

# ارزیابی عملکرد هیدرولیکی طرح‌های سازه‌های تقاطعی آبخیزداری و حفاظت بستر در رودخانه‌های دره‌گاهان تفت

صادق پرتانی<sup>۱</sup>، پیمان کلبعلیان محمد احمدی سید عباس موسوی نائینی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - دانشگاه تربیت مدرس تهران، e-mail: Sadegh\_Partani@yahoo.com  
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - خاک و پی، دانشگاه علم و صنعت ایران، e-mail: pk\_6281@yahoo.com  
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - خاک و پی دانشگاه بوعلی همدان، e-mail: mohammadahmadi8m@yahoo.com  
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب دانشگاه تربیت مدرس تهران، e-mail: s.a.mousavi.n@gmail.com  
e-mail: Sadegh\_Partani@yahoo.com, :

## خلاصه

فرسایش کف و بستر، بیشتر در رودخانه‌های جوان که بستر آنها به حالت تعادل نرسیده دیده می‌شود و بستر رودخانه به علت شیب تند و سرعت زیاد جریان فرسایش یافته و مواد شسته شده به پایین رودخانه منتقل می‌گردد. راه‌حل معمولی برای تثبیت بستر رودخانه، احداث کف بند، تراس‌های عمود بر جریان و سازه‌های ساماندهی طولی در محدوده مورد نظر می‌باشد. این سازه‌ها می‌توانند بتنی یا گابیونی و یا از مصالح قرصه موجود با ترکیبات مقاوم‌ساز ساخته شوند. ارتفاع متوسط و فاصله آنها از یکدیگر پس از انجام مطالعات هیدرولیکی دقیق با توجه به شرایط و جنس خاک قابل طراحی می‌باشد. در این مقاله به بررسی عملکرد هیدرولیکی سازه‌های آبخیزداری و ساماندهی رودخانه‌ها با مطالعه موردی رودخانه دره‌گاهان تفت پرداخته شده است. در این راستا طول مسیر جریان پس از مطالعات هیدرولوژیکی و محاسبات اطلاعات پایه مورد نیاز و سیلاب‌های طرح، هیدرولیک جریان در دو حالت با و بدون وجود سازه‌هایی مذکور مورد تحلیل قرار گرفته است. لذا در هر یک از شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی رودخانه سرعت جریان، عدد فرود، پتانیل و قدرت کف‌کنی، تحلیل امکان‌سنجی فرسایش جانبی در فواصل مؤثر قبل و بعد از سازه و روی محور سازه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. همچنین عمق و نوع جریان و منشأ تغییرات ژئومورفولوژیکی مسیر رودخانه نیز که متأثر از سازه‌های مذکور بوده است مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در پایان با توجه و نوع رودخانه مورد مطالعه، به ارزیابی کلی انواع این سازه‌ها و نقش آنها در کنترل جریان و حفاظت بستر و کناره‌های رودخانه‌ها پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: سازه‌های آبخیزداری و ساماندهی رودخانه، شبیه‌سازی هیدرولیکی، فرسایش بستر و کناره‌ها

## مقدمه

رودخانه تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر: زمین شناسی منطقه، توپوگرافی دره رودخانه، خصوصیات مواد آبرفتی سیلاب‌دشت رودخانه، مشخصات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز، شرایط هیدرولیکی جریان، و نیز نحوه بهره‌برداری بشر از آن، تمایل طبیعی به دستیابی به تعادل پویا دارد. طبیعت تغییرپذیری برخی از عوامل فوق سبب می‌گردد تا رودخانه حتی در کوتاه مدت و در بازه‌های مختلف آن، همواره در معرض تغییر و تحول باشد. در دهه‌های اخیر، روش‌ها و تکنیک‌های مختلف ساماندهی رودخانه توسعه یافته است. ولی باید توجه داشت که، رودخانه‌ها و بازه‌های مختلف آن از نظر رفتار عمومی و مکانیزم فرسایش و تخریب کناره‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند. از طرفی نحوه برخورد با رودخانه بستگی به اهداف، اهمیت اقتصادی و اجتماعی، ملاحظات زیست محیطی و امکانات طبیعی و فنی در منطقه طرح دارد. از اینرو، طرح ساماندهی و روش‌های تثبیت و حفاظت نیز لزوماً متفاوت بوده و یک قالب مشخص و واحدی برای تمام رودخانه‌ها و در همه نواحی وجود ندارد.

## روش‌های تثبیت و حفاظت دیواره‌های رودخانه

- روش‌های حفاظت و تثبیت رودخانه بر حسب نوع مصالح، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن، مکانیزم عملکرد حفاظتی، دوام کارکرد، و موضوع کاربرد، به ترتیب به شناسه‌های زیر تقسیم می‌شوند:
- الف- از نظر انعطاف‌پذیری: صلب یا انعطاف‌پذیر.
- ب- از نظر آبگذری: نفوذپذیر یا نفوذ ناپذیر.
- ج- از نظر سازکار حفاظتی: روش مستقیم (روکش‌ها، دیواره حائل)، روش غیرمستقیم (آرام کننده‌ها، انحراف دهنده‌ها).
- د- از نظر نوع مصالح و ساختار حفاظتی: طبیعی، سازه‌ای، طبیعی-سازه‌ای.
- ه- از نظر موضوع کاربرد: حفاظت بستر رودخانه (کنترل شیب کف)، حفاظت دیواره رودخانه اصلی، حفاظت حریم و ساحل بالا، و یا سیلابدشت رودخانه.
- ی- از نظر دام: موقتی (اضطراری)، کوتاه مدت، یا دائمی (حفاظت درازمدت).
- امروزه تلفیق روش‌های حفاظتی مستقیم و غیرمستقیم، با ویژگی‌های طبیعی-سازه‌ای، با قابلیت انعطاف‌پذیری زیادتر، و با نیاز مدیریت نگهداری کمتر به عنوان راهکار موثر و در عین حال اقتصادی مورد توجه است، و از جنبه‌های زیستایی و زیباشناسی نیز گزیده‌تر می‌باشند.

## آشنایی با سازه‌های ساماندهی رودخانه

### کف بندها

راه‌حل معمولی برای تثبیت بستر رودخانه، احداث کف بند در طول بازه مورد نظر می‌باشد. این کف‌بندها می‌توانند از جنس بتنی یا گابیونی ساخته شوند. ارتفاع متوسط کف‌بندها و فاصله آنها از یکدیگر پس از انجام مطالعات هیدرولیکی دقیق با توجه به شرایط و جنس خاک قابل طراحی می‌باشد. کف‌بندها را با توجه به شرایط جریان بر روی بستر رودخانه و یا در زیر بستر رودخانه می‌توان احداث کرد که با مرور زمان رسوبات بین این سدهای کوتاه ته نشین می‌شود و در نتیجه یک شیب ملایم در کف رودخانه ایجاد می‌گردد.

### روگذرها

یکی از سازه‌های عمومی رودخانه، روگذرهایی می‌باشند که جهت عبور انسان‌ها و وسایل نقلیه در نقاط خاصی، بر روی مقطع عرضی رودخانه تعبیه می‌شوند. در قسمت زیربنایی این سازه‌ها، مجاری کوچکی را جهت عبور جریان آب رودخانه تعبیه می‌کنند. در جریان‌های با دبی بالا این مجاری قابلیت انتقال آب را نداشته و به دلیل نقش انسدادی سازه، جریان اجباراً با حالت سرریز از روی آن عبور خواهد کرد. در این حالت عبور جریان بصورت آزاد و تحت فشار تواما انجام می‌شود و با توجه به حجم عبوری جریان، یک یا هر دو حالت ذکر شده باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

## ارزیابی عملکرد هیدرولیکی سازه‌های ساماندهی موجود در رودخانه دره گاهان

در رودخانه دره گاهان، جهت کاهش شیب بستر و بالطبع کاهش سرعت جریان و فرسایش، از کف‌بندهایی در فواصل نسبتاً نزدیک استفاده شده است. لذا در ادامه به ارزیابی عملکرد هیدرولیکی کف بندها پرداخته می‌شود. همچنین موانع انسدادی جریان رودخانه دره گاهان (روگذرها) نیز مورد تحلیل هیدرولیکی قرار می‌گیرند.

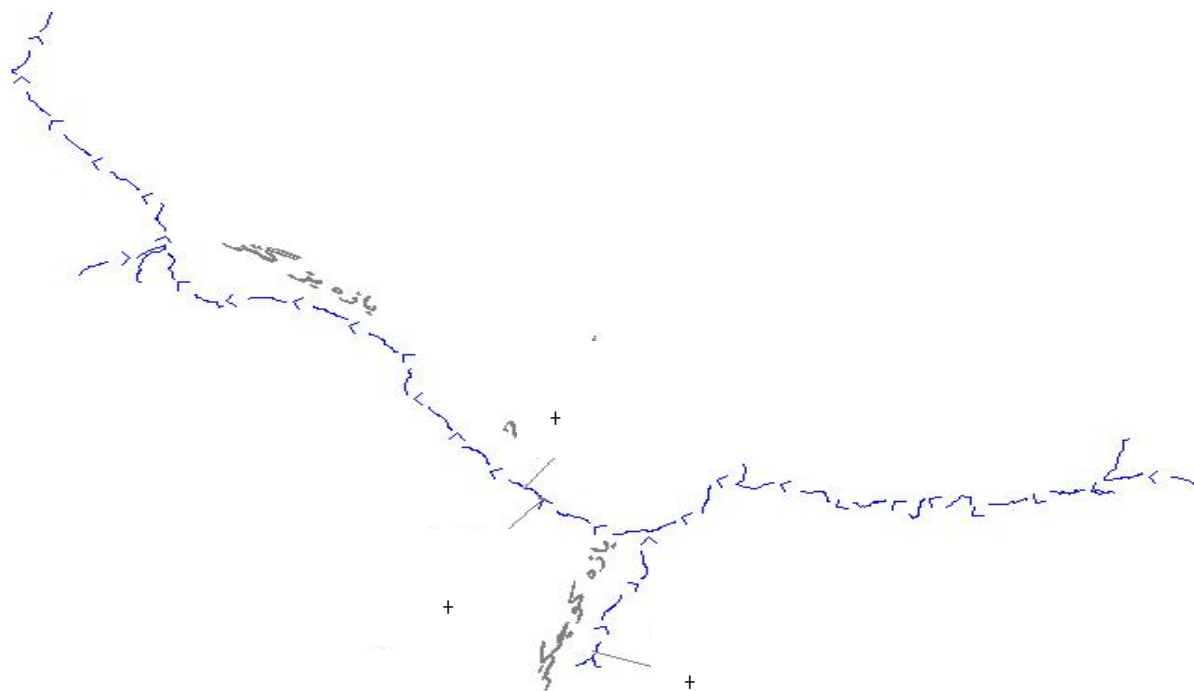
با در نظر گرفتن شباهت رودخانه در نقاط مختلف شرایط، دو کف‌بند و یک روگذر در نقاطی که روی شکل ۱ نشان داده شده، جهت تحلیل هیدرولیکی انتخاب شدند. جهت فلش‌ها به سمت پایین دست رودخانه می‌باشد. در کلیه شکلها مربوط به کف‌بندها، فاصله از مقطع دراپ اندازه‌گیری شده و به سمت بالادست و پایین دست رودخانه به ترتیب مثبت و منفی می‌باشد.

## تحلیل هیدرولیکی کف‌بندهای ۱ و ۲

در این تحلیل به محاسبه برخی از پارامترهای هیدرولیکی مقطعی که کف‌بندها در آن واقع‌اند براساس سیلاب ۲۵ ساله پرداخته شده و با استفاده از این پارامترها اثرات فرسایش در محدوده مقطع و آب‌شستگی در نقطه دراپ کف‌بند تعیین می‌شود. سپس اثر ساماندهی رودخانه بر این مقاطع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این پارامترهای هیدرولیکی عبارتند از:

سرعت جریان، عدد فرود جریان، عمق آب، نوع پروفیل سطح آب، سطح مقطع جریان

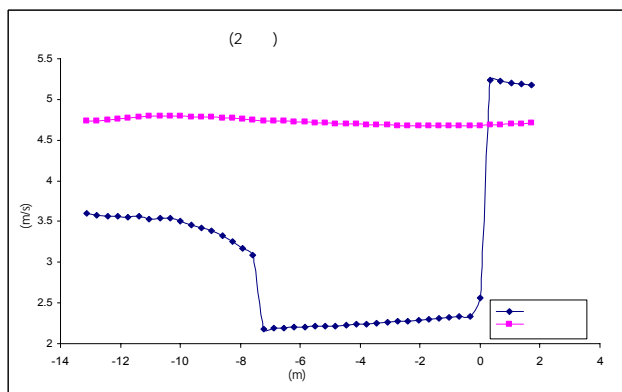


### سرعت جریان

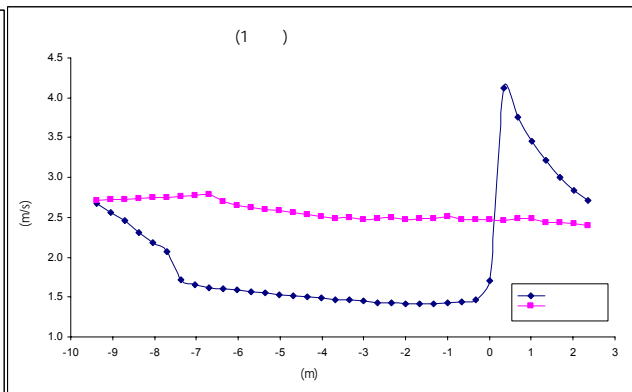
با توجه به جنس مصالح بستر سرعت بحرانی در شاخه اصلی و فرعی برابر  $1/5 \text{ m/s}$  می باشد. در کف بند ۱ تا فاصله  $4/8\text{m}$  قبل نقطه دراپ، سرعت پایین تر از مقدار ذکر شده برای فرسایش بستر می باشد بنابراین هیچگونه فرسایشی را در این بازه شاهد نخواهیم بود. اما در دو بازه، یکی از فاصله  $4/8\text{m}$  تا  $7/2\text{m}$  به سمت بالادست کفبند ۱ و دیگری از نقطه دراپ تا فاصله  $3 \text{ m}$  پایین دست آن شاهد فرسایش خواهیم بود که این فرسایش در قسمت بالادست با شدت کم و در پایین دست با شدت زیادی اتفاق خواهد افتاد.

در حالت ساماندهی نشده (عدم وجود این کفبند) به علت سرعت بالای جریان در کل بازه فرسایش شدیدی را شاهد خواهیم بود. در کف بند ۲، سرعت قبل و بعد دراپ، بیشتر از سرعت بحرانی می باشد بنابراین در این محدوده شاهد فرسایش خواهیم بود، با این تفاوت که فرسایش پایین دست دراپ نسبت به بالادست آن بسیار شدیدتر است.

در حالت ساماندهی نشده (عدم وجود این کف بند)، سرعت جریان بسیار بالا می رود و به حدود  $3$  برابر سرعت حدی فرسایش بستر کانال می رسد که در نتیجه باعث فرسایش شدید بستر می شود. شکل های ۲ و ۳ بیان کننده سرعت در مقابل مسافت برای کف بند های ۱ و ۲ می باشد.



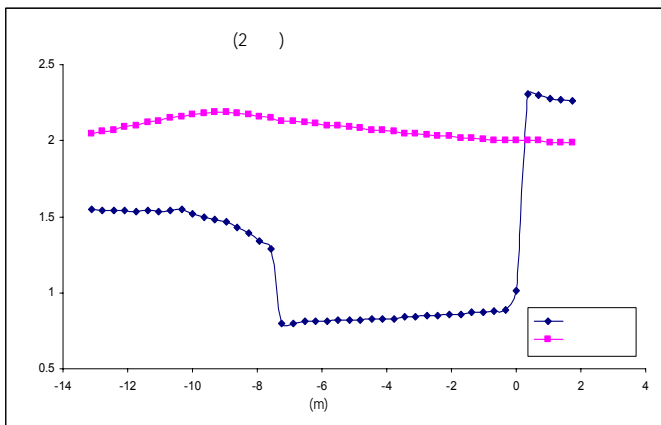
شکل ۳، سرعت - مسافت برای مقاطع کف بند ۲



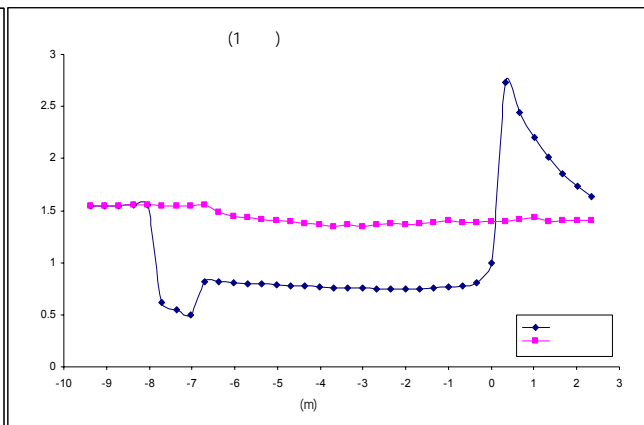
شکل ۲، سرعت - مسافت برای مقاطع کف بند ۱

## عدد فرود جریان

عدد فرود یک، به عنوان شرایط رژیم بحرانی در نظر گرفته می شود. با این تفصیل در هر دو کف بند، رژیم جریان قبل از رسیدن به دراپ، حالت زیر بحرانی، روی آن حالت بحرانی و پس از آن حالت فوق بحرانی دارد. نقاطی که عدد فرود در آنجا بزرگتر از یک می باشد بسیار مستعد فرسایش هستند بنابراین در حالت ساماندهی شده نقاط بعد از دراپ دچار فرسایش می شوند. در حالت ساماندهی نشده، کلیه مقاطع در محدوده هر دو کف بند دارای عدد فرود بزرگتر از یک یا به عبارتی جریان فوق بحرانی در بالادست و پایین دست دراپ می باشند که نشان دهنده فرسایش در این نواحی است. شکل‌های ۴ و ۵ بیان کننده عدد فرود جریان در مقابل مسافت برای کف بند های ۱ و ۲ می باشد.



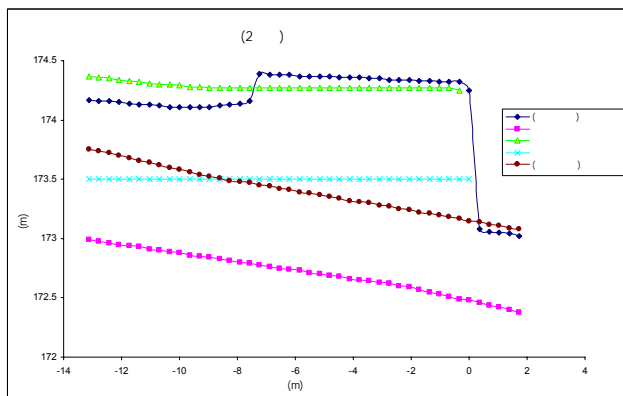
شکل ۵، عدد فرود- مسافت برای مقاطع کف بند ۲



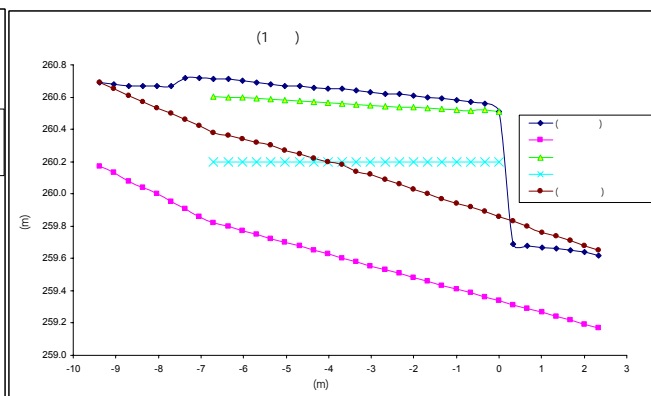
شکل ۴، عدد فرود- مسافت برای مقاطع کف بند ۱

## عمق و نوع پروفیل جریان

از دیگر پارامترهای مهم هیدرولیکی، عمق جریان آب کانال می باشد. با افزایش عمق جریان آب در کانال، افزایش دبی تغییرات ناچیزی را در این عمق به وجود می آورد. با استفاده از کف بندها شیب سطح آب کاهش یافته و بالطبع برای انتقال همان دبی احتیاج به عمق جریان بیشتری می باشد. افزایش عمق باعث کاهش سرعت و در نتیجه کاهش فرسایش جداره و بستر رودخانه می شود. با دانستن اطلاعات مربوط به تراز سطح آب می توان به نوع پروفیل جریان پی برد. با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ پروفیل سطح آب در روی کف بند ۱ و ۲ از نوع M1 می باشد و عمق جریان در مقطع دراپ به عمق بحرانی می رسد.



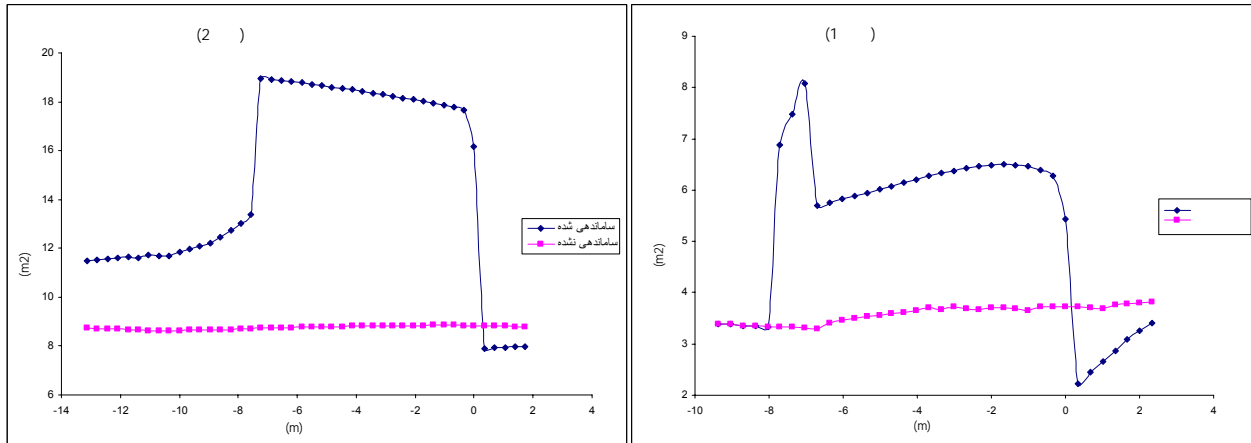
شکل ۷، ارتفاع- مسافت برای مقاطع کف بند ۲



شکل ۶، ارتفاع- مسافت برای مقاطع کف بند ۱

## سطح مقطع جریان

شکل‌های ۸ و ۹ بیان کننده سطح مقطع جریان در مقابل مسافت برای کف بند های ۱ و ۲ می باشد.



شکل ۸. سطح مقطع جریان - مسافت برای مقاطع کف بند ۱

شکل ۹. سطح مقطع جریان - مسافت برای مقاطع کف بند ۲

## تحلیل هیدرولیکی روگذر

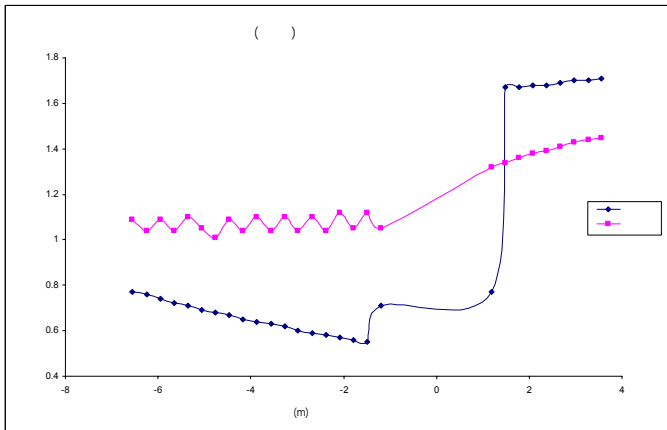
روگذر واقع بر رودخانه دره گاهان یزد با عرض ۳/۸ متر دارای دو مجرای عبور جریان برای انتقال دبی های پایین می باشد. در دبی سیلاب ۲۵ ساله به خاطر عدم ظرفیت عبور جریان و بالطبع انسداد مقطع عرضی رودخانه، جریان با حالت سرریز عبور می کند. با توجه به سطح مقطع کوچک این دو مجرا نسبت به سطح مقطع جریان روباز عبور کننده از روی سازه، از جریان تحت فشار این روگذر در مقابل جریان روباز آن صرفنظر می کنیم.

## سرعت جریان

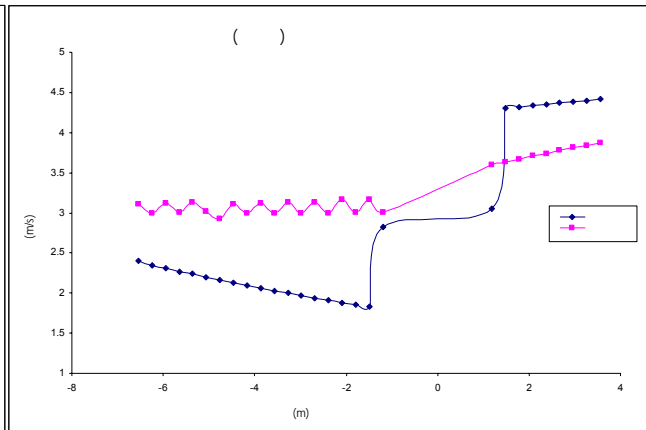
توجه به شکل ۱۰ و اینکه سرعت حدی جریان برای مصالح این رودخانه برابر  $1.5 \text{ m/s}$  می باشد فرسایش در بالادست و پایین دست رودخانه در دو

حالت انسدادی و غیرانسدادی روی می دهد.

در حالت انسدادی با نزدیک شدن به روگذر، از سرعت جریان کاسته می شود در حالیکه پس از عبور از روی مانع، سرعت جریان به سرعت افزایش پیدا می کند. بنابراین در این حالت، فرسایش بعد از روگذر به شدت افزایش خواهد یافت. در حالت بدون انسداد، سرعت جریان قبل از رسیدن به مقطعی که در حالت انسداد دارای روگذر بود تقریباً ثابت است ولی پس از عبور از این مقطع سرعت جریان افزایش می یابد. بنابراین شاهد شدت فرسایش بیشتر بعد از مقطع مذکور نسبت به قبل از آن خواهیم بود. این مانع سبب کاهش شدت فرسایش قبل از مقطع مذکور نسبت به حالت بدون انسداد خواهد شد، ولی عکس این حالت را برای پایین دست روگذر شاهد خواهیم بود.



شکل ۱۱، عدد فرود- مسافت(روگذر)



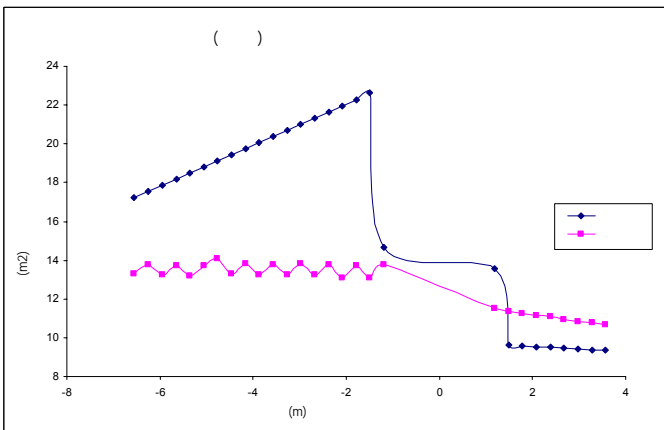
شکل ۱۰، نمودار سرعت- مسافت (روگذر)

### عدد فرود جریان

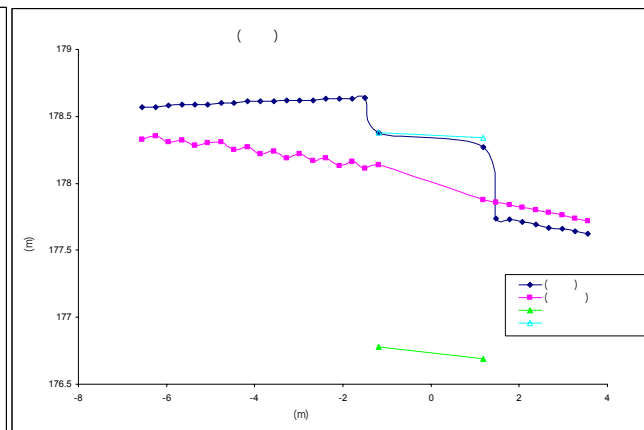
وجود مانع در مسیر کانال، تغییر مکان روی منحنی انرژی مخصوص جریان را به دنبال خواهد داشت. شدت این تغییرات، وابستگی مستقیم به ارتفاع مانع دارد، به طوری که در بعضی مواقع منجر به تغییر رژیم جریان می شود. با توجه به شکل ۱۱، در وضعیت انسدادی کانال، رژیم جریان قبل از روگذر حالت زیربحرانی و پس از آن فوق بحرانی خواهد داشت. نقطه بحرانی جریان در فاصله ۰/۲ متر پس از انتهای روگذر قرار دارد. در وضعیت غیرانسدادی کانال، رژیم جریان قبل از روگذر حالت بحرانی و از ابتدای آن وضعیت فوق بحرانی خواهد داشت. نقطه وسط عرض روگذر به عنوان مبدا سنجش فاصله انتخاب می شود.

### عمق و نوع پروفیل جریان

شکل ۱۲ پروفیل سطح آب را در دو وضعیت زیربحرانی و فوق بحرانی نشان می دهد. نقطه وسط عرض روگذر به عنوان مبدا سنجش فاصله انتخاب می شود. منحنی به خوبی عبور تغییر رژیم جریان را از حالت زیر بحرانی ماقبل روگذر به فوق بحرانی بعد از آن در حالت انسدادی نشان می دهد.



شکل ۱۳، شکل تراز سطح آب- مسافت(روگذر)



شکل ۱۲، تراز سطح آب- مسافت(روگذر)

### سطح مقطع جریان

شکل ۱۳ تغییرات سطح مقطع جریان را قبل و پس از عبور از روگذر نشان می دهد. نقطه وسط عرض روگذر به عنوان مبدا سنجش فاصله انتخاب می شود. همانطور که مشاهده می شود وجود مانع سبب افزایش شدید سطح مقطع جریان، قبل از روگذر می شود.



شکل ۱۵. کف بند تحلیل شده در رودخانه دره گاهان

شکل ۱۴. روگذر تحلیل شده در رودخانه دره گاهان

### منابع

نجمایی، محمد؛ هیدرولیک کاربردی؛ انتشارات دانشگاه علم و صنعت؛ ۱۳۶۹.  
صاحبقرانی، بهرام؛ راهنمای اصول کارشناسی حفاظت و مهندسی رودخانه و سواحل و کنترل سیلاب؛ انتشارات شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل؛ ۱۳۸۴.  
وزارت جهاد کشاورزی سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛ اولین کارگاه علمی - تخصصی روش‌های بیو مهندسی در ساماندهی رودخانه‌ها و مسیل‌ها؛ انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری با همکاری انجمن هیدرولیک ایران؛ ۱۳۸۳.