

# آنالیز حساسیت ضریب زبری مانینگ رودخانه‌ها در مدل HEC-RAS جهت تعیین پهنه‌های سیلاب (مطالعه موردی: رودخانه کر – استان فارس)

علمی ترویجی

وحید سهرابی<sup>۱</sup>، فرشید هاشمی پور پتکوئی<sup>۲</sup>، حمید شیخ پور شاهی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴

صفحات: ۸۶-۱۰۸

## چکیده

رودخانه‌ها یکی از محدود پدیده‌های طبیعی هستند که علی‌رغم خسارات و زیان‌های بی‌شماری که از دیرباز به انسان‌ها وارد نموده‌اند، به دلیل تأثیر ویژه در زندگی بشر و شکل‌گیری تمدن‌ها همواره انسان‌ها را به اراضی حاشیه رودخانه فراخوانده‌اند. در ایران نیز به دلیل وسعت زیاد، اقلیم متعدد و تراکم زمانی و مکانی بارش‌ها در اکثر حوزه‌های آبخیز، همه ساله شاهد سیلاب‌های عظیمی در اکثر مناطق کشور بوده که بسیاری از آنها، خسارات جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورند. این تحقیق بازه‌ای به طول حدود ۱۰ کیلومتر از رودخانه کر (پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری چمریز) انتخاب شد و پس از تهیه آمار حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا، اثر احداث سد بر روی جریان رودخانه بررسی شد. سپس با در نظر گرفتن دبی رودخانه به‌ازای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال برای دو حالت قبل و بعد از احداث سد مدل جریان ماندگار رودخانه مذکور توسط نرم‌افزار HEC-RAS تهیه و سپس با یکدیگر مقایسه شدند. در ادامه بر اساس دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال بعد از احداث سد اقدام به تغییر ضریب زبری مانینگ به میزان ۵۰ درصد از مقدار اولیه گردید و مجدداً مدل HEC-RAS اجرا گردید. احداث سد نقش بسزایی در کاهش سیلاب رودخانه کر داشته است، بطوری که احداث سد مذکور باعث شده است که برخی از پارامترها مانند تراز سطح آب، سرعت جریان آب، مساحت جریان آب، میزان دبی در رودخانه و همچنین سیلاب‌دشت‌های آن کاهش یابد. نتایج آنالیز حساسیت برخی از پارامترها نسبت به ضریب زبری مانینگ نشان داد که با کاهش ضریب زبری مانینگ، برخی از پارامترها نظیر تراز سطح آب و مساحت جریان نیز کاهش و پارامترهای نظیر سرعت جریان آب، دبی رودخانه، دبی رودخانه در ساحل سمت راست و چپ افزایش یابد و بالعکس.

واژگان کلیدی: رودخانه کر، ضریب زبری، HEC-RAS، آنالیز حساسیت

[sohrabiv@ymail.com](mailto:sohrabiv@ymail.com)

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان؛ (نویسنده مسئول)

[farshid.hashemipour@gmail.com](mailto:farshid.hashemipour@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی لارستان، ایران

[hamid.pourshahi@gmail.com](mailto:hamid.pourshahi@gmail.com)

<sup>۳</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، سیرجان، ایران

## مقدمه

رسانید. انجام این تمهیدات خود ملزم به پیش بینی نحوه وقوع سیلاب و مشخصات آن است. اطلاع از میزان و چگونگی تغییرات دبی و حجم در زمان و مکان اهمیت ویژه‌ای در پیش‌بینی سیلاب دارد (عطاری، ۱۳۹۰).

طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده بیش از چهل نوع بلای طبیعی در سطح جهان تشخیص داده شده که وقوع ۳۱ مورد آن در ایران ثبت شده است. بر اساس آمار ستاد حوادث غیرمترقبه کشور بالاترین میزان خسارات مالی ناشی از حوادث غیرمترقبه پس از خشکسالی بر اثر سیل بوده است.

برای تعیین عوامل هیدرولیکی نظیر عمق و سرعت جریان، نیاز به تعیین ضریب زبری هیدرولیکی جریان می‌باشد. در کلیه مطالعات مهندسی رودخانه و طراحی سازه‌های متقاطع رودخانه نظیر پل‌ها، سدهای انحرافی و یا دهانه‌های آبگیر که دانستن عمق و سرعت جریان ضروری است، تعیین دقیق ضریب زبری موردنیاز خواهد بود. ضریب زبری هیدرولیکی در شرایط متنوع و پیچیده رودخانه‌ها متأثر از عوامل مختلفی می‌باشد، بنابراین تحقیقات گسترده‌ای بر روی شرایط متنوع جریان در رودخانه‌ها صورت پذیرفته و طیف گسترده‌ای از روابط ارائه شده است. به همین علت، شناخت کامل کارشناسان مطالعات مهندسی رودخانه از عوامل مؤثر و شرایط متنوع رودخانه‌ها، مقدم بر تعیین ضریب زبری رودخانه‌ها می‌باشد و تسلط این کارشناسان به انواع روابط تعیین ضریب زبری در شرایط متنوع رودخانه ضروری است.

تلاش دانشمندان و محققان، در جهت درک بهتر از پدیده‌های اساسی که رفتار فرایندهای ژئوفیزیکی در پیش‌گویی وضعیت‌های آبی را کنترل می‌کنند و همچنین ترکیب این وضعیت‌های پیش‌بینی شده برای طراحی، از

رودخانه‌ها و آبراهه‌ها تحت‌تأثیر عوامل طبیعی و یا دخالت‌های انسان دچار فرسایش بستر، فرسایش کناره‌ها و جابه‌جایی عرضی می‌شوند. فرسایش رودخانه‌ای به نوبه خود موجب بروز خطرات و خسارات عدیده‌ای برای اراضی مجاور رودخانه‌ها و مستحدمات ساحلی می‌شود، به‌طوری‌که سالانه میلیون‌ها تن از خاک‌های بارزش اراضی حاشیه رودخانه‌ها دچار فرسایش شده و علاوه بر هدررفتن خاک بارزش، موجب ازبین‌رفتن زمین‌های کشاورزی و پرشدن مخازن سدها و کاهش عمر مفید آنها و همچنین ایجاد مشکلات زیادی در بهره‌برداری از تأسیسات آبیگری و انتقال آب می‌شود. بستر رودخانه‌ها خاکی است و به همین دلیل یک بستر ناپایدار است و احتمال تغییر در فرم رودخانه به‌مرورزمان وجود دارد که تغییر فرم باعث واردشدن خساراتی به زمین‌های اطراف می‌شود (عباسی چناری، ۱۳۹۱).

سیل همواره در ایران نیز خسارات جانی و مالی فراوانی به همراه داشته است. در این زمینه می‌توان به سیل ساله‌ای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ استان گلستان اشاره نمود که تنها بر اثر سیل مردادماه ۱۳۸۰ حدود ۲۱۷ نفر کشته، صدها نفر بی‌خانمان شده و حدود ۵۰۰ میلیارد ریال به تأسیسات زیربنائی اعم از جاده و پل خسارت وارد شده است (شرکت مهندسين مشاور لار، ۱۳۸۴). وقوع مکرر چنین سیلاب‌هایی در منطقه سبب نگرانی شدید مردم و مسئولین شده تا جایی که بررسی این پدیده و ارائه راهکارهای مؤثر برای مقابله و یا پیشگیری از آن ضروری به نظر می‌رسد. بدیهی است جلوگیری از وقوع سیلاب و یا کنترل کامل آن ناممکن است؛ ولی با اتخاذ تمهیداتی می‌توان خسارات ناشی از آن را به حداقل

زیادی ندارد؛ ولی در بخش پایاب که در دشت جریان دارد، دارای عمق بیشتری بوده و دیواره‌های آن در معرض فرسایش قرار دارند. به این ترتیب وقوع سیلاب بیشتر در مناطق پائین اتفاق می‌افتد. اصولاً دو زیرحوضه اصلی دریاچه بختگان حوضه‌های کر و سیوند هستند و عمده اطلاعات در خصوص سابقه خسارات سیل در این منطقه تفکیک نشده و در قالب شهرها و روستاهای استان فارس در محدوده رودخانه‌های کر و سیوند جمع‌آوری شده است.



شکل ۴-۱: موقعیت رودخانه کر (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

حوزه آبریز رودخانه کر در استان فارس با مساحتی در حدود ۳۱۵۰۰ کیلومتر مربع بین طول‌های ۴۵' ۵۱° تا ۳' ۵۴° شرقی و عرض‌های ۲۲' ۲۹° تا ۱۵' ۳۱° شمالی واقع است. این رودخانه از الحاق سرشاخه‌های تنگ براق و شور

موارد قابل توجه است. از آنجایی که این فرایندها همواره در طبیعت پیچیده و پویا هستند، مدل‌هایی با درجات مختلف ساده‌سازی برای پیش‌بینی رفتار سیستم توسعه یافتند. جهت حفاظت مناسب جامعه و محیط از اثرات وقوع سیلاب مانند: رواناب، فرسایش و آلودگی آب، انتخاب و کاربرد مدل‌های مناسب تجزیه و تحلیل مدیریت سیلاب لازم و ضروری است. از این قبیل مدل‌ها بایستی ارائه مناسبی از رفتارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیستم‌های زهکشی داشته باشند (آدامز و پاپا، ۲۰۰۰). مدل‌های شبیه‌سازی مبنای کامپیوتری دارند که بخشی از معادلات چرخه آب را ارائه می‌دهند و برای پیش‌بینی میزان و عمق جریان آب، پتانسیل شستشو و بار رسوب استفاده می‌شوند. مدل‌های مذکور باید دربرگیرنده محاسبات زبری‌های سطحی، مقاومت جریان، حرکت آب، شیب‌های سطحی، عمق‌های رودخانه و خصوصیات خاک باشند (وسترولت، ۲۰۰۱).

مهم‌ترین نقش مدل‌های کامپیوتری، امکان‌پذیر ساختن ارتباط منطقی بین فرایندهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، کیفیت آب و اقتصادی - اجتماعی با صرف هزینه معقول است. انتخاب مدل مناسب باید پس از ارزیابی همه‌جانبه نیازها، شناسایی امکانات موجود و بررسی مدل‌های قابل‌دسترس صورت گیرد. استفاده از مدل‌های کامپیوتری در سیستم‌های جمع‌آوری و تخلیه آب‌های مازاد غالباً باهدف بررسی وضعیت موجود یا تشخیص مشکلات و ارائه روش برای حل مشکلات صورت می‌گیرد (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵).

رودخانه کر یکی از زیرحوضه‌های بالادست حوضه دریاچه بختگان است. فرم شبکه آبراه‌های در سرشاخه‌ها درختی ولی شبکه اصلی آن به صورت مستطیلی است. بستر این رودخانه در بالادست عمق



شکل ۲=۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)



شکل ۳-۱: موقعیت رودخانه کر (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

شیرین تشکیل شده و تا دریاچه سد درودزن و پس از آن دریاچه بختگان جریان دارد. رودخانه کر با طول ۲۸۳ کیلومتر بزرگ‌ترین رودخانه استان فارس بوده و بالاترین میزان اشتغال در کشاورزی و صنعت منطقه مرودشت، مدیون وجود آن است. منطقه مورد مطالعه در این گزارش شامل ۱۰ کیلومتر از طول رودخانه از پل عباس‌آباد تا ۵ کیلومتر بالاتر از پل فلزی به سمت چم سهراب خانی از بخش کام فیروز توابع شهرستان مرودشت می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در شمال غرب شهرستان شیراز و نیز در فاصله ۰۳ کیلومتری غرب شهرستان مرودشت، در استان فارس واقع شده است.

دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق بزرگراه شیراز، مرودشت و پس از آن جاده آسفالتی کوشک، درودزن و کام فیروز امکان‌پذیر است. استفاده از این مسیر باتوجه به مناسب بودن جاده و امنیت بزرگراه توصیه می‌شود از مسیر جاده‌های درجه ۲ شیراز، دوراهی شول، بیضا، دشمن زیاری و در نهایت کام فیروز نیز دستیابی به منطقه در زمان کوتاه‌تری انجام می‌پذیرد و همچنین جاده‌های بین روستاها و مزارع و باغات امکان دسترسی به بخش‌های مختلف منطقه را فراهم نموده است. شکل ۱-۱ تصویر ماهواره‌ای منطقه و شکل ۲=۱ راهی دسترسی به رودخانه مورد نظر را نشان می‌دهد



شکل ۱-۱: موقعیت مکانی محدوده مطالعاتی (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

## روش تحقیق

### جمع‌آوری و گردآوری اطلاعات

ابتدا اطلاعات اصلی که به نحوی بستر لازم برای مدل‌سازی را هموار می‌سازند شامل اطلاعات نقشه‌برداری، اطلاعات هیدرولوژی، اطلاعات مربوط به سازه‌های موجود بر روی رودخانه و ضریب زبری می‌باشد را از سازمان آب، شرکت‌های مشاور و کتابخانه‌های موجود جمع‌آوری نموده و گردآوری می‌کنیم که این اطلاعات به دودسته تقسیم می‌شود.

اطلاعات نقشه‌برداری (اطلاعات مقاطع)

اطلاعات مقاطع عبارت‌اند از پروفیل عرضی هر مقطع رودخانه، اطلاعات دو پل موجود در بازه مورد مطالعه و ... در این بازه از رودخانه کر که شامل ۱۰ کیلومتر از پل عباس‌آباد تا ۵ کیلومتر بالاتر از پل فلزی به سمت چم سهراب خانی از بخش کام فیروز توابع شهرستان مرودشت می‌باشد، اطلاعات ۱۱۶ مقطع عرضی و مقاطع دو دهانه پل‌های مذکور که حساس‌ترین تأسیسات از نظر تأثیرگذاری بر روی هیدرولیک جریان هستند برداشت شد. شکل ۲ محل شروع عملیات این تحقیق یعنی ایستگاه هیدرومتری پل عباس‌آباد را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمایی از ایستگاه هیدرومتری پل عباس‌آباد به همراه پل تله‌فریک (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۳۹۹)

اطلاعات مقاطع شامل X و Y مقاطع، ضریب زبری مانینگ مقاطع، فاصله بین دو مقطع شامل ساحل چپ، ساحل راست و میان رودخانه و اطلاعات مربوط به پل‌ها شامل مشخصات عرشه پل پایه‌های پل و نیز شیب کناری پل می‌باشد. برداشت مقاطع عرضی جهت تشابه هرچه بیشتر مدل در مکان‌های زیر انجام شده است:

طی سال‌های اخیر نرم‌افزارهای زیادی همانند HEC-RAS، SEFLOW، STARS، MIKE ۱۱، و ISIS غیره جهت شبیه‌سازی، مدیریت بهره‌برداری، کنترل رسوب و غیره برای رودخانه‌ها تهیه شده است. یکی از بسته‌های نرم‌افزاری مهندسی رودخانه مطرح در سطح دنیا مدل HEC-RAS می‌باشد که این مدل از ۶ مدل فرعی جهت محاسبات هیدرولوژیکی، مشخصه‌های جریان، حجم مخزن سدها، شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه‌ها و مدیریت بهره‌برداری از مخازن و تغییرات ریخت‌شناسی بستر رودخانه ناشی از رسوب‌گذاری تشکیل شده است (عبدالمهی، ۱۳۸۵).

با عنایت به قابلیت دسترسی و استفاده رایگان از این مدل و قابلیت اجرا در محیط ویندوز و جدول‌بندی و نمایش گرافیکی داده‌های ورودی و خروجی و همچنین سادگی استفاده و مدل‌سازی و سایر ویژگی‌های مدل HEC-RAS می‌تواند مدل مناسبی جهت انجام کارهای تحقیقاتی باشد (جبلی فرد، ۱۳۸۱).

به‌طور کلی برای انجام این تحقیق مراحل زیر صورت می‌گیرد:

۱. انتخاب بازه‌ای به طول حدود ۲۵ کیلومتر
۲. تعیین حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه کر با دوره بازگشت‌های مختلف.
۳. تهیه داده‌های اولیه مدل HEC-RAS توسط نرم‌افزار ArcGIS و برنامه‌های الحاقی آن مانند برنامه HEC-GEO-RAS
۴. انتخاب ضریب زبری اولیه برای کف رودخانه و همچنین سیلاب‌دشت‌های سمت راست و چپ آن بر اساس مشاهدات میدانی.
۵. مدل‌سازی جریان رودخانه کر به‌ازای حداکثر دبی لحظه‌ای با دوره بازگشت ۲۵ سال
۶. آنالیز حساسیت ضریب زبری در مدل HEC-RAS و بررسی اثر ضریب زبری بر روی برخی از پارامترهای هیدرولیکی جریان.

مختلف اکتفا گردیده است . با بررسی اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر رودخانه کر در نهایت از بین ایستگاه‌های واقع بر روی رودخانه کر ایستگاه چمریز درجه یک بوده و مجهز به امکانات لمینوگراف، پل تلفریک و اشل می‌باشد.

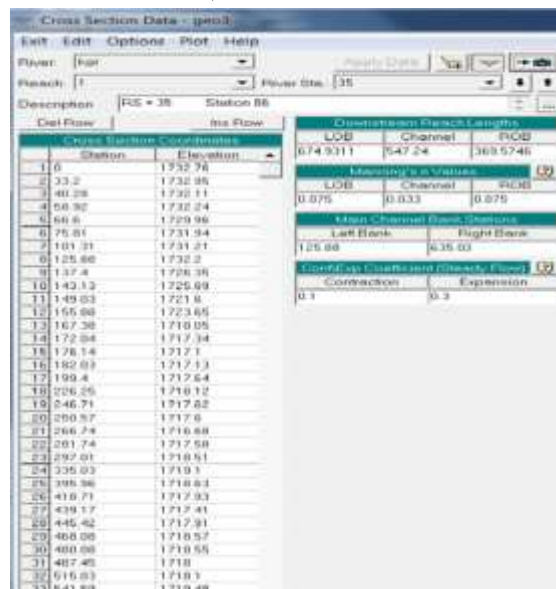
برآورد طغیان‌ها با دوره برگشت مختلف در شرایط رژیم طبیعی در بازه مورد مطالعه

تعیین رژیم سیلابی رودخانه کر با دو هدف تعیین دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف و به دست آوردن هیدروگراف‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه‌های آب‌سنجی انجام یافته است. در این راستا آمار و اطلاعات مربوط به دبی حداکثر روزانه و حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های منتخب تا سال ۹۴-۹۳ جمع‌آوری شد.

تکمیل، تصحیح و یا حذف آمار و اطلاعات مشکوک مربوط به دبی حداکثر روزانه و لحظه‌ای، در این راستا در صورت نیاز با بهره جستن از روابط همبستگی بین دبی حداکثر روزانه و ایستگاه موردنظر با سایر ایستگاه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین رابطه و متجانس‌ترین ایستگاه‌ها به این مهم پرداخته شد . پس از تکمیل آمار دبی حداکثر روزانه، رابطه رگرسیون دبی حداکثر روزانه با دبی حداکثر لحظه‌ای در هر ایستگاه تعیین گردید و براین اساس دبی حداکثر لحظه‌ای مفقود در هر ایستگاه تعیین شد.

در این راستا بر اساس ارقام دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه‌های منتخب و بهره جستن از نرم‌افزار SMADA به برآورد دبی با دوره بازگشت‌های مختلف در هر ایستگاه اقدام گردید . نتایج حاصل برای ایستگاه چمریز به صورت جدول زیر است. (جدول ۱)

در مکان‌هایی که پیچ رودخانه شروع شده و در وسط پیچ و انتهای پیچ‌ها در نقاطی که تغییر محسوس در عرض و یا شیب رودخانه به وجود آمده است در کنار روستاها به دلیل اهمیت تعیین بستر و حریم در این محدوده‌ها



شکل ۳: نمونه‌ای از اطلاعات وارد شده به یک مقطع عرضی (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

#### اطلاعات جریان

عبارت‌اند از دبی‌های با دوره بازگشت چندساله و عمق نرمال اطلاعات هیدرولوژی به‌عنوان شرایط مرزی در روندیابی هیدرولیکی رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در سرشاخه‌های ورودی و در نقاط مختلف در طول رودخانه مورد نیاز می‌باشد . در این محدوده ایستگاه‌های آب‌سنجی زیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

ایستگاه تنگ براق

ایستگاه جمال بیگ شور خارستان

ایستگاه جمال بیگ شور شیرین

ایستگاه منجان

ایستگاه بادامک

ایستگاه چمریز

در محاسبات باتوجه به موقعیت آبراهه دزکر و مصارف آن ( در نتیجه فصلی بودن آن ) و آمار موجود تنها به استفاده از مقادیر دبی سیلاب در دوره بازگشت‌های

جدول (۱): دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف

در ایستگاه چمریز

سال

۲۰	۱۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۳	۲
۰	۰						
۱۳	۱۲	۱۰	۹۲	۷۲	۵۷	۴۵	۳۴
۴۷.	۰۶.	۶۲.	۲.	۹.	۷.	۶.	۷.
۹	۷	۹	۱	۶	۲	۲	۱

توزیع آماری منتخب  
دوره بازگشت  
دبی (متر مکعب بر ثانیه)  
گمبل تیب ۱

شبیه‌سازی می‌کند. در مدل HE-RAS روندیابی رسوب با استفاده از معادله اکسنر ۱ صورت می‌گیرد. معادله بقای جرم برای رسوب با توجه به معادله اکسنر به صورت رابطه (۱-۱) می‌باشد:

رابطه ۱-۱

$$(1 - \lambda_p) B \frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x}$$

به‌طور کلی در HEC RAS یک پروژه مجموعه‌ای از فایل‌های داده‌های مرتبط با یک سیستم رودخانه خاص می‌باشد. کاربر می‌تواند یک

یا چند نوع مختلف تحلیل‌هایی که در بسته نرم‌افزاری HEC RAS گنجانده شده است را به‌عنوان بخشی از پروژه انجام دهد (غلامی و خلیلی، ۱۳۹۴).

مولفه‌های تحلیل هیدرولیکی

محاسبات هیدرولیکی برای مقطع عرضی، پل‌ها، کالورت‌ها و سایر سازه‌های هیدرولیکی دیگری که برای مؤلفه جریان ماندگار تهیه شده بودند، در مدول جریان غیرماندگار نیز تعبیه شده‌اند.

این مدل برای شبیه‌سازی روندهای بلندمدت آبشستگی و رسوب‌گذاری در یک آبراهه که ممکن است از اصلاح فراوانی و مدت دبی و عمق جریان آب با اصلاح هندسه کانال ناشی شود، طراحی شده است. از این سیستم می‌توان برای ارزیابی رسوب‌گذاری در مخازن، طراحی بخش‌های همگرا شونده کلنال که برای تثبیت عمق آب جهت کشتیرانی لازم می‌باشد، پیش‌بینی اثر لایروبی بر میزان رسوب‌گذاری تخمین حداکثر آبشستگی ممکن در طی رخداد سیلاب‌های بزرگ و ارزیابی و رسوب‌گذاری در کانال‌های غیر فرسایشی استفاده نمود (غلامی و خلیلی، ۱۳۹۴).

چگونگی ایجاد یک مدل هیدرولیکی در HEC-RAS

وارد کردن داده‌های جریان و شرایط مرزی اعم از انواع پروفیل‌ها و دبی مربوط به هر کدام، موقعیت‌هایی که دبی تغییر می‌کند، شرایط مرزی (منظور از داده‌های شرایط مرزی انتخاب یکی از موارد: سطح آب معلوم، عمق بحرانی،

محاسبه تأثیر مخزن سد ملاصدرا بر سیلاب‌های رودخانه کر

سیلاب‌های طبیعی (ابعاد هیدروگراف) رودخانه کر در بالادست سد ملاصدرا به کمک آمار دبی سیل ایستگاه تنگ براق محاسبه و به‌عنوان سیلاب‌های ورودی مخزن سد ملاصدرا در نظر گرفته شده است. محاسبه تأثیر مخزن سد در مقابل سیلاب‌های مذکور که به نام روندیابی سیلاب در مخزن معروف است که توسط سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوزه‌ها و بر اساس سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف انجام شده و نتایج آن آورده خواهد شد.

مدل HEC-RAS

مدل HEC RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا (USACE) توسعه یافته و در آخرین نگارش خود علاوه بر قابلیت‌های قبلی توانایی تحلیل فرایند رسوب، فرسایش و کیفیت را نیز دارا می‌باشد.

این نرم‌افزار یک مدل یک‌بعدی برای شبیه‌سازی جریان و رسوب می‌باشد و تغییرات پروفیل طولی بستر رودخانه را در اثر رسوب‌گذاری و فرسایش برای دوره‌های طولانی مدت

داده‌ها بزرگ‌تر و کوچک‌تر هستند و ستون پنجم مجموع دنباله‌ها، ستون ششم حد مجاز برای همین بودن سری زمانی و ستون ۷ نتیجه آزمون همگنی را نشان می‌دهد.

جدول (۲): داده‌های سری زمانی

ستون (۱)	ستون (۲)	ستون (۳)	ستون (۴)	ستون (۵)	ستون (۶)	ستون (۷)
نام ایستگاه	میانگین (مترمکع)	تعداد داده‌ها	تعداد داده‌های کوچک	تعداد حالات	حد مجاز	نتیجه
ب بر (ثانیه)	ب بر (ثانیه)	ی بالاتر از میانگین	ی کوچک‌تر از میانگین	ب بر (ثانیه)	۲۷-۲۰	همگن
چمریز	۲۰۴۷.۵	۱۹	۲۰	۲۰	۱۳	ن

تعیین دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال قبل از احداث سد به منظور تعیین میزان سیلاب رودخانه کر به‌ازای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف و همچنین قبل از احداث سد کر، پس از بررسی همگنی و همچنین آزمون داده‌های پرت سری زمانی حداکثر دبی لحظه‌ای این رودخانه در ایستگاه آب‌سنجی چمریز، اقدام به برآزش ۶ توزیع آماری به نام‌های نرمال (N)، لوگ نرمال ۲ پارامتری (LN(۲P))، لوگ نرمال ۳ پارامتری (LN(۳P))، پیرسون تیپ ۳ (P۳)، لوگ پیرسون تیپ ۳ (LP۳) و گامیل (G) بر روی این سری زمانی توسط نرم‌افزار ۶ SMADA گردید. بر اساس تابع چگالی احتمال تابع توزیع احتمالاتی لوگ پیرسون تیپ ۳، میزان سیلاب رودخانه مذکور به‌ازای دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب برابر با ۱۸۶۹/۴۱، ۳۷۳۰/۵۱، ۴۴۱۰/۵۴، ۴۸۱۴/۲۶ و ۵۱۴۴/۲۰ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد (شکل‌های ۴ تا ۸).

عمق نرمال، منحنی سنجه به‌عنوان شرط مرزی برای انجام محاسبات هیدرولیکی است).

کالیبراسیون و ارزیابی هیدرولیکی جریان در مدل HEC-RAS

اصولاً پس از تهیه و ورود اطلاعات هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و هندسی به هر مدل رودخانه و اجرا مدل، جواب‌های خروجی از مدل باید مورد بررسی قرار گیرند و با یک‌سری از اطلاعات صحیح ثبت شده این جواب‌ها مقایسه گردند و اختلاف بین این جواب‌ها و اطلاعات ثبت شده را تعیین نمود و سپس با استفاده از یک پارامتر مناسب این اختلاف را کاهش داد تا به یک مقدار قابل قبول رسید.

منحنی دانه‌بندی خاک

فرایند دانه‌بندی خاک بر اساس دستور کار سامانه اتحادیه دسته‌بندی خاک یا سامانه دسته‌بندی خاک آشتو صورت می‌گیرد. به این ترتیب که اندازه دلنه‌های خاک و توزیع آن را بدست می‌آورند و منحنی نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی را رسم می‌کنند. سپس ضریب‌های یکنواختی Cu و انحنا Cc را بدست می‌آورند و آن‌ها را با حدهای دانه‌بندی که در دسترس است مقایسه می‌کنند (گرگین پور و لیاقت، ۱۳۹۳).

ضریب زبری

در این تحقیق به منظور تعیین ضریب زبری کف رودخانه کر، از رابطه استری کلر ۲ (رابطه ۲-۱) استفاده خواهد شد (گرگین پور و لیاقت، ۱۳۹۳):

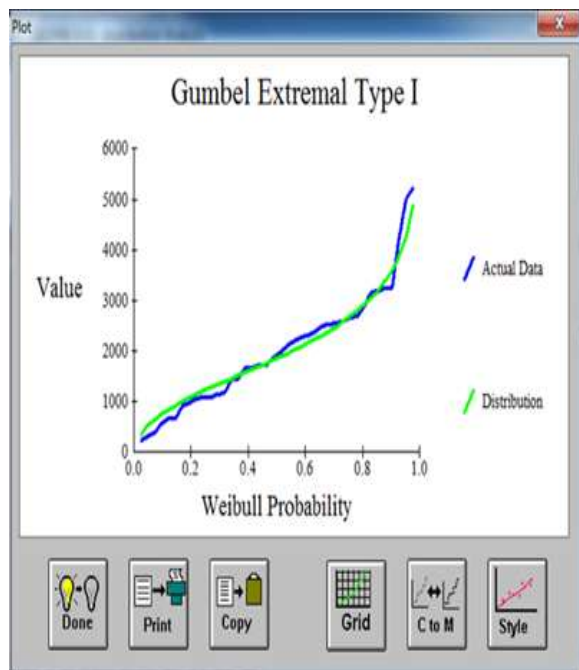
$$n = 0.0474d_{50}^{\frac{1}{6}} \quad \text{رابطه ۲-۱}$$

نتایج

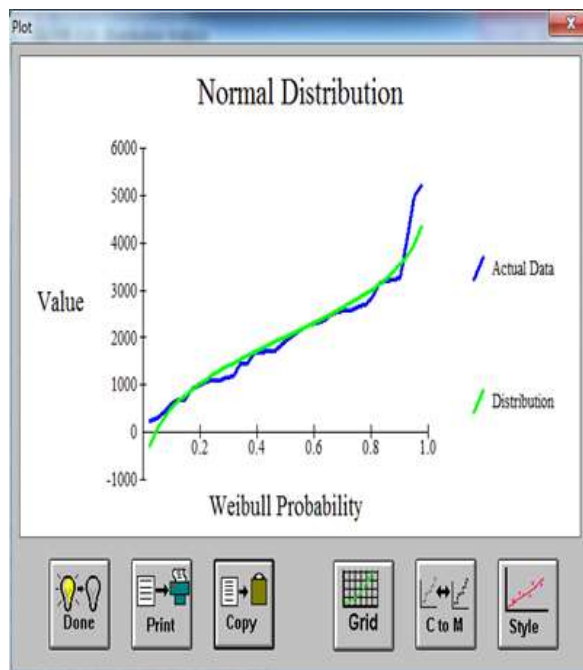
همگنی (تصادفی بودن) داده‌ها

به منظور بررسی همگنی (تصادفی بودن) داده‌های سری زمانی حداکثر دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی چمریز از آزمون همگنی ران تست استفاده گردید. محتویات جدول (۲) نتایج آزمون ران تست را نشان می‌دهد. در این جدول ستون دوم میانگین سری زمانی، ستون سوم و چهارم به ترتیب تعداد داده‌هایی که در سری زمانی از میانگین

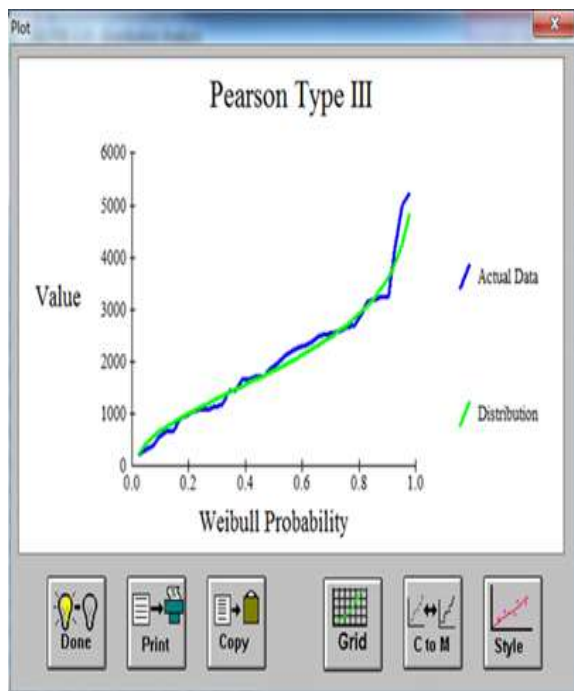




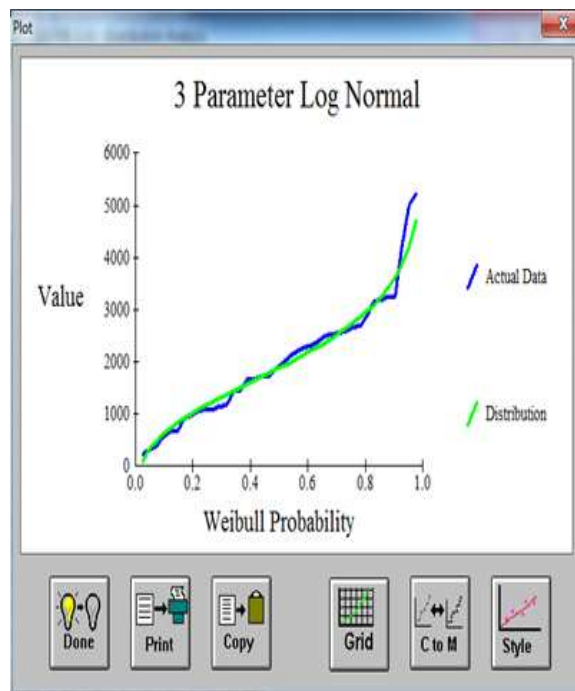
شکل ۶: برازش توزیع آماری گامبل با داده‌ها (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱))



شکل ۴: برازش توزیع آماری نرمال با داده‌ها (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱))



شکل ۷: برازش توزیع آماری پی‌رسون با داده‌ها (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱))



شکل ۵: برازش توزیع آماری نرمال ۳ پارامتری با داده‌ها (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱))

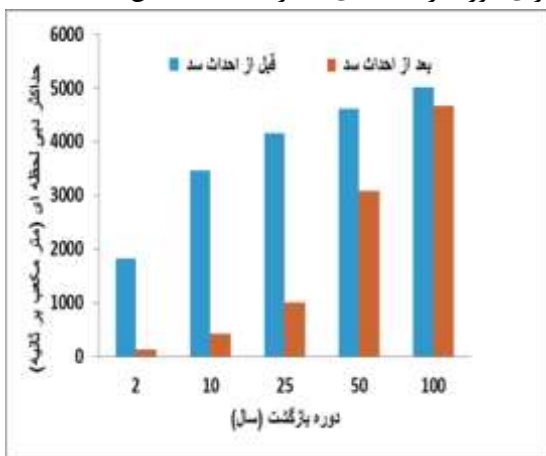
این گزارش مقادیر سیلاب رودخانه کر در شرایط تنظیمی به صورت جدول (۳) می باشد.

جدول (۳): مقادیر سیلاب رودخانه کر

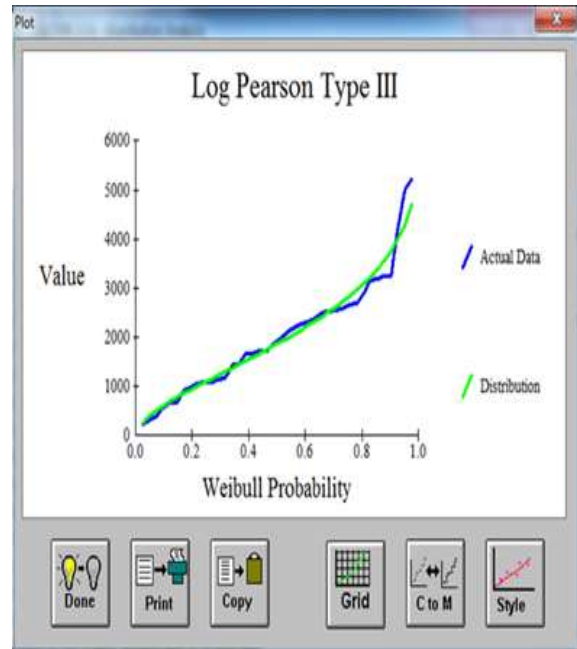
مقطع زمانی	دوره بازگشت (سال)				
	۲	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دبی سیلاب (مترمکعب در ثانیه)	۱۳	۴۲	۱۰۰	۳۰۷	۴۶۷
	۰	۰	۰	۷	۰

مقایسه سیلاب رودخانه کر در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا

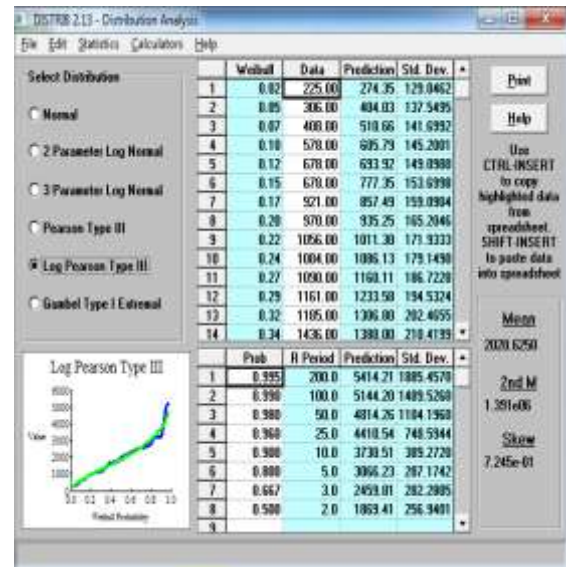
با مقایسه مقادیر دبی سیلابی رودخانه کر قبل از احداث سد و بعد از احداث سد مشخص می گردد که سیلاب رودخانه به ازای دوره بازگشت های مختلف به شدت کاهش می یابد. به طوری که سیلاب دوساله که در حالت طبیعی رودخانه ۱۸۲۹ مترمکعب در ثانیه بوده است، با احداث سد به ۱۳۰ مترمکعب در ثانیه کاهش یافته است که حدود ۱۴ برابر تنزل را نشان می دهد. برای دوره بازگشت ۱۰ مقدار تنزل دبی حدود ۸ برابر را نشان می دهد. به عبارت دیگر هر چه دوره بازگشت بزرگتر می شود میزان سیلاب طبیعی و تنظیمی به هم نزدیک تر می گردد. این مسئله در شکل (۱۰) به وضوح دیده می شود. همان طوری در شکل نمایان است کاهش دبی برای تا دوره بازگشت ۲۵ ساله زیاد بوده ولی برای دوره بازگشت های بالاتر اختلاف کاهش یافته است.



شکل ۱۰: مقایسه سیلاب های رودخانه کر قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)



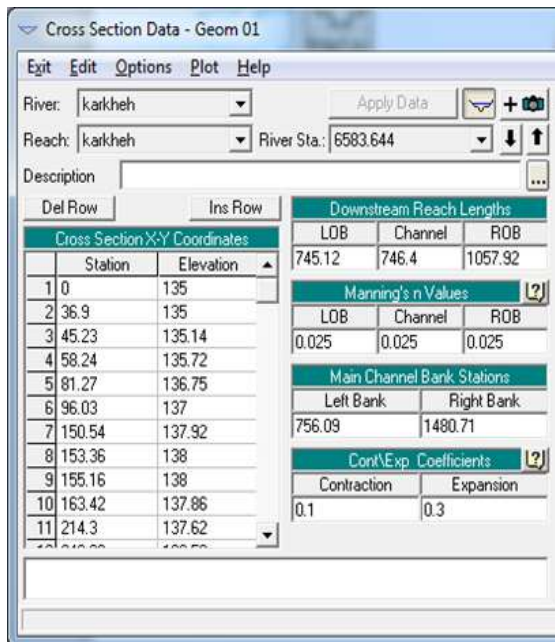
شکل ۸: برازش توزیع آماری لوگ پیرسون با داده ها (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)



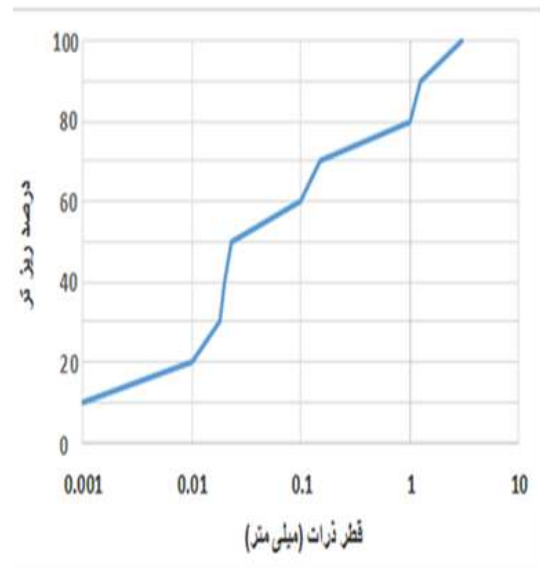
شکل ۹: نتایج توزیع های آماری در نرم افزار SMADA

تعیین دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال بعد از احداث سد (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

به منظور تعیین دبی حداکثر سیلاب لحظه ای ایستگاه هیدرومتری چمبریز بعد از احداث سد کر از گزارش دستورالعمل بهره برداری از سد مخزنی کر که توسط سازمان آب استان فارس تهیه شده است، بهره گرفته شد. بر اساس

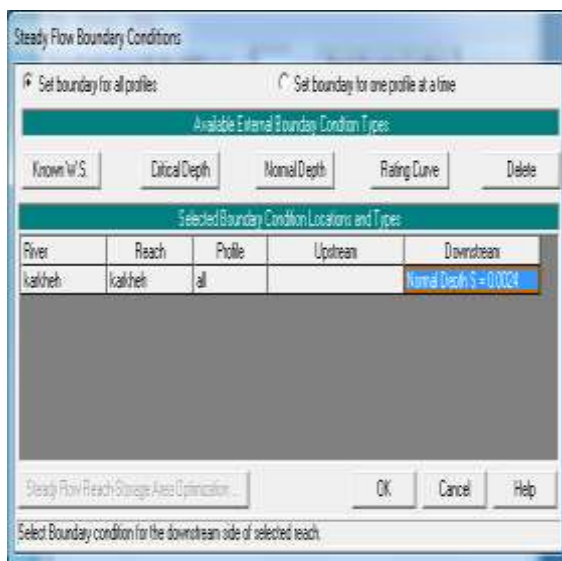


شکل ۱۲: وارد کردن داده‌های مربوط به ضریب زبری رودخانه کر (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)



شکل ۱۱: منحنی دانه‌بندی خاک رودخانه کر

مدل‌سازی جریان رودخانه قبل از احداث سد ملامصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)



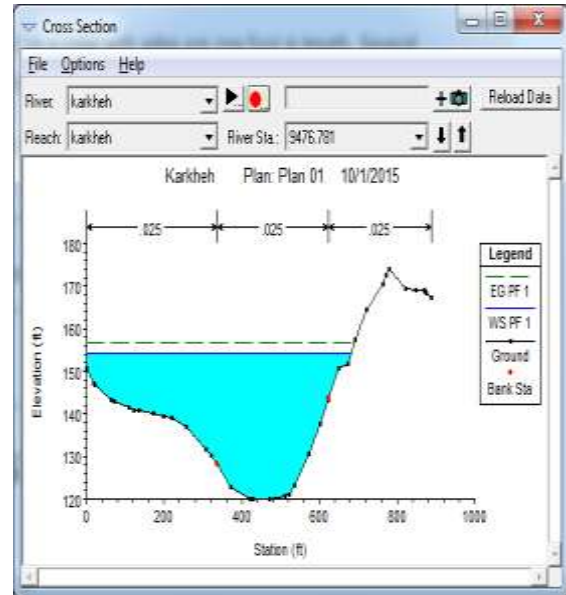
شکل ۱۳: وارد کردن داده‌های مربوط به ضریب زبری رودخانه کر (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

به‌منظور مدل‌سازی جریان رودخانه کر قبل از احداث سد ملامصدرا، داده‌های هندسی رودخانه که توسط برنامه HEC-GeoRAS تهیه شده بود وارد محیط نرم‌افزاری HEC-RAS وارد نرم‌افزار HEC-RAS شد و زبری مانینگ کف رودخانه و همچنین دشتهای سیلابی سمت چپ و راست هر یک از مقاطع عرضی رودخانه وارد نرم‌افزار گردید. در ادامه از حداکثر دبی لحظه‌ای با دوره بازگشت ۲۵ سال به‌عنوان شرایط مرزی بالادست و از روش عمق نرمال نیز برای شرایط مرزی پایین‌دست جریان استفاده شد. خاطرنشان می‌شود که در روش عمق نرمال فقط کافی است که شیب رودخانه در پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری چم‌ریز وارد نرم‌افزار گردد. شکل (۱۲) نحوه وارد نمودن ضریب زبری کف و دشتهای سیلابی یکی از مقاطع عرضی رودخانه کر را نشان می‌دهد.

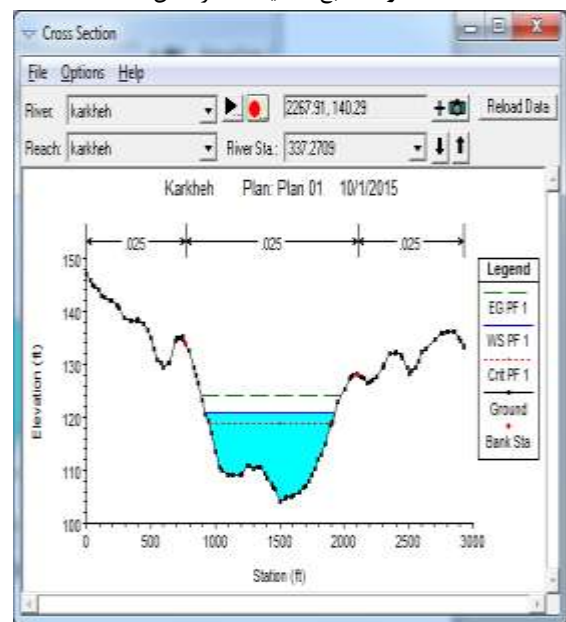
شکل (۱۳) مکان وارد نمودن شیب رودخانه در پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری چم‌ریز به‌عنوان شرایط مرزی پایین‌دست جریان را نشان می‌دهد. پس از وارد نمودن داده‌های موردنیاز و همچنین شرایط مرزی جریان در بالا و پایین‌دست رودخانه کر، مدل HEC-RAS اجرا گردید.

دبی ساحل سمت راست (M <sup>3</sup> /S)	دبی رودخانه (M <sup>3</sup> /S)	دبی ساحل سمت چپ	عدد فود	مساحت جریان (M <sup>2</sup> )	سرعت جریان (M/S)	تراز انرژی (M)	تراز بحرانی (M)	تراز سطح آب (M)	رقوم بستر (M)	فاصله از ایستگاه (M)	مقطع عرضی رودخانه
۹	۵	۰	۴	۴	۴	-	۴	۲	۰	۱	۱
۴	۷	۰	۴	۲	۲	-	۲	۶	۰	۲	۲
۲	۶	۲	۵	۰	۰	-	۰	۰	۰	۳	۳
۳	۲	۶	۵	۸	۸	-	۵	۵	۰	۴	۴
۸		۹	۱	۱	۳	-	۳	۸	۰	۵	۵
۳	۹	۲	۵	۴	۴	-	۴	۳	۲	۶	۶
۳	۶	۷	۰	۸	۲	-	۲	۴	۵	۷	۷
۶	۸	۸	۲	۶	۰	-	۰	۰	۰	۸	۸
۷	۹	۳	۴	۷	۷	-	۵	۲	۱	۹	۹
۵		۱	۴	۴	۸	-	۸	۰	۰	۱۰	۱۰
-	۹	۸	۰	۲	۴	-	۴	۳	۲	۱۱	۱۱
۱	۲	۰	۲	۲	۱	-	۱	۱	۷	۱۲	۱۲
۷	۲	۹	۵	۰	۰	-	۰	۰	۰	۱۳	۱۳
۷	۵	۹	۰	۵	۵	-	۳	۳	۳	۱۴	۱۴
۵		۱	۶	۶	۱	-	۱	۶	۰	۱۵	۱۵
۶	۹	۱	۰	۶	۴	-	۴	۳	۱	۱۶	۱۶
۶	۷	۳	۰	۹	۱	-	۱	۳	۵	۱۷	۱۷
۵	۹	۴	۰	۰	۰	-	۰	۰	۰	۱۸	۱۸
۸	۶	۳	۸	۴	۴	-	۲	۸	۰	۱۹	۱۹
۹		۲	۰	۰	۹	-	۹	۳	۷	۲۰	۲۰
-	۸	۱	۰	۲	۴	-	۴	۳	۲	۲۱	۲۱
۹	۰	۰	۲	۱	۱	-	۰	۰	۶	۲۲	۲۲
۹	۰	۸	۹	۰	۰	-	۰	۰	۰	۲۳	۲۳
۵	۴	۹	۹	۱	۱	-	۰	۰	۱	۲۴	۲۴
۳	۷	۱	۹	۹	۹	-	۹	۴	۰	۲۵	۲۵
-	۹	۹	۰	۷	۳	-	۳	۳	۲	۲۶	۲۶
۹	۷	۰	۹	۹	۹	-	۸	۳	۸	۲۷	۲۷
۰	۹	۲	۷	۰	۰	-	۰	۰	۹	۲۸	۲۸
۲		۲	۶	۰	۰	-	۹	۸	۳	۲۹	۲۹
۱		۹	۷	۷	۸	-	۸	۳	۱	۳۰	۳۰
۱	۹	-	۰	۲	۳	-	۳	۳	۳	۳۱	۳۱
۴	۸	۰	۵	۸	۸	-	۷	۸	۴	۳۲	۳۲
۱	۵	۸	۱	۰	۰	-	۰	۰	۰	۳۳	۳۳
۳		۵				-				۳۴	۳۴

شکل‌های (۱۴) و (۱۵) عمق آب در رودخانه کر را در محل مقطع عرضی شماره یک و شماره ۱۳ نشان می‌دهد.

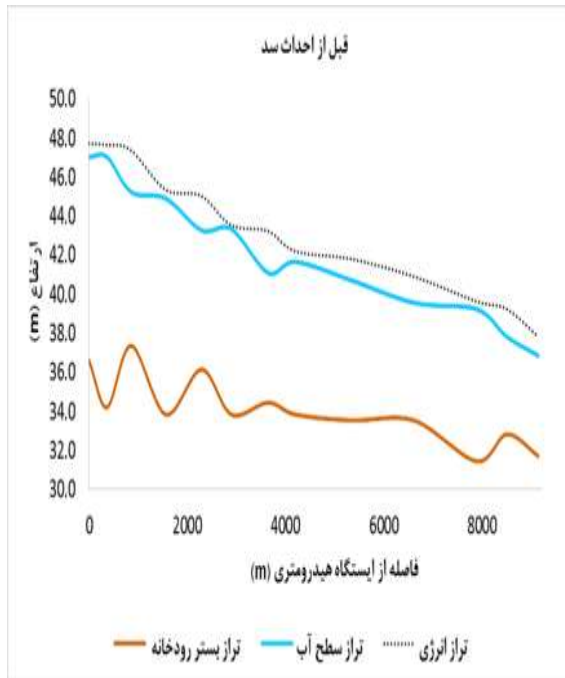


شکل ۱۴: عمق آب در مقطع عرضی شماره یک (قبل از احداث سد ملاصدرا) (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱))

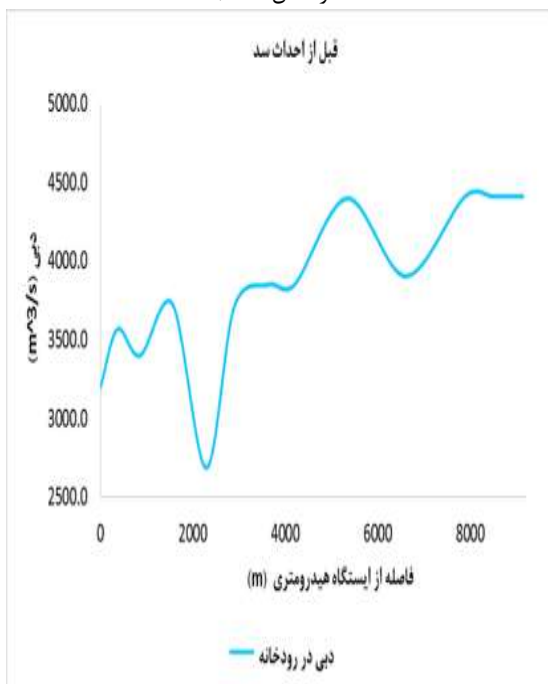


شکل ۱۵: عمق آب در مقطع عرضی شماره ۱۳ (قبل از احداث سد ملاصدرا) (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱))

محتویات جدول (۴) برخی از پارامترهای جریان رودخانه کر را قبل از احداث سد ملاصدرا نشان می‌دهد.  
جدول (۴): پارامترهای جریان رودخانه کر



شکل ۱۶: تراز بستر رودخانه، تراز سطح آب و تراز خط انرژی رودخانه کر قبل از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)



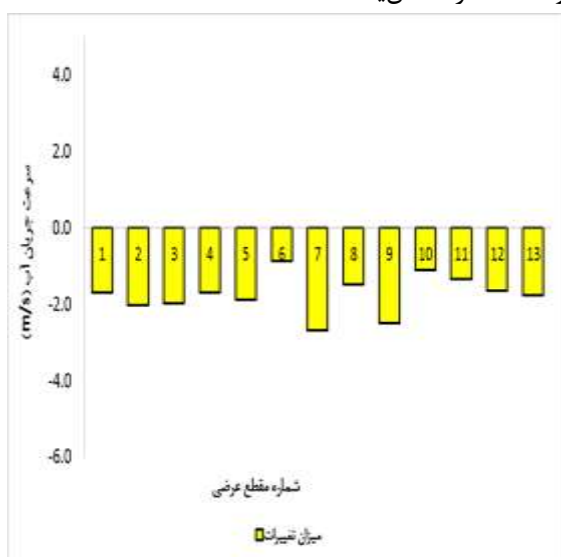
شکل ۱۷: میزان دبی رودخانه کر قبل از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

شکل (۱۷) میزان دبی موجود در رودخانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان دبی از ابتدای بازه رودخانه تا انتهای آن روندی صعودی دارد. دلیل این امر این

۸	۴	۸	۸	۸	۰	۴	۵		
۷	۶	۸	۸	۶	۴	۴	۵		
- ۱	- ۰	۵	۳	۳	- ۳	۳	۴	۸	
۰	.	۱	۸	۸	.	۳	۱		
۰	.	۳	۰	.	.	.	۹		
۰	.	۵	۹	۵	۵	۳	۸	۹	
۰	.	۶	۰	۰	۱	۳	۹		
۰	.						۳		
- ۱	- ۰	۴	۳	۳	- ۳	۳	۵	۹	
۰	.	۶	۸	۸	.	۸	۳	۳	
۰	.	۴	۷	.	.	.	۴		
۰	.	۰	۷	۲	۲	۰	۵	۰	
۰	.	۵	۹	۹	۶	۳	۳		
۰	.						۷		
- ۱	- ۱	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۶	۱
۰	.	۳	۷	۷	۶	۶	۳	۶	۰
۰	.	۰	۴	.	.	.	.	۰	
۰	.	۰	۶	۶	۶	۷	۷	۵	۷
۰	.	۳	۵	۵	۲	۲	۳	۴	
۰	.							۳	
- ۱	- ۰	۷	۳	۳	- ۳	۳	۷	۷	۱
۰	.	۰	۶	۶	۶	۱	۸	۱	
۰	.	۲	۱	.	.	.	۸		
۰	.	۷	۵	۶	۶	۵	۴	۳	
۰	.	۹	۸	۸	۸	۴	۸		
۰	.						۷		
- ۱	- ۰	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۸	۱
۰	.	۷	۶	۶	۵	۵	۲	۵	۲
۰	.	۹	۷	.	.	.	.	۰	
۰	.	۹	۶	۴	۴	۸	۸	۳	
۰	.	۶	۷	۷	۰	۰	۲	۴	
۰	.							۳	
- ۱	- ۰	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۹	۱
۰	.	۸	۴	۴	۴	۴	۱	۱	۳
۰	.	۶	۴	.	.	.	.	۳	
۰	.	۷	۴	۹	۹	۱	۵	۷	۹
۰	.	۶	۳	۳	۹	۸	۰	۵	
۰	.							۱	

شکل (۱۶) تراز بستر رودخانه، تراز سطح آب و تراز خط انرژی رودخانه کر را به‌ازای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال (قبل از احداث سد ملاصدرا) نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر عمق جریان به ترتیب در حوالی مقطع شماره ۱۲ و ۲ مشاهده می‌شود.

شکل (۱۹) سرعت جریان آب در رودخانه کر را در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود سرعت جریان آب پس از احداث سد کاهش چشمگیری داشته است. به طوری که در مقطع شماره یک (ورودی بازه رودخانه) و ۱۳ (خروجی بازه رودخانه) سرعت جریان آب به ترتیب به میزان ۱/۶۸ و ۱/۷۵ متر کاهش یافته است.



شکل ۱۹: سرعت جریان آب رودخانه کر در قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

### مقایسه عدد فرود

شکل (۲۰) میزان عدد فرود در رودخانه کر را در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان عدد فرود پس از احداث سد کر کاهش چشمگیری داشته است. اما در برخی مقاطع مانند مقطع‌های شماره ۳ و ۱۰ عدد فرود افزایش یافته است.

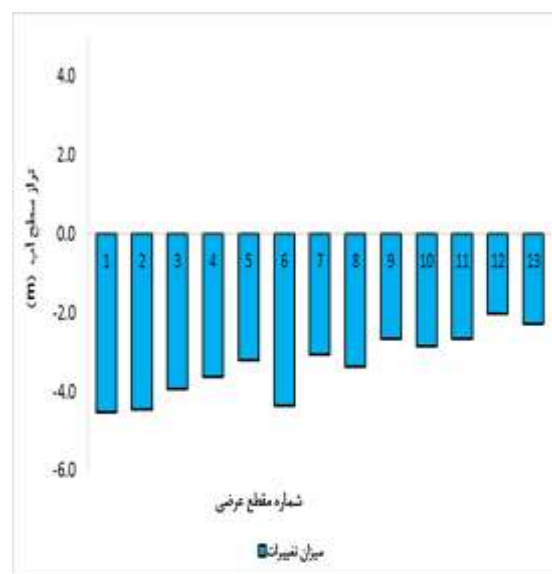
است که در بازه ورودی مقداری از دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال در دشت‌های سیلابی جریان پیدا می‌کنند و در انتهای بازه دبی بیشتر در رودخانه اصلی جریان پیدا می‌کند.

### مقایسه پارامترهای هیدرولیکی جریان در دو حالت قبل و بعد از احداث سد

به منظور بررسی اثر احداث سد ملاصدرا بر روی برخی از پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه کر (پایین‌دست سد)، نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان رودخانه کر به ازای حداکثر دبی لحظه‌ای با دوره بازگشت ۲۵ سال در دو حالت قبل و بعد از احداث سد مورد مقایسه قرار گرفتند. اهم نتایج حاصل از مقایسات به شرح موارد زیر می‌باشد:

### مقایسه تراز سطح آب

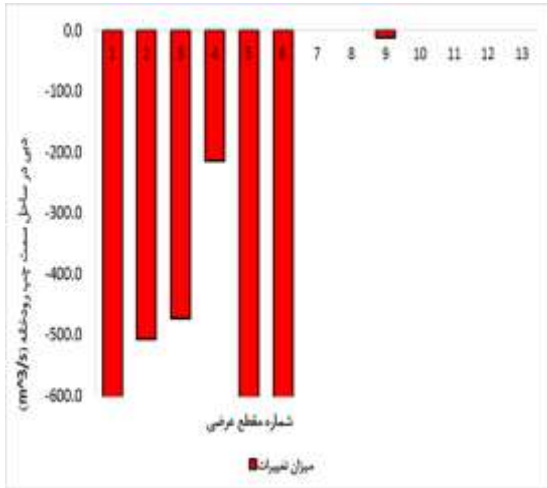
شکل (۱۸) تراز سطح آب رودخانه کر را در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تراز سطح آب پس از احداث سد ملاصدرا کاهش چشمگیری داشته است. به طوری که در مقطع شماره یک (ورودی بازه رودخانه) و ۱۳ (خروجی بازه منتخب) عمق آب به ترتیب به میزان ۴/۵۱ و ۲/۲۷ متر کاهش یافته است.



شکل ۱۸: میزان کاهش تراز سطح آب رودخانه کر بعد از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

### مقایسه سرعت جریان آب

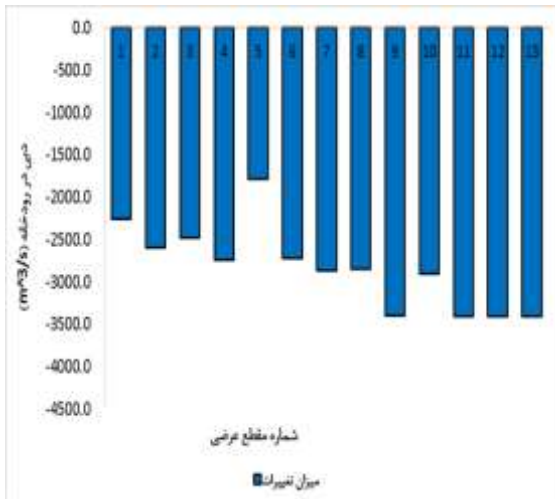
شکل (۲۲) میزان دبی ساحل سمت چپ رودخانه کر را در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان دبی رودخانه پس از احداث سد کاهش چشمگیری داشته است.



شکل ۲۲: دبی در ساحل سمت چپ رودخانه کر در قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱)

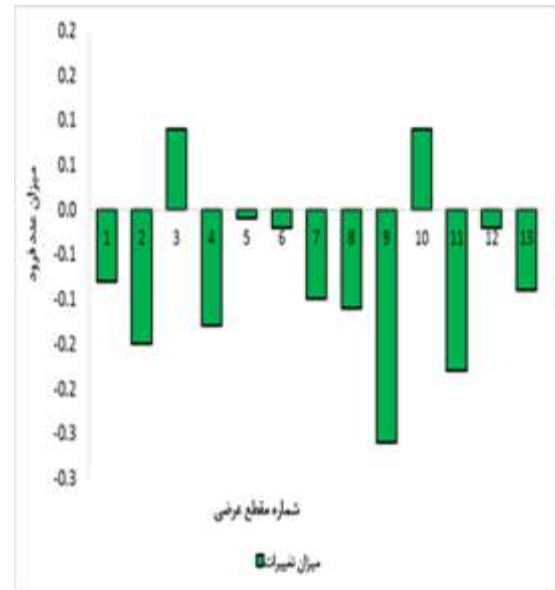
### مقایسه میزان دبی رودخانه کر

شکل (۲۳) سرعت میزان دبی رودخانه کر را در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان دبی رودخانه پس از احداث سد کاهش چشمگیری داشته است.



شکل ۲۳: دبی در رودخانه کر در قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱)

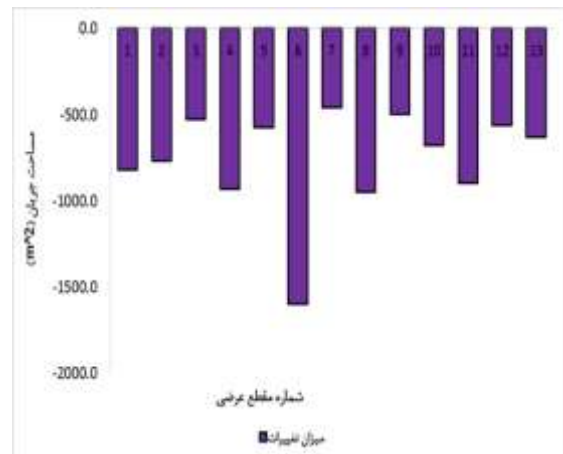
مقایسه میزان دبی در ساحل سمت راست رودخانه کر



شکل ۲۰: میزان عدد فرود رودخانه کر در قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱)

### مقایسه مساحت جریان آب

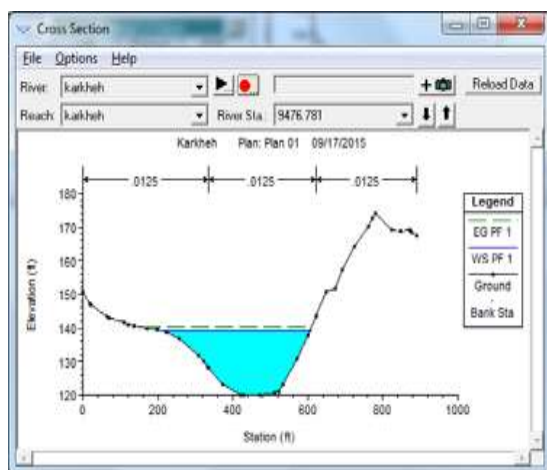
شکل (۲۱) مساحت جریان رودخانه کر را در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مساحت جریان پس از احداث سد کاهش چشمگیری داشته است. به‌طوری که در مقطع شماره ۶ و ۷ مساحت جریان آب کمترین و بیشترین کاهش را داشته است.



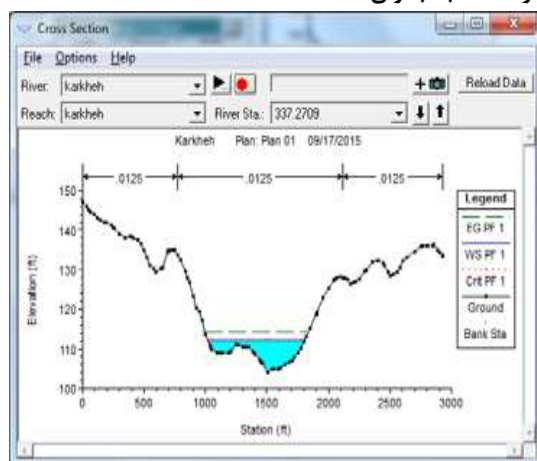
شکل ۲۱: مساحت جریان آب رودخانه کر در قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا (منبع: تحقیقات نگارندگان (۱۴۰۱)

مقایسه میزان دبی ساحل سمت چپ رودخانه کر

و (۲۸) به ترتیب عمق آب در مقطع عرضی شماره یک و ۱۳ را پس از اجرای مدل با دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال (بعد از احداث سد) و در نظر گرفتن ضریب مانینگ  $n=0.0375$  برای کف کانال و دشتهای سیلابی نشان می‌دهند.

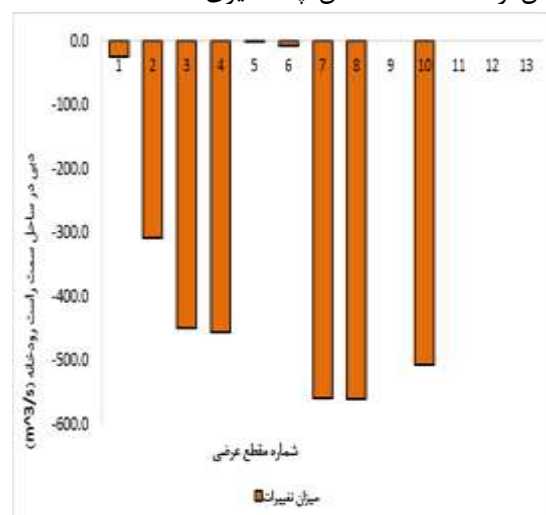


شکل ۲۵: عمق آب در مقطع عرضی شماره ۱ (ورودی بازه منتخب) به ازای  $n=0.0125$



شکل ۲۶: عمق آب در مقطع عرضی شماره ۱۳ (خروجی بازه منتخب) به ازای  $n=0.0125$

شکل (۲۴) میزان دبی در ساحل سمت راست رودخانه کر را در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاحظه می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود میزان دبی رودخانه پس از احداث سد کاهش چشمگیری داشته است.



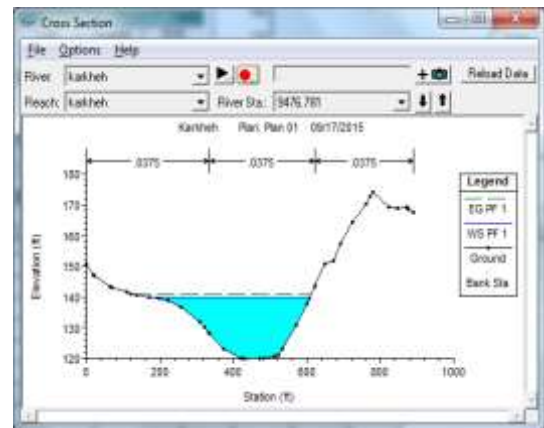
شکل ۲۴: دبی در ساحل سمت راست رودخانه کر در قبل و بعد از احداث سد ملاحظه می‌شود (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

### بررسی تأثیر زبری کف رودخانه بر روی پارامترهای هیدرولیکی جریان

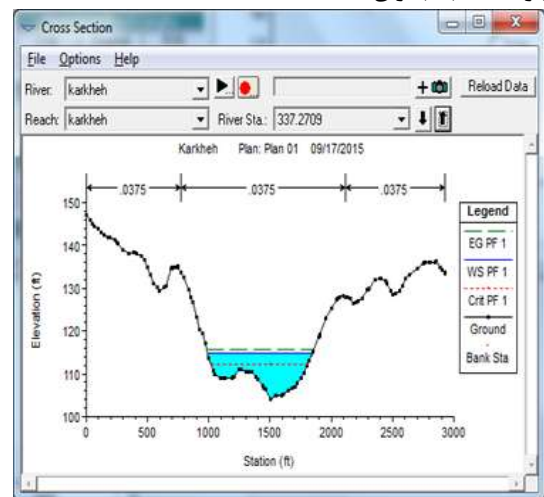
در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر زبری کف کلنال بر روی برخی از پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه کر از مدل HEC-RAS استفاده شد و با در نظر گرفتن ضریب زبری  $n=0.0125$  (۵۰ درصد کمتر از میزان واقعی) و همچنین  $n=0.0375$  (۵۰ درصد بیشتر از مقدار واقعی) و همچنین استفاده از دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال رودخانه کر (بعد از احداث سد) مدل Hec-RAS اجرا گردید. خاطرنشان می‌شود که ضریب زبری رودخانه کر بر اساس نتایج حاصل از آزمایش مکانیک خاک ۰.۰۲۵ به دست آمد. شکل‌های (۲۵) و (۲۶) به ترتیب عمق آب در مقطع عرضی شماره یک و ۱۳ را پس از اجرای مدل با دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال (بعد از احداث سد) و در نظر گرفتن ضریب مانینگ  $n=0.0125$  و شکل‌های (۲۷)



۳۰۰۶	۹۷۰.	۲۶.	۰.۲	۵۷	۱.	۴۲.	۴۲.	۲
	۰۶	۸۷	۴	۸.۷	۸	۶۹	۵۲	
				۲	۲			
۰	۹۱۷.	۸۲.	۰.۹	۲۰	۵.	۴۲.	۴۱.	۳
	۷۵	۲۵	۹	۵.۰	۰	۵۶	۳۱	
				۱	۶			
۵۰۳	۹۸۲.	۱۲.	۰.۲	۶۷	۱.	۴۱.	۴۱.	۴
	۴۳	۵۴	۳	۲.۶	۵	۳۲	۲	
				۸	۵			
۰	۸۹۹.	۱۰	۰.۸	۲۲	۴.	۴۱.	۴۰.	۵
	۵۳	۰.۴	۹	۹.۹	۸	۱۹	۰.۹	
		۷		۱	۴			
۰.۰۰	۹۹۲.	۷.۹	۰.۲	۷۷	۱.	۳۸.	۳۸.	۶
	۰.۹	۱	۳	۴.۳	۳	۹۸	۹۰	
				۴	۲			
۸.۰۵	۹۹۱.	۰.۰	۰.۹	۲۲	۴.	۳۸.	۳۷.	۷
	۹۵	۰	۶	۹.۷	۴	۸۶	۸۶	
				۲	۵			
۰.۰۰	۱۰۰	۰.۰	۰.۴	۴۱	۲.	۳۸.	۳۷.	۸
	۰.۰۰	۰	۶	۹.۱	۳	۰.۱	۷۲	
				۳	۹			
۰.۰۰	۱۰۰	۰.۰	۰.۵	۳۹	۲.	۳۷.	۳۷.	۹
	۰.۰۰	۰	۱	۲.۲	۵	۹۱	۵۸	
				۴	۵			
۰.۰۰	۱۰۰	۰.۰	۱.۰	۲۳	۴.	۳۷.	۳۶.	۱۰
	۰.۰۰	۰	۰	۴.۶	۲	۶۵	۷۲	
				۳	۶			
۰.۰۰	۱۰۰	۰.۰	۰.۲	۶۷	۱.	۳۶.	۳۶.	۱۱
	۰.۰۰	۰	۹	۰.۱	۴	۵۶	۴۵	
				۶	۹			
۰.۰۰	۱۰۰	۰.۰	۰.۹	۲۷	۳.	۳۶.	۳۵.	۱۲
	۰.۰۰	۰	۹	۷.۶	۶	۴۷	۸۰	
				۶	۰			
۰.۰۰	۱۰۰	۰.۰	۱.۰	۲۸	۳.	۳۴.	۳۴.	۱
	۰.۰۰	۰	۱	۸.۹	۴	۸۰	۱۹	۳
				۱	۶			



شکل ۲۷: عمق آب در مقطع عرضی شماره ۱ (ورودی بازه منتخب) به‌ازای  $n=0.0375$



شکل ۲۸: عمق آب در مقطع عرضی شماره ۱۳ (خروجی بازه منتخب) به‌ازای  $n=0.0375$

محتویات جدول (۵) و (۶) به ترتیب میزان عددی پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه کر را به‌ازای ضریب

زبری مانینگ  $n=0.0125$  و  $n=0.0375$  نشان می‌دهند

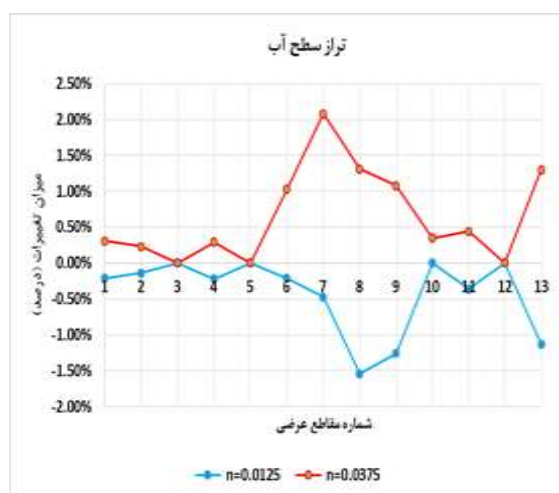
جدول (۵): نتایج مدل‌سازی جریان رودخانه کر به‌ازای  $n=0.0125$

مقطع عرضی رودخانه	تراز سطح آب (M)	تراز انرژی (M)	سرعت جریان (M/S)	مساحت جریان (M <sup>2</sup> )	عدد فرود	دبی ساحل سمت چپ	دبی رودخانه (M <sup>3</sup> /S)	دبی ساحل سمت راست
۱	۴۲.	۴۲.	۲.	۴۲	۰.۲	۵۷.	۹۴۲.	۰
	۴۴	۷۴	۴	۴۶	۷	۰.۶	۹۴	
				۵				
				۷				

۱۲	۳۵.	۳۶.	۳.	۲۷	۰.	۰.	۱۰۰	۰.۰۰
	۸۰	۴۷	۶۰	۷.۶	۹	۰	۰.۰۰	
				۶	۹			
۱۳	۳۵.	۳۵.	۲.	۴۹	۰.	۰.	۱۰۰	۰.۰۰
	۰.۳	۲۳	۰	۹.۱	۴۶	۰	۰.۰۰	
				۲	۰			

مقایسه تراز سطح آب در دو حالت  $n=0,0125$  و  $n=0,0375$

باتوجه به محتویات جداول (۵) و (۶) و شکل (۲۹)، می توان پی برد که تراز سطح آب در رودخانه کر نسبت به کاهش و افزایش ضریب زبری حساس می باشد. به طوری که با کاهش ضریب زبری تراز سطح آب کاهش و با افزایش آن افزایش می یابد. پس می توان نتیجه گرفت که سرعت جریان آب با ضریب زبری مانینگ رابطه مستقیمی دارد.



شکل ۲۹: میزان حساسیت تراز سطح آب نسبت به ضریب زبری مانینگ (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

مقایسه سرعت جریان آب در دو حالت

$n=0,0125$  و  $n=0,0375$

باتوجه به محتویات جداول (۵) و (۶) و شکل (۳۰)، می توان پی برد که سرعت جریان آب در رودخانه کر نسبت به کاهش و افزایش ضریب زبری حساس می باشد. به طوری که با کاهش ضریب زبری سرعت جریان آب افزایش و با افزایش آن کاهش می یابد. پس می توان نتیجه گرفت که

جدول (۶): نتایج مدل سازی جریان رودخانه کر به ازای

$n=0,0375$

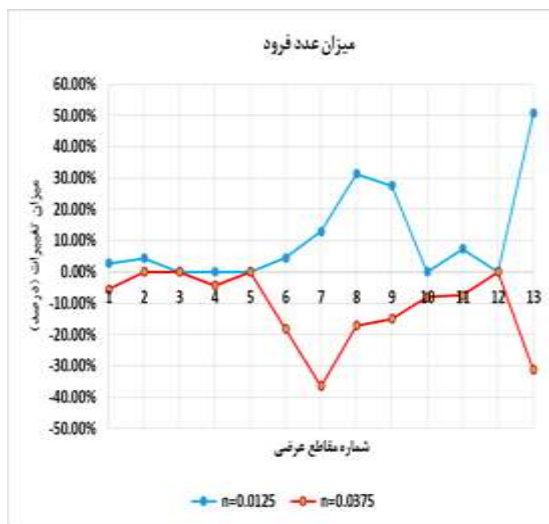
مقطع عرضی رودخانه	تراز سطح آب (M)	تراز انرژی (M)	سرعت جریان (M/S)	مساحت جریان (M <sup>2</sup> )	عدد فرود	دبی ساحل سمت چپ	دبی رودخانه (M <sup>3</sup> /S)	دبی ساحل سمت راست (M <sup>3</sup> /S)
۱	۴۲.	۹۳	۲.	۴۶۳	۰.	۵۹.	۹۴۰.	۰.۰۰
	۶۶	۹۳	۳	۰.۹	۴	۶۶	۳۴	
					۵			
۲	۴۲.	۶۸	۱.	۵۹	۰.	۲۹.	۹۶۶.	۳.۸۴
	۶۸	۸۳	۷	۸.۴	۲	۵۰	۶۶	
					۳			
۳	۴۱.	۳۱	۵.	۲۰	۰.	۸۲.	۹۱۷.	۰.۰۰
	۳۱	۵۶	۰.۶	۵۰	۹	۲۵	۷۵	
					۹			
۴	۴۱.	۴۱	۱.	۷۱	۰.	۱۴.	۹۷۵.	۹.۲۵
	۴۱	۵۲	۴۶	۷.۶	۲	۸۱	۹۵	
					۲			
					۱			
۵	۴۰.	۰.۹	۴.	۲۲	۰.	۱۰.	۸۹۹.	۰.۰۰
	۰.۹	۱۹	۸	۹.۹	۸	۰.۴	۵۳	
					۷			
۶	۳۹.	۳۹.	۱.	۹۰.۶	۰.	۱۹.	۹۸۱.	۰.۰۰
	۳۸	۴۵	۱	۳۶.	۱	۰.	۰.	
					۸			
۷	۳۸.	۸۳	۲.	۳۵	۰.	۰.	۹۵۲.	۴۷.۳
	۸۳	۲۶	۹	۷.۴	۵	۰	۶۵	۵
					۴			
					۵			
۸	۳۸.	۸۱	۱.	۵۹	۰.	۰.	۱۰۰	۰.۰۰
	۸۱	۹۶	۶۹	۳.۳	۲	۰	۰	۰.۰۰
					۹			
					۶			
۹	۳۸.	۴۷	۱.	۵۳	۰.	۰.	۱۰۰	۰.۰۰
	۴۷	۶۴	۸	۴.۹	۳	۰	۰	۰.۰۰
					۴			
					۰			
۱۰	۳۶.	۸۵	۳.	۲۵	۰.	۰.	۱۰۰	۰.۰۰
	۸۵	۶۶	۹	۰.۷	۹	۰	۰	۰.۰۰
					۲			
					۶			
					۹			
۱۱	۳۶.	۷۴	۱.	۷۴	۰.	۰.	۱۰۰	۰.۰۰
	۷۴	۸۳	۳	۳.۸	۲	۰	۰	۰.۰۰
					۵			
					۳			
					۴			

شکل ۳۱: میزان حساسیت دبی جریان نسبت به ضریب زبری مانینگ (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

مقایسه تغییرات دبی رودخانه در دو حالت  $n=0,0125$  و  $n=0,0375$

باتوجه به محتویات جداول (۵) و (۶) و شکل (۳۲)، می‌توان پی برد که عدد فرود رودخانه کر نسبت به کاهش و افزایش ضریب زبری حساس می‌باشد. به طوری که با کاهش ضریب زبری عدد فرود

افزایش و با افزایش آن کاهش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت که میزان عدد فرود با ضریب زبری مانینگ رابطه معکوسی دارد

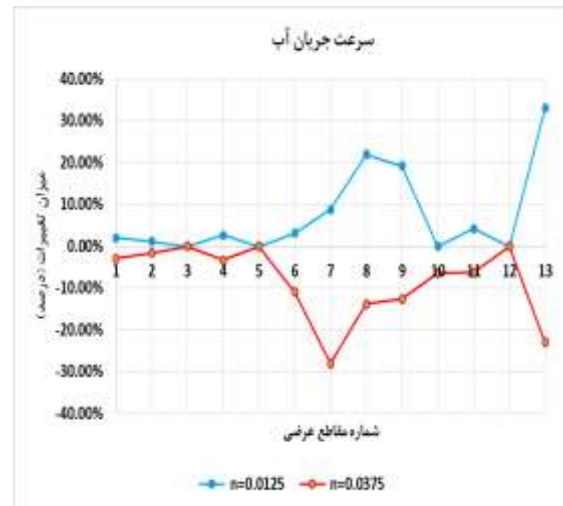


شکل ۳۲: میزان حساسیت عدد فرود نسبت به ضریب زبری مانینگ (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

مقایسه تغییرات مساحت جریان در دو حالت  $n=0,0125$  و  $n=0,0375$

باتوجه به محتویات جداول (۵) و (۶) و شکل (۳۳)، می‌توان پی برد که مساحت جریان رودخانه کر نسبت به کاهش و افزایش ضریب زبری حساس می‌باشد. به طوری که با کاهش ضریب زبری، مساحت جریان کاهش و با افزایش آن افزایش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت که میزان عدد فرود با ضریب زبری مانینگ رابطه مستقیمی دارد.

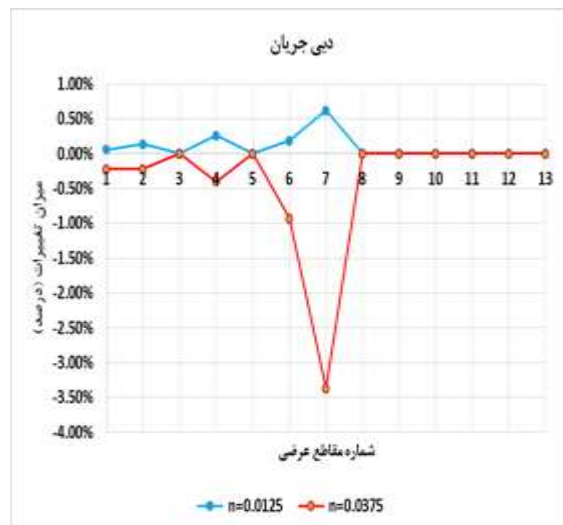
سرعت جریان آب با ضریب زبری مانینگ رابطه معکوسی دارد.



شکل ۳۰: میزان حساسیت سرعت جریان آب نسبت به ضریب زبری مانینگ (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

مقایسه تغییرات دبی رودخانه در دو حالت  $n=0,0125$  و  $n=0,0375$

باتوجه به محتویات جداول (۵) و (۶) و شکل (۳۱)، می‌توان پی برد که دبی رودخانه کر نسبت به کاهش و افزایش ضریب زبری حساس می‌باشد. به طوری که با کاهش ضریب زبری دبی رودخانه افزایش و با افزایش آن کاهش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت که دبی رودخانه با ضریب زبری مانینگ رابطه معکوسی دارد.



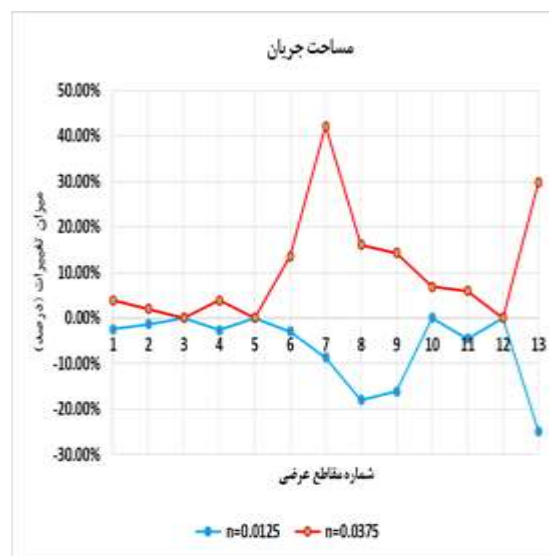
ب: با احداث سد ملاصدرا برخی از پارامترها مانند میزان تراز سطح آب، سرعت جریان آب، مساحت جریان آب، میزان دبی ساحل سمت چپ، میزان دبی رودخانه کرخه، میزان دبی ساحل سمت چپ کاهش می‌یابد. علاوه بر این میزان عدد فرود در همه مقاطع به‌غیر از مقاطع عرضی شماره ۳ و ۱۰ کاهش می‌یابد.

ج: با کاهش ضریب زبری کف و سیلاب‌دشت‌های رودخانه به میزان ۵۰ درصد مقدار واقعی آن، پارامترهایی نظیر تراز سطح آب، مساحت جریان نیز کاهش و پارامترهای نظیر سرعت جریان آب، دبی رودخانه، دبی رودخانه در ساحل سمت راست و چپ افزایش می‌یابند.

د: با افزایش ضریب زبری کف و سیلاب‌دشت‌های رودخانه به میزان ۵۰ درصد مقدار واقعی آن، پارامترهایی نظیر تراز سطح آب، مساحت جریان نیز افزایش و پارامترهای نظیر سرعت جریان آب، دبی رودخانه، دبی رودخانه در ساحل سمت راست و چپ کاهش می‌یابند.

## منابع

- ۱- حسینی، م. و همکاران ۱۴۰۰. تأثیر توان تفکیک DEM و ضریب زبری مانینگ بر کارایی مدل HEC-RAS-WMS در تعیین پهنه‌های مخاطره سیلاب (مطالعه موردی: رودخانه کشکان، استان لرستان)، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی - پژوهشی دانشگاه گلستان، س ۱۱، ش ۴۱، پاییز ۱۴۰۰
- ۲- اسماعیلی، ع. مساعدی، ا. ۱۴۰۰. بررسی تاثیر سازه‌های تقاطعی و ضریب زبری بر عمق و پهنه سیلاب در مسیلهایی شهری (مطالعه موردی مسیل زرکش مشهد)، نشریه علوم آب‌و خاک، سال ۲۶، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱
- ۳- صابری تنسوان، م. گنجی نوروزی، ز. دل قندی، م.



شکل ۳۳: میزان حساسیت مساحت جریان آب نسبت به ضریب زبری مانینگ (منبع: تحقیقات نگارندگان ۱۴۰۱)

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق بازه‌ای به طول حدود ۱۰ کیلومتر از رودخانه کر (پایین دست ایستگاه هیدرومتری چمریز) انتخاب شد و پس از تهیه آمار دبی رودخانه در دو حالت قبل و بعد از احداث سد ملاصدرا، اثر احداث سد بر روی جریان رودخانه بررسی شد. سپس با در نظر گرفتن دبی رودخانه به‌ازای دوره بازگشت ۲۵ سال برای دو حالت قبل و بعد از احداث سد مدل جریان ملنگار رودخانه مذکور توسط نرم‌افزار HEC RAS تهیه و سپس با یکدیگر مقایسه شدند. در ادامه بر اساس دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال بعد از احداث سد اقدام به تغییر ضریب زبری مانینگ به میزان ۵۰ درصد از مقدار اولیه گردید و مجدداً مدل HEC-RAS اجرا گردید. با توجه به نتایج حاصل از بخش‌های مختلف این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که:

الف: احداث سد ملاصدرا باعث شده است که سیلاب رودخانه کر به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف به‌شدت کاهش یابد، اما در دوره بازگشت‌های بالاتر این اختلاف کمتر می‌شود.

ن. ۱۳۹۳. اثرات برداشت شن و ماسه بر مورفولوژی بستر رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS مطالعه موردی: رودخانه جراحی خوزستان، دومین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

۱۲- قانع، ا. حسینی، خ. ۱۳۹۲. ارزیابی طرح ساماندهی رودخانه با مطالعه تغییرات روند فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: رودخانه حسین‌آباد کال پوش)، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، تهران.

۱۳- صدریان زاده، م. ۱۳۹۱. بررسی عمق آبستگي پایه پل باتوجه به شکل پایه و عوامل هیدرولیکی به وسیله مدل HEC-RAS. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۴- شهربانیان، ا. ح. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر سازه‌های احداثی بر پهنه‌های سیلابی رودخانه با استفاده از مدل‌های تحلیل هیدرولیکی در رودخانه پسیخانی استان گیلان، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، تهران.

۱۵- سیفی کبریا، ع. ر. نجفی جیلانی، ع. ا. ذاکری نیری، م. ۱۳۹۳. ارزیابی رسوب بستر رودخانه‌ای و آنالیز حساسیت با استفاده از مدل‌های تلفیقی ریاضی مطالعه موردی رودخانه تالار استان مازندران، دومین همایش ملی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، به‌صورت الکترونیکی، مؤسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستداران محیط‌زیست.

۱۶- Adams, Barry J., Papa., Fabian. ۲۰۰۰. Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models. ۳۵۸ pages. Wiley, ۲۰۰۰

۱۷- Westervelt, James. ۲۰۰۱. Simulation Modeling for Watershed Management. Springer Science & Business Media.

۱۸- Tate, E, madiment, D, ۱۹۹۹. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. CRWR Online Report ۹۹-۱.

۱۹- Simons DB and Richardson Ev (۱۹۶۶). Resistance to flow in alluvial channels. US Geological Survey, professional paper ۴۲۲-J.

۲۰- Murray- Rust. D.H. and Snellen W.B. ۲۰۱۶. Irrigation System Performance Assessment and

درستکار، و. ۱۳۹۹. بررسی آنالیز حساسیت پارامترهای سیل نسبت به تغییرات زبری (مطالعه موردی: منطقه شیروان). نشریه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۴ - شماره پیاپی ۴۰ تیر ۱۳۹۹، صفحه ۱۶۷-۱۸۰

۴. پاریزی، ا. حسینی، سید م. ۱۴۰۲. برآورد میزان دقت مدل رقومی ارتفاعی TanDEM-X در شبیه‌سازی مشخصات هیدرولیکی سیلاب مطالعه موردی: حوضه رودخانه اترک (جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۴، شماره ۲ - شماره پیاپی ۹۰، تیر ۱۴۰۲، صفحه ۱۳۴-۱۱۳

۵. چراغعلی زاده، م. رفیعی، م. ۱۳۹۳. بررسی تحلیلی جریان در حوضچه ترسیب آبگیر سد انحرافی - تنظیمی چم شیر، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ارومیه، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه.

۶- سازمان برنامه‌و بودجه، وزارت نیرو، ۱۳۷۵. دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوزه‌های آبریز، نشریه شماره ۱۶۰.

۷- عباسی چناری، ع. ا. ملک نژاد یزدی، م. ۱۳۹۱. برآورد ضریب زبری مانینگ در کانالهای طبیعی مطالعه موردی رودخانه‌ی کارده، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۸- عطاری، ج. ۱۳۹۰. مقایسه دو نرم‌افزار RAS-۴.۱ HEC و MIKE ۱۱ در شبیه سازی جریان غیردائمی سیلاب در رودخانه. گرگان رود. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران

۹- غلامی، و. و خلیلی، م. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی خطر سیل با دو مدل ماد کلارک و HEC-RAS در آبخیز سد بوستان استان گلستان. نشریه علمی - پژوهشی آب و خاک. صفحات ۷۴۱-۷۲۹.

۱۰- وارسته، ح. عبدویس، س. حمادی، ک. ۱۳۹۱. اثرات منفی انتقال آب بین حوضه‌ای بر عملکرد سازه‌های آبگیر و نیاز زیست‌محیطی رودخانه کارون بزرگ، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۱- میری، ع. حقی زاده، ع. زینی وند، ح. طهماسبی پور،

Diagnosis. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, ۲۰, ۱۴۸ p.

- ۲۱- Kondolf, G.M., Smeltzer, M. and Kimbal, L. "Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues", Center for Environmental Design Research ۳۹۰ Wurster Hall University of California Berkeley CA ۹۴۷۲۰, December ۱۰, ۲۰۰۱.
- ۲۲- Rogers, D.C. and Merkley, G.P. ۱۹۹۳. Description and evaluation of program USM. J. Irrig. Drain. Eng. ۱۱۹(۴): ۶۹۳-۷۰۲.
- ۲۳- Maqsood, I. ۲۰۰۶. A GIS-supported ۳D approach for flood risk assessment of the Qu'Appelle River, Southern Saskatchewan. Int. J. Risk Assess. Manage., ۶, ۴۴۰-۴۵۰.
- ۲۴- J,Yang-chang, Chih TedYANG, Francisco J.M.SIMÕES. ۲۰۱۳. GSTARS computer models and their applications, part I: theoretical development. International Journal of Sediment Research Volume ۲۳, Issue ۳, Pages ۱۹۷-۲۱۱

## Sensitivity analysis of Manning roughness coefficient of rivers in HEC-RAS model to determine flood zones (case study: Ker River-Fars province)

Vahid Sohrabi <sup>۱</sup>, Farshid Hashemipour Petkoi <sup>۲</sup>, Hamid Sheikhpour Shahi <sup>۳</sup>

### Abstract

**Introduction:** Rivers are one of the few natural phenomena that, despite the countless damages they have caused to humans since a long time ago, due to their special impact on human life and the formation of civilizations, humans have always been called to the lands along the river. In Iran, due to its large size, multiple climates, and temporal and spatial density of rains in most watersheds, huge floods have been witnessed in most regions of the country every year, many of which cause a lot of human and financial losses. **Methodology:** In this research, ۱۰ km long stretches of the Ker River (downstream of the Chamriz Hydrometric Station) were selected, and after preparing the statistics of the maximum instantaneous discharge of the river in two states before and after the construction of the Molla Sadra Dam, the effect of the construction of the dam on the river flow Checked out. Then, taking into account the river discharge per discharge with a return period of ۲۰ years for two situations before and after the construction of the dam, the permanent flow model of the mentioned river was prepared by HEC-RAS software and then compared with each other. In the following, based on discharge with a return period of ۲۰ years after the construction of the dam, the Manning roughness coefficient was changed to ۰.۰٪ of the initial value and the HEC-RAS model was implemented again. The construction of the said dam has caused some parameters such as water level, water flow speed, water flow area, flow rate in the river and also the flood of its plains to decrease. **Results:** The results of the sensitivity analysis of some parameters in relation to Manning's roughness coefficient showed that with the decrease of Manning's roughness coefficient, some parameters such as water level and flow area also decrease and parameters such as water flow speed, river discharge, river discharge on the right bank and the left increases and vice versa.

**Keywords:** Ker River, roughness coefficient, HEC-RAS, sensitivity analysis