم	
پایدار	۱/۱۱	۷۰	-۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۳۱	۱/۶۰	۵/۲۰	-۲/۶۹	I _۳	بازه سوم	
پایدار	۱/۱۴	۸۸	-۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۴۷	۳/۴۳	۷/۳۱	-۳/۷۱	I _۳	بازه چهارم	
پایدار	۱/۱۱	۸۷	-۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۴۶	۳/۰۴	۶/۵۷	-۳/۴۱	I _۳	بازه پنجم	
پایدار	۱/۱۵	۸۶	-۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۳۲	۱/۱۹	۳/۷۶	-۱/۹۰	I _۳	بازه ششم	
پایدار	۱/۱۴	۸۴	-۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۴۲	۲/۸۶	۶/۷۹	-۳/۴۴	I _۳	بازه هفتم	
پایدار	۱/۲۲	۸۷	-۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۳	۱/۰۴	۳/۴۳	-۱/۸۶	I _۳	بازه هشتم	

جدول ۷. خلاصه نتایج تحلیل پایداری سیل‌بند بتنی وزنی

نتیجه	ضریب اطمینان	کنترل لغزش		کنترل واژگونی			برآورد نیروها			حالت	بازه
		منطقه تحت فشار (%)	خروج از مرکزیت (m)	فاصله نقطه واژگونی (m)	شاخص پایداری	لنگرواژگونی حول نقطه (T.m)	نیروهای قائم (T)	نیروهای افقی (T)			
پایدار	۱/۱۶	۷۳	-۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۲۹	۱/۷۴	۵/۹۴	-۲/۹۵	I _۳	بازه اول	
پایدار	۱/۱۵	۵۴	-۰/۴	۰/۱۸	۰/۲۳	۱/۶۸	۷/۴۵	-۳/۷۳	I _۳	بازه دوم	
پایدار	۱/۱۱	۵۰	-۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۲۱	۱/۳۴	۶/۳۷	-۳/۳۱	I _۳	بازه سوم	
پایدار	۱/۱۹	۶۵	-۰/۴۱	۰/۲۲	۰/۳۲	۲/۸۴	۸/۹۱	-۴/۳۳	I _۳	بازه چهارم	
پایدار	۱/۱۶	۶۳	-۰/۴۲	۰/۲۱	۰/۳۱	۲/۴۰	۷/۸۵	-۳/۹۰	I _۳	بازه پنجم	
پایدار	۱/۲۳	۶۶	-۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۹۴	۴/۲۴	-۱/۹۹	I _۳	بازه ششم	
پایدار	۱/۱۹	۶۴	-۰/۴	۰/۲۱	۰/۳۰	۲/۶۵	۸/۷۶	-۴/۲۴	I _۳	بازه هفتم	
پایدار	۱/۲۰	۶۲	-۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲	۰/۷۷	۳/۹۱	-۱/۸۸	I _۳	بازه هشتم	

ضریب اطمینان یک)، با استفاده از نرم‌افزار RetainWall انجام گرفته است که در ادامه خلاصه نتایج حاصل از طراحی دیوار سیل‌بند بتنی وزنی و T شکل معکوس در جداول (۶ و ۷) ارائه می‌شود.

برآورد هزینه اجرای پروژه

مقایسه اقتصادی گزینه‌های مختلف یکی از مهم‌ترین مراحل

طراحی دیوار سیل‌بند بتنی (وزنی و T شکل معکوس) طراحی دیوار با انتخاب ابعاد اولیه آغاز شده و سپس کنترل‌های مربوط به پایداری دیوار انجام می‌گیرد. در این پژوهش، طراحی سازه‌ها بر اساس نشریه ۵۱۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۵) برای چهار حالت بارگذاری کنترل شد و در نهایت، بحرانی‌ترین حالت بارگذاری (حالت بارگذاری زلزله I_۳ رس و

جدول ۸. خلاصه نتایج هزینه اجرای سیل‌بند بتنی

شماره	واحد	بهای واحد (ریال)		سیل‌بند بتنی وزنی		سیل‌بند بتنی طره‌ای T شکل معکوس	
		مقدار	بهای کل (ریال)	مقدار	بهای کل (ریال)	مقدار	بهای کل (ریال)
۶۰۱۰۲	m ^۳	۱۲۵۱	۷۳۳۲۶۱۸	۱۲۳۱	۷۲۱۱۳۱۶	۵۸۶۰	
۹۰۱۰۱	m ^۲	۱۱۳۲۳	۳۵۹۲۷۷۲۶۵۰	۱۲۲۵۳	۳۸۸۸۵۵۷۲۵۰	۳۰۶۵۰۰	
۱۱۰۱۰۶	m ^۳	۳۹۱۷	۴۷۴۳۳۶۵۹۰۰	۲۸۴۷	۳۴۴۷۹۵۹۲۰۰	۱۲۱۱۰۰۰	
۱۱۰۳۰۲	m ^۳	۳۹۱۷	۹۱۹۰۱۶۷۵۰	۲۸۴۷	۶۷۲۰۲۸۵۰۰	۱۱۷۵۰۰	
۶۰۶۰۱	m ^۲	-	۹۲۶۲۴۸۱۷۹۱۸	۱۲۲۵۳	۲۰۳۴۰۸۱۰۰۰	۱۶۶۰۰۰	
جمع کل			۹۲۶۲۴۸۱۷۹۱۸		۱۰۰۴۹۸۳۷۲۶۶		

جدول ۹. خلاصه نتایج هزینه اجرای خاکریز

شماره	واحد	بهای واحد (ریال)	مقدار کل	بهای کل (ریال)
۶۱۶۰۱	m ^۲	۳۷۵	۲۶۶۷۵	۱۰۰۰۳۱۲۵
۶۱۶۰۴	m ^۲	۱۲۴۰	۲۶۶۷۵	۳۳۰۷۷۰۰۰
۶۱۶۰۸	m ^۳	۱۷۴۰۰	۳۱۸۳۶	۵۵۳۹۴۶۴۰۰
۱۱۵۰۱	m ^۳	۹۹۵۰۰	۳۱۸۳۶	۳۱۶۷۶۸۲۰۰۰
۱۲۳۰۱	m ^۳	۱۴۶۰۰	۳۱۸۳۶	۴۶۴۸۰۵۶۰۰
۱۷۰۱۰۳	m ^۲	۶۶۳۰۰	۶۷۱۲	۴۴۵۰۰۵۶۰۰
۱۷۰۵۰۱	m ^۲	۹۰۸۰۰	۱۳۴۲۸	۱۲۱۹۲۶۲۴۰۰
۳۰۶۰۳	قلمه	۵۱۴۰	۱۶۱۱۴۷	۸۲۸۲۹۵۵۸۰
۳۰۸۰۱	بوته	۲۰۲۰	۱۶۱۱۴۷	۳۲۵۵۱۶۹۴۰
بلوک	عدد	۱۱۰۰۰	۱۶۱۱۴۷	۱۷۷۲۶۱۷۰۰۰
حمل بلوک	هر ۱۰۰۰ عدد	۱۲۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۴۷	۱۹۳۶۸۰۰۰۰۰
جمع کل				۹۰۱۳۸۹۱۶۴۵

لذا، کاربرد خاکریز سیل‌بند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است که با نتایج بهادر نژاد و لاشدی (۴) همخوانی دارد. با عنایت به برآورد قیمت زمین در بازه‌های شهری (بازه‌های اول تا سوم) هر مترمربع، ۲۰۰۰۰۰ ریال و در بازه‌های کشاورزی (بازه‌های چهارم تا هشتم) هر مترمربع، ۵۰۰۰۰۰ ریال و با توجه به جداول هزینه‌ها، به نظر می‌رسد که چنانچه در کلیه بازه‌ها از دیوار سیل‌بند استفاده شود، مقرون به صرفه خواهد بود. در جدول (۱۰)، سود و هزینه‌های ساماندهی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

تصمیم‌گیری در هر پروژه است. در مطالعات اقتصادی لازم است که هزینه‌های احداث سازه‌ای، عملکرد و نگهداری از آنها با مزایای اجرای پروژه که عمدتاً بر رشد و توسعه حاشیه‌های رودخانه و ایجاد جاذبه‌های گردشگری در منطقه تأثیر دارد، مقایسه شود (۱۵). برآورد هزینه بر اساس فهرست بهای آبیاری و زهکشی، آبخیزداری و سدسازی سال ۱۳۹۶ برای دیوارها و گوره‌ها انجام گرفته است. خلاصه‌ای از نتایج مربوط به برآورد هزینه گوره و دیوارها برای هشت بازه ساماندهی در جداول (۸ و ۹) ارائه شده است.

جدول ۱۰. سود و هزینه‌های ساماندهی بخشی از رودخانه بابل‌رود

هزینه کل خاکریز (ریال)	ارزش منطقه (ریال)	سود حاصل از ساماندهی (ریال)
۹,۰۱۳,۸۹۱,۶۴۵	۱۰۷,۰۲۸,۶۵۰,۰۰۰	۹۸,۰۱۴,۷۵۸,۳۵۵

نتیجه‌گیری

هدف اصلی از انجام این پژوهش، ارائه راهکارهای ساماندهی رودخانه بابل‌رود با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی و تلفیق آن با نرم‌افزارهای تحلیل سازه‌ای دیوارهای سیل‌بند و خاکریز در گوره‌ها بود. در این رابطه، پارامترهای جریان در بازه‌های مختلف این رودخانه از مدل هیدرولیکی به دست آمد که بر این اساس طرح‌های ساماندهی قابل ارائه هستند. سپس، از روش‌های کامپیوتری برای تحلیل دیواره‌ها و خاکریزها بهره‌گیری شده است. ترکیب استفاده از سامانه‌های تحلیل سازه‌ای و مکانیک خاک با نتایج هیدرولیکی می‌تواند به مهندس طراح کمک شایانی در صرفه‌جویی در زمان و هزینه تحلیل‌ها کند. در ادامه، هزینه اجرای طرح‌های ساماندهی برآورد شده است. با بررسی نتایج هیدرولیکی و بازدیدهای میدانی مشکلات مسیر مورد مطالعه مشخص شد و یکسری راهکارهای ساماندهی ارائه شد. ابتدا با استفاده از نرم‌افزارهای موجود، بازه‌های ساماندهی تعیین شده و چند روش سازه‌ای برای این بازه‌ها معرفی شد و کنترل پایداری هر سازه بر اساس دستورالعمل‌های مندرج در نشریات مختلف انجام گرفت و در انتها یک برآورد هزینه از سازه‌های پیشنهادی صورت گرفت و گزینه نهایی انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصل از طراحی دیوار سیل‌بند بتنی و خاکریزها مشخص شد که سازه‌های طراحی شده پایدار هستند. پس از برآورد هزینه برای هشت بازه

که نیاز به ساماندهی دارند، هزینه کلی برای اجرای دیوار سیل‌بند بتنی طره‌ای T شکل معکوس حدود ۱۰/۰۴۹ میلیارد ریال، سیل‌بند بتنی وزنی حدود ۹/۲۶۲ میلیارد ریال و خاکریز سیل‌بند حدود ۹/۰۱۳ میلیارد ریال به دست آمد. با توجه به برآورد هزینه، مشخص شد که استفاده از خاکریز سیل‌بند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. در این پژوهش، از ترکیب نرم‌افزارهای GIS، HEC-RAS و HEC-GeoRAS برای تحلیل جریان در بازه‌های مختلف رودخانه استفاده شده است. طرح‌های ساماندهی با عنایت به رقوم سطح آب در هر بازه تعیین شده است. رقوم تاج سیل‌بند با عنایت به سیلاب طراحی و سیلاب کنترل تعیین شده است. در ادامه، به منظور طرح سازه‌ای دیوار سیل‌بند از نرم‌افزار Retainwall برای تحلیل سازه‌ای دیوارهای صلب تحت شرایط مختلف بارگذاری استفاده شده و ابعاد سازه نهایی شده است. برای طرح گوره (خاکریز) نیز از نرم‌افزار Geo-studio که در تحلیل شیروانی‌های خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده شده است. در نهایت نیز هزینه‌های اجرایی طرح‌های ساماندهی ارائه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. از آنجایی که سازه‌های رودخانه‌ای از تنوع زیادی برخوردارند، لذا تجمیع تخصص‌های مختلف برای طرح‌های ساماندهی رودخانه میسر نبوده و پیشنهاد می‌شود نظیر تحقیق حاضر، از نرم‌افزارهای تخصصی که یادگیری آنها چندان دشوار نیست، کمک گرفته شود.

منابع مورد استفاده

1. Abhari Rashtabadi, M., A. Torabi and M. Tajrishe. 2015. Hydraulic simulation of the effects of construction of structures on the morphology of inland rivers using HEC-RAS software (Kane River case study). In: Proceeding of the 10th Civil Engineering Congress, Tabriz University. (In Farsi).
2. Adamson, M. 2018. Flood risk management in Europe: The EU 'Floods' directive and a case study of Ireland. *International Journal of River Basin Management* 16(3): 261-272.
3. Andam, K. S. 2003. Comparing physical habitat conditions in forested and non-forested streams. MSc. Thesis, University of Vermont.

4. Bahadorneshad, K. 2112. Hydraulic investigation of Nekaroud River situated between beltway bridge and city bridge and suggestion of some river training methods. MSc. Thesis, University of Semnan. (In Farsi).
5. Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
6. Correia, F. C., F. C. Rego, M. D. S. Saraiva and I. Ramos. 1998. Coupling GIS with hydrologic and hydraulic flood modeling. *Water Resources Management* 12: 229-249.
7. Donker, N. H. 2001. A simple rainfall-runoff model based on hydrological units applied to the Teba catchment (south-east Spain). *Hydrological Processes* 15: 135-149.
8. Farahmand, Sh., M. Raeini Sarjaz and K. Solaimani. 2011. Flood hazard zonation of Babolrud River using hydraulic model of HEC-RAS in a geographical information system environment (GIS). *Journal of Watershed Management Research* 2(3): 19-33. (In Farsi).
9. Ghodrati, A., M. Sajedi, M. Habibi and M. Rezapour. 2016. The Method of Preparing the River Side in Urban Environment using Biological Operations. In: Proceeding of the Second International Congress of Earth Sciences and Urban Development, Kian Science Project, East Azarbaijan Province University Jihad Research Institute. (In Farsi).
10. Ghorbani Vaghei, Z., Gh. Behzad Nazif, M. Habibi and A. Ebadi Zawiya. 2015. River organizing and flood control with the purpose of using flood bed land (case study: Polrood river, Guilan province). In: Proceeding of the Water Engineering Conference, Exhibition, Shahid Beheshti International Conference Center. (In Farsi).
11. Hossein Zadeh, A., M. Kh. Ziatabar Ahmadi, M. B. Sharifi and M. Masoudian. 2005. Flood mapping using HEC-RAS hydraulic model in GIS environment. In: Proceeding of the Iranian Hydraulic Conference, University of Kerman. (In Farsi).
12. Hundecha, Y., A. Bardossy and H. W. Theisen. 2001. Development of a fuzzy logic-based rainfall-runoff model. *Hydrological Sciences Journal* 46(3): 363-376.
13. Li, X., L. Zhang and Z. Zhang. 2006. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. *Ecological Engineering* 26(3): 304-314.
14. Mamizadeh, J., M. Hemati and J. Ghaderi. 2015. Flood zoning using HEC-RAS and GIS (Chardavol River, Ilam). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 9(29): 71-74. (In Farsi).
15. Management and Planning Organization. 2009. Design, construction and maintenance guide of levees. Publication No. 518.
16. Management and Planning Organization. 2001. Guide to structural methods of river flood control. Publication No. 242.
17. Mousavi, B. S., M. Saneie, A. Salajegheh and B. Motamed Vaziri. 2010. Experimental investigation of groin length effect on river bank erosion reduction. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 4(12): 65-68. (In Farsi).
18. Muñoz, L. A., F. Olivera, M. Giglio and P. Berke. 2017. The impact of urbanization on the streamflows and the 100-year floodplain extent of the Sims Bayou in Houston, Texas. *International Journal of River Basin Management* 16(1): 61-69.
19. Shah, S. M. S., P. E. O'Connell and J. R. M. Hosking. 1996. Modeling the effects of spatial variability in rainfall on catchment response. 2. Experiments with distributed and lumped models. *Journal of Hydrological Processes* 175: 89-111.
20. Snead, D. B. 2000. Development and Application of Unsteady Flood Models Using Geographic Information Systems. Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, Texas.
21. US Army Corps of Engineers. 2010. HEC-RAS User's Manual. Davis, California, USA.

Hydraulic and Structural Analysis of Babolrud River Training Using Some Applied Software

R. Moosapour, S. F. Mousavi* and Kh. Hosseini¹

(Received: April 12-2018 ; Accepted: August 7-2018)

Abstract

Occurrence of heavy floods in rivers causes a lot of damages and losses. In this research, to highlight the river-training reaches in 10.9 km of Babolrud River, first, using topographic map of the area, the Tin layer was created in GIS software. Then, using the HEC-GeoRAS extension, the main route and cross sections of the river were prepared and introduced to the HEC-RAS model. River discharge with return periods of 2 to 200 years was calculated. Flow analysis in the agricultural and urban areas was performed and the areas which need training measures such as flood-retaining walls and levees were specified and designed. The structural design, stability control and sliding was performed based on the Standard No. 518, using RetainWall software, and design and control of levee stability was performed based on the Standard No. 214, using GeoStudio software. The cost of project implementation was estimated based on the Price List of 2017. The output of HEC-RAS software showed that height of flood-retaining wall in 3 urban reaches ranged between 1.73 to 2.8 m and in 5 agricultural reaches ranged between 1.46 to 2.25 m. It was concluded that the overall cost of levee implementation is about 9.01 billion Rials, of gravity concrete flood-retaining wall is about 9.26 billion Rials and of concrete cantilever inverted T shape flood-retaining wall is about 10.05 billion Rials. Thus, using flood-retaining levee is the most economical option.

Keywords: River training, Bio-engineering methods, Flood-retaining wall

1. Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: fmousavi@semnan.ac.ir