



پیش بینی تغییرات تراز بستر رودخانه کن با استفاده از مدل HEC-RAS

نازنین حق پرست، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف*

امیرسعیدحسینی، کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه نورث ایسترن

اویس توایی، استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

مسعود تجریشی، استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

*تلفن نویسنده اصلی: ۰۲۱-۸۴۷۸۲۱۷۸، شماره: ۰۲۱-۸۸۸۹۱۲۲، پست الکترونیکی: Haghparast.nazanin@yahoo.com

چکیده

نزدیکی رودخانه کن به شهر تهران و مورد توجه قرار گرفتن آن به عنوان منطقه تفرجگاهی در سال های اخیر، منجر به افزایش ساخت و ساز پیرامون رودخانه شده است. از این رو انجام مطالعات انتقال رسوب به منظور تخمین میزان کف کنی رودخانه و تغییرات بستر آن امری ضروری می باشد. مدل HEC-RAS یکی از پرکاربردترین مدل ها در زمینه محاسبات انتقال رسوب یک بعدی رودخانه ها می باشد. هدف از این مقاله پیش بینی تغییرات بستر رودخانه کن در افق سال ۲۰۲۰ با استفاده از اطلاعات سال های ۱۱-۲۰۰۴ است. در این مطالعه برای شبیه سازی انتقال رسوب از روش یانگ و برای محاسبه سقوط ذرات از روش فن راین استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که بستر رودخانه در سال های آتی با فرسایش مواجه است. کل کف کنی بستر رودخانه در سال های ۲۰-۲۰۱۲ به میزان ۵۹۷،۲۸۰ تن و متوسط کف کنی سالانه رودخانه ۷۷،۰۷۰ تن پیش بینی می گردد که مقدار قابل توجهی است.

کلید واژه ها: رودخانه کن، شبیه سازی انتقال رسوب، روش یانگ، کف کنی بستر رودخانه، HEC-RAS

۱- مقدمه

از دیرباز تاکنون، رودخانه ها منشأ حیات انسان و دیگر موجودات بوده و به عنوان اصلی ترین منبع تامین کننده آب برای آن ها به شمار می آیند. این در حالی است که رودخانه ها سیستمی کاملاً پویا و موقعیت، شکل و دیگر مشخصه های ریخت شناسی آنها به طور پیوسته و در طول زمان تغییر می کند. لذا بعضاً این منبع حیاتی باعث نابودی گردیده و خسارات جبران ناپذیری به بار می آورد [۱ و ۲]. رودخانه کن نیز که در محدوده شهر تهران قرار دارد، در سال های اخیر مورد توجه انواع فعالیت های عمرانی و ساخت و ساز قرار گرفته است. شکل گیری اقدامات عمرانی در حریم و مسیر رودخانه بدون شناخت صحیح رفتار و ویژگی های رودخانه، می تواند بهره برداری طولانی مدت از تأسیسات روی آن را با مشکلات جدی مواجه نماید. از این رو، انجام اقدامات مدیریتی و دخالت در نظام رودخانه، مستلزم شناخت قواعد خاص حاکم بر آن بوده و بررسی عکس العمل آنها قبل از هر اقدامی ضروری است. از این رو بررسی وضعیت کنش و رسوب گذاری اهمیت

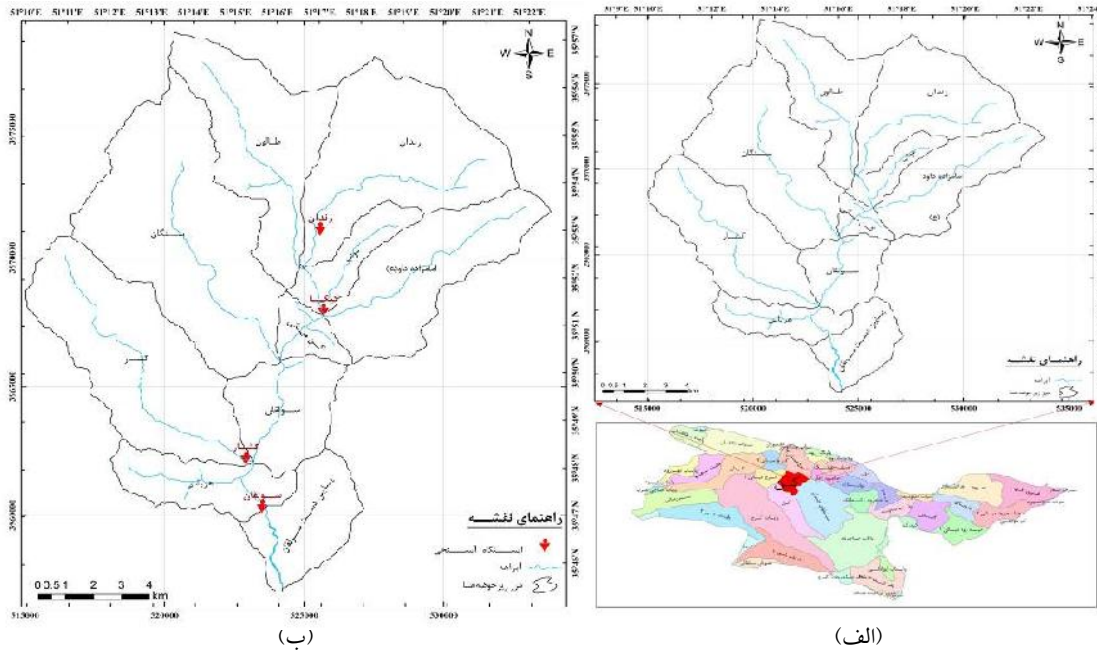


ویژه‌ای پیدا می‌کند. امروزه مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای قادرند با تلفیق تئوری‌های مختلف، با سرعت و دقت نسبتاً خوبی میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را تخمین بزنند. از طرفی تغییرات و جابه‌جایی‌هایی که در اثر عوامل طبیعی یا مصنوعی در تراز بستر و ویژگی‌های هندسی رودخانه رخ می‌دهد، نتیجه منطقی عکس‌العمل سامانه رودخانه برای برقراری موازنه جدید بین میزان آورد رسوب حوضه آبریز و فرآیند رسوب‌برداری و رسوب‌گذاری در طول رودخانه می‌باشد. مطالعات رسوب‌برداری و رسوب‌گذاری این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان ضمن تخمین میزان کف‌کنی رودخانه، تغییرات بستر رودخانه را پیش‌بینی و اثرات اقدامات مختلف ساماندهی را بر عملکرد رفتاری رودخانه مورد ارزیابی کمی و کیفی قرار داده و از این طریق امکان تشخیص عوامل ناپایداری و اعمال معیارهای مناسب حفاظتی و اقدامات مهندسی را پیش‌پیش میسر نمود. پیرو و همکاران (۱۳۹۱) میزان تولید رسوب و توان حمل رسوب رودخانه‌ای در رودخانه بشار واقع در کهکیلویه و بویراحمد را با استفاده از هیدروگراف‌های ۲ ساله و ۲۵ ساله برآورد کردند. در این مطالعه اطلاعات پایه نظیر شکل هندسی رودخانه، ضرایب زبری مقاطع مختلف، اطلاعات مربوط به مواد رسوبی و دانه‌بندی ذرات معلق، بستر رودخانه و رسوب رودخانه در مسیر با برنامه HEC-RAS مدل‌سازی شد [۳]. اسدی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تغییرات برخی پارامترهای رسوبی در رودخانه تالار، از رودخانه‌های دائمی شرق استان مازندران، را پس از وارد نمودن اطلاعات هندسی محدوده مورد مطالعه و ضرایب مانینگ قسمت‌های مختلف با استفاده از HEC-RAS مورد بررسی قرار دادند. سپس با استفاده از با توجه به خصوصیات رودخانه و دانه‌بندی مواد بستر از ۷ معادله انتقال رسوب موجود در نرم‌افزار، ۵ رابطه میرپیتز مولر، ایکرز، یانگ، ویلکوک و توفالتی انتخاب و پس از شبیه‌سازی، تغییرات پروفیل طولی رودخانه، میزان سرعت، تنش برشی، ظرفیت حمل رسوب و میزان حجم رسوب خروجی در مقاطع مختلف مطالعه شد [۴]. Wardman و همکاران (۲۰۰۹) به مطالعه حمل رسوب یک بعدی در ایالت واشنگتن در پایین رودخانه Puyallup توسط نرم‌افزار HEC-RAS پرداخته‌اند. در این تحقیق مدل HEC-RAS با استفاده از نرخ حمل رسوب محاسبه شده توسط سازمان USGS، کالیبره و رسوب را بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ شبیه‌سازی کردند [۵].

۲- مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش منطقه مورد مطالعه بخشی از رودخانه کن، از رودخانه‌های عبوری از داخل شهر تهران می‌باشد. این رودخانه به طول ۳۳ کیلومتر از رشته کوه توجال سرچشمه گرفته و پس از گذر از تهران، در جنوب این شهر خشک می‌شود. رودخانه کن پرآبرترین رود تهران با دبی متوسط ۲۷۰۰ لیتر بر ثانیه است که به میزان پنج میلیون متر مکعب از آب این رودخانه به صورت سالیانه به دریاچه چیتگر در منطقه ۲۲ اختصاص می‌یابد. ارتفاع متوسط حوضه آبریز کن ۲۳۷۷ متر از سطح دریای آزاد است که از حوضه‌های شمالی شهر تهران می‌باشد و از شمال و غرب به حوضه کرج و از شرق و جنوب به دشت تهران می‌رسد. منطقه مورد بررسی رودخانه کن، به طول تقریبی ۱۱ کیلومتر و شیب متوسط ۱/۴٪ از ابتدای ایستگاه هیدرومتری رندان تا ایستگاه سولقان از شمال به جنوب می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از آزمایش‌های مکانیک خاک نشان می‌دهد که مصالح تشکیل‌دهنده رودخانه شامل درشت‌دانه و هموزن هستند [۶]. شکل (۱-الف) موقعیت حوضه مطالعاتی کن در استان تهران به همراه رودخانه اصلی و زیرشاخه‌های آن و شکل (۱-ب) موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): الف- حوضه مطالعاتی کن به همراه رودخانه اصلی و زیرشاخه‌های آن ، ب- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مطالعاتی کن

معرفی مدل

با وجود پیچیدگی‌های مدل‌سازی انتقال رسوب، به کمک یک مدل‌کننده خوب و اطلاعات کافی می‌توان شبیه‌سازی نسبتاً خوبی از انتقال رسوب در یک رودخانه داشت. مدل عددی HEC-RAS مدلی یک بعدی است که توانایی تحلیل و آنالیز همزمان جریان‌های ثابت، متغییر تدریجی و انتقال رسوب را دارد [۷]. معادله پیوستگی رسوب در محاسبات برنامه HEC-RAS توسط معادله اکستر، انجام می‌گیرد. این رابطه به طور ساده تغییرات حجم رسوب در حجم کنترل را برابر تفاوت بین بار ورودی و خروجی رسوب در نظر دارد [۸].

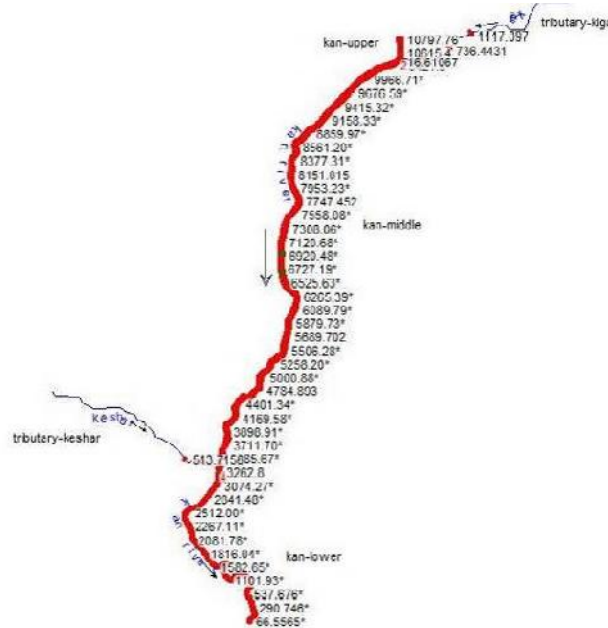
برای استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS برای مدل‌سازی رسوب می‌بایست هیدرولیک رودخانه اعم از مشخصات جریان شبه‌دائمی و دانه‌بندی ذرات بستر رودخانه مشخص شده باشد. در جریان شبه‌دائمی در هر بازه زمانی جریان دائمی و شدت جریان ثابت فرض می‌شود. در مدل HEC-RAS می‌توان از مدت زمان جریان و یا افزایش محاسبات به عنوان گام زمانی محاسباتی استفاده کرد. مدت زمان جریان بزرگ‌ترین گام زمانی است. جریان در طول گام مدت زمان جریان ثابت است ولی تغییرات بستر در هر گام زمانی افزایش محاسبات محاسبه می‌شود. مدل‌سازی رسوب در برنامه HEC-RAS، طبقه‌بندی رسوبات بستر را در ۲۰ بازه هندسی از ۰/۰۰۲ تا ۲۰۴۸ میلی‌متر بر مبنای طبقه‌بندی انجمن ژئوفیزیک آمریکا انجام می‌دهد. اندازه‌گیری مقدار مصالحی از یک دسته‌بندی ذرات که شرایط هیدرودینامیکی جریان توانایی حمل آن را داشته باشد پتانسیل حمل رسوب نامیده می‌شود. برای محاسبه پتانسیل حمل رسوب هفت معادله انتقال در مدل HEC-RAS به نام‌های ایگرز-وات، میر-پیتر و مولر، تابع انگلند-هانسن، توفالتی، لارسن-کوپلند، یانگ و ویلکاک وجود دارد. از دیگر پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر میزان انتقال رسوبات، سرعت سقوط و یا سرعت حد سقوط که یک ذره بدست می‌آورد می‌باشد. این سرعت مستقیماً به شرایط نسبی جریان آب و ذره رسوب هنگام ورود به جریان، انتقال و یا ته‌نشینی وابسته است. در مدل HEC-RAS چهار روش مختلف توفالتی، ون راین، روبی و روش گزارش "۱۲" برای محاسبه سرعت سقوط ذرات وجود دارد. همچنین انتقال رسوبات چسبیده با انتقال رسوبات غیر چسبیده (شن و ماسه) تفاوت دارد. انتقال ذرات ریز مخصوصاً رس، با روش‌های پیچیده‌تری و با در نظر گرفتن نیروهای الکترواستاتیکی و



الکتروشمیایی که دلیل لخته شدن ذرات و چسبیده شدن آن به بستر است، محاسبه می‌شود. در نرم‌افزار HEC-RAS دو روش به کارگیری روش-های کرون و پارتنایدز و استفاده از معادلات انتقال استاندارد برای ذرات با اندازه رس و سیلت وجود دارد [۸].

هندسه رودخانه

یکی از مهمترین اجزای مدلسازی انتقال رسوب رودخانه در برنامه HEC-RAS داده های هندسی می‌باشد. بدین منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی شکل رودخانه اصلی از ایستگاه رندان تا سولقان و زیرشاخه‌های آن شامل کیگا و کشار، مقاطع عرضی عمود بر امتداد رودخانه و مشخصات هیدرولیکی پل‌های موجود در رودخانه به مدل شناسایی گردید. برای رسیدن به این هدف، الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) که با محیط نرم‌افزار HEC-RAS در انطباق کامل است بکار رفته است. با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS و بکارگیری نقشه توپوگرافی منطقه، در ابتدا مسیر اصلی رودخانه کن و زیرشاخه‌های آن و سپس خطوط سواحل و جریان آب ترسیم گردید و در انتها به تعداد ۴۵۰ مقطع در فواصل حداکثری ۵۰ متری مقاطع عرضی عمود بر امتداد رودخانه رسم شد. سپس با بکارگیری یک فرآیند تبدیلی، مشخصات هندسی مربوط به رودخانه، به مدل HEC-RAS معرفی شد و جزئیات مربوط به پل‌ها (شامل تعریف عرشه و پایه‌ها) در مدل مشخص گردید. مطابق شکل (۲)، رودخانه در بازه مطالعاتی به سه بخش upper, middle و lower تقسیم شد. بخش upper از بالادست رودخانه تا محل تقاطع با شاخه فرعی کیگا، بخش middle از محل تقاطع با شاخه فرعی کیگا تا محل تقاطع با شاخه فرعی کشار و بخش lower از محل تقاطع با شاخه فرعی کشار تا پایین دست رودخانه تعریف شده است. شکل (۲) پلان رودخانه مدلسازی شده در HEC-RAS نشان می‌دهد.



شکل (۲): پلان رودخانه کن در مدل HEC-RAS

اطلاعات ورودی مدل و نحوه مدل‌سازی

در این پژوهش برای پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه کن در سال‌های آتی، با فرض یکسان بودن مقادیر دبی و رسوب ایستگاه‌های آب‌سنجی در دوره ۸ ساله آینده (از سال ۲۰۱۳ تا ۹ سال ۲۰۲۰) با مقادیر متنظر در دوره مطالعاتی (از سال ۲۰۰۴ تا ۹ سال ۲۰۱۱)، وضعیت تغییرات بستر رودخانه نسبت به شرایط کنونی شبیه‌سازی شده است. اجرای مدل رسوب نیاز به وارد نمودن داده‌های جریان شبه غیرماندگار و داده‌های رسوب دارد. اطلاعات ورودی مدل



شامل نقشه توپوگرافی، ضریب زبری، مشخصات پل‌ها، دانه‌بندی مصالح رودخانه، معادله انتقال رسوب، معادله سقوط ذرات، ضخامت لایه فعال، حداکثر عمق فرسایش و شرایط مرزی است که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است.

نقشه توپوگرافی: نقشه توپوگرافی منطقه مطالعاتی از موسسه تحقیقات منابع آب ایران اخذ گشته و تلفیقی از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰ در امتداد رودخانه که با نقشه برداری حاصل شده و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در نواحی اطراف که از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شده است می‌باشد [۹].

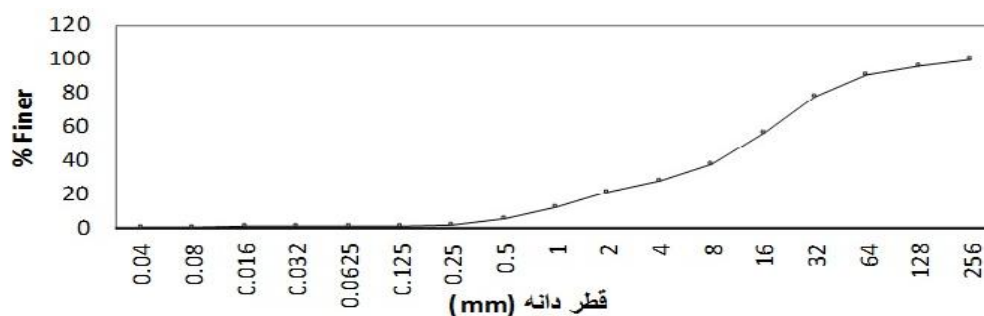
ضریب زبری: از عوامل مهم در بیان مشخصات هندسی منطقه، تعیین ضریب زبری بستر است. روش‌های تجربی بهترین روش برای تعیین مقدار آن بستگی به شرایط منطقه و جریان دارد. در این پژوهش به علت شباهت بستر در سرتاسر بازه مورد مطالعه، بر اساس جداول ارائه شده توسط Chow، ضریب زبری برای کانال اصلی ۰/۳۵ و برای سواحل رودخانه ۰/۴۵ در نظر گرفته شد [۱۰].

مشخصات پل‌ها: در بازه lower از رودخانه دو پل به نام‌های سولقان ۱ و ۲ با مشخصات جدول ۱ وجود دارد [۹].

جدول (۱): مشخصات هندسی پل‌های موجود در منطقه مطالعاتی

نام پل	موقعیت جغرافیایی (UTM)		طول (m)	عرض (m)	ارتفاع (m)	ضخامت عرشه (m)
	X (m)	Y (m)				
سولقان ۱	۵۲۴۰۰۹	۳۹۶۵۰۲۴	۸	۴	۸	۰/۴
سولقان ۲	۵۲۴۰۵۲	۳۹۶۴۸۱۴	۷	۴	۴	۰/۴

دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه: با نمونه‌گیری از بستر رودخانه و انجام آزمایش‌های الک و هیدرومتری، دانه‌بندی بستر رودخانه در سرتاسر بازه مطالعاتی مطابق با **Error! Reference source not found.** به مدل اعمال گردید.



شکل (۴): دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه

اطلاعات رسوب: برآورد رسوب ماهانه با استفاده از اطلاعات مشاهداتی رسوب روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان تهران به دلیل کمبود اطلاعات مشاهده‌ای روش مناسبی نمی‌باشد. به این منظور به کمک نرم‌افزار Loadest و با استفاده از اطلاعات دبی و رسوب روزانه موجود و روش‌های آماری در دسترس، مقادیر رسوب روزانه در طول دوره مطالعاتی حاصل آمد. اما به دلیل شیب زیاد حوضه آبریز کن و ضعف نرم‌افزار Loadest در تخمین بار رسوب در حوضه‌های با شیب زیاد، نتایج حاصل در برخی موارد درست نبود. لذا با قضاوت مهندسی و مقایسه بار رسوب متناظر با همان زمان در سایر زیرحوضه‌ها، موارد ناصحیح شناسایی و حذف گردید. در نهایت، رسوب روزانه در نتیجه ماهانه به کمک نتایج حاصل از این نرم‌افزار بدست آمد. از این رو شرایط مرزی خارجی در ابتدای بازه (ایستگاه آب‌سنجی رندان) و مکان‌های تغییر دبی رسوبی (محل‌های اتصال شاخه‌های فرعی کیگا و کشار) بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی به صورت سری دبی رسوبی از سال ۲۰۰۴ تا ماه سال ۲۰۱۲ به صورت ماهانه به مدل اعمال گردید.

حداکثر عمق فرسایش: با توجه به شناخت از منطقه و مطالعه سوابق فرسایش رودخانه کن در سال‌های اخیر و کارهای قبلی انجام گرفته در این زمینه، حداکثر عمق فرسایش در مدل معادل ۵ متر در نظر گرفته شد.



اطلاعات جریان شبه غیر ماندگار: مدل سازی رسوب در برنامه HE-RAS بر مبنای جریان شبه غیر ماندگار می باشد. که در این نوع جریان، مقادیر جریان در هر بازه زمانی به صورت جریان ماندگار فرض می شود. اطلاعات مورد نیاز جهت مدل سازی جریان شبه غیر ماندگار شامل شرایط مرزی داخلی و خارجی و دما می باشد. در این پژوهش شرط مرزی خارجی در ابتدای بازه و نقاط تغییر دبی، سری جریان (که از سازمان آب منطقه ای تهیه شده است) به صورت ماهانه از سال ۲۰۰۴ تا سال ۲۰۱۲ و در انتهای بازه، عمق نرمال فرض گردید. همچنین متوسط دمای ماهانه منطقه از سال ۲۰۰۴ تا سال ۲۰۱۲ به مدل اعمال گردید.

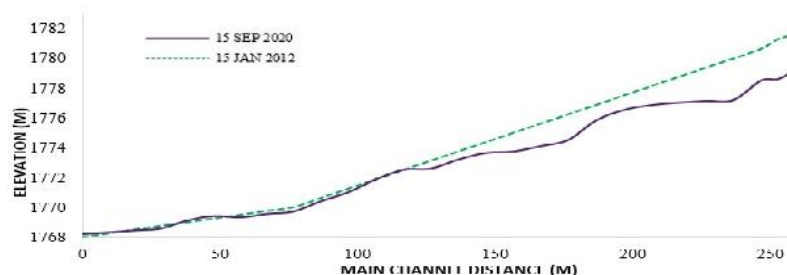
معادله انتقال رسوب: مهم ترین مسئله در مدل سازی رسوب در برنامه HEC-RAS، تعیین تابع انتقال رسوب مناسب است. از این رو با توجه به ویژگی های رودخانه کن در بازه مطالعاتی، اعم از دانه بندی بستر (عموماً ماسه ای)، رژیم غالب جریان (فوق بحرانی)، شیب سطح آب و ... و همچنین نتایج مدل سازی جریان، پارامترهای بی بعدی نظیر عدد فرود، توان جریان، سرعت برشی بی بعد، عمق نسبی و تراکم رسوب برای رودخانه کن حاصل آمد. به کمک دستورالعمل احیای مدیریت آب در امریکا و ویژگی های جریان و پارامترهای بی بعد یاد شده، می توان رودخانه زرد در چین را شبیه ترین رودخانه از نظر وضعیت هیدرولیکی و رسوب به رودخانه کن دانست. بر اساس این دستورالعمل به علت ساده سازی های انجام شده در در نظر گیری دانه بندی یکنواخت بستر در تمام بازه مطالعاتی و همچنین یکنواخت نبودن پارامترهای جریان در کل بازه مطالعاتی، روش یانگ به عنوان تابع انتقال رسوب در مدل استفاده گردید [۱۱].

معادله سقوط ذرات: در این پژوهش محاسبه سرعت سقوط ذرات به روش فن راین انجام گرفت. در مطالعات مشابه با فرض تابع یانگ به عنوان تابع انتقال رسوب، از روش فن راین برای محاسبه سرعت سقوط استفاده گردیده است.

ضخامت لایه فعال: محاسبه ضخامت لایه فعال و همچنین تغییرات عمقی لایه های بستر رودخانه، به روش Exner 5 که این مقدار را برابر بستر d_{90} در نظر می گیرد، انجام می شود. که این فرض برای بسترهای ماسه ای همانند بستر رودخانه کن مناسب است.

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

به منظور پیش بینی حرکت و رفتار رسوبات در طول رودخانه، پروفیل های طولی رودخانه در بخش های upper, middle و lower به صورت تراز کف بستر رودخانه در سال ۲۰۱۲ و تراز پیش بینی شده در ۸ سال بعد ترسیم و با مقایسه آنها، تغییرات مورفولوژی بستر رودخانه بررسی گردید. موقعیت بازه upper از رودخانه در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): پروفیل طولی رودخانه کن در بازه upper

به علت طولانی بودن رودخانه در بازه middle و عدم وضوح انتقال رسوب کل این بخش در یک شکل، برای نمایش بهتر آن، رودخانه به چند قسمت تقسیم و نتایج آن از ابتدای این بازه در شکل (۵-الف) تا (۵-غ) نشان داده شده است.

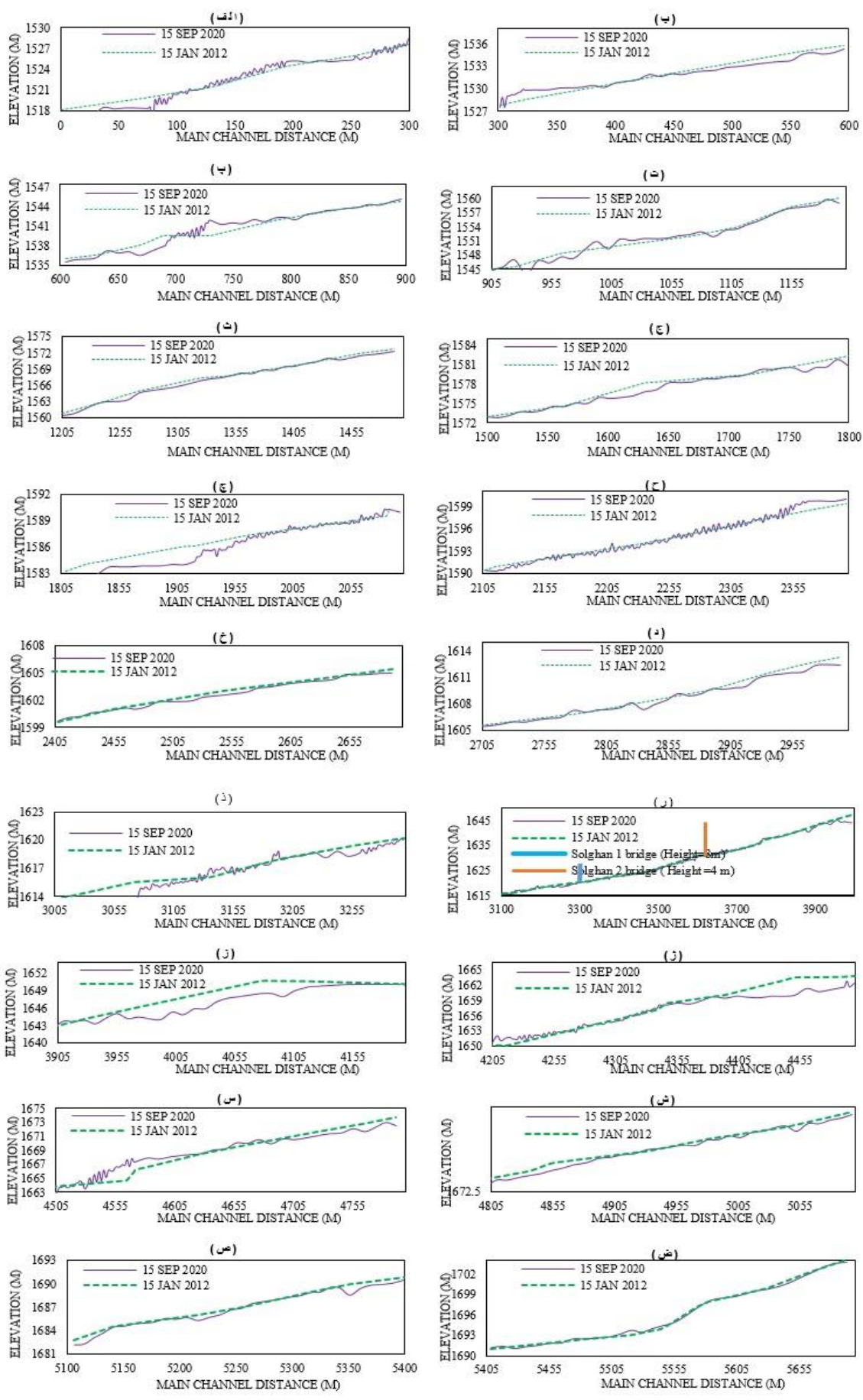
¹ Yellow River

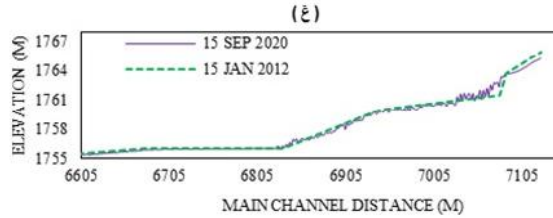
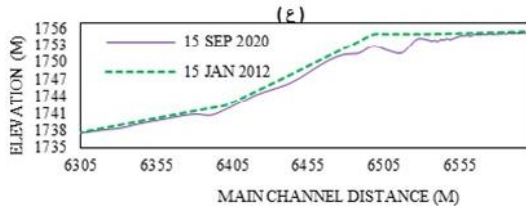
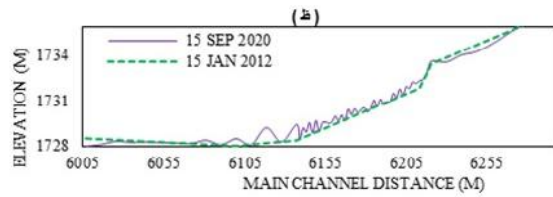
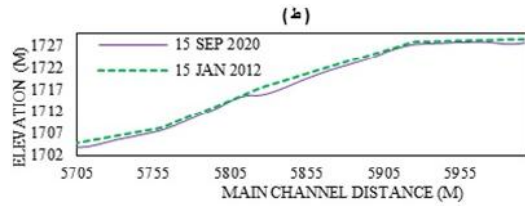


ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران

با رویکرد: پیوند اکولوژیکی با چرخه آب برای پایداری سرزمین

۱ - ۳ اردیبهشت ۱۳۹۵ - دانشگاه کردستان

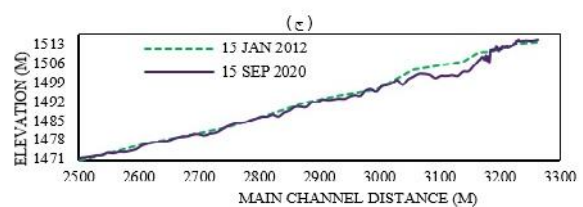
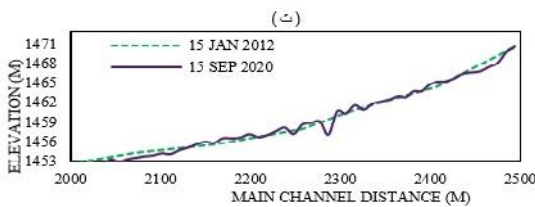
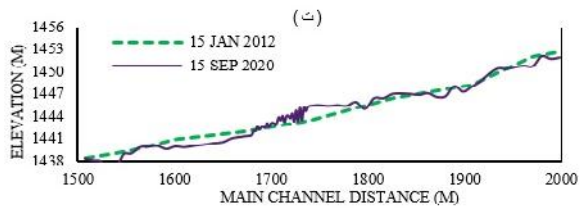
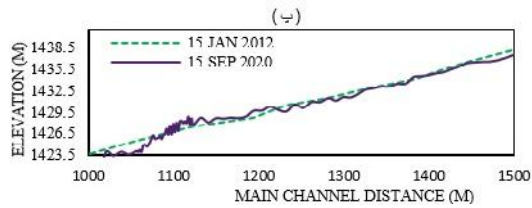
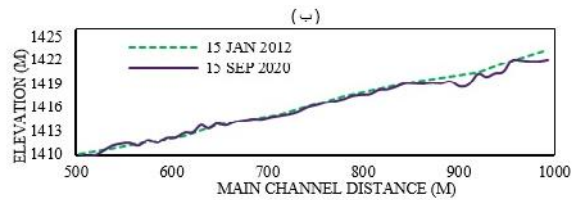
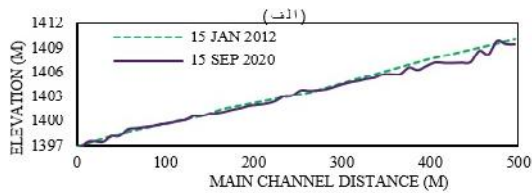




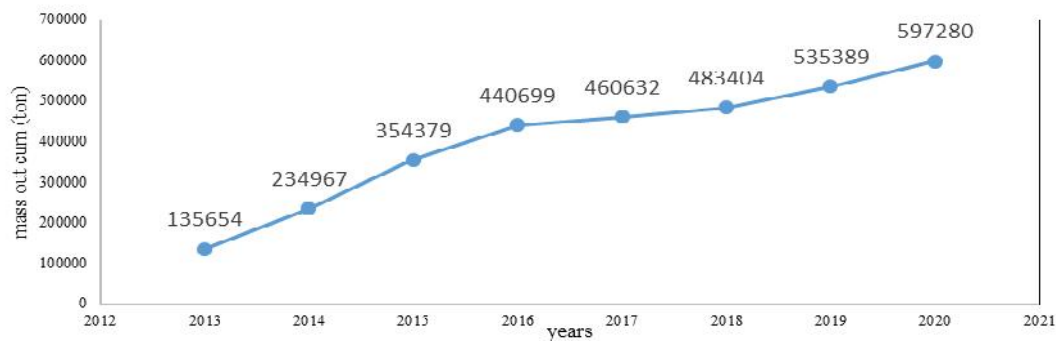
شکل ۵ (الف) تا (غ): پروفیل طولی رودخانه کن در بازه middle

انتقال رسوب بخش lower رودخانه نیز همانند بازه middle در چند بخش از ابتدای بازه در شکل (۶-الف) تا (۶-ج) نمایش داده شده است.

شکل ۶ (الف) تا (ج): پروفیل طولی رودخانه در بازه lower در ابتدا و انتهای بازه زمانی مورد مطالعه



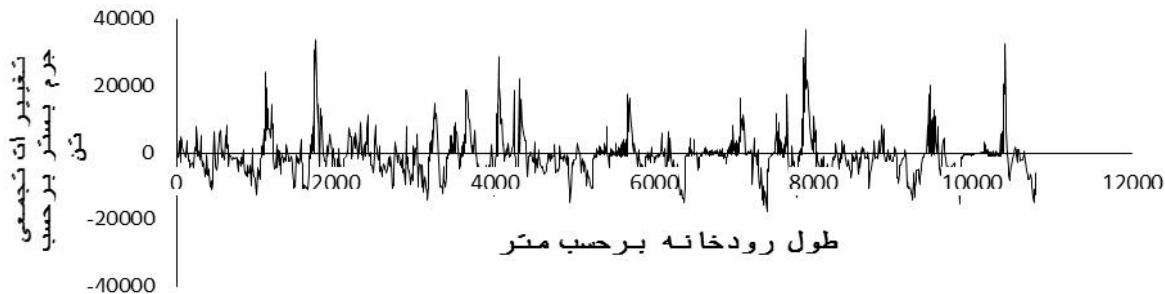
نتایج مدل، کل کف کنی بستر رودخانه را در سال ۲۰۲۰، به میزان ۵۹۷۲۸۰ تن پیش‌بینی می‌کند. شکل (۷) مقدار رسوب- برداری پیش‌بینی شده در رودخانه را بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰ نشان می‌دهد.



شکل (۷): مقدار رسوب برداری سالانه پیش‌بینی شده رودخانه کن بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰



شیب نمودار از سال ۲۰۱۶ میلادی به بعد کاهش یافته که به معنای کاهش وزن رسوب برداری از بستر رودخانه کن در سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ میلادی است. علت این امر را می‌توان در خشکی سال‌های مذکور دانست. شکل (۸) مقدار مجموع تغییرات ایجاد شده در بستر رودخانه را در دوره زمانی ۸ ساله مورد مطالعه نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۰؛ مقدار کل رسوب برداری از بستر رودخانه ۳۵۶۲۴۸۰ تن و مقدار کل رسوب گذاری در آن ۲۹۶۵۲۰۰ تن برآورد می‌گردد که نهایتاً منجر به ۵۹۷۲۸۰ تن کف کنی در بستر رودخانه می‌شود.



شکل (۸): مقدار تغییرات تجمعی جرم بستر در طول رودخانه

مقدار تناژ رسوب برداری، رسوب گذاری و نهایتاً کل کف کنی قابل پیش‌بینی در هر یک از بازه‌ها و شاخه‌های فرعی رودخانه کن در انتهای دوره زمانی ۸ ساله آینده، طبق جدول (۲) و متوسط مقادیر کف کنی سالانه رودخانه در بازه‌های مختلف در جدول (۳) ارائه شده است. لازم به ذکر است؛ مقدار کل کف کنی از تفاضل مقادیر تناژ رسوب برداری و رسوب گذاری حاصل می‌شود.

جدول (۲): تناژ رسوب برداری، رسوب گذاری و کف کنی در هر بازه در انتهای ماه ۹ سال ۲۰۲۰

بازه رودخانه	رسوب برداری (تن)	رسوب گذاری (تن)	کل کف کنی (تن)
Upper	۱۳۸۷۲۰	۵۰۶۰	۱۳۳۶۶۲
Tributary-kiga	۹۳۴۵۵	۸۱۹	۹۲۶۳۶
Middle	۲۲۰۳۸۱۹	۲۱۱۹۶۱۶	۸۴۲۰۳
Tributary-keshar	۶۸۸۰۷	۲۹۹۰	۶۵۸۱۶
Lower	۱۰۵۷۶۷۶	۸۳۶۷۱۳	۲۲۰۹۶۳
مجموع	۳۵۶۲۴۷۷	۲۹۶۵۱۹۸	۵۹۷۲۸۰

جدول (۳): متوسط سالانه کف کنی رودخانه کن در هر بازه در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰

بازه رودخانه	مقدار سالانه فرسایش بستر (تن)
Upper	۱۷۲۴۷
Tributary-kiga	۱۱۹۵۴
Middle	۱۰۸۶۵
Tributary-keshar	۸۴۹۲
Lower	۲۸۵۱۱
مجموع	۷۷۰۷۰

همان‌طور که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، عمده کف کنی رودخانه در بخش lower ایجاد می‌شود. علت این امر را - می‌توان پیوستن شاخه فرعی نسبتاً پرآب کشار به رودخانه و در نتیجه کاهش غلظت رسوب و افزایش توان کف کنی رودخانه در این بخش نسبت داد. نتایج مدل‌سازی حاکی از آن است که متوسط سالانه کف کنی رودخانه کن ۷۷۰۷۰ تن و کل کف کنی مورد انتظار در سال ۲۰۲۰ میلادی ۵۹۷۲۸۰ تن خواهد بود که مقدار قابل توجهی است. به منظور تحلیل نتایج



مدلسازی رسوب و بررسی صحت نتایج آن، از مفهوم حد آستانه حرکت ذرات استفاده گردید [۱۲]. با استفاده از نمودار شیلدز [۱۳]، انتظار کف کنی در طول رودخانه وجود دارد که با نتایج شبیه‌سازی انجام گرفته مطابقت دارد.

۴- مراجع

[۱] روشن، ح. وهاب‌زاده، ق. سلیمانی، ک. فرهادی، ر. (۱۳۹۲). "شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی: رودخانه بشار، استان کهگیلویه و بویر احمد)" پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، شماره ۷، سال چهارم.

[۲] یمانی م.، شرفی س. (۱۳۹۱). "پارامترهای هندسی و نقش آن‌ها در تغییرات زمانی مکانی بستر رود" نشریه جغرافیا و توسعه، شماره ۷۱، ص ۴۳-۵۰.

[۳] پیرو، م. قمشی، م. نوحانی، ا. روانسالار، م. (۱۳۹۱). "بررسی وضعیت رسوب بستر رودخانه با مدل عددی HEC-RAS، مطالعه موردی رودخانه بشار یاسوج" همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای.

[۴] اسدی، ف. فضل‌ولی، ر. عمادی، ع. اسدی، م. (۱۳۹۰). "تحلیل هیدرولیک رسوب رودخانه با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS (مطالعه موردی رودخانه تالار)" نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

[5] Wardman, B.G., B.R. Hall, and C.M. Kramer (2009). "One-Dimensional Modeling of Sedimentation Processes on the Puyallup River" World Environmental and Water Resources Congress 2009, 10.1061/41036(342)356.

[۶] بزرگی، ع. پورجعفر، م. بمانیان، م. (۱۳۸۳). "روند برنامه ریزی در جهت احیای رود دره های شهر تهران، مورد مطالعه رود دره کن" اولین همایش منطقه‌ای توسعه منابع آب.

[۷] افتخاری، م. (۱۳۹۰). "مدیریت جامع سیل، مطالعه موردی: حوضه آبریز کن"

[۸] بهرنگی، ف. (۱۳۸۸). بررسی روند رسوب‌گذاری در مخزن سد لتیان، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه تهران

[۹] افتخاری، م. (۱۳۹۰) "گزارشات طرح جامع سیلاب، گزارش تخصصی هیدرولیک" موسسه تحقیقات منابع آب ایران

[10] Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., Applied hydrology, Mc Graw-Hill, 1988

[11] Erosion and Sedimentation Manual. Bureau of Reclamation (2012), Interior, U.S.D.O.T.

[12] Xu, G. (2004), "Discrete Laplace-Beltrami operators and their convergence" J. Computer Aided Geometric Design, 21(8), 767-784.

[13] Govender, M. and C. Everson (2005) "Modelling streamflow from two small South African experimental catchments using the SWAT model" J. Hydrological Processes, 19(3), 683-692.