بررسی رفتار رسوبی، تشکیل جزایر رسوبی وآثار برداشت شن و ماسه رودخانه دره‌رود در پائین‌دست سد عمارت

زینب کراری[۱]، محمد کبارفرد[۲]، اسماعیل محمودی[۳]، حمید حاتمی[۴]

۱- کارشناس ارشد عمران آب مهندسین مشاور آذر بولاق تبریز

۲- دکتری سازه‌های آبی مهندسین مشاور آذر بولاق تبریز

۳- نماینده مجری طرح های مهندسی رودخانه شرکت آب منطقه ای اردبیل

۴- کارشناس دفتر مهندسی رودخانه و سواحل شرکت آب منطقه ای اردبیل :

(kobardam@yahoo.com)

خلاصه

اهمیت در نظر گرفتن فرسایش و رسوب در رودخانه ها تعیین کننده عمر مفید مخازن سدها، پلها و سازه های احداث شده در مسیر جریان رودخانه است؛ در این مطالعات به کمک نرم افزار HEC-RAS 4.1.0 ابتدا بار بستر کل با روشهای موجود محاسبه شده سپس با توجه به نتایج مطالعات هیدرولوژی موجود روش یانگ انتخاب گردید و به روش شبه غیر ماندگار رفتار رسوبی رودخانه دره برای ۱۲ سال شبیه سازی شد و کلیه بازه های فرسایش پذیر و رسوبگذار و پایدار تعیین گردید نتایج نشان داد حداکثر فرسایش طی ۱۲ سال شبیه سازی ۳۵ سانتیمتر و حداکثر رسوبگذاری ۷۰ سانتیمتر می‌باشد. همچنین مناطق مستعد تشکیل جزایر رسوبی در محدوده مورد مطالعه مشخص گردید سه چاله برداشت شن و ماسه در پایین دست پل اصلاندوز به قطر ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ متر و حداکثر عمق به ترتیب ۱، ۱/۵ و ۲ متر مدل سازی شدند. این سه چاله بازه ۱۲۰۰ متری را دستخوش تغییرات قرار می‌دهند.

کلمات کلیدی: برداشت شن و ماسه، فرسایش، رسوبگذاری، رودخانه دره‌رود، HEC-RAS

۱. مقدمه

یکی از بخش‌های مطالعات مهندسی رودخانه که جایگاهی مهم و مؤثر در ارائه طرحهای متناسب با وضعیت رودخانه دارد بحث فرسایش و رسوب در رودخانه است. اهمیت در نظر گرفتن فرسایش و رسوب در رودخانه ها تعیین کننده عمر مفید مخازن سدها، پلها و سازه های احداث شده در مسیر جریان رودخانه است؛ مهندسین هیدرولیک و زمین شناسان طی دو قرن گذشته حرکت مواد رسوبی در رودخانه ها را مورد بررسی قر ار داده‌اند چر ا که رفتار مواد رسوبی در هیدرولیک رودخانه و تغییر مورفولوژی آن دارای اهمیت است. طبیعت پیچیده انتقال رسوب و وابستگی آن به شرایط طبیعی، علم انتقال رسوب را به رشته‌ای تجربی و یا حداقل نیمه تجربی تبدیل کرده است . انتقال رسوب زمانی اتفاق می افتد که جریان آب قدرت انتقال ذرات تشکیل دهنده را دارا باشد. مطالعات هیدرولیک رودخانه ، انتقال رسوب و تغییرات آبراهه می‌تواند از طریق مدل فیزیکی و یا مدل ریاضی انجام گیرد .مدل های فیزیکی به طور عموم برای یک پروژه خاص ساخته می‌شوند در حالی که مدل‌های ریاضی نسبت به مدل‌های فیزیکی حالت کلی‌تر دارند.

حق پرست و همکاران (۱۳۹۵) به کمک نرم افزار HEC-RAS 4.1.0 تغییرات تراز بستر رودخانه کن در افق سال 2020 با استفاده از اطلاعات سالهای ۲۰۰۴ الی ۲۰۱۱پیش‌بینی نمودند. در این تحقیق برای شبیه‌سازی انتقال رسوب از روش یانگ و برای محاسبه سقوط ذرات از روش فن راین استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان میدهد که بستر رودخانه در سالهای ۲۰۱۲ الی ۲۰۲۰ با فرسایش مواجه است. متوسط کف کنی سالانه رودخانه ۷۷۰۷۰ تن پیش‌بینی شده است[۱]. ساغروانی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل یک بعدی HEC-RAS 4.1.0 میزان رسوبگذاری و فرسایش در بستر و کناره های شاخه قلعه شارخ از رودخانه زاینده‌رود را در بالادست سد زاینده‌رود شبیه سازی نمودند. در دو ساحل چپ و راست رودخانه فرسایش تقریباً یکسان و میزان آن از ۲۰ سانتیمتر در سال ۱۳۷۵ به ۹۸ سانتیمتر در سال ۱۳۹۰ تغییر یافته است[۲]. قدوسی و

محمدی (۱۳۹۳)به شبیه سازی روند رسوبگذاری و فرسایش در بستر رودخانه پلرود در استان گیلان به کمک نرم افزار HEC-RAS 4.1.0پرداختند. نتایج نشان داد که در بعضی مقاطع به اندازه ۱۶ سانتی متر رسوبگذاری و در بعضی دیگر ۶۰ سانتی متر فرسایش اتفاق افتاده است و در تعدادی مقاطع با گذشت زمان به علت برابر بودن مقدار فرسایش و رسوبگذاری تغییر محسوسی مشاهده نشد[۳]. زاواترو و همکارانش (۲۰۱۶) به کمک مدل MIKE 21 رفتار رسوبی رودخانه وار در فرانسه در سیل ۳ اکتبر الی ۶ اکتبر ۲۰۱۵ را ارزیابی نمودند. این رودخانه از پتانسیل انتقال رسوب بالایی برخوردار است. در طول مطالعات، تاثیر اندازه سلولهای مش بندی و شکل سلولها (مثلثی یا مستطیلی) در دقت نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد سلول مثلثی به ابعاد ۱۰ متر بیشترین کارایی برای پیش بینی رسوب را دارد[٤]. سالم (۲۰۱۳) به کمک نرم افزار HEC-RAS 4.1.0 و GIS پر شدن چاله های ناشی از فرسایش در دره قترا در مصر بر اثر رسوبگذاری ناشی از تغییر اقلیم را در این منطقه بررسی نمود طبق بررسی انجام شده این تغییر رفتار رودخانه(تبدیل فرسایش رودخانه به رسوبگذاری) ناشی از احداث سد در بالا دست رودخانه است[٥].

۲. مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه دره رود طویل ترین رودخانه استان اردبیل بوده که در مسیر منتهی به رودخانه ارس از روستاهای بسیاری عبور می کند. سد مخزنی عمارت در حدود ۷۰ کیلومتری بالادست شهر اصلاندوز و در مختصات (۷۱۹۸۴۵,۴۳۱۷۱۲۵) بر روی این رودخانه در حال احداث است محدوده مطالعاتی این پژوهش از محل ساختگاه سد عمارت تا تلاقی رودخانه ارس می باشد، علاوه بر مسیل های متعدد که از سواحل راست و چپ در این محدوده به دره رود ملحق می گردند، رودخانه معروف سمبور چای نیز به این رودخانه متصل می گردد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را نشان میدهد.

شکل۱: محدوده مورد مطالعه در شمال غرب ایران

۲-۲-نرم افزار HEC-RAS

نرم افزار HEC-RAS [1] سیستم تحلیل رودخانه انجمن مهندسان ارتش آمریکا است که جهت روندیابی جریان در رودخانه قابل استفاده می باشد. که بصورت رایگان در اختیار عموم قرار دارد این مدل بسیار ساده و در عین حال کاربردی است. اولین نسخه از این نرم افزار در جولای ۱۹۹۵ به بازار عرضه شد. مدل فوق روندیابی در رودخانه را هم در حالت جریان ماندگار و هم غیر ماندگار و پخش رسوب را یک بعدی انجام می دهد. علاوه بر این می توان در این مدل در صورت وجود هرگونه سازه های آبی شامل پل، بند، سد، آبگذرکالورت و .... را به مدل تعریف و اضافه نمود. با وجود پیچیدگی‌های مدلسازی انتقال رسوب، به کمکHEC-RAS می‌توان شبیه‌سازی نسبتاً خوبی از انتقال رسوب در یک رودخانه داشت. معادله پیوستگی رسوب در محاسبات برنامهHEC-RAS توسط معادله اکسنر، انجام می‌گیرد. این رابطه به طور ساده تغییرات حجم رسوب در حجم کنترل را برابر تفاوت بین بار ورودی و خروجی رسوب درنظر دارد.

۳. روند انجام مطالعات

۳-۱- ارزیابی میزان بار بستر با استفاده از معادلات انتقال رسوب

[1] The Hydrologic Engineering Center River Analysis System

ابتدا باید پتانسیل انتقال بار کل رسوبی، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه تعیین گردد. از جمله معادلات توصیه شده برای محاسبه ظرفیت انتقال رسوب رودخانه‌ها می‌توان به معادله‌های ایکرز- وایت (Ackers-White)، انگلند-هانسن (Engelund-Hansen) ، لارسن (Laursen) ، میر-پیتر-مولر (Mayer-Peter-Muler MPM)، توفالتی (Toffaleti) و یانگ (Yang) اشاره نمود. لازم به توضیح است که نرم افزار HEC-RAS قادر به بررسی ظرفیت انتقال رسوب رودخانه با استفاده از کلیه معادلات مذکور می باشد. بدین منظور دانه بندی استفاده شده در مدل HEC-RAS با توجه به بازدیدهای میدانی و مشخصات دانه بندی مصالح بستر (نتایج آزمایش دانه بندی طرح تحقیقاتی) استفاده گردیده و در بعضی از بخشها از قابلیت درونیابی دانه بندی موجود در مدل HEC-RAS استفاده شده است. جدول ۱ دبی سیلاب با دوره برگشتهای مختلف رودخانه دره رود و جدول ۲ متوسط ظرفیت انتقال رسوب رودخانه دره رود به روش های مختلف در سیلاب غالب را نشان می‌دهد.

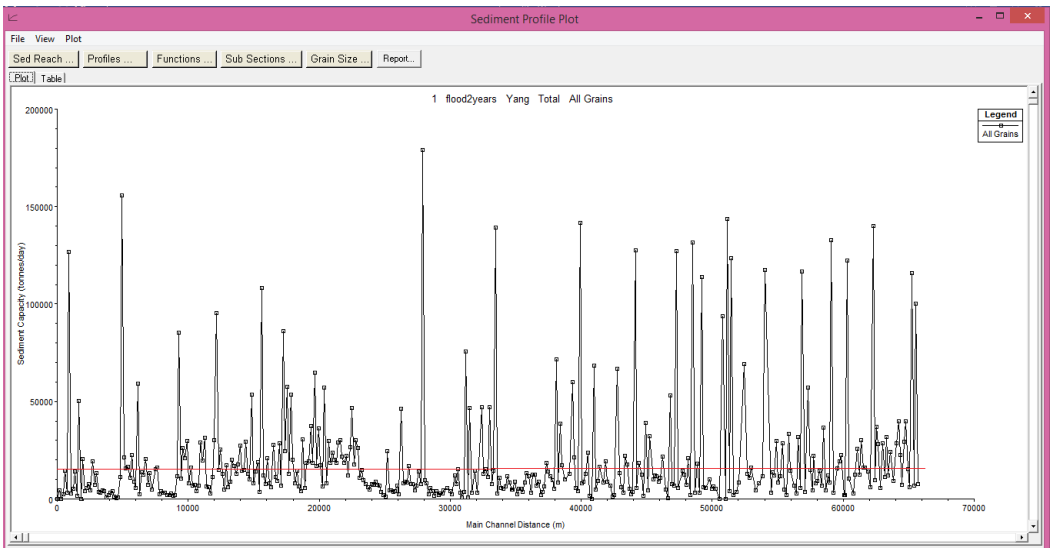
جدول۱ : دبی سیلاب با دوره برگشتهای مختلف رودخانه دره رود (بر حسب متر مکعب بر ثانیه)

دوره بازگشت	۲ ساله	۵ ساله	۱۰ ساله	۲۵ساله	۵۰ساله	۱۰۰ساله
دبی (m3/s)	۱۳۲	۲۱۲	۲۷۹	۳۷۳	۴۴۹	۵۲۷

جدول ۲: ظرفیت انتقال رسوب رودخانه دره رود به روش های مختلف در سیلاب غالب

برآورد متوسط پتانسیل انتقال رسوب (بر حسب تن در روز)						
نام روش	روش A-W	روش E-H	روش Laur	روش MPM	روش Toff	روش Yang
مجموع متوسط تن در روز	۲۴۳۶۳۵۴/۳	۱۲۴۲۰۶/۷	۵۴۲۶۶/۵	۶۶۲۲/۵	۷۵/۸	۱۴۴۱۷/۴
مجموع متوسط سالانه (هزار تن)	۸۸۹۲۶۹/۳	۴۵۳۳۵/۴۵	۱۹۸۰۷/۳	۲۴۱۷/۲	۲۷/۷	۵۲۶۲/۳۵

با توجه نتایج مطالعات هیدرولوژی موجود آورد رسوب متوسط سالانه ایستگاه بوران ۵۳۰۳۴۰۰ تن می‌باشد مقایسه نتایج حاصل از جدول ۱ بیانگر آنست که روش ظرفیت انتقال رسوب یانگ در این رودخانه از دقت مناسبی برخوردار است. شکل ۲ تغییرات آورد رسوبی بر اساس روش ظرفیت انتقال یانگ در بازه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

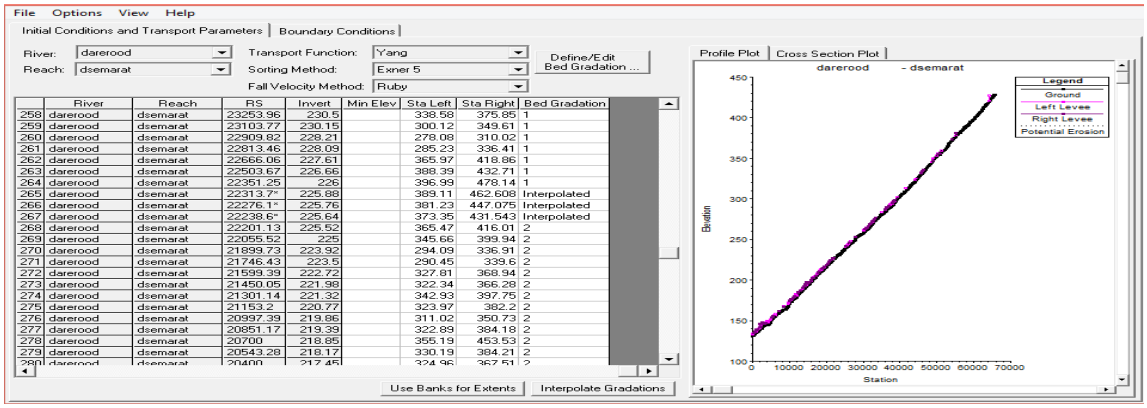


شکل ۲: تغییرات آورد رسوبی بر اساس روش ظرفیت انتقال یانگ در بازه مورد مطالعه (تن در روز)

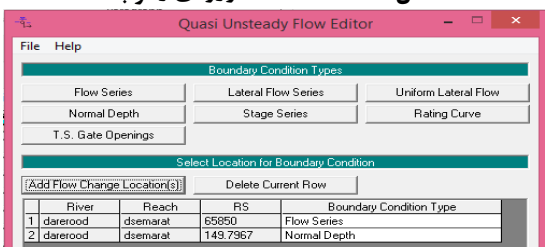
۳-۲-تعیین بازه های فرسایشی، بازه های در حال رسوبگذاری و بازه های پایدار به کمک مدل سازی هیدرولیکی

یکی از بهترین و دقیق ترین روشها جهت تعیین بازه های فرسایش‌پذیر، رسوب گذاری و پایدار مدل سازی هیدرولیکی و آنالیز رسوب (Sediment Analysis) می‌باشد بخش آنالیز رسوب از سال ۲۰۱۰ به مدل HEC-RAS اضافه شده است. بدین منظور از سیلابهای رخ داده طی ۱۲ سال (سیلابهای ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۳) که بزرگتر از ۵۵ متر مکعب بر ثانیه بوده‌اند (۴۴ رخ داد) جهت شبیه سازی جریان شبه غیرماندگار (Quasi-

Unsteady Flow) استفاده گردید. غالبا از دبی های بزرگتر از دبی ۲ ساله استفاده می‌شود چون تعداد رخداد ها کم می‌باشد از دبی بزرگتر از ۵۵ متر مکعب به عنوان شرایط مرزی استفاده گردید. حداکثر سیلاب رخ داده طی ۱۲ سال ۵۹۰ مترمکعب بر ثانیه در تاریخ ۸۵/۲/۱۸ در ایستگاه هیدرومتری بوران مشاهده شده است. اجرای مدل رسوبی احتیاج به فایل هندسی، فایل جریان شبه غیرماندگار و فایل رسوب دارد. اطلاعات مورد نیاز جهت تحلیل رسوب عبارتند از: دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه در بازه های مختلف، شرایط مرزی (شامل منحنی سنجه رسوب، سیلابهای رخ داده در طول دوره آماری)، انتخاب نوع معادله رسوب و انتخاب نوع معادله محاسبه سقوط ذرات.شکل ۳صفحه اطلاعات ورودی مدل رسوب و شکل ۴ شرایط مرزی انتخابی برای مدل رسوب را نمایش می‌دهد.

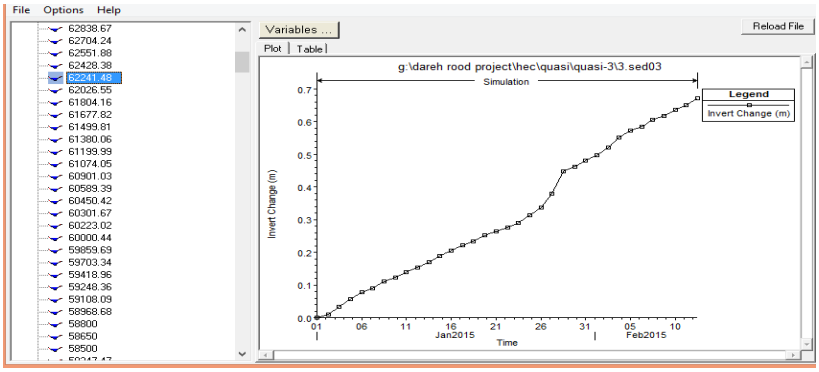


شکل ۳: صفحه اطلاعات ورودی رسوب

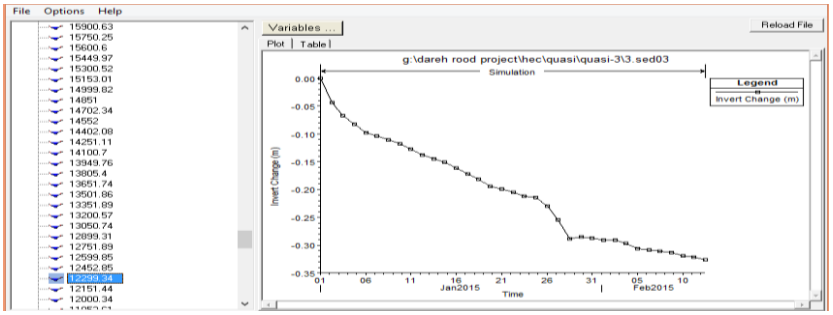


شکل ۴: شرایط مرزی

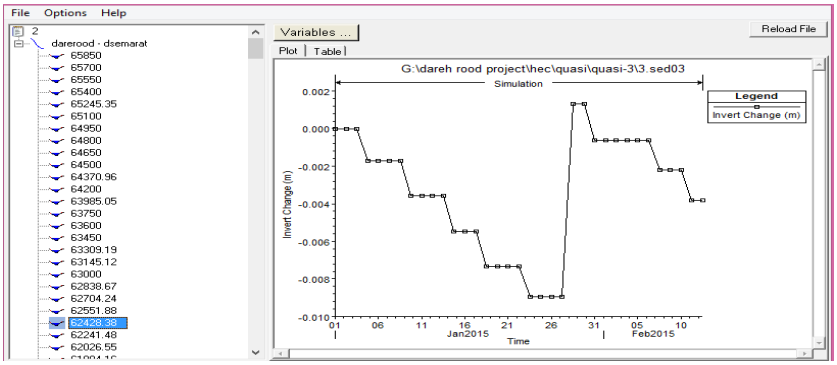
بعد ار اجرای مدل به کمک بخش Sediment Time Series تغییرات بستر تک تک مقاطع در طول ۱۲ سال قابل ارزیابی است. اگر تغییرات سیر صعودی داشته باشد مقطع در بازه رسوب‌گذار قرار دارد (شکل ۵) اگر سیر نزولی داشته باشد مقطع در بازه فرسایش‌پذیر قرار دارد(شکل ۶) اگر تغییرات کمتر از یک سانتیمتر باشد بازه پایدار است (شکل ۷).



شکل ۵: مقطع ۶۲۲۴۱ –بازه رسوب‌گذار با ۷۰ سانتیمتر رسوب



شکل ۶: مقطع ۱۲۲۹۹- بازه فرسایش پذیر با ۳۲ سانتیمتر فرسایش



شکل ۷: مقطع ۶۲۴۲۸- بازه پایدار

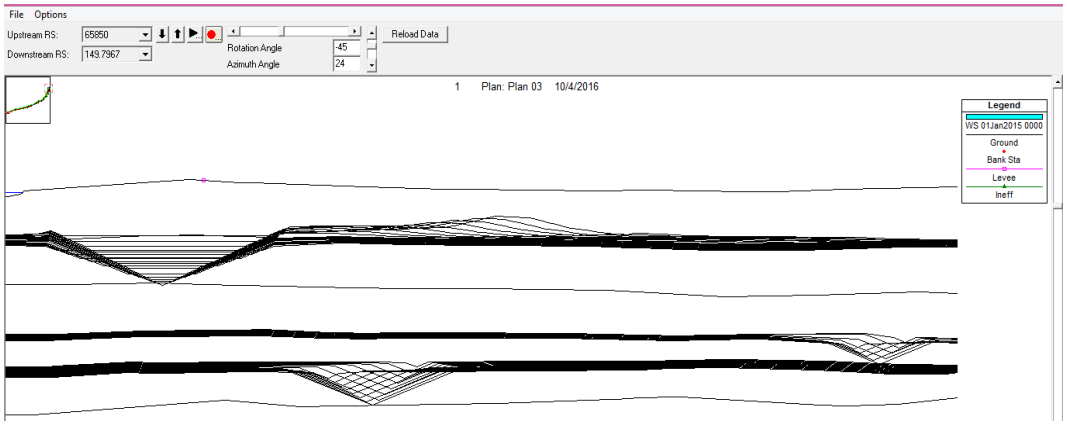
بعد از تعیین نوع تک تک مقاطع، بازه ها در گوگل ارث به شکل پلیگون مشخص گردید (پلیگون بازه فرسایش‌پذیر بنفش-بازه رسوب‌گذار سبز- بازه پایدار آبی می‌باشد) (شکل ۸).

شکل ۸: تعیین بازه ها در گوگل ارث (فرسایش‌پذیر بنفش-برسوب‌گذار سبز- پایدار آبی)

۳-۳-بررسی آثار برداشت شن و ماسه بر سازه های متقاطع رودخانه

طبق بررسی های انجام شده و بازدیدهای میدانی غالبا برداشتهای شن و ماسه از کناره های رودخانه و از بستر غیر فعال بوده است که در مدل سازی هیدرولیک رسوب اولیه لحاظ گردیده است. اما سه چاله در پایین دست پل اصلاندوز به قطر ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ متر و حداکثر عمق به ترتیب ۱، ۱/۵ و ۲ متر در محدوده دایک مشاهده گردید(شکل۹). مدل رسوبی این سه چاله تهیه شد تا تاثیر این چاله ها بر بازه های نزدیک به آن و پل اصلاندوز بررسی گردد. شکل ۱۰ نمای سه بعدی چاله ۱۰، ۱۵ و ۲۰متری در HEC-RAS را نشان می‌دهد.

شکل ۹: محل ۳ چاله برداشت شن و ماسه در گوگل ارث

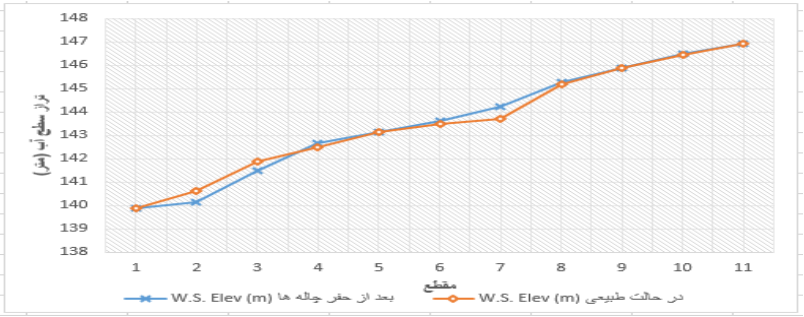


شکل ۱۰: نمای سه بعدی چاله ۱۰، ۱۵ و ۲۰متری در *HEC-RAS*

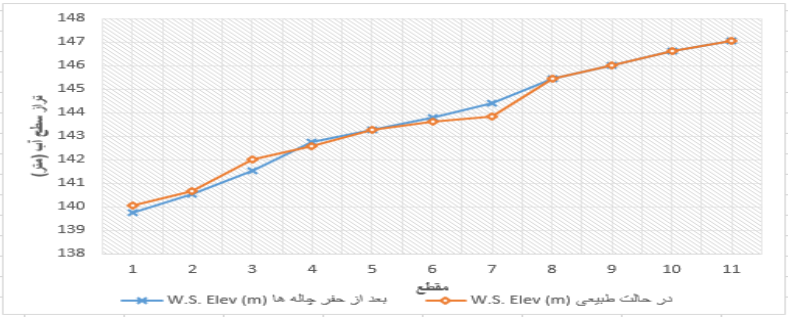
بعد از اجرای مدل به کمک بخش Sediment Time Series تغییرات بستر تک تک مقاطع مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد این سه چاله بازه ۱۲۰۰ متری از کیلومتراژ ۳/۱۵۰-۱/۹۵۰ را دستخوش تغییرات قرار می‌دهد (از نظر فرسایش و رسوب). شکل ۱۱بازه ۱۲۰۰ متری و مقاطع موجود در این بازه را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱: بازه ۱۲۰۰ متری (تغییرات ناشی از حفر ۳ چاه)

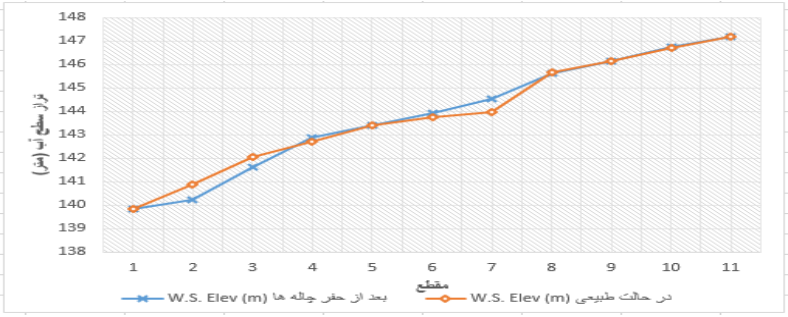
همچنین اشکال ۱۲تا ۱۴ نمودار تغییرات تراز سطح آب را در ۲ حالت قبل از حفر چاله ها و بعد از حفر چاله‌ها را نشان می‌دهد.



شکل۱۲: نمودار تغییرات سطح آب قبل و بعد حفر چاله در دبی ۲۵ ساله



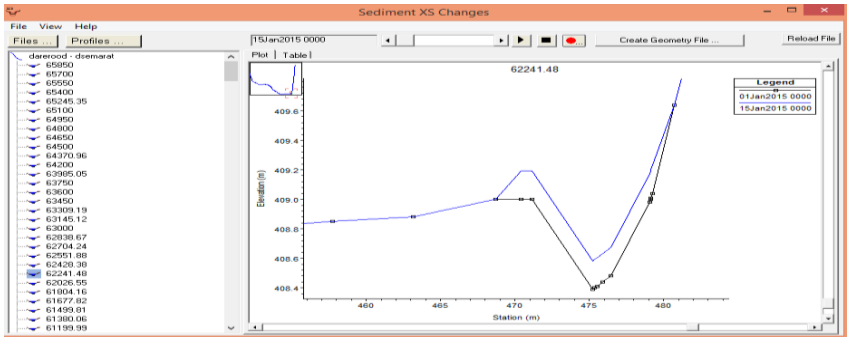
شکل۱۳: نمودار تغییرات سطح آب قبل و بعد حفر چاله در دبی ۵۰ ساله



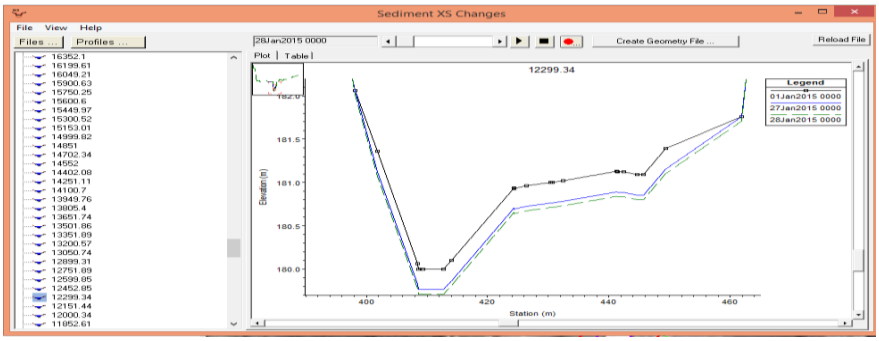
شکل۱۴: نمودار تغییرات سطح آب قبل و بعد حفر چاله در دبی ۱۰۰ ساله

۳-۴-بررسی اثرگذاری میزان رسوبات انتقال یافته از بالادست بر تشکیل جزایر رسوبی در پایین دست

با استفاده از نتایج مدل سازی رسوب رودخانه دره رود به کمک HEC-RAS ابتدا نمودار تغییرات بستر رودخانه در تک تک مقاطع مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مثال شکل ۱۵ تغییرات شکل مقطع ۶۲۲۴۱ را نشان می‌دهد همانطور که ملاحظه می‌فرمایید در ساحل چپ این رودخانه طی مدل سازی ۱۲ ساله نهشته رسوبی به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر و عرض ۴ متر تشکیل یافته است.کلیه مقاطع به این شیوه مورد ارزیابی قرار گرفته و بازه های رسوبگذار و فرسایش پذیر و پایدار مشخص شده‌اند. شکل ۱۶ تغییرات شکل مقطع ۱۲۲۹۹ را نشان می‌دهد همانطور که ملاحظه می‌فرمایید کل بستر بویژه در ساحل راست این مقطع از رودخانه طی مدل سازی ۱۲ ساله فرسایش یافته است.



شکل ۱۵: تغییرات شکل و تراز مقطع ۶۲۲۴۱



شکل ۱۶: تغییرات شکل و تراز مقطع۱۲۲۹۹

۴. نتیجه‌گیری

رودخانه دره رود بطور متوالی شریانی و تک شاخه است. رودخانه های شریانی پویا هستند و جابه جایی مجرا و جزایر رسوبی در آنها تکرار شونده است. پتانسیل تشکیل جزایر رسوبی در بازه های رسوبگذار بسیار بالا است. همچنین رودخانه در قسمتهای شریانی نیز از پانسیل بالایی جهت تشکیل جزایر رسوبی برخوردار است. حداکثر فرسایش مشاهده شده در طول رودخانه طی ۱۲ سال شبیه سازی ۳۵ سانتیمتر و حداکثر رسوبگذاری ۷۰ سانتیمتر می‌باشد.از آنجایی که رژیم جریان رودخانه در سال های مختلف متفاوت است به تبعیت از آن، رژیم رسوبدهی نیز تغییر می‌کند از اینرو، حجم مصالح حمل شده توسط رودخانه در سالهای پرآبی به طور محسوسی بیشتر از سالهای کم آبی است. تجدیدپذیری منابع شن و ماسه قابل دسترس بدلیل احداث سد به شدت محدود گشته است. همچنین تصور محدود شدن میزان برداشت به نرخ بازسازی رودخانه بدون پیدایش عوارض زیاد بر آبراه رودخانه، ممکن است بی توجهی و سهل انگاری نسبت به اقدامات لازم در جهت محافظت و نگه داری آبراه و همچنین بی‌توجهی نسبت به عکس العملهای پیچیده فیزیکی، شیمیایی و زیستی رودخانه در پاسخ به تغییرات بار بستر را به دنبال داشته باشد.

۵. قدردانی

از آقای مهندس علی اطاعت و آقای مهندس بهرام صاحبقرانی که در تدقیق و بررسی نتایج این مطالعات همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نماییم.

۶. مراجع

۱. حق پرست، ن. حسینی، ا. ترابی ، ا. تجریشی ، م. (۱۳۹۵). پیش بینی تغییرات تراز بستر رودخانه کن با استفاده از مدلHEC-RAS .ششمین کنفرانس مدیریت منابع آب. کردستان.

۲. ساغروانی ، س. صادقیان ، م. نعمت الهی، ش. (۱۳۹۵). مدل سازی روند تغییرات در بستر رودخانه در اثر فرسایش و رسوب با استفاده از مدل HEC-RAS، (مطالعه موردی:شاخه قلعه شارخ از رودخانه زایندهرود در بالادست سد زایندهرود) . دومین کنفرانس بین المللی اکولوژی سیمای سرزمین.اصفهان.

۳.قدوسی،ح. محمدی،ف. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی روند رسوبگذاری و فزسایش در بستر رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی رودخانه پلزود در استان گیلان) . هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران. بابل.

4. Zavattero , E . Du, M. Ma, Q. Delestre,M. (2016). 2D SEDIMENT TRANSPORT MODELLING IN HIGH ENERGY RIVER – APPLICATION TO VAR RIVER, FRANCE. *12th International Conference on Hydroinformatics, HIC 2016. Procedia Engineering 154 (2016) 536 – 543*

5. Salem,M G. (2013). Investigating the Filling Scenarios To Adapt with Climate Change Impacts (Case Study: Qattara Depression, Egypt). *Energy Procedia 36 (2013) 200 – 210*