

تغییرات مورفولوژی رودخانه پلرود در پایین دست سد، قبل و بعد از احداث سد در مقیاس کوتاه مدت

مینا سیفی زاده^۱، علیرضا عمادی^۲ و رامین فضل اولی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۰۲

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

با احداث سدهای مخزنی مقدار زیادی از رسوبات در پشت آن‌ها ته نشین می‌شود. بنابراین آب رها شده از سد بصورت زلال بوده و ظرفیت انتقال رسوب بالایی دارد که باعث فرسایش رودخانه در پایین دست سد می‌شود. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های ریاضی، تغییرات مورفولوژی رودخانه پلرود در پایاب سد برای یک دوره کوتاه مدت پس از احداث سد، پیش‌بینی شد. سپس نتایج آن با حالت عدم وجود سد مقایسه شد. نتایج نشان داد که در حالت وجود سد، فرسایش بیشتری در رودخانه ایجاد می‌شود. بیشترین فرسایش در حالت وجود سد، ۴/۷ متر و در حالت عدم وجود سد، ۳/۷ متر می‌باشد. بیشترین تاثیر احداث سد بر مورفولوژی رودخانه، تا فاصله ۱۰ کیلومتری از محور سد در پایاب می‌باشد. در فواصل دورتر تغییرات بستر رودخانه در دو حالت وجود و عدم وجود سد تقریباً مشابه و شدت این تغییرات بسیار کم می‌باشد. بیشترین تغییرات در رودخانه در سال‌های ابتدایی رخ داده و با گذشت زمان از شدت تغییرات کاسته شده است. نتایج همچنین نشان داد که فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه با گذشت زمان در حال رسیدن به تعادل می‌باشد و رودخانه به حالت رژیم خواهد رسید.

واژه‌های کلیدی: رسوبگذاری، رودخانه پلرود، فرسایش، مهندسی رودخانه، HEC-RAS.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

پست الکترونیک: Seyfizade_m64@yahoo.com

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول)

پست الکترونیک: Emadia355@yahoo.com

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

پست الکترونیک: Raminfazi@yahoo.com

مقدمه

۱. سدهای مخزنی یکی از سازه‌های عظیم آبی هستند که به منظور ذخیره‌ی آب رودخانه‌ها برای تنظیم مصارف شرب، کشاورزی و صنعت ساخته می‌شوند. سدهای مخزنی با تغییر در تراز بستر، عرض کانال، عمق جریان، اندازه مصالح بستر و پوشش گیاهی سواحل، بر هندسه هیدرولیکی رودخانه پایین‌دست تاثیر می‌گذارند (شین و پیرر. ۲۰۱۱). میزان اثر سد بر مورفولوژی رودخانه پایین‌دست، به میزان زیادی به استراتژی سد و خصوصیات رودخانه پایین‌دست وابسته است (گیجی و پیرر. ۲۰۰۳). تغییر در مورفولوژی رودخانه‌ها به دلیل تغییر در میزان ظرفیت انتقال رسوبات می‌باشد. با احداث سدهای مخزنی، آب در پشت سد ذخیره می‌شود و آبی که به پایین‌دست سد می‌رسد به عنوان آب زلال در نظر گرفته می‌شود. بنابراین آبی که وارد رودخانه در مسیر پایین‌دست می‌شود، ظرفیت انتقال رسوب بالایی دارد. در نتیجه انتظار می‌رود که این آب در پایین‌دست، میزان زیادی از رسوبات بستر را با خود حمل کند و باعث فرسایش در پایین‌دست شود.

۲. تاکنون بررسی‌های زیادی روی تغییرات مورفولوژی در دوره‌های زمانی مختلف، توسط پژوهشگران داخل و خارج از کشور انجام شده است. بررسی مکانیزم فرسایش رودخانه در پایاب سد میناب در رودخانه میناب (حسین‌زاده و نوحه‌گر. ۱۳۸۵؛ نوحه‌گر، حسین‌زاده و افشار. ۱۳۸۹)، بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی در اطراف سدها (بیاتی، کرمی، رجبی، و مختاری. ۱۳۸۸)، بررسی تاثیر سد شهید مدنی بر رودخانه پایاب (اعلمی، احمدیان، و تیموری مقدم. ۱۳۸۸) و مطالعه تاثیر سد مخزنی کرخه بر بستر رودخانه کرخه (بخشعلی‌پور و قمشی. ۱۳۹۰) از جمله پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور می‌باشد. مطالعه تغییرات بستر پایاب سد کوچیتی (گیجی و پیرر. ۲۰۰۳)،

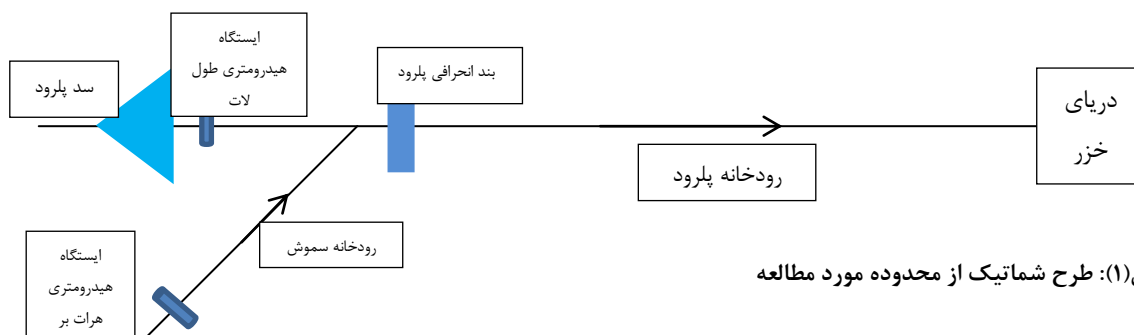
تغییرات درازمدت بستر رودخانه ریوگراندو در اثر احداث سازه‌های آبی (گیجی، پیرر و درو. ۲۰۰۵)، تغییرات هندسه هیدرولیکی پایین‌دست سد هاپ‌چئون (شین و پیرر. ۲۰۱۰)، تاثیر پالس‌های روزانه جریان ناشی از سد بر روی رودخانه هووانگ (شین و پیرر. ۲۰۱۱)، بررسی تاثیر سد اینگل برایت بر مورفولوژی پایین‌دست (۱۵) و بررسی تاثی عملکرد سد کیتسون بر مورفولوژی رودخانه آرکانساس نمونه‌هایی از مطالعات در این زمینه در خارج از کشور می‌باشد.

با توجه به اینکه سد پلرود در حال ساخت می‌باشد، در این پژوهش تغییرات مورفولوژی رودخانه پلرود پس از احداث در پایین‌دست سد مورد بررسی قرار گرفته و میزان تغییرات در دو حالت وجود و عدم وجود سد، در دوره کوتاه مدت ۵ ساله باهم مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مورد مطالعه

این مطالعه در طول ۱۵/۶ کیلومتر رودخانه پلرود، از محل احداث سد تا مصب دریا، انجام شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال ایران، بخش شرقی استان گیلان واقع شده است (بی‌نام. ۱۳۸۳). بر اساس برنامه‌ی زمان‌بندی، این سد در سال ۱۳۹۵ به بهره‌برداری می‌رسد. در فاصله‌ی دو کیلومتری از پایین‌دست سد، رودخانه‌ی سموش به رودخانه‌ی پلرود می‌ریزد و پس از محل تلاقی این دو شاخه، سد انحرافی پلرود طراحی و اجرا شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، در دو ایستگاه هیدرومتری طول‌لات (روی رودخانه پلرود) و ایستگاه هرات‌بر (روی رودخانه سموش) برداشت شده است. شکل (۱) نمای شماتیک از محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): طرح شماتیک از محدوده مورد مطالعه

همه شبیه‌سازی‌ها می‌باشد ولی عاملی که شبیه‌سازی‌ها را از یکدیگر متمایز می‌کند و باعث بوجود آمدن سیاست‌های مختلف بهره‌برداری می‌شود مقدار و زمان برداشت آب، R_t ، می‌باشد. یکی از حالاتی که شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخزن بر اساس آن انجام می‌شود، سیاست بهره‌برداری استاندارد می‌باشد که گاهی اوقات منحنی بهره‌برداری S نیز نامیده می‌شود. در بهره‌برداری از مخزن بر اساس الگوریتم SOP، ابتدا میزان سرریز، صفر و میزان برداشت آب، برابر با مقدار نیاز فرض می‌شود و سپس صحت این فرضیات کنترل و مقادیر واقعی آنها محاسبه می‌شود. اگر حجم آب درون مخزن از حجم نرمال بیشتر باشد سرریز انجام می‌شود. اگر حجم آب مخزن از حجم مرده کمتر باشد، مخزن توانایی تامین کل نیاز را ندارد و به اصطلاح کمبود رخ داده است. طبق این سیاست بهره‌برداری، هنگامی که مخزن نتواند نیاز را به طور کامل تامین کند، درصدی از آن تامین می‌شود (عمادی و خادمی، ۱۳۹۰). پس از احداث سد مخزنی، میزان آب خروجی از سد بصورت تنظیم شده است و به میزان نیاز به پایین دست می‌رسد. این نیازها شامل نیاز زیست‌محیطی و نیاز زراعی در پایین دست می‌باشد. در مواقعی از سال نیز سرریز از سد صورت می‌گیرد.

به منظور محاسبه‌ی میزان سرریز از سد در سال‌های آینده از روش SOP استفاده شده است. داده‌های ورودی به مدل شامل میزان دبی ماهانه‌ی ورودی به مخزن (۶۰ دبی ماهانه)، میزان تبخیر از سطح آزاد آب در محل مخزن، دبی‌های ماهانه‌ی نیاز زراعی و زیست‌محیطی ماهانه، جدول سطح-حجم-ارتفاع مخزن، حجم کل و حجم مفید مخزن می‌باشد. برای ورودی دبی از داده‌های پیش‌بینی شده استفاده شد و جدول سطح-حجم-ارتفاع و میزان تبخیر ماهانه از گزارشات طراحی سد اخذ شده است. در جدول (۱) توزیع ماهانه آب شرب ارائه شده است. در جدول (۲) نیاز ماهانه‌ی زراعی و زیست‌محیطی ارائه شده است. با توجه به طرح در دست اجرای سد، دبی زراعی و زیست‌محیطی وارد رودخانه می‌شود اما نیاز آب شرب در محل مخزن سد منحرف شده و در محاسبات مربوط به تغییر مورفولوژی رودخانه وارد نمی‌گردد.

مدل آنالیز آماری، مدل‌سازی و شبیه‌سازی (SAMS)
اولین نسخه مدل SAMS در سال ۱۹۹۶ توسط USBR ارائه شد. نسخه بعدی آن پس از اصلاح در سال ۲۰۰۰ وارد بازار شد. نسخه‌ی حال حاضر مدل SAMS 2007 می‌باشد که شامل روش‌های جدید مدل‌سازی و همچنین ایجاد داده‌های نسل آینده است. مدل SAMS 2007 توانایی آنالیز آماری نسل آینده داده‌ها، به صورت سالانه و ماهانه، و تبدیل داده‌های اصلی به نرمال را دارا است. این مدل شامل دو طرح مدل‌سازی بزرگ برای ایجاد نسل بعدی داده‌ها از سیستم‌های پیچیده‌ی شبکه‌های رودخانه است و در آن تعداد نمونه‌ها و تعداد سال‌های نسل بعدی نامحدود است. مهمترین هدف SAMS ایجاد داده‌های هیدرولوژیکی نسل بعدی است (سویسون، سالاس، لن و فرورت، ۲۰۰۷). با توجه به اینکه سد پلرود هنوز به بهره‌برداری نرسیده است، برای بررسی تغییرات بعد از ساخت سد، باید دبی رودخانه برای سال‌های آینده پیش‌بینی شود که به این منظور از نرم‌افزار SAMS 2007 استفاده شده و دبی جریان برای سال‌های ۱۳۹۵ (زمان بهره‌برداری از سد) تا ۱۳۹۹ در دو ایستگاه هیدرومتری طول‌لات (با ۲۹ سال آماری موجود) و ایستگاه هیدرومتری هرات‌بر (با ۱۱ سال آماری موجود) پیش‌بینی گردید.

شبیه‌سازی مخزن و برنامه SOP

تعیین حجم ذخیره مخزن در هر دوره بر اساس دبی ورودی به مخزن، برداشت آب و تلفات آب، شبیه‌سازی مخزن گفته می‌شود. شبیه‌سازی مخزن بر اساس رابطه پیوستگی که بصورت رابطه (۱) می‌باشد، بیان می‌گردد.

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + P_t - R_t - E_{vt} - spill_t \quad (1)$$

که در آن S_{t+1} ذخیره مخزن در ابتدای دوره $t+1$ ، S_t حجم ذخیره مخزن در ابتدای دوره t ، Q_t حجم جریان ورودی به مخزن در دوره t ، P_t حجم بارش بر سطح دریاچه در دوره t ، R_t حجم برداشت یا رهاسازی از مخزن سد در دوره t ، E_{vt} حجم تبخیر از سطح دریاچه در دوره t و $Spill_t$ حجم سرریز در دوره t می‌باشد. رابطه (۱) مبنای

جدول (۱): نیاز آب شرب ماهانه (MCM)

فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع
۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۲۷	۳/۲۷	۳/۲۷	۳/۲۷	۳/۲۷	۳/۲۷	۴۰

جدول (۲): نیاز زراعی و نیاز زیست محیطی ماهانه (m³/s)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
چای	۰	۰.۸۸	۴/۰۶	۵/۴۱	۳/۳۸	۱/۲۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شالی	۸/۶۸	۱۲/۷۴	۱۱/۹۴	۱۲/۳۳	۲/۰۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زیست محیطی	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶
مجموع	۱۰/۰۴	۱۴/۹۸	۱۷/۳۶	۱۹/۱	۶/۸۲	۲/۶۲	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳۶

مدل هیدرولیکی HEC-RAS

این مدل یک شبیه‌ساز ریاضی است که به منظور انجام محاسبات هیدرولیکی یک بعدی برای شبکه‌ی کاملی از کانال‌های طبیعی و مصنوعی توسط انجمن مهندسی ارتش آمریکا ارائه شده است. این مدل نسخه‌ی تکمیل‌شده‌ی مدل HEC-2 می‌باشد که امکان محاسبات یک‌بعدی در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار، مدل‌سازی انتقال رسوبات بار بستر و آنالیز کیفیت آب را دارا می‌باشد. اولین نسخه‌ی HEC-RAS در جولای ۱۹۹۵ ایجاد شد. بعد از آن نسخه‌های ۱/۱، ۱/۲، ۲/۰، ۲/۲، ۳/۰، ۳/۱ و نسخه‌ی ۴ به بازار آمد. نسخه‌ی حاضر ۴/۱ در جولای ۲۰۱۰ به بازار آمده است (جبل‌فرد، امیدوار و نجفی جیلانی، ۱۳۸۷). قسمت رسوبی مدل HEC-RAS شبیه‌سازی یک بعدی محاسبات انتقال (حرکت) رسوبات ناشی از فرسایش و رسوبگذاری در طول دوره‌های زمانی را انجام می‌دهد. روندیابی رسوبی HEC-RAS با حل معادله‌ی پیوستگی رسوب که بصورت معادله (۲) می‌باشد، انجام می‌شود.

$$(1 - \lambda_p) B \frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (2)$$

در این رابطه، B، عرض کانال، η ، تراز کانال، λ_p لایه متخلخل فعال، t، زمان، x، فاصله و Q_s ، بار رسوبی منتقل شده می‌باشد. این معادله حالتی را که تغییرات حجم رسوب در حجم کنترل برابر با تغییرات بین بار رسوبی ورودی و خروجی است ساده‌سازی می‌کند. برای تعیین پتانسیل

انتقال رسوب در مدل HEC-RAS معادلات مختلفی وجود دارد که شامل ایگر و وایت، ویلکوک، یانگ، میر پیتر و مولر، توفالتی، انگلند-هارنسن و لارسن-کوپلند می‌باشد.

تعیین ضریب مانینگ

انتخاب ضریب مانینگ صحیح برای محاسبه‌ی درست پروفیل سطح آب بسیار مهم است. مقدار ضریب مانینگ بسیار متنوع است و به فاکتورهای زیادی وابسته است که شامل زبری سطح، پوشش گیاهی، بی‌نظمی کانال، امتداد کانال، فرسایش و رسوب‌گذاری، اندازه و شکل کانال، دبی، تغییرات فصلی، دما و مواد معلق و بار بستر می‌باشد. به طور کلی ضریب مانینگ زمانی که پروفیل سطح آب مشاهداتی موجود باشد، واسنجی می‌شود، اما زمانی که داده اندازه‌گیری موجود نباشد، مقدار n براساس شرایط کانال‌های مشابه محاسبه می‌شود و یا مقادیر مشاهده شده از داده‌های آزمایشی می‌تواند راهنما در انتخاب مقدار n باشد. فرمول کاون، جداول و اسلایدهای چاو، جداول دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، اسلایدهای USGS و روش عملی و دانه‌بندی از جمله روش‌های تعیین ضریب مانینگ می‌باشند. روابط تجربی تعیین ضریب مانینگ شامل رابطه استریکلر، میر پیتر و مولر، کولگان، لین و کارلسون، اندرسون و رابطه U.S.Army می‌باشد که در منابع علمی موجود است.

به منظور مقایسه اشل محاسباتی و واقعی، از معیار جذر میانگین توان دوم خطا (RMSE)، که در رابطه (۳) ارائه شده است، استفاده گردید. در این رابطه، h_o مقادیر اشل

نتایج و بحث

ابتدا بر اساس آمار موجود، دبی جریان در رودخانه در مدل SAMS پیش‌بینی و سپس میزان سرریزی از سد در مدل SOP تخمین زده شد. شکل (۳) مقاطع عرضی رودخانه از محل سد تا مصب دریا در مدل HEC-RAS را نشان می‌دهد.

به منظور تعیین ضریب زبری مانینگ، ابتدا براساس دانه‌بندی‌های موجود از مسیر رودخانه، کل رودخانه به ۷ بازه تقسیم شد. سپس مقادیر ضریب زبری مانینگ به ازای روابط عملی که در بخش مواد و روش‌ها گفته شد، بدست آمد. پس از آن با استفاده از مقادیر مختلف دبی که میزان اشل آن در ایستگاه هیدرومتری طول‌لات، واقع در مقطع شماره ۹۴ رودخانه، اندازه‌گیری شده بود، مدل HEC-RAS با استفاده از ضریب زبری بدست‌آمده از روش‌های مختلف بصورت ماندگار اجرا شد. مقایسه مقادیر اشل مشاهداتی و محاسباتی، نشان داد رابطه‌ی U.S.Army نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

پس از این مراحل، از طریق جداول دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، جداول و اسلایدهای کتاب چاو و اسلایدهای USGS و مشخصات رودخانه، که از طریق بازدید میدانی و تهیه عکس بدست آمده بود، مقادیر زبری مانینگ از این روش‌ها بدست آمد (حسینی. و ابریشمی. ۱۳۷۹؛ چاو. ۱۹۵۹). در جدول (۴) مقادیر این ضرایب آمده است. سپس مدل HEC-RAS برای دبی‌های مختلف با استفاده از ضریب زبری بدست‌آمده برای هر یک از روش‌ها، اجرا شد. در جدول (۵) مقادیر RMSE بین اشل محاسباتی و اندازه‌گیری شده آمده است. با توجه به نتایج، مقدار ضریب زبری مانینگ بدست آمده از اسلاید USGS، دارای کمترین مقدار RMSE است و به عنوان مقدار مناسب برای رودخانه‌ی پلرود تعیین می‌شود. باتوجه به اینکه در طول رودخانه فقط یک ایستگاه هیدرومتری موجود می‌باشد، واسنجی مربوط به ضریب مانینگ فقط در محدوده این ایستگاه قابل اعتماد است. بنابراین ضریب n در نقاط دیگر با توجه به عکس‌های تهیه شده و استفاده از اسلاید USGS، تعیین و در مدل وارد گردید. لازم به توضیح می‌باشد که تغییرات زمانی ضریب مانینگ در نظر گرفته نشده است.

مشاهده‌ای، h_c مقادیر اشل محاسباتی و n تعداد دفعات اندازه‌گیری می‌باشد (شین و پیرر. ۲۰۱۰).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_o - h_c)^2}{n}} \quad (3)$$

مدل ریاضی Curve Expert

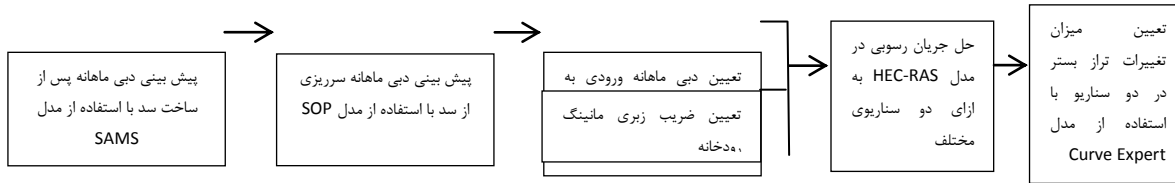
این برنامه از سال ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ بوسیله‌ی هایمز پشتیبانی و رفع اشکال شده و برای محیط ویندوز طراحی شده است. این برنامه طوری نوشته شده که می‌تواند بطور خودکار، برخی از توابع معروف را برازش داده و به ترتیب افزایش یا کاهش خطا آنها را مرتب می‌کند. علاوه بر این، کاربر می‌تواند توابعی دلخواه را تعریف کرده و ضرایب را تعیین کند. این برنامه قادر به محاسبه‌ی خطا، انتگرال، طول قوس و شیب منحنی در یک نقطه می‌باشد. در این پژوهش برای تعیین معیاری به منظور تخمین میزان تغییرات، از نرم‌افزار Curve Expert استفاده شده و میزان تغییرات تراز بستر رودخانه با استفاده از خطای استاندارد (s) تعیین شده است.

سناریوهای مورد بررسی

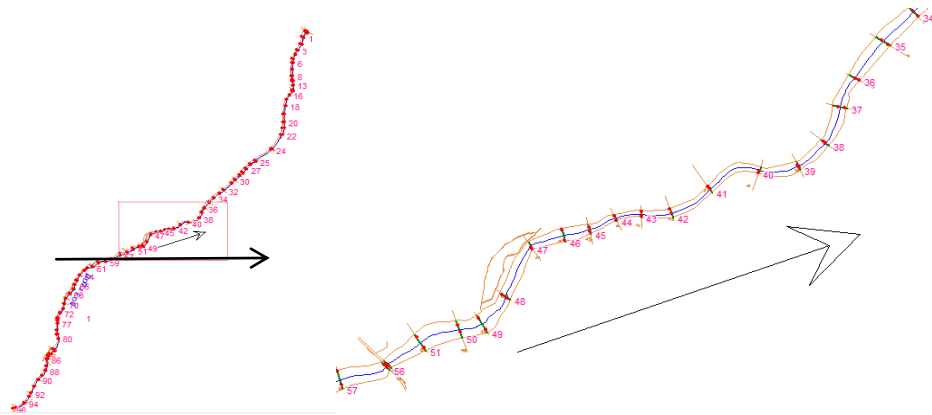
به منظور بررسی تغییرات رودخانه پلرود، دو سناریو در نظر گرفته شد. در سناریوی اول مدل به ازای ۵ سال پس از بهره‌برداری از سد (۱۳۹۵-۱۳۹۹) اجرا شد. در سناریوی دوم، تغییرات برای مدت مشابه با سناریوی اول ولی در حالت بدون سد بدست آمد. همچنین به منظور بررسی بیشتر تفاوت این دو حالت، مدل HEC-RAS به ازای چند دوره ۵ ساله پس از ساخت سد و همان مدت مشابه برای حالت عدم وجود سد اجرا شد.

روش پژوهش

در شکل (۲) فلوجارت کلی از مراحل پژوهش نشان داده شده است.



شکل (۲): فلوچارت مراحل انجام پژوهش



شکل (۳): پلان رودخانه و مقاطع عرضی واقع بر آن در محیط HEC-RAS

جدول (۴): مقادیر ضرایب زبری بدست آمده از روش های مختلف

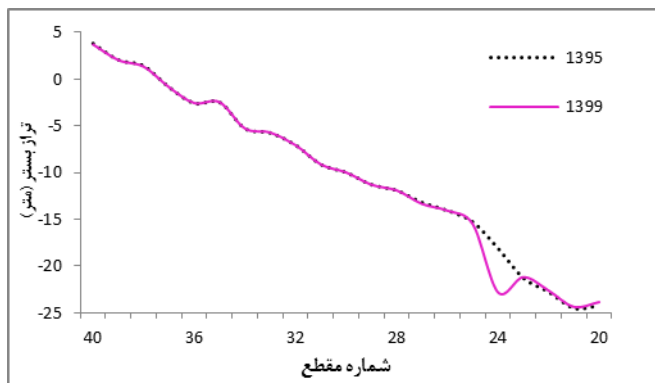
روش	جداول دفتر تحقیقات	جداول چاو	اسلاید چاو	اسلاید USGS	U.S.Army
مقدار ضریب زبری	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۰۴	۰/۰۵۲	۰/۰۴۶

جدول (۵): مقادیر RMSE بدست آمده از روش های مختلف

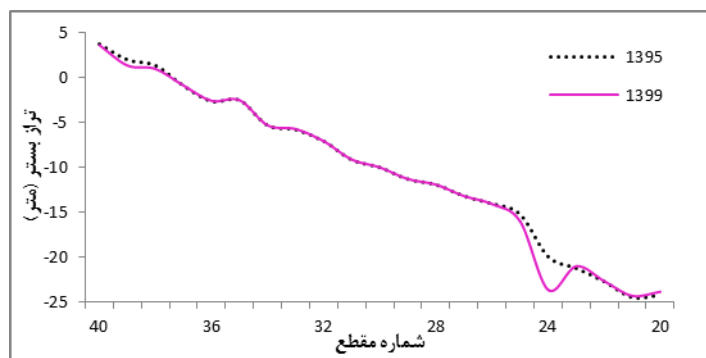
روش	جداول دفتر تحقیقات	جداول چاو	اسلاید چاو	اسلاید USGS	U.S.Army
RMSE	۰/۲۸۷	۰/۱۳۳	۰/۱۲۶	۰/۱۱۱	۰/۱۲۳

تا مسیر رودخانه خود را با این ناهمواری مطابقت دهد و از شدت این تغییر تراز ناگهانی کاسته شود. در قسمت های بالادست و پایین دست این بازه، تغییرات فرسایشی و گاه رسوبگذاری در حد چند سانتی متر بوده است. البته فرسایش در مقاطع ابتدایی در بازه رودخانه که در پایاب سد قرار داشتند نیز نسبت به دیگر قسمت های رودخانه بیشتر بوده است.

در شکل های ۴ و ۵ پروفیل طولی رودخانه در محدوده مقاطع ۴۰ تا ۲۰، در سال های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ به ترتیب در سناریوهای ۱ و ۲ ارائه شده است. در کل بازه مورد مطالعه، مقطع ۲۴ بیشترین میزان فرسایش را داشته است که علت این مسئله را می توان به پایین افتادگی ناگهانی موجود در مقطع ۲۴ در سال پایه مربوط دانست. در اثر عبور جریان، فرسایش بیشتری در این قسمت از مقطع ۲۵ تا ۲۴ رخ داده



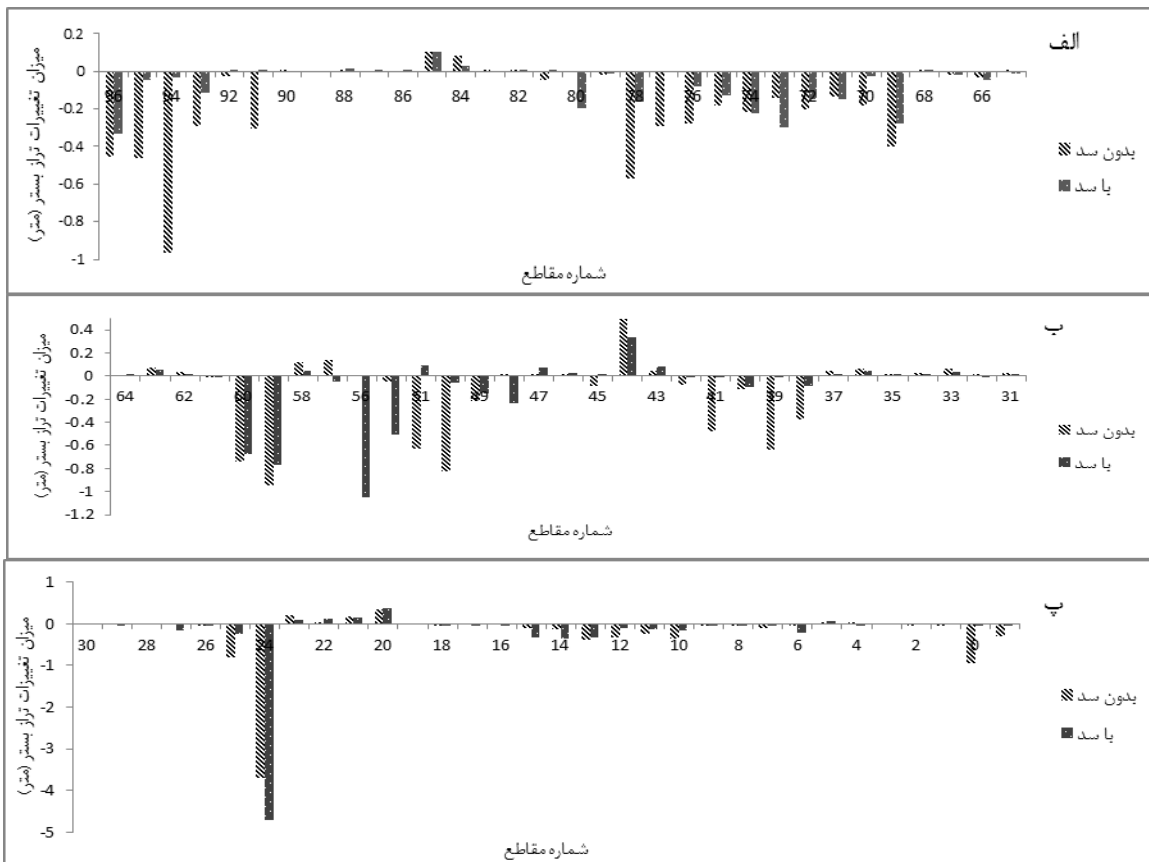
شکل(۴): تغییرات پروفیل طولی رودخانه در بازه میانی از محدوده مورد مطالعه در سناریوی ۱



شکل(۵): تغییرات پروفیل طولی رودخانه در بازه میانی از محدوده مورد مطالعه در سناریوی ۲

رودخانه تکرار شده تا جریان به مصب دریا رسیده است. البته لازم به یادآوری است که شدت تغییرات با دور شدن از سد و در مقاطع نزدیک به دریا کاهش یافته است. بیشترین فرسایش در حالت وجود سد در مقطع ۲۴ در فاصله‌ی حدود ۹ کیلومتری از سد و به میزان ۴/۷ متر می‌باشد. در حالت بدون سد، بیشترین فرسایش در همین مقطع و به میزان ۳/۷ متر می‌باشد. همچنین بیشترین میزان رسوبگذاری و بالا آمدن بستر در حالت‌های وجود و عدم وجود سد به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۴۹ متر بوده که در مقطع ۴۴ رخ داده است. بیشترین تغییرات تراز بستر در بازه میانی رودخانه اتفاق افتاده است. در بازه انتهایی و نزدیک به دریا، مقاطع تغییر بسیار کمی داشته و در برخی مقاطع میزان تغییرات چند سانتی‌متر بیشتر نبوده است.

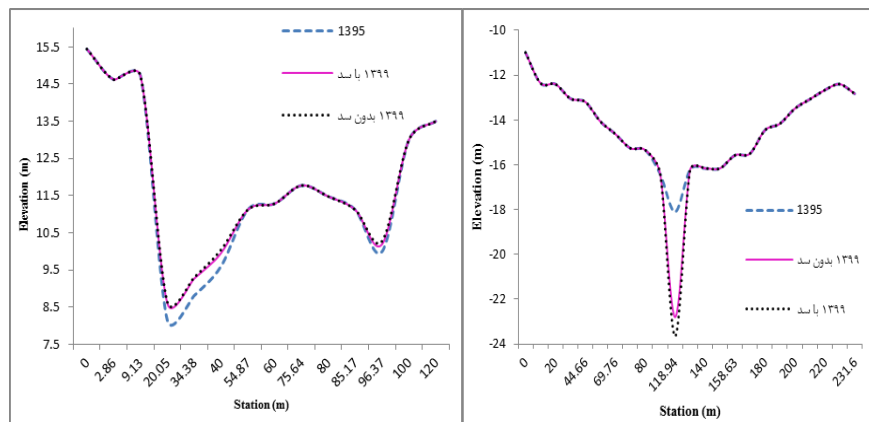
شکل(۶) تغییرات مقاطع مختلف در طول مسیر رودخانه را در دوره ۵ ساله برای حالت‌های وجود و عدم وجود سد نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود در ۵ سال اول میزان فرسایش در بستر پایاب سد در حالت وجود سد، بیشتر از مدت مشابه آن بدون وجود سد می‌باشد. علت این مسئله می‌تواند خروج آب زلال از مخزن سد و ظرفیت بالای انتقال رسوب آن باشد که موجب فرسایش در مسیر رودخانه شده است. در این دوره زمانی، تغییرات فرسایشی بسیار بیشتر از رسوبگذاری در بستر رودخانه اتفاق افتاده است. در حالت کلی ابتدا در مقاطع پایاب سد فرسایش رخ داده است، پس از آن با گذر جریان در طول مسیر رودخانه از میزان ظرفیت انتقال رسوب کاسته شده و تا جایکه رسوبگذاری صورت گرفته است. مجدداً با افزایش ظرفیت انتقال رسوب در مسیر رودخانه، فرسایش اتفاق افتاده است. این روند در طول مسیر



شکل (۶): تغییرات مقاطع مختلف در دوره ۵ ساله برای حالت‌های وجود و عدم وجود سد (الف: بازه ابتدایی، ب: بازه میانی و پ: بازه انتهایی)

مدل HEC-RAS فرسایش در قسمت‌هایی از مقطع عرضی رخ می‌دهد که جریان از آن می‌گذرد. همچنین در شکل (۸) تغییرات مقطع ۴۴ که در آن بیشترین رسوبگذاری در دو سناریوی وجود و عدم وجود سد رخ داده، نشان می‌دهد.

شکل (۷) تغییرات مقطع عرضی ۲۴ که در دو سناریو بیشترین فرسایش راداشته است، نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود فرسایش در مقطع، در کانال اصلی رخ داده و دشتهای سیلابی تغییری نداشته‌اند. به این دلیل که در



شکل (۸): تغییرات مقطع ۴۴ با بیشترین رسوبگذاری در دو سناریو

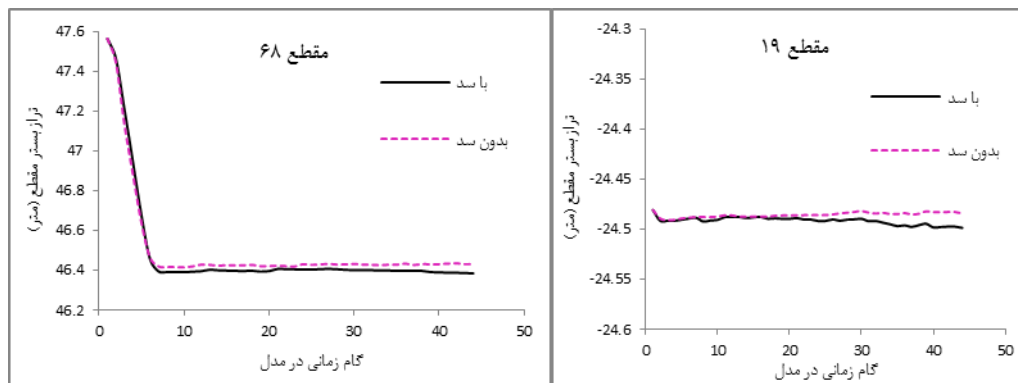
شکل (۷): تغییرات مقطع ۲۴ با بیشترین فرسایش در دو سناریو

سناریو به هم نزدیک‌تر می‌شود. میزان شدت این تغییرات نیز کم می‌شود که نشان دهنده‌ی نزدیک شدن رودخانه به حالت پایدار خود می‌باشد. به عنوان مثال تغییرات دو مقطع ۶۸ در بالادست و ۱۹ در پایین‌دست، از محدوده مورد مطالعه، در طول سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۲۰ در شکل (۹) نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود با گذشت زمان، تغییرات تراز بستر بسیار ناچیز شده و روند تغییرات در دو سناریو تقریباً یکسان است. در طول زمان رودخانه به حالت پایدار خود رسیده و میزان فرسایش و رسوبگذاری در آن به حالت تعادل درآمده است.

به منظور کمی نمودن تغییرات بستر نسبت به حالت اولیه، با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert شاخص خطای استاندارد (s)، برای دو سناریو تعیین شده است. مقدار شاخص خطای استاندارد در حالت وجود و عدم وجود سد به ترتیب ۰/۴۸۴ و ۰/۴۵۵ محاسبه شد. بنابراین تغییرات در سناریوی اول بیشتر است و وجود سد باعث فرسایش بیشتری در چند سال اول بهره‌برداری می‌شود. پس از آن مدل به ازای چند دوره ۵ ساله متوالی، اجرا و مقدار شاخص خطای استاندارد برای آنها محاسبه شد (جدول ۶). با توجه به جدول می‌توان گفت با افزایش زمان بهره‌برداری از سد، اختلاف تغییرات در دو حالت، کمتر و روند تغییرات در دو

جدول (۶): مقادیر خطای استاندارد در دوره‌های زمانی مختلف

مدت مطالعه	بدون وجود سد	با وجود سد
۱۴۰۵ - ۱۴۰۹	۰/۳۴۳	۰/۳۱۹
۱۴۱۰ - ۱۴۱۴	۰/۲۹	۰/۳۰۲
۱۴۱۵ - ۱۴۱۹	۰/۲۸	۰/۲۷



شکل (۹): روند تغییرات تراز کف مقاطع ۱۹ و ۶۸ در طول دوره زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۲۰ در دو سناریو

نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان داد که در سال‌های ابتدایی پس از بهره‌برداری از سد، رودخانه پلرود در بسیاری از مقاطع دچار فرسایش می‌شود. تاثیر وجود سد تا فاصله ۱۰ کیلومتری از محور سد نمایان‌تر است و پس از آن رودخانه تغییر چندانی نداشته است. مقایسه حالت‌های وجود و عدم وجود سد با

در این پژوهش با استفاده از مدل‌های ریاضی، تغییرات کوتاه‌مدت احداث سد پلرود بر مورفولوژی رودخانه پایین‌دست بررسی شده است. دو سناریوی در نظر گرفته شده شامل تغییرات از سال ۱۳۹۵ (زمان بهره‌برداری از سد) تا ۱۳۹۹ در دو حالت وجود و عدم وجود سد می‌باشد. نتایج

است. در دوره ۵ ساله اول پس از بهره‌برداری، بیشترین فرسایش در مقطع ۲۴، در فاصله حدود ۹ کیلومتری از محور سد و به میزان ۴/۷ متر و بیشترین رسوبگذاری ۰/۳۳ متر در مقطع ۴۴ رخ داده است. در همین دوره زمانی در حالت عدم وجود سد بیشترین فرسایش ۳/۷ متر و بیشترین رسوبگذاری ۰/۴۹ متر به ترتیب در مقاطع ۲۴ و ۴۴ اتفاق افتاده است.

استفاده از شاخص خطای استاندارد (S) نشان می‌دهد که میزان تغییرات در حالت وجود سد در ۵ سال اول بهره‌برداری بیشتر از حالت عدم وجود سد است. اما با گذشت زمان شدت تغییرات در هر دو سناریو کاهش یافته است و روند تغییرات در تراز بستر مقاطع در دو سناریو شباهت بیشتری به هم دارد. این امر بیانگر آن است که میزان فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه پس از چند سال به حالت تعادل رسیده و رودخانه به حالت رژیم خود نزدیک

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دفتر فنی، دفتر مطالعات منابع آب، دفتر تامین آب شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان و مسئولین حاضر در کارگاه ساخت سد پلرود تقدیر و سپاسگزاری می‌نماییم که اطلاعات موردنیاز در این پژوهش را در اختیار ما قرار دادند.

منابع

۱. اعلمی، م.ت.، م. احمدیان و ع. تیموری مقدم. ۱۳۸۸. برآورد تغییرات پایاب سد شهید مدنی با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS 4.0. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران، بهمن.
۲. بخشعلی‌پور، ث. و م. قمشی. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر سد مخزنی کرخه بر بستر رودخانه کرخه با استفاده از نرم‌افزار GSTARS3. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، رشت، دانشگاه گیلان، آبان.
۳. بیاتی، م.، ف. کرمی، م. رجبی و د. مختاری. ۱۳۸۸. تغییرات ژئومورفولوژیکی ناشی از احداث سدهای سهند و ملاجیح در بستر رودخانه‌های قرقنو و شور و دامنه‌های مشرف به دریاچه‌های سدها. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۸، ص ۱-۱۳.
۴. بی‌نام. ۱۳۸۳. مطالعات مرحله دوم سد مخزنی پلرود - گزارش هیدرولوژی. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان.
۵. جبلی‌فرد، س.، آ. امیدوار و ع. نجفی جیلانی. ۱۳۸۷. سیستم تحلیل رودخانه HEC-RAS. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم.
۶. حسین‌زاده، م. و ا. نوحه‌گر. ۱۳۸۵. اثرات احداث سد بر هیدرودینامیک و تغییرات بستر رودخانه میناب. نشریه جغرافیا، سال چهارم، شماره‌های ۱۰ و ۱۱، ص ۵۷-۷۶.
۷. حسینی، م. و ج. ابریشمی. ۱۳۷۹. هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ویرایش ۲.
۸. عمادی، ع. و م. خادمی. ۱۳۹۰. منحنی فرمان بهره‌برداری از سد مخزنی درودزن با استفاده از مدل آینده. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)، جلد ۲۵، شماره ۵، ص ۱۰۵۸-۱۰۶۸.
۹. نجمایی، م. ۱۳۶۳. هیدرولیک کاربردی، جلد اول، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
۱۰. نوحه‌گر، ا.، م. حسین‌زاده و ط. افشار. ۱۳۸۹. تغییرات ژئومورفولوژیک نیمرخ طولی و عرضی علیای رودخانه میناب. نشریه جغرافیا، سال هشتم، شماره ۲۴، ص ۱۳۷-۱۵۸.

11. About Curve Expert, <http://www.curveexpert.net/products/curveexpert-basic>

12. Chow, V. 1959. Open channel hydraulics. Graw-Hill Book Company

13. Giji, A.R. and Y.J. Pierre. 2003. Dam Impacts On and Restoration of an Alluvial River- Rio Grande, New Mexico. International Journal of Sediment Research, Vol. 18, No. 2, pp. 89-96.

14. Giji, A.R., Y.J. Pierre and C.B. Drew. 2005. Case Study: Modeling the Lateral Mobility of the Rio Grande below Cochiti Dam, New Mexico. ASCE.

15. Lott, C.A. and R.L. Wiley. 2012. Effects of dam operations on least tern nesting habitat and reproductive success below Keystone dam on the Arkansas River, US Army corps of engineering.

16. Manning online USGS, <http://www.camnl.wr.USGS.gov>
17. Shin, Y.H. and Y.H. Pierrer. 2010. Changes in hydraulic geometry of the Hwang River below the Hapcheon Regulation Dam, South Korea. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research.
18. Shin, Y.H. and Y.H. Pierrer. 2011. Effect of Flow Pulses on Degradation Downstream of Hapcheon Dam, South Korea. ASCE.
19. Sveinsson, O.G.B., J.D. Salas, W.L. Lane and D.K. Frevert. 2007. Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS) Version 2007. Computing Hydrology Laboratory Department of Civil and Environmental Engineering Colorado State University Fort Collins, Colorado.
20. US Army corps of Engineers. 2010. HEC-RAS river analysis system, user's manual. Version 4.1.
21. US Army corps of Engineers. 2010. Hydraulic reference manual. Version 4.1.
22. Yuba county water agency. 2012. Channel morphology downstream of Englebright Dam, FERC project NO.2246.

Polerood river morphological variations in the downstream of dam, pre and post dam construction in short term scale

Abstract

With construction of storage dams, a large amount of sediments are accumulated behind them. Therefore, water released from the dam is so clear and possesses high sediment transport capacity, which causes the river erosion at downstream the dam. In this research, Polerood river morphological variations predicted in downstream of dam using mathematical models for a short period post dam construction. Then, results were compared with lack of dam existence manner. Results showed that, the presence of the dam causes more erosion in the river. Maximum erosion in presence and lack of the dam were 4.7 and 3.7 m, respectively. The maximum influence of the dam construction on river morphology is up to 10 km downstream from the dam axis. At far distances, river bed variations in both the presence and lack of the dam were the same and the intensity of these variations was very low. The most river variations occurred at early years and variations intensity reduced gradually. Results also showed that erosion and sedimentation in the river is balanced by the time and river will be arrived at a regime case.

Keywords: Erosion, HEC-RAS, Polerood River, River engineer, Sedimentation