



## تحلیل هیدرولیک جریان یک بعدی رودخانه سیستان

### سید اویس ترابی

دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

### مسعود تجریشی

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

### سید امین سارنگ

کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

### سید محمود برقی

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

## چکیده

در مقاله حاضر وضعیت رودخانه سیستان (واقع در استان سیستان و بلوچستان) و سیستم هیدرولیکی آن بیان شده است. سپس مدل هیدرولیکی رودخانه سیستان در دو حالت دائمی (Steady State) و غیر دائمی (Unsteady State) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. جهت تحلیل‌های هیدرولیکی مذکور از نرم افزارهای HEC-RAS وUNET استفاده شده و در نهایت نتایج دو حالت دائمی و غیر دائمی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

## واژه‌های کلیدی

رودخانه سیستان، هیدرولیک، HEC-RAS، UNET

## مقدمه

رودخانه هیرمند در مرز ایران و افغانستان به دو شاخه سیستان و پریان مشترک تقسیم می‌گردد. رودخانه سیستان بعنوان منبع آبی مهم منطقه شمالی استان پهناور سیستان و بلوچستان در گذرگاه تاریخ با بروز رفتارهای هیدرولیکی گاهاً غیرقابل کنترل، بهره‌برداری از خود را برای مردم منطقه خشک و بادخیز سیستان، در هاله‌ای از ترس و دل‌نگرانی قرار داده است؛ بگونه‌ای که توأمان امید و تردید حاکم بر رودخانه، نزدیکی و مؤانست با آن را برای مردم زجر دیده این منطقه، با نوعی احتیاط همراه کرده است.

رودخانه سیستان این پیکره نه همواره نیلگون در دشت سیستان، بعد از تجربه و تغییر و تحولات و مشاهده سیلابهای تاریخی متعدد، در حال حاضر با پیمایش حدود ۷۰ کیلومتر از سرزمین سیستان به هامون هیرمند می‌ریزد. این رودخانه با شیب عمومی در حدود ۰/۰۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۰۶ از تراز ۴۸۹ متری در دو شاخه هیرمند به تراز ۴۷۴/۷۵ متری در هامون هیرمند می‌رسد. در طول مسیر این رودخانه ابنیه‌های مهمی چون فیدرکانال، سد کهک، سیل برزهاک - نیاتک، سد زهک، کانال هدیریس، سد سیستان، پل نهور آب و کانال‌های متعدد آبیاری، چندین روستا و همچنین شهر زابل وجود دارد (شکل ۱-الف). ابنیه‌های ذکر شده، هر یک در زمان خاصی وارد شبکه رودخانه شده و تأثیرات قابل توجهی در روند هیدرولیکی آن بجا می‌گذارند. در این مقاله پس از تبیین سیستم هیدرولیکی رودخانه سیستان، هیدرولیک جریان یک‌بعدی رودخانه در دو حالت دائمی و غیردائمی مورد بررسی قرار گرفته است.



**سیل بر زهک نیاتک** – به منظور انحراف پیک سیلابهای رودخانه (دبی های بیش از ۱۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه) وارد سیستم هیدرولیکی رودخانه می شود و در کیلومتر ۱۴+۶۰۰ ساحل سمت راست رودخانه احداث شده است.

**سد زهک** – سد انحرافی با ۱۰ دریچه کشویی (هر یک به ارتفاع ۳/۸ و پهنای ۳/۸ متر) که به منظور انحراف آب به کانالهای آبیاری نهرشهر و طاهری در کیلومتر ۱۸+۲۵۰ رودخانه سیستان احداث شده است.

**سد سیستان** – سد انحرافی با ۶ دریچه کشویی (هر یک به ارتفاع ۳/۲ و پهنای ۲۴ متر) که به منظور انحراف آب به کانالهای پشت آب و شیب آب در کیلومتر ۳۸+۹۰۰ رودخانه سیستان احداث شده است.

**پل نهورآب** – دو پل جدید و قدیم نهورآب که در کیلومتر ۴۷+۲۰۰ رودخانه سیستان احداث شده اند.

**دوشاخه سیستان** – واقع در کیلومتر ۵۲+۸۰۰ رودخانه سیستان که در اینجا به دو شاخه ادیمی و افضل آباد منشعب می شود. این دو شاخه در نهایت به هامون هیرمند (در کیلومتر ۶۸+۰۰۰) منتهی می شوند.

**گوره ها** – خاکریزهای سیل بندی (Levee) که در اصطلاح بومی به آنها گوره گفته می شود، به منظور محدود کردن رودخانه ناپایدار سیستان در مسیر اصلی خود و جلوگیری از فرار آب رودخانه در مواقع طغیانی و حفاظت زمینهای پیرامون رودخانه سیستان از هجوم سیل در طرفین آن احداث شده است. گوره های سمت راست رودخانه از کیلومتر ۷+۲۰۰ رودخانه و گوره های ساحل سمت چپ از کیلومتر ۲۳+۲۰۰ رودخانه سیستان آغاز شده و به هامون هیرمند منتهی می شوند.

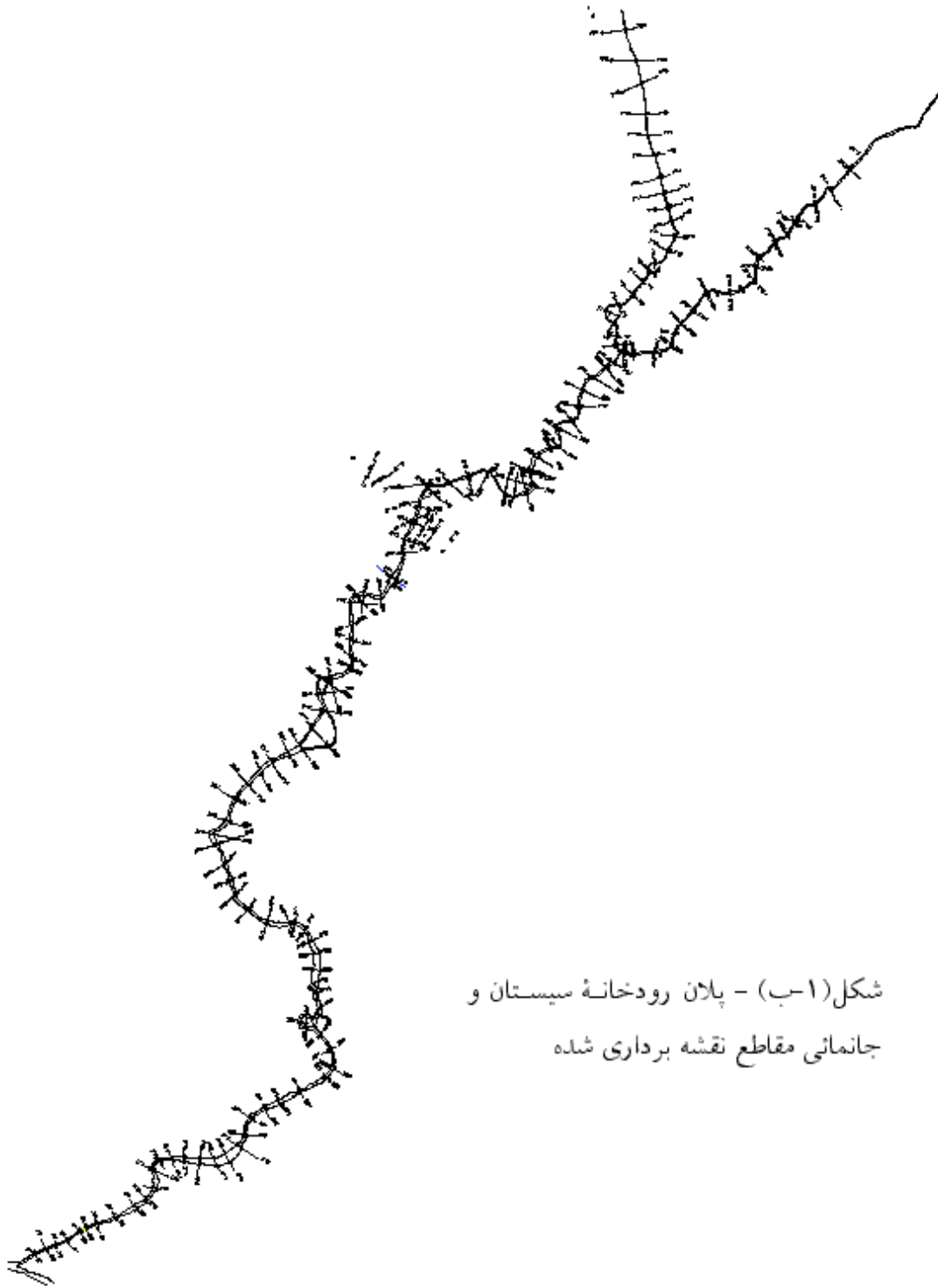
سیستم کنترل رودخانه سیستان بدینصورت طراحی شده است که بازای وقوع دبی حداکثر ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه (با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله)، فیدرکانال در ورودی سیستان بتواند به میزان ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه از این جریان را به سمت چاه نیمه ها منحرف نموده و ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه نیز توسط سیل بر زهک-نیاتک به سمت هامون هیرمند منحرف شود. مابقی جریان (۱۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه) نیز توسط شاخه اصلی رودخانه به سمت هامون هیرمند هدایت خواهد شد که البته ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه از این میزان توسط شاخه افضل آباد و ۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه نیز توسط شاخه ادیمی انتقال داده خواهد شد [۳ و ۸]. هدف این مقاله بررسی سیستم هیدرولیکی فوق الذکر خواهد بود. بدین منظور رودخانه سیستان بلافاصله پس از فیدر کانال مدل شده است و فرض می شود که فیدر کانال بتواند سهم خود را (۱۰۰۰ cms) به چاه نیمه ها انتقال دهد و باقیمانده مسیر رودخانه (که در واقع تمام رودخانه است) بازای عبور باقیمانده دبی طراحی (۲۲۰۰ cms) مورد بررسی قرار می گیرد. عبارتی دیگر قابلیت بازه بالادست رودخانه (فیدرکانال و سیل بر زهک-نیاتک) بازای عبور ایمن دبی ۲۲۰۰ cms و ظرفیت بازه پائین دست سیل بر زهک-نیاتک بازای عبور ۱۶۰۰ cms باقیمانده مورد تحلیل قرار می گیرد. در ضمن نتایج تحلیل دائمی و غیردائمی جریان نیز مورد مقایسه قرار خواهند گرفت.

### هندسه سیستم

شاخه اصلی رودخانه سیستان در ۹۴ مقطع عرضی (Z1 الی Z94) و با فواصل تقریبی ۵۰۰ متر در سال ۱۳۷۹ ثبت و برداشت شده است (شکل ۱-ب). علاوه بر مقاطع مذکور، پروفیل های عرضی کمکی برای مدل کردن تأسیسات هیدرولیکی واقع در مسیر رودخانه نیز برداشت شده اند. شاخه ادیمی در ۲۷ مقطع عرضی (Z95 الی Z119) و شاخه افضل آباد نیز در ۲۱ مقطع (Y1 الی Y21) ثبت و برداشت شده اند. هر مقطع عرضی مذکور پهنای باندی برابر فاصله میان دو گوره سمت چپ و راست را در بر می گیرند (شکل ۱-ب). بدین ترتیب مدل یک بعدی رودخانه سیستان در دو حالت «شاخه اصلی + شاخه ادیمی» با ۱۳۶ مقطع عرضی و «شاخه اصلی + شاخه افضل آباد» با دربرداشتن ۱۳۰ مقطع عرضی تهیه و متناسب با مدل تحلیل هیدرولیک جریان یک بعدی HEC-RAS تنظیم گشت [۶].

در تعیین ضریب زبری مقاطع (ضریب مانینگ  $n$ ) سعی شده است که بتوان تأثیر پارامترهای مختلف را در ایجاد زبری مقاطع رودخانه لحاظ نمود. قابل ذکر است که در حال حاضر در نقاط مختلفی از مسیر رودخانه، جنگلهای متراکم درختچه های گز

( مانند جنگل جزینک ) ایجاد شده است که مانع عمده‌ای در برابر جریان رودخانه می باشد. از طرفی در طی ایام کم‌آبی ، حریم سیل گیر رودخانه ( Flood Plain ) در نقاط متعددی از رودخانه توسط مردم دشت سیستان اشغال شده است که بر موانع موجود بر سر مسیر جریان رودخانه افزوده است. با در نظر داشتن عوامل ذکر شده ، در تعیین ضریب زبری مقاطع بصورت زیر عمل شده است [ ۱ ، ۴ ، ۵ ، ۶ و ۷ ] :



شکل (۱-ب) - پلان رودخانه سیستان و  
جانمایی مقاطع نقشه برداری شده

- مطابق با جنس مصالح رودخانه، ضریب مانینگ کانال اصلی برابر  $0.35$  و برای پهنه‌های سیل گیر سواحل چپ و راست مقطع برابر  $0.4$  در نظر گرفته شده است.
- بازای وجود جنگل درختچه‌های گز، ضرایب بند قبلی با توجه به شدت تراکم جنگل به میزان  $0.1$  تا  $0.25$  افزایش یافته‌اند.
- بازای وجود موانع ایجاد شده در پهنه‌های سیل گیر رودخانه، ضرایب زبری مقاطع به میزان  $0.1$  افزایش یافته‌اند.
- بازای وجود قوس و پیچ در مسیر رودخانه و با توجه به شدت آن، ضرایب زبری بدست آمده از بندهای قبلی به میزان  $0.15$  تا  $0.3$  افزایش یافته‌اند.

### شرایط مرزی مسأله

شرایط مرزی مسأله برای دو حالت تحلیل دائمی و غیردائمی بصورت زیر خواهند بود:

#### (۱) حالت دائمی

در این حالت از سیستم ترکیبی رژیم جریان زیربحرانی به همراه جریان فوق بحرانی (Mixed Regime) استفاده شده است، زیرا بازای برخی دبی‌های ورودی در تعدادی از مقاطع عرضی مدل رودخانه رژیم جریان فوق بحرانی حاکم میگردد. بدین ترتیب در مرزبالادست، مدل از ۵ دبی جریان ورودی (۴۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه) و در مرز پائین دست از عمق نرمال استفاده شده است [۲]. قابل ذکر است که این انتخاب شرط مرزی پائین دست مدل، بعلت عدم وجود اطلاعات لازم صورت گرفت و به جهت اجتناب از بروز خطا، انتهای پروفیل طولی رودخانه به میزان معینی امتداد داده شد (با رعایت شیب عمومی رودخانه در بازه پائین دست) و شرط مرزی عمق نرمال در انتهای مجازی پروفیل طولی رودخانه اعمال گشت، بطوری که انتهای حقیقی پروفیل طولی رودخانه از اثرات بازگشت آب (Back Water) در امان بماند.

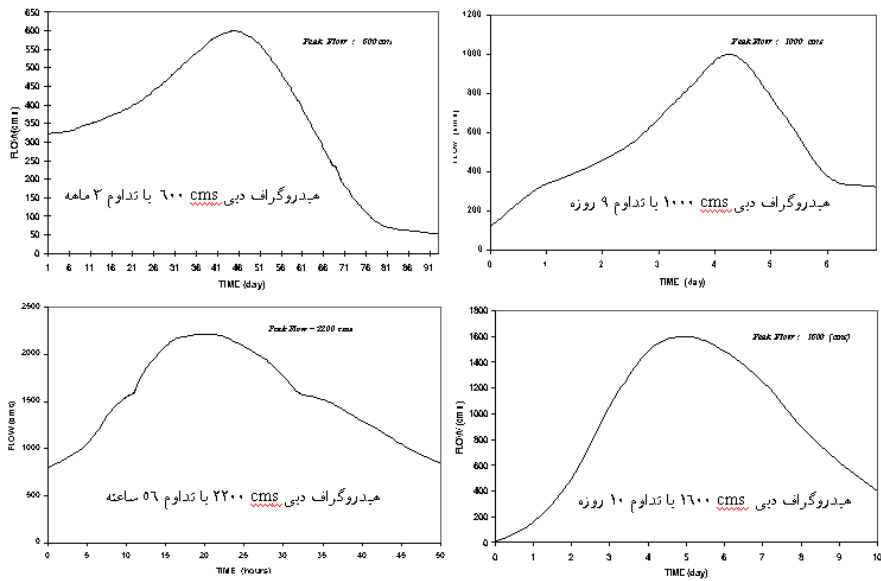
#### (۲) حالت غیردائمی

در تحلیل غیردائمی جریان، بازای شرط مرزی بالادست جریان، از ۴ هیدروگراف جریان ورودی (۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه) استفاده گردید (شکل ۲). برای مرز پائین دست جریان نیز همانند حالت ذکر شده در تحلیل جریان دائمی عمل شده است.

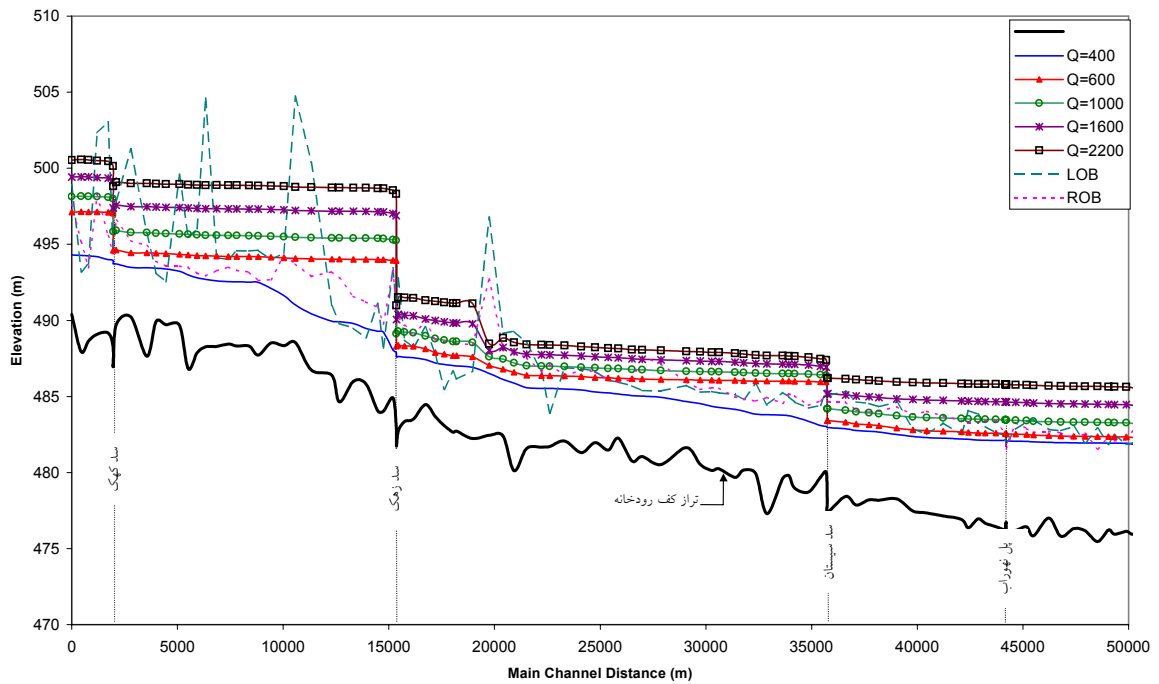
### تحلیل جریان دائمی

مدل جریان هیدرولیک یک بعدی رودخانه سیستان به کمک نرم افزار HEC-RAS3.0 و در پنج حالت بازای دبی‌های مختلف (۴۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به پروفیل طولی سطح آب بازای حالت‌های ذکر شده در شکل (۳) مشاهده میگردد [۲]. در این شکل تغییرات تراز سطح آب در طول رودخانه بازای پنج دبی ورودی مختلف ترسیم شده است. در این شکل پروفیل طولی گوره‌های سواحل سمت چپ (LOB) و راست (ROB) نیز ملاحظه می‌شود. همانطوری که مشاهده می‌گردد به غیر از حالت مربوط به دبی ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه، بازای چهار دبی ورودی دیگر تراز سطح آب از رقوم گوره‌های چپ و راست رودخانه بالاتر زده است. بازای دبی ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه، در چندین مقطع بالادست رودخانه فرار آب مشاهده می‌گردد که قابل ذکر است در این مقاطع گوره‌ای وجود ندارد و رقوم ساحل رودخانه نیز بسیار پائین است (شکل ۴). در تمامی حالات جریان دائمی، اثر بازگشت آب (Back Water) بعلت وجود سازه‌های هیدرولیکی در مسیر جریان رودخانه مشاهده میگردد. این پدیده تمام بازه میانی سازه‌های هیدرولیکی را پوشش داده و رژیم عادی جریان را مختل کرده است. با اینحال در حوالی مقطع Z44 (واقع در حوالی کیلومتر ۲۰ رودخانه) افت محسوسی در پروفیل طولی سطح آب مشاهده میگردد که این حالت برای دبی‌های بالاتر محسوستر است. علت این پدیده افت سطح آب، کاهش شدید عرض مقطع مذکور واقع در مسیر رودخانه می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد رژیم حاکم بر جریان

رودخانه زیر بحرانی است و وقوع تنگ شدگی مقطع در مسیر جریان زیر بحرانی باعث افت سطح آب در آن مقطع می گردد. ضمناً بازای دبی ۲۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه، جریان در مقطع مذکور بحرانی می گردد ( شکل ۵).

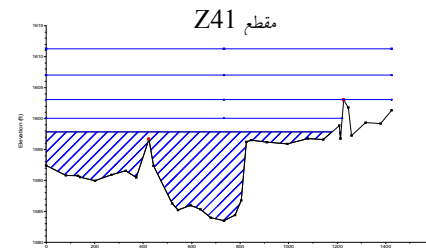
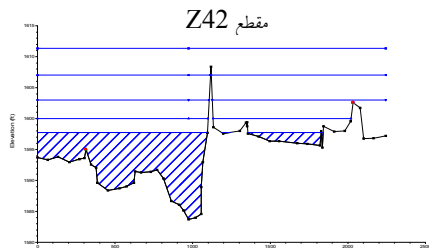
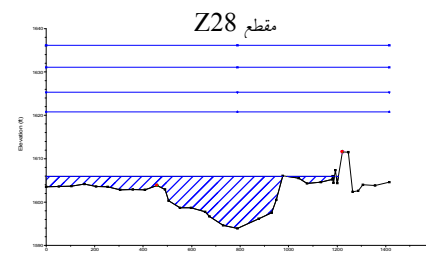
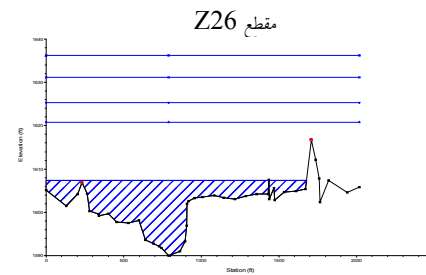
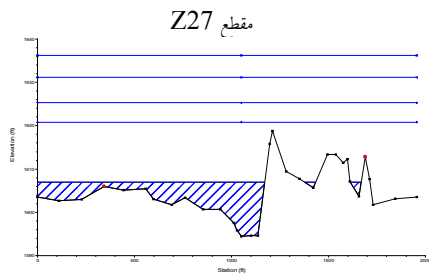
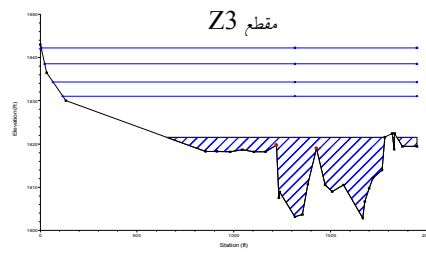
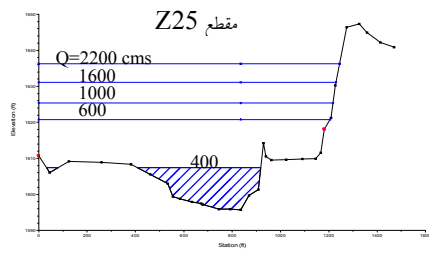


شکل ۲ - هیدروگراف جریانهای ورودی در مرزبالادست مدل جریان غیردائمی

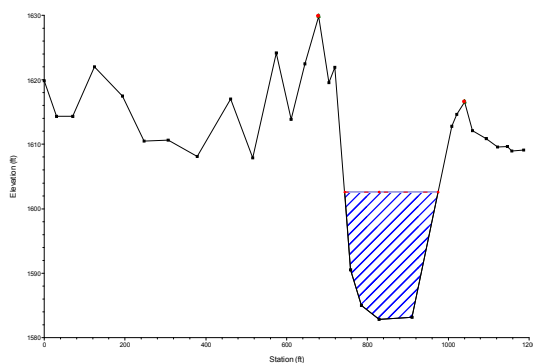


شکل ۳ - پروفیل سطح آب رودخانه سیستان در حالت تحلیل دائمی و بازای پنج دبی حداکثر ۱۶۰۰ ، ۱۰۰۰ ، ۶۰۰ ، ۴۰۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه

## تحلیل هیدرولیک جریان یک بعدی رودخانه سیستان



شکل ۴ - مقاطع عرضی Z3 (واقع در کیلومتر ۱+۰۶۰)، Z25 (واقع در کیلومتر ۱۳+۳۰۰)، Z26 (واقع در کیلومتر ۱۳+۷۰۰)، Z27 (واقع در کیلومتر ۱۴+۴۰۰)، Z28 (واقع در کیلومتر ۱۵+۰۷۰)، Z40 (واقع در کیلومتر ۲۰+۶۴۰)، Z41 (کیلومتر ۲۱+۰۷۰)، Z42 (واقع در کیلومتر ۲۱+۵۰۰) که بازای دبی های پائین و بعلت عدم وجود گوره و پائین بودن رقوم ساحل رودخانه در آنها فرار آب رخ داده است.



شکل ۵ - عمق بحرانی در مقطع Z44 واقع در کیلومتر ۲۲+۸۴۰ در حالت تحلیل دائمی و بازای دبی ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه

## تحلیل جریان غیردائمی

تحلیل غیردائمی جریان رودخانه به کمک مدل UNET از نرم افزار تحلیل هیدرولیکی HEC-RAS3.0 انجام شده است [۶]. تحلیل مذکور بازای چهار هیدروگراف دبی و مدت زمان وقوع متفاوت انجام گرفته است. پروفیل های طولی حداکثر تراز سطح آب رودخانه و بازای هیدروگرافهای ۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه در شکل‌های ۶ الی ۹ ترسیم شده اند. همانطوری که ملاحظه می گردد، در تحلیل غیر دائمی جریان اثرات بازگشت آب (Back Water) تخفیف یافته و رژیم جریان به واقعیت نزدیکتر شده است. همچنین وضعیت مقاطع نسبت به شرایط دائمی از لحاظ فرار آب از سواحل رودخانه تا حدی بهتر شده است.

## نتیجه گیری

همانگونه که در تحلیل های دائمی و غیردائمی جریان رودخانه سیستم ملاحظه گردید، وضعیت موجود رودخانه سیستمان قابلیت عبور دبی طراحی سیستم هیدرولیکی را ندارد. با مشاهده اشکال مربوطه می توان به بالابودن تراز بستر و تنگی پهنای مقاطع رودخانه و ضعف سیستم گوره های ساحل سمت چپ رودخانه بعنوان پارامترهای دخیل در عدم قابلیت مذکور اشاره نمود. مسأله دیگری که می توان به آن اشاره نمود، برتری و ارجحیت تحلیل جریان در حالت غیر دائمی است. به منظور مقایسه بهتر نتایج تحلیل در دو حالت دائمی و غیردائمی، پروفیل‌های سطح آب رودخانه بازای دبی‌های حداکثر ۶۰۰، ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه در دو حالت دائمی و غیر دائمی به ترتیب در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ ترسیم شده‌اند. همانگونه که مشاهده می شود، از تحلیل های دائمی نتایج بسیار محافظه کارانه‌ای بدست آمده است ولی با مدنظر قرار دادن نتایج تحلیل غیر دائمی می توان با توجه به یک طرح سیستم لایروبی همه جانبه و اصلاح شیب رودخانه در محدوده توجیه پذیر اقتصادی، وضعیت رودخانه را بهبود بخشید. مطالعات مربوط به سیستم بهبود یافته به مقاله دیگری از مؤلفان این مقاله، موکول میگردد.

## تشکر و قدردانی

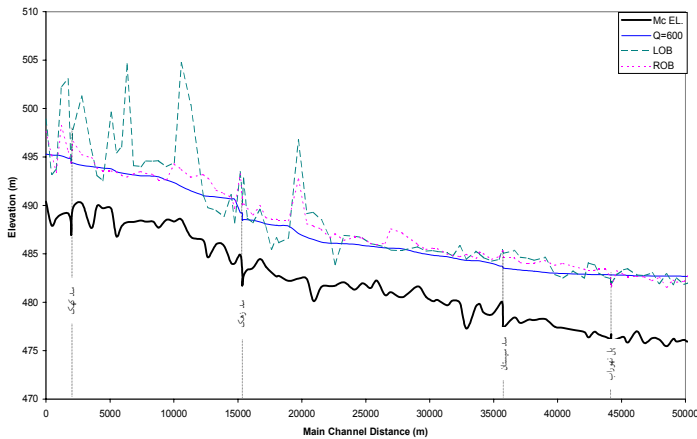
در اینجا از کلیه پرسنل شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان بخصوص جناب آقای مهندس سیامک شیرزاد که در تمامی مراحل این مطالعه ما را یاری دادند و همچنین کلیه دوستان و همکاران ما در مرکز تحقیقات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف (EWRC) تقدیر و تشکر می‌گردد.

## مراجع

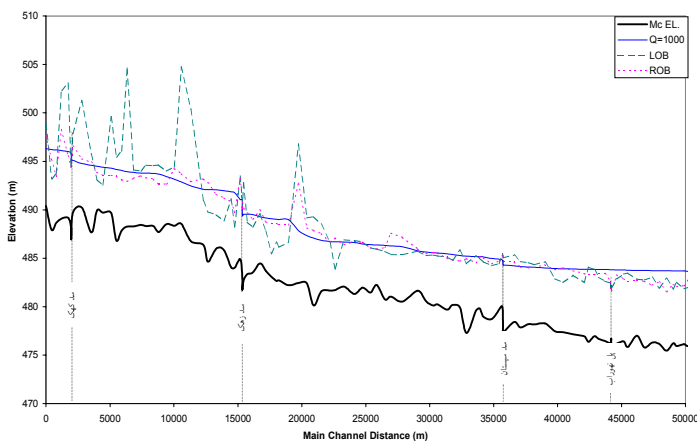
- ۱- ابریشمی، جلیل، سید محمود حسینی، هیدرولیک کانالهای باز، دانشگاه امام رضا، ۱۳۷۳
- ۲- طرح هیدرودینامیک رودخانه سیستان، گزارش فنی الف (هیدرولوژی رودخانه سیستان)، دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹
- ۳- طرح بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند، گزارش نهائی طرح جامع، مهندسین مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۱
- 4- French R. H. , Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill, 1987
- 5- Chow, V.T. , Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill, 1959
- 6- HEC-RAS River Analysis System, Users' Manual, Version 3.0 , 2001
- 7- Kouwen, N. , Fathi-Moghadam, M. , Friction factors for coniferous trees along rivers, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 2000, pp732-740.
- 8- Sistan River Flood Works, Rehabilitation Project, Tehran Sahab Consulting Engineers & National Engineering Services Pakistan (PVT) Limited, 1993



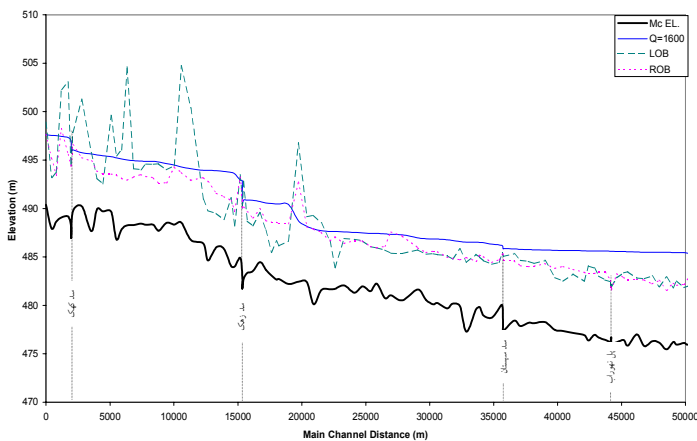
## تحلیل هیدرولیک جریان یک بعدی رودخانه سیستان



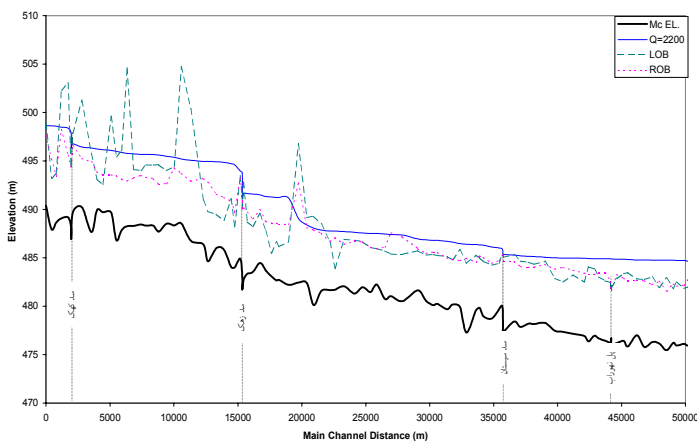
شکل ۶ - پروفیل طولی حداکثر تراز سطح آب بازای هیدروگراف دبی ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه و در حالت تحلیل غیر دائمی



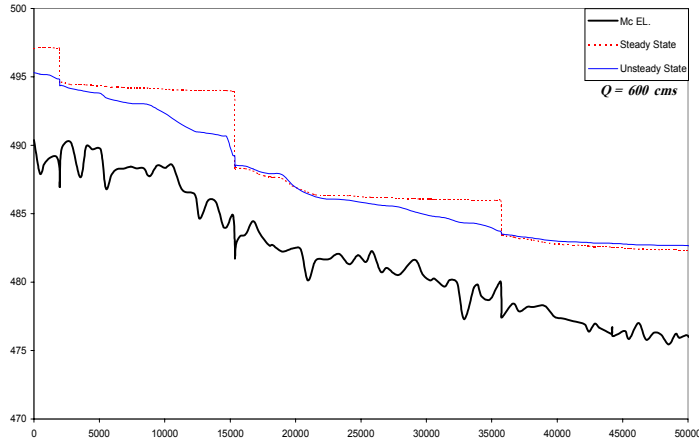
شکل ۷ - پروفیل طولی حداکثر تراز سطح آب بازای هیدروگراف دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه و در حالت تحلیل غیر دائمی



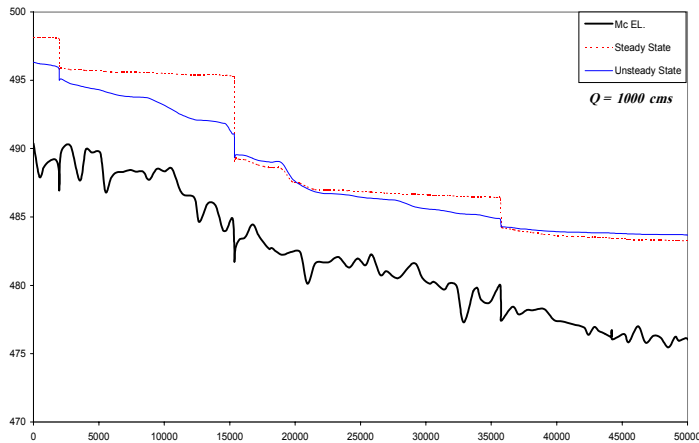
شکل ۸ - پروفیل طولی حداکثر تراز سطح آب بازای هیدروگراف ۱۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه و در حالت تحلیل غیردائمی



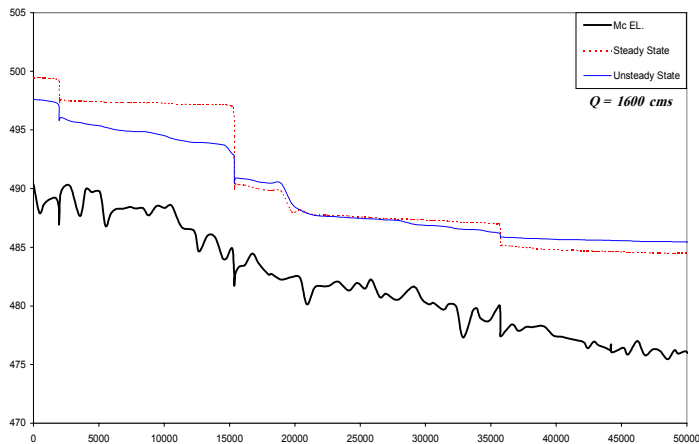
شکل ۹ - پروفیل طولی حداکثر تراز سطح آب بازای هیدروگراف ۲۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه و در حالت تحلیل غیردائمی



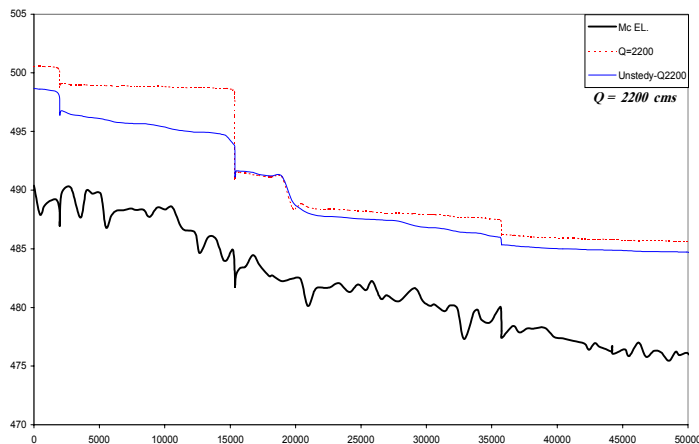
شکل ۱۰ - مقایسه پروفیل طولی سطح آب رودخانه سیستم بازای عبور دبی حداکثر ۶۰۰ cms در دو حالت دائمی و غیردائمی



شکل ۱۱ - مقایسه پروفیل طولی سطح آب رودخانه سیستم بازای عبور دبی حداکثر ۱۰۰۰ cms در دو حالت دائمی و غیردائمی



شکل ۱۲ - مقایسه پروفیل طولی سطح آب رودخانه سیستم بازای عبور دبی حداکثر ۱۶۰۰ cms در دو حالت دائمی و غیردائمی



شکل ۱۳ - مقایسه پروفیل طولی سطح آب رودخانه سیستم بازای عبور دبی حداکثر ۲۲۰۰ cms در دو حالت دائمی و غیردائمی