



## مطالعه فرآیند رسوب گذاری در رودخانه سیستان

حبیب احمدی

کارشناس ارشد مهندسی آب ، دانشگاه صنعتی شریف

مسعود تجریشی

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

سید اویس ترابی

دانشجوی دکتری آب ، دانشگاه صنعتی شریف

### چکیده

در این مقاله وضعیت رسوب گذاری در رودخانه سیستان مورد بررسی قرار گرفته است. بلحاظ اینکه طی سالهای گذشته رودخانه تحت یک مدیریت بهره برداری صحیح نبوده و همچنین بلحاظ شرایط ویژه طبیعی رودخانه و منطقه هم اکنون مقادیر زیادی رسوب بر بستر آن ته نشین شده و رودخانه در شرایط حاضر قادر به عبور دبی بیش از ۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه نمی باشد. در این مقاله ابتدا یک برنامه لایروبی پیشنهادی برای رودخانه ارائه و سپس نحوه رسوبگذاری در آن مورد بررسی قرار گرفته است. ابزار مطالعه فوق الذکر مدل های عددی یک بعدی جریان و رسوب (HEC-2, HEC-6) می باشند.

### واژه های کلیدی

رودخانه سیستان ، رسوب، مدل HEC-6 ، اصلاح مقطع

### مقدمه

رودخانه سیستان از انشعاب رودخانه بزرگ هیرمند در مرز ایران و افغانستان به دو شاخه سیستان و پریان مشترک پدید می آید که بدلیل قرار گرفتن در پایاب حوزه آبریز بسیار وسیع هیرمند (۱۵۰،۰۰۰ کیلومتر مربع) رسوبات ریزدانه زیادی بویژه در مواقع سیلابی به آن وارد گردیده و به دشت سیستان منتقل می گردد. رودخانه سیستان به علت رسوبگذاری مداوم و افزایش تراز بستر اکنون در خط الرأس دشت سیستان قرار گرفته و با وقوع سیلابهای نسبتاً بزرگ، آب از سیل بندهای اطراف آن (گوره ها) به اراضی حاشیه رودخانه سرازیر گردیده که خسارات زیادی را بدنبال داشته است. غلظت بار معلق جریانات سیلابی رودخانه عمدتاً در حد ۱۰ تا ۵۰ گرم در لیتر است که از این نظر رودخانه سیستان جزء رودخانه های نادر دنیا محسوب می شود [۱]. اندازه ذرات بار رسوبی رودخانه نیز بسیار ریز و عمدتاً در محدوده لای تا ماسه خیلی نرم می باشد. انباشت سالانه مقادیر متنابهی رسوب در طول مسیر رودخانه باعث افزایش تراز بستر و در نتیجه کاهش ظرفیت عبور جریان گردیده بنحویکه حتی در دبی های متوسط و کم نیز فرار آب از کناره رودخانه به دشت های مجاور به چشم می خورد. این مسئله لزوم افزایش تراز گوره های موجود در دو طرف رودخانه، ساخت گوره های جدید و همچنین لایروبی رسوبات ته نشین شده را طلب می نماید. دست یابی به یک تراز ایمن برای گوره های طرفین رودخانه بدون در نظر گرفتن اندرکنش آب و رسوب در این رودخانه غیرممکن می باشد. بنابراین مطالعات هیدرولیکی رودخانه بایستی توأم با مطالعه فرایند رسوبگذاری صورت گیرد و اثر متقابل افزایش تراز بستر در افزایش سطح آب رودخانه بررسی و نتایج حاصله در تعیین تراز نهایی گوره ها مورد استفاده قرار گیرد.

نکته دیگر بررسی طرح لایروبی سالانه رودخانه (خصوصاً در نقاط با نرخ رسوبگذاری شدید) و اثر آن بر کاهش تراز سطح آب رودخانه می باشد که مقایسه اقتصادی طرح لایروبی و ساخت گوره می تواند به بهینه کردن هزینه های اجرایی طرح ساماندهی رودخانه سیستان کمک شایانی نماید. مطالعات انجام شده در این زمینه در بازه ای بطول حدود ۵۰ کیلومتر از محل دو شاخه رودخانه سیستان - پریان تا محل دوشاخه پایین دست ادیمی - افضل آباد صورت گرفته است.

### مشخصات عمومی رودخانه سیستان

طول رودخانه سیستان از محل انشعاب از هیرمند تا محلی که به دریاچه هامون می ریزد حدود ۷۰ کیلومتر می باشد. شیب عمومی آن در حدود ۰/۲ تا ۰/۶ در هزار، ذرات تشکیل دهنده بستر رودخانه بسیار ریزدانه بوده و عمدتاً در محدوده ماسه ریز، رس و لای قرار می گیرد. قطر متوسط ذرات تشکیل دهنده بستر حدود ۰/۰۲ میلی متر می باشد. شکل (۱) منحنی دانه بندی رسوبات بستر و رسوبات حمل شده توسط رودخانه را که از آنالیز دانه بندی ذرات ته نشین شده در نقاط مختلف رودخانه بدست آمده نشان می دهد [۱].

رودخانه سیستان دارای مقاطع هندسی متفاوتی در طول مسیر خود می باشد بطوریکه عرض آن بین ۵۰ تا ۱۵۰۰ متر و عمق آن بین ۳ تا ۷ متر متغیر می باشد که البته با احداث گوره در طرفین رودخانه فرم طبیعی آن تا حدودی تثبیت یافته و مقطع عبور جریان بین دو گوره محدود گشته است. شکل (۲) چند مقطع عرضی نمونه رودخانه را نشان می دهد. رود سیستان یک رودخانه سیلابی می باشد که دارای دو رژیم سیلابی بهاره و زمستانی می باشد. سیل های بهاره بدلیل اینکه ناشی از ذوب برف می باشند دارای تداوم بیشتر بوده اما سیلابهای زمستانی بدلیل اینکه ناشی از بارانهای شدید هستند دارای هیدروگرافی کاملاً تیز می باشند. براساس مطالعات هیدرولوژی، دبی سیلابهای رودخانه با دوره بازگشت ۲، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب حدود ۴۰۰، ۱۰۰۰، ۱۳۰۰ و ۱۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه می باشند [۲]. با توجه به ماهیت فرایند رسوبگذاری در رودخانه ها (تغییر بطئی تراز بستر) و محدودیت های مدل HEC-6 در شبیه سازی سیلابهای کوتاه مدت، هیدروگراف سیلابهای با دوام بیشتر در مطالعات مدنظر قرار گرفت. در انجام مطالعات فوق از هیدروگراف سیلابهای با بیشینه ۴۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه استفاده گردید. شکل (۳) هیدروگرافهای فوق را نشان می دهد. سازه های تقاطعی مهم در مسیر رودخانه سیستان عبارتند از سد انحرافی کهک، کانال سیل بر نیاتک، سد انحرافی زهک، سد سیستان و پل نهورآب. سازه های فوق هر کدام بر مشخصات هیدرولیکی جریان مؤثر می باشند که میزان اثر آنها بستگی به مدیریت بهره برداری رودخانه و نحوه عملکرد دریاچه سدها دارد. نقشه (۱) موقعیت ابنیه فوق را در طول رودخانه نشان می دهد.

### بررسی شرایط موجود رودخانه

بر اساس نتایج نهایی طرح ساماندهی رودخانه سیستان دبی طراحی رودخانه در محل دو شاخه هیرمند ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه درنظر گرفته شده است که از این مقدار ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه از طریق فیدرکانال به مخازن چاه نیمه منتقل و مابقی جریان به میزان ۲۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه در رودخانه سیستان جریان خواهد یافت. در محلی بنام نیاتک (قبل از سد زهک) یک کانال سیل بر پیش بینی شده که در مواقع سیلابی بایستی قادر باشد ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه جریان را منحرف نماید. لذا رودخانه سیستان بایستی قادر باشد از محل دوشاخه هیرمند تا محل کانال سیل بر نیاتک سیل با دبی ۲۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه و از این نقطه تا محل دوشاخه ادیمی - افضل آباد، دبی ۱۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه را عبور دهد.

آنالیز هیدرولیکی رودخانه با فرض بستر ثابت در شرایط دبی طراحی نشان می دهد که بخش اعظم رودخانه در شرایط موجود قادر به انتقال چنین جریانی نمی باشد و در بسیاری از نقاط آب از طرفین آن به سمت دشت سیستان سرازیر خواهد شد. شکل (۴) پروفیل سطح آب در رودخانه در دبی های ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه، به همراه پروفیل طولی گوره های ساحل چپ و راست رودخانه را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود حداکثر ظرفیت عبور رودخانه (با صرفنظر از چند نقطه محدود) برابر با ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه می باشد. بنابراین رودخانه در بازه بین دوشاخه هیرمند تا سیل بر نیاتک حدود یک

چهارم و از این محل تا دوشاخه ادیمی - افضل آباد حدود یک سوم ظرفیت طراحی نهایی خود را دارا می باشد. این امر ما را برآن داشت تا قبل از بررسی فرآیند رسوبگذاری در رودخانه به مسئله اصلاح بستر و بهبود ظرفیت عبور رودخانه تا حد دبی طراحی بپردازیم.

### بررسی اثر اصلاح بستر رودخانه بر تراز سطح آب

به منظور افزایش ظرفیت عبور جریان و کاهش سطح آب در رودخانه بنحویکه در این شرایط گوره های موجود رودخانه قادر به انتقال دبی های بیش از ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه باشد، اصلاح بستر رودخانه با اعمال تمهیدات مختلف به شرح زیر مدنظر قرار گرفت:

- اصلاح مقاطع هندسی رودخانه در عرض
- اصلاح مقاطع رودخانه در عمق
- اصلاح شیب طولی رودخانه
- تلفیق روش های فوق

برای انجام بررسی های فوق از قابلیت Channel Improvement در برنامه HEC-2 استفاده شده است. در این مطالعه اصلاح بستر رودخانه در عرض با درنظر گرفتن عرض های مختلف شامل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متر در طول رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در حالت اصلاح بستر در عمق با فرض شرایط موجود (از لحاظ شکل مقاطع عرضی) لایروبی رسوبات از بستر بطور یکنواخت در طول رودخانه به عمق ۰/۹، ۱/۸ و ۲/۷ متر مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به وجود سازه های متعدد سد و پل در بازه مورد بررسی و توجه به این امر که تراز آستانه این تأسیسات بعنوان نقاط ثابت بستر محسوب می شود، فرض برداشت یکنواخت در طول رودخانه خصوصاً زمانی که تراز بستر اصلاح شده رودخانه پایین تر از تراز آستانه تأسیسات فوق گردد، فرض منطقی نخواهد بود و تبعات پیش بینی نشده ای را بدنبال خواهد داشت. لذا در حالت سوم اصلاح بستر، اصلاح شیب طولی رودخانه با درنظر گرفتن این نقاط ثابت مدنظر قرار گرفت. در این حالت سعی گردید شیب طولی رودخانه بگونه ای اصلاح شود که افزایش ظرفیت کشتش رودخانه را بدنبال داشته باشد. نتایج بررسی های فوق برای دبی عبوری ۱۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه در شکل (۵) ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می شود اصولاً اصلاح عرض بستر به تنهایی تأثیر عمده ای بر کاهش تراز سطح آب ندارد و علت این امر نیز آنست که در اکثر مقاطع، عرض رودخانه از حد درنظر گرفته شده در این بررسی ها بیشتر است و درنظر گرفتن عرض های بالاتر بلحاظ محدودیت عرض در محل سازه های تقاطعی رودخانه و همچنین افزایش محیط تر شده جریان منطقی نخواهد بود. از سوی دیگر اصلاح بستر در عمق و اصلاح شیب طولی رودخانه تأثیر مشخص تری بر تراز سطح آب داشته اند. مقایسه اشکال فوق نشان می دهد اثر بهبود در بالادست بازه (بین دوشاخه هیرمند تا سد زهک) در حالت اصلاح شیب قابل ملاحظه تر از اصلاح عمق می باشد اما در پایین دست بازه (از سد زهک تا دوشاخه ادیمی-افضل آباد) اصلاح در عمق نتایج بهتری را بدست می دهد. لذا روش تلفیق اصلاح شیب و عمق مدنظر قرار گرفت که این روش تلفیقی با ترکیب عرض های مختلف بین ۵۰ تا ۲۰۰ متر به منظور دستیابی به مقطع بهینه رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. در تمامی بررسی های فوق حجم عملیات لایروبی از بعد مسائل اقتصادی مدنظر بوده و احجام مورد مقایسه قرار گرفته اند. جدول (۱) نشان دهنده حجم عملیات لایروبی در هر روش می باشد. با توجه به جمع جهات فوق چنانچه اصلاح شیب در بالادست بازه و اصلاح عمق در پایین دست (با عمق لایروبی ۱/۸ متر) و عرض اصلاح شده ۱۰۰ متر مدنظر قرار گیرد، رودخانه قادر خواهد بود تا حد قابل پذیرش دبی طراحی را از خود عبور دهد. انتخاب عمق و عرض های بیشتر قطعاً نتایج بسیار مطلوب تر و ایمن تر را بدست خواهد داد لیکن حجم بالای عملیات لایروبی از دیدگاه اقتصادی معقول نخواهد بود. شکل (۶) تراز سطح آب را به همراه پروفیل طولی گوره های سمت چپ و راست رودخانه را در حالت بستر اصلاح شده رودخانه نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود جز در چند نقطه، در سایر نقاط رودخانه عمدتاً تراز سطح آب پایین تر از تراز

گوره‌های چپ و راست رودخانه می باشند. در نقاط فوق می توان با افزایش محدود تراز گوره ها و در مورد استثنایی با پذیرش مقداری جریان سرریزی، دبی ۱۶۰۰ مترمکعب را بعنوان حداکثر ظرفیت رودخانه پذیرفت.

### بررسی رسوبگذاری در رودخانه

همانطور که گفته شد رودخانه سیستان به لحاظ قرارگیری در پایاب حوزه آبریز وسیع هیرمند سالانه مقدار زیادی رسوب را دریافت می کند. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل فراوانی داده های رسوب سنجی، میزان رسوبات وارده به رودخانه سیستان در یک سال متوسط، حدود ۷ میلیون تن و در سیلابهای با دوره برگشت ۵، ۱۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله به ترتیب برابر ۱۱/۵، ۱۴/۵، ۲۴ و ۲۶ میلیون تن خواهد بود که مقدار قابل توجهی از این رسوبات در طول رودخانه سیستان هر ساله انباشته می شوند که باعث افزایش تراز بستر می گردند [۱]. به منظور تعیین مقدار رسوبگذاری در طول رودخانه و تأثیر آن بر افزایش تراز سطح آب رودخانه، شرایط مختلف هیدرولوژیک سیلاب با دبی حداکثر ۴۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور انجام مطالعات فوق از مدل یک بعدی HEC-6 استفاده شده است که این مدل نیز مانند سایر مدل‌های دیگر نیاز به یکسری اطلاعات پایه دارد که عبارتند از اطلاعات هندسی مربوط به مقاطع عرضی رودخانه در فواصل و محل های مناسب، ضریب زبری آبراهه و پهنه سیلابی، دبی جریان و زمان تداوم آن، دانه بندی رسوبات تشکیل دهنده بستر و رسوبات ورودی از بالادست و اطلاعات مربوط به نقاط کنترل میانی و مرزهای مدل [۴]. با بهره گیری از اطلاعات موجود، بازه بین دو شاخه هیرمند و دو شاخه ادیمی-افضل آباد جهت بررسی فرایند رسوبگذاری رودخانه انتخاب گردید. لازم به ذکر است مقاطع عرضی مورد استفاده در این تحلیل مقاطع اصلاح شده براساس نتایج بدست آمده از مطالعه اصلاح بستر رودخانه می باشند.

بلحاظ پیچیدگی فرایند رسوبگذاری یا فرسایش در محل سازه های تقاطعی بارودخانه و وجود شرایط جریان غیر یک بعدی، اصولاً نتایج بدست آمده از مدل های یک بعدی در محدوده این سازه ها دقیق و ملاک عمل نمی باشد. این مسئله در رودخانه سیستان بیشتر بایستی مورد توجه قرار گیرد زیرا اصولاً برخی بندهای احداث شده در این رودخانه بلحاظ محل قرارگیری و تراز آستانه، مغایر با اصول کلی مهندسی رودخانه می باشند که سد کهک از بارزترین آنهاست. یکسان بودن تراز آستانه این سد با آستانه فیدرکانال باعث اثر شدید برگشت آب بر میزان آبیگری فیدرکانال و رسوبگذاری شدید حد فاصل این دو سازه می باشد. سایر سازه های تقاطعی دیگر نیز بگونه ای عمل می کنند که فرایند طبیعی انتقال جریان در این رودخانه متفاوت با شرایط طبیعی آن می باشد. از طرفی طبیعت منطقه و عوامل مختلف جوی خصوصاً باد بر جابجایی رسوبات بستر رودخانه نقش بسزایی داشته بگونه ای که هر سال مقدار قابل توجهی از ذرات ماسه از اطراف رودخانه به داخل آن منتقل می شوند. با مدنظر قرار دادن موارد فوق و لحاظ آن در جمع بندی نتایج، رسوبگذاری در رودخانه در شرایط هیدرولوژیکی ذکر شده توسط مدل بررسی و نتایج بدست آمده در شکل (۷) ترسیم شده است. در این شکل، بستر اصلاح شده اولیه رودخانه به همراه بستر نهایی آن پس از هر شرایط هیدرولوژیک نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود سیل های ۴۰۰ و ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه علیرغم آنکه دارای دبی اوج زیادی نیستند لیکن بلحاظ مدت دوام زیاد (۳ ماه) مقدار قابل توجهی رسوب به رودخانه وارد و در آن انباشت نموده اند. جدول (۲) میزان رسوب وارده به رودخانه در شرایط مختلف، میزان رسوبات ته نشین شده در رودخانه و ضریب رسوب گذاری را در حالت های مختلف نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود می توان گفت عمدتاً ۵۰ درصد از رسوبات وارده به رودخانه در آن ترسیب می گردند.

نکته قابل توجه در این بررسی این است که در بازه بین دو شاخه هیرمند و سد زهک با توجه به اثر شدید برگشت آب، رسوبگذاری شدیدتر از بازه پایین دست می باشد. شکل (۸) پروفیل طولی بستر رودخانه در شرایط قبل از اصلاح بستر، بعد از آن و بعد از وقوع شرایط سیلابی مشابه سالهای ۶۲-۱۳۳۵ را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود شرایط هیدرولیکی حاکم بر رودخانه باعث گردیده فرم بستر پس از جریان سیل مشابه با بستر اولیه قبل از اصلاح گردد که این امر نشانه پتانسیل شدید رودخانه در رسوبگذاری در این منطقه می باشد. در بازه پایین دست، رسوبگذاری اصولاً بطور یکنواخت در طول رودخانه می باشد

که هر ساله افزایش نسبتاً کمی را در تراز بستر بدنبال دارد. لذا ملاحظه می شود که پس از جریان هر سیل نیاز است لایروبی رودخانه در بالادست انجام و ظرفیت رودخانه حفظ شود. در بخش پایینی بازه نیز لایروبی دوره ای باتوجه به حجم انباشت رسوبات هرچند سال یکبار ضرورت پیدا خواهد نمود که حجم مقادیر لایروبی با توجه به حجم و دبی جریان سیلاب قابل تخمین می باشد.

### جمع بندی

رودخانه سیستان بلحاظ خصوصیات حوزه آبریز بالادست و طبیعت منطقه و سازه های تقاطعی موجود در آن از پیچیدگی خاصی از دیدگاه بررسی فرایند رسوبگذاری برخوردار است. رودخانه در شرایط فعلی آن قادر به عبور حداکثر یک سوم دبی طراحی می باشد که چنانچه احداث گوره های جدید یا ترفیع گوره های موجود مدنظر نباشد، طرح لایروبی گزینه مناسبی می باشد. بررسی های انجام شده نشان داد که اصلاح شیب در بالادست بازه و لایروبی با عمق یکسان ۱/۸ متر در بخش پایین دست بازه با رعایت حداقل عرض ۱۰۰ متر، اثر قابل توجهی در کاهش تراز سطح آب رودخانه خواهد داشت بطوریکه در این حالت جز در چند نقطه، رودخانه بدون سرریزی قابل توجهی از طرفین قادر به انتقال دبی طراحی خواهد بود.

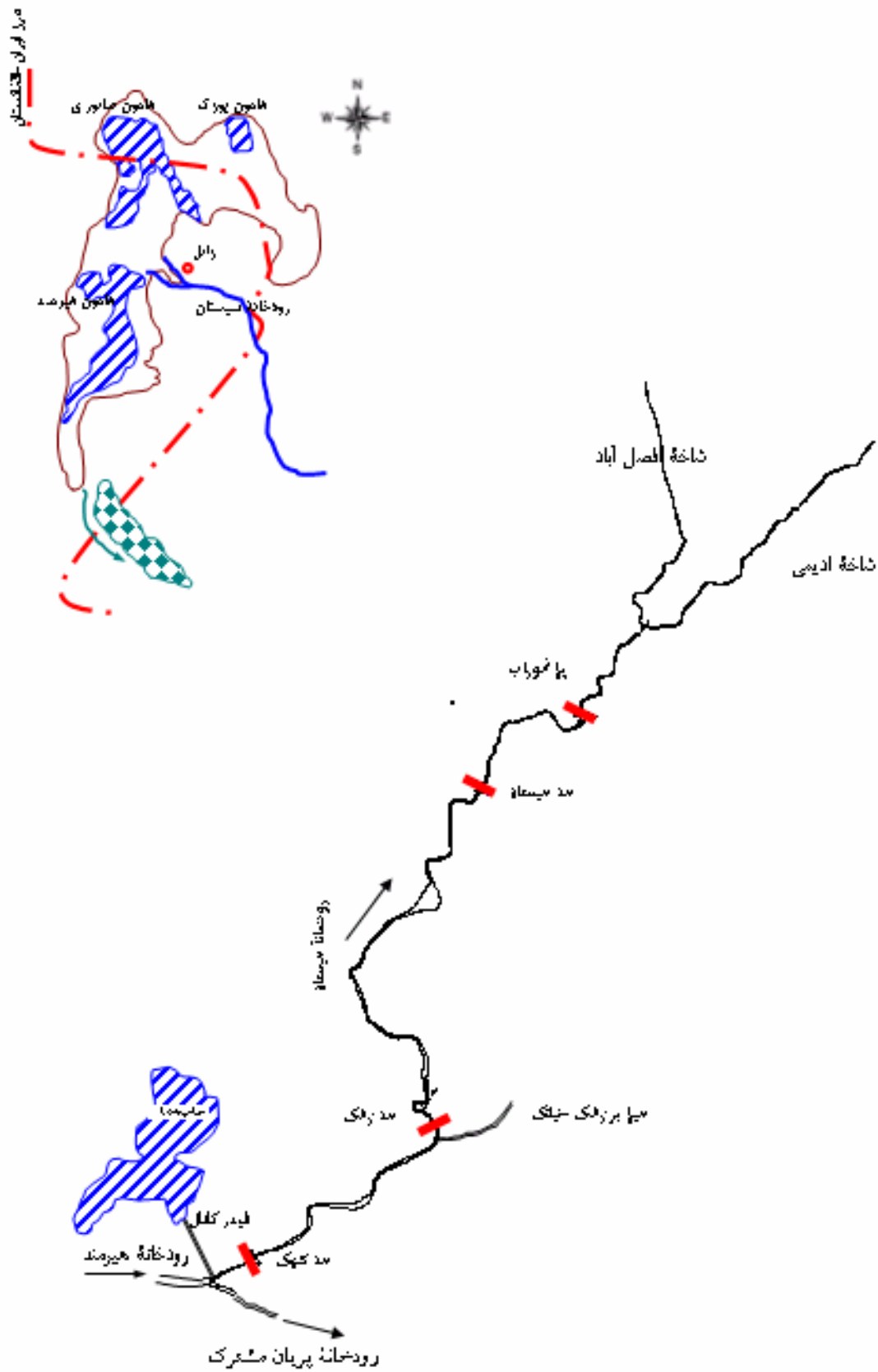
بررسی رسوبگذاری در رودخانه بعد از اصلاح بستر نیز نشان می دهد که علیرغم آنکه بخش بالایی بازه شدیداً تمایل به رسوبگذاری و بازگشت به شرایط فعلی رودخانه را دارد، لیکن هنوز ضریب رسوب گذاری رسوبات در این حالت نسبت به شرایط در بستر اصلاح نشده کمتر می باشد. لذا برای حفظ ظرفیت آبدگذری رودخانه لازم است لایروبی بازه بالادست پس از هر جریان سیل انجام گیرد و بازه پایین دست بطور دوره ای و هرچند سال یکبار مورد لایروبی قرار گیرد. از طرفی به منظور کاهش میزان رسوبگذاری در منطقه بین دوشاخه هیرمند و کهک لازم است یا سازه سد از محل حذف یا سازه کنارگذر آن باز گردد بنحویکه شیب سطح جریان افزایش یابد که راه حل دوم عملی تر و کم هزینه تر می باشد. متأسفانه بدلیل در دست نبودن اطلاعات کافی از مشکلات کنارگذر مذکور، اثر باز نمودن آن در فرایند رسوبگذاری در این مطالعات مقدور نبوده است. سد زهک نیز بلحاظ اینکه عمدتاً در این تقاطع زمانی وظایف پیش بینی شده در زمان طراحی و اجرا را عهده دار نمی باشد (لحاظ احداث سد سیستان و بهره گیری از شبکه آبیاری شیب آب و پشت آب در منطقه) لذا بنظر می رسد عواید بهره برداری از آن بسیار کمتر از تأثیرات منفی آن بر رژیم رودخانه است. لذا خارج کردن آن از مدار بهره برداری نیز می تواند در طرحهای مدیریت بهره برداری رودخانه بعنوان یک گزینه مطرح شود.

### مراجع

- [۱] طرح جامع کنترل سیل سیستان مطالعات رسوب در رودخانه سیستان، مهندسین مشاور تهران سحاب ، ۱۳۷۱.
- [۲] طرح هیدرودینامیک رودخانه سیستان، گزارش فنی الف (هیدرولوژی رودخانه سیستان) دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.

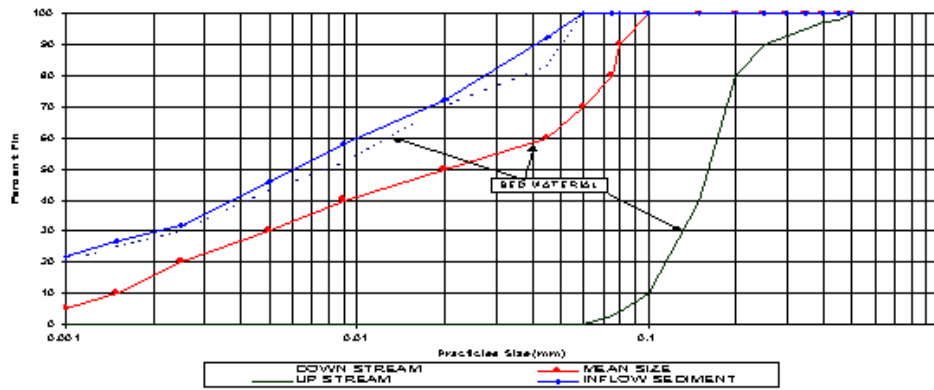
[۳] Vanoni, V.A., Sedimentation Engineering, ASCE, 1975

[۴] HEC-6 Scour and Deposition in River and Reservoirs, User's Manual 1998

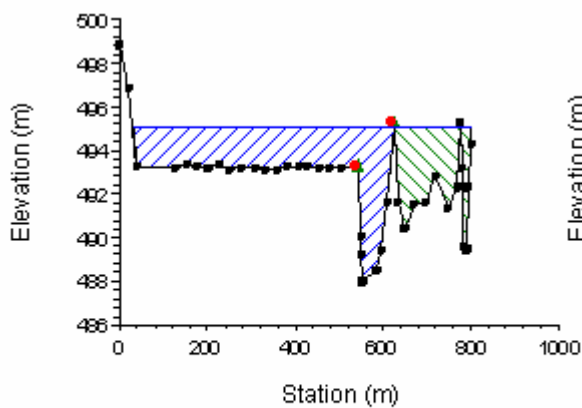


نقشه ۱ - پلان رودخانه سیستان

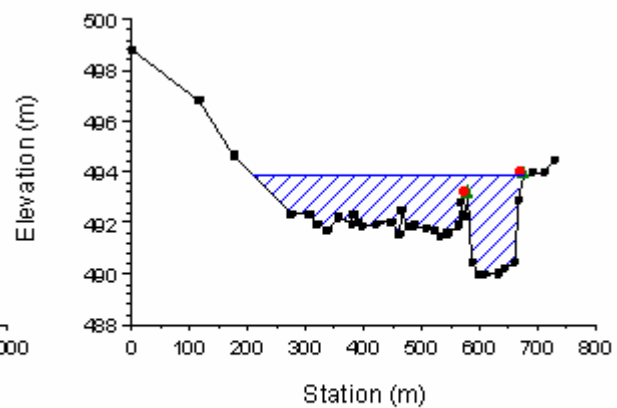
# مطالعه فرآیند رسوب گذاری در رودخانه سیستان



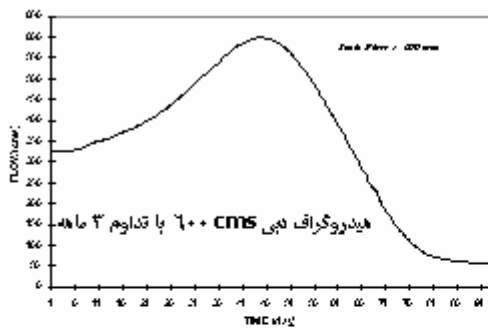
شکل ۱ - منحنی دانه بندی ذرات بستروذرات حل شده توسط رودخانه سیستان [۱]



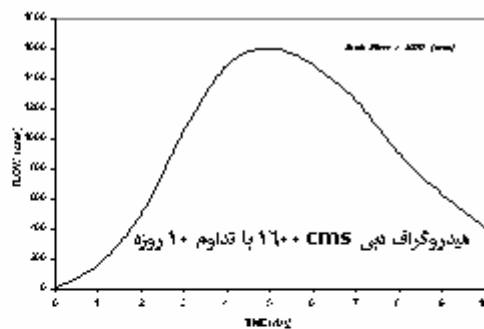
شکل ۲ ب - منقطع Z2 واقع در کیلومتر ۰+۷۰۰ رودخانه سیستان



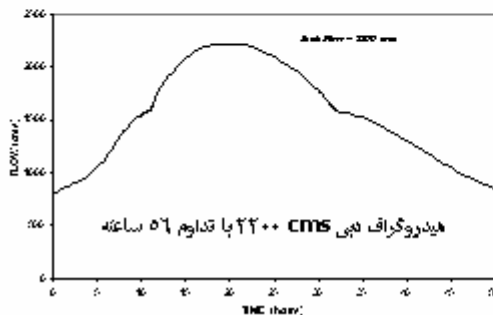
شکل ۲ الف - منقطع Z10 واقع در کیلومتر ۰+۵۰۰ رودخانه سیستان



هیدروگراف نوبی ۶۰۰ cms با تداوم ۳ ماهه

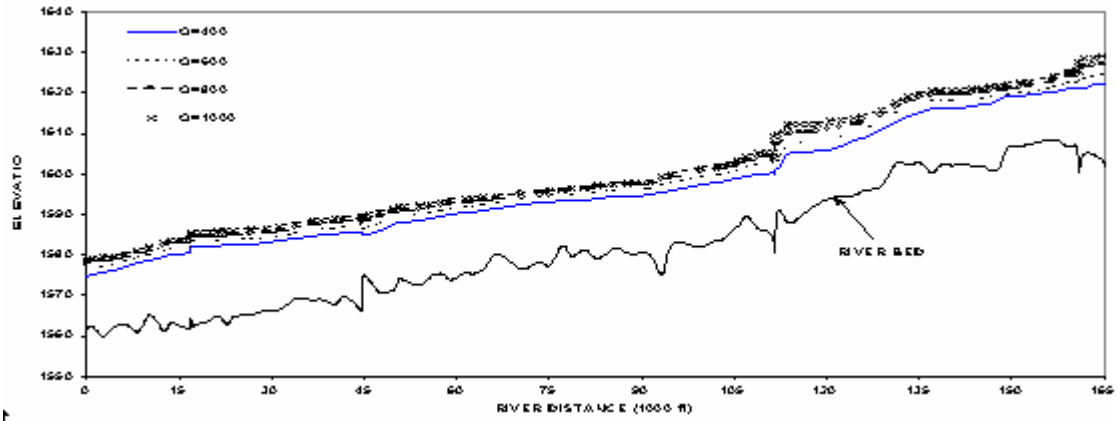


هیدروگراف نوبی ۱۶۰۰ cms با تداوم ۱۰ روزه

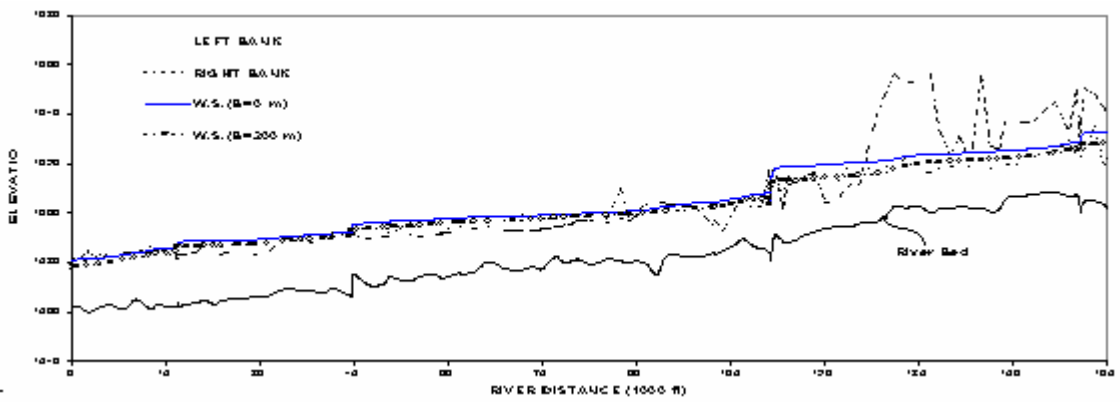


هیدروگراف نوبی ۲۲۰۰ cms با تداوم ۵۶ ساعته

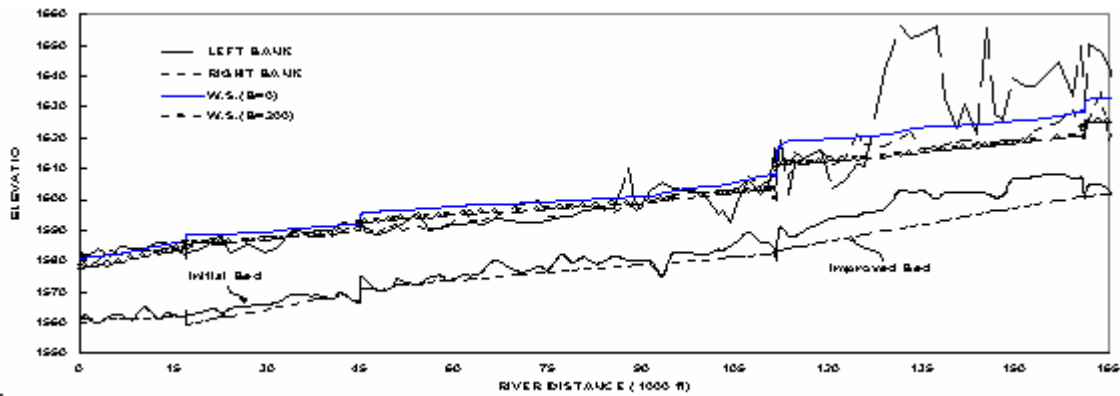
شکل ۲ - هیدروگراف سیل های ورودی رودخانه سیستان [۲]



شکل ۴ - پروفیل سطح آب رودخانه سیستان در دبیهای مختلف (بر حسب مترمکعب بر ثانیه)



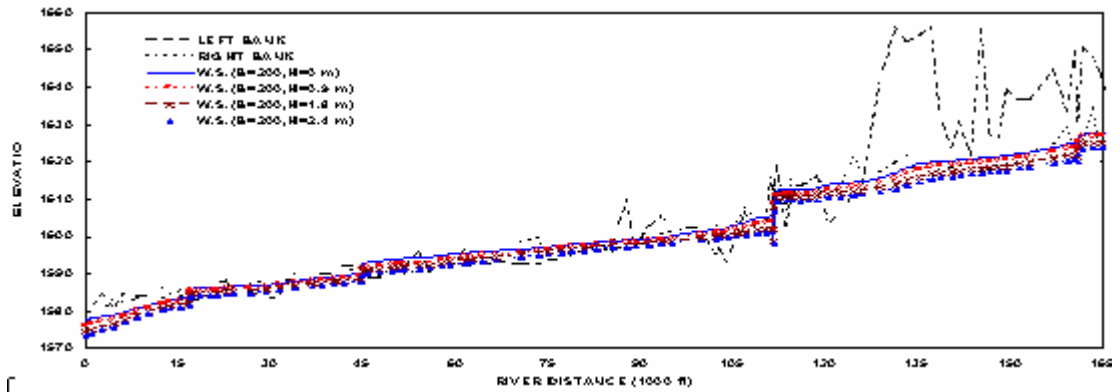
شکل ۵-الف - مقایسه پروفیل سطح آب رودخانه سیستان قبل و بعد از اصلاح عرض بستر به میزان ۲۰۰ متر در دبی ۱۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه



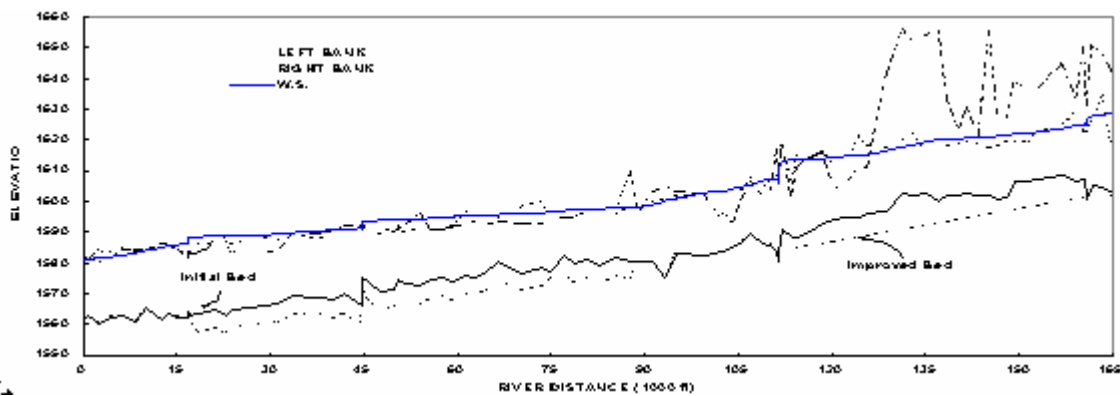
شکل ۵-ب - مقایسه پروفیل سطح آب رودخانه سیستان قبل و بعد از اصلاح شیب طولی و اصلاح عرض بستر به میزان ۲۰۰ متری بادی ۱۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه



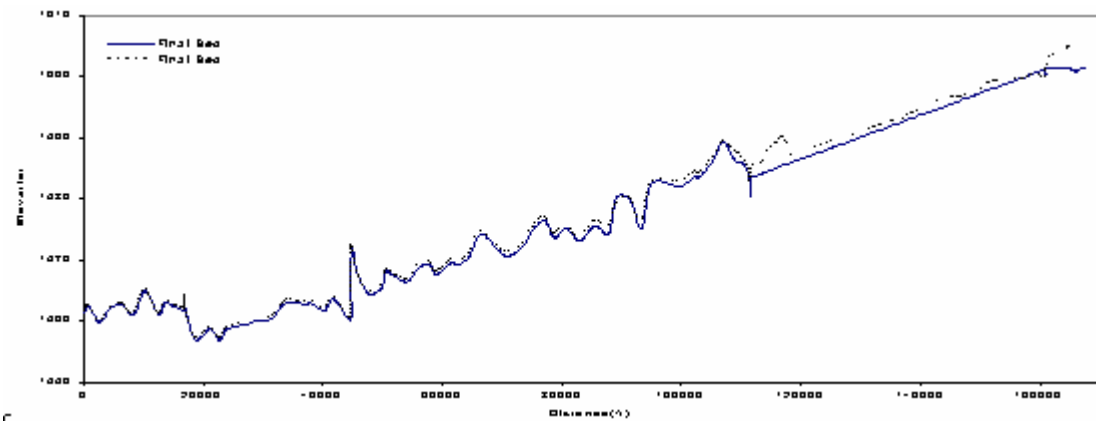
## مطالعه فرآیند رسوب گذاری در رودخانه سیستان



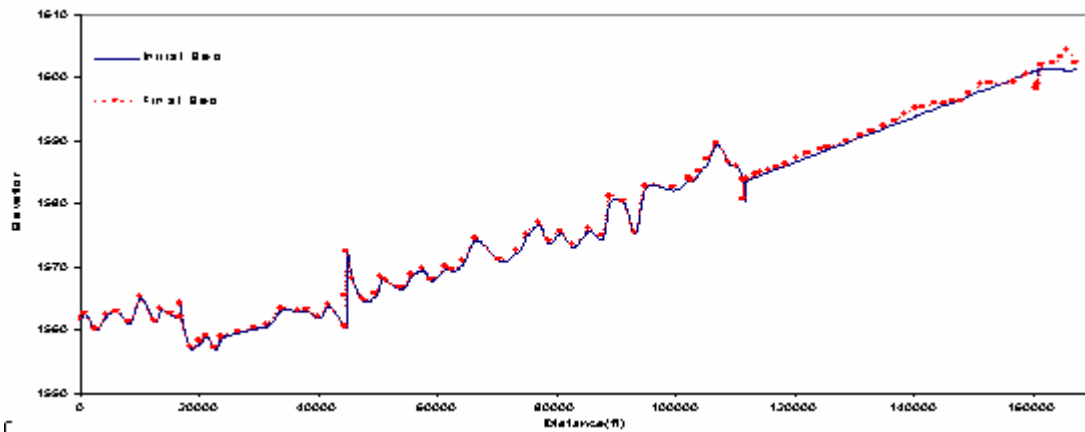
شکل ۵-ج- مقایسه پروفیل سطح آب رودخانه سیستان پس از اصلاح بستر با عرض ۲۰۰ متر و عمق‌های برداشت بستر معادل ۱/۰، ۹/۰، ۲/۴ و ۱۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه



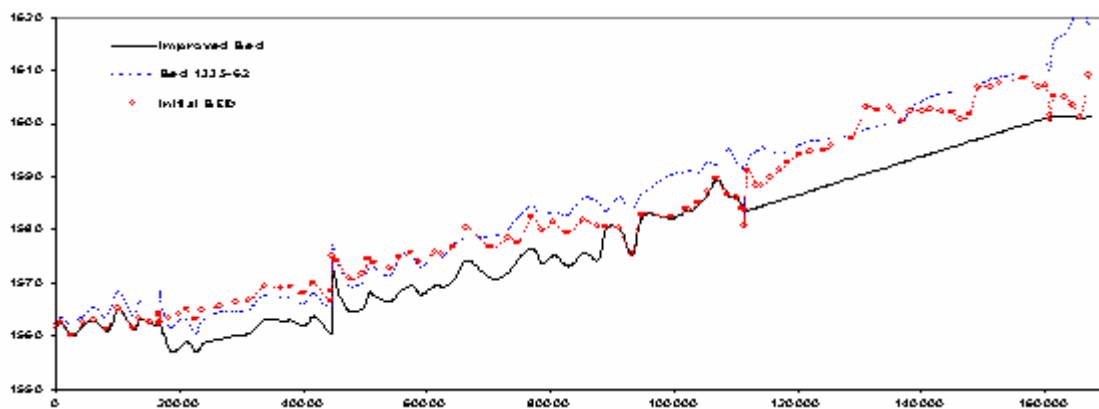
شکل ۶- پروفیل سطح آب رودخانه سیستان در گزینه نهایی اصلاح بستر بادی ۱۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۷-الف- تغییرات تراز بستر رودخانه پس از سیل با دبی ۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۷-ب- تغییرات تراز بستر رودخانه پس از سیل با دبی ۱۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۸ - تغییرات بستر رودخانه سیستان در درازمدت (دوره هیدرولوژیک مشابه سالهای ۶۲-۱۳۳۵)

جدول ۱ - مقایسه اجمالی لایروبی رودخانه سیستان در گزینه های مختلف اصلاح بستر

حجم لایروبی (میلیون مترمکعب) V	عمق لایروبی (متر) H	عرض اصلاح شده (متر) B	گزینه لایروبی
۱/۱	۰	۵۰	اصلاح عرض مقطع
۵/۲	۰	۱۰۰	
۹/۸	۰	۱۵۰	
۲/۵	۰/۹	—	اصلاح عمق بستر
۸/۷	۱/۸	—	
۳/۹	—	—	اصلاح شیب طولی
۷/۴	—	—	
۸/۱	—	۱۰۰	اصلاح شیب طولی
۱۶/۳	—	۱۵۰	دربالادست و اصلاح
۱۰/۷	۰/۹	۱۰۰	عمق در پایین دست
۱۹/۸	۰/۹	۱۵۰	بازه بهمراه اصلاح
۱۵/۸	۱/۸	۱۰۰	عرض مقطع جریان
۲۷/۴	۱/۸	۱۵۰	

## مطالعه فرآیند رسوب گذاری در رودخانه سیستان

جدول ۲ - مقایسه احجام رسوبگذاری شده در رودخانه سیستان در شرایط مختلف هیدرولوژیک

درصد رسوبات ته نشین شده در رودخانه	میزان رسوب ته نشین شده در رودخانه (میلیون مترمکعب)	میزان رسوب ورودی به رودخانه (میلیون مترمکعب)	شرایط هیدرولوژیک
۴۷	۳/۱	۶/۵	سیل با دبی اوج $400 m^3/s$
۴۱	۶/۲	۱۵/۱	سیل با دبی اوج $600 m^3/s$
۴۸	۱/۳	۲/۷	سیل با دبی اوج $1000 m^3/s$
۵۰	۳/۹	۷/۸	سیل با دبی اوج $1600 m^3/s$
۵۳	۱/۷	۳/۲	سیل با دبی اوج $2200 m^3/s$