

# تاثیر پارامترهای هیدرولیکی در آبشستگی پایه‌های پل نظام آباد زرینه رود با استفاده از مدل HEC-RAS

فروغ اشکان<sup>1\*</sup>، رسول دانشفراز<sup>2</sup>

1- عضو هیئت علمی دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، مراغه، ashkan@maragheh.ac.ir  
2- دانشیار گروه عمران دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، مراغه، daneshfaraz@yahoo.com

## چکیده

آبشستگی موضعی اطراف پایه‌های پل، یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب کننده پل‌ها محسوب می‌شود. تاکنون پژوهش‌گران زیادی به بررسی آبشستگی اطراف پایه پل پرداخته‌اند که به دلیل پیچیدگی مسأله و فراوانی عوامل مختلف هنوز راه حل کاملی برای جنبه‌های گوناگون آن مطرح نشده است. در این مقاله آبشستگی پایه‌های پل نظام آباد میاندوآب با استفاده از نرم افزار HEC-RAS تخمین زده شده و تاثیر عوامل مختلف روی آن بررسی گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که دبی جریان، زاویه برخورد آب با پایه پل از جمله عوامل موثر بر آبشستگی پایه پل‌هاست. از میان این دو پارامتر دبی بیشترین تاثیر را در عمق آبشستگی دارد. با افزایش دبی و با افزایش زاویه برخورد آب به پایه عمق آبشستگی به صورت خطی افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** پارامترهای هیدرولیکی، آبشستگی پایه پل، عمق آبشستگی، دبی جریان، نرم افزار HEC-RAS.

## 1- مقدمه

طراحی، محاسبه و احداث پایه‌های پل واقع در محل عبور رودخانه، از مهمترین و حساس‌ترین مراحل یک پروژه پل سازی می‌باشند. در این زمان، طراح باید برای انتخاب طول و تعداد دهانه‌ها و عمق حداقل پی پایه‌ها، اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی منطقه، اطلاعات مربوط به فرسایش بستر رودخانه را در نظر گرفته و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد که در صورت در نظر نگرفتن آن بایستی شاهد عواقب خطرناکی از جمله تهدید پایداری پل و نهایتاً خرابی آن بود. یکی از موثرترین عوامل این تخریب‌ها آبشستگی موضعی اطراف پایه‌ها می‌باشد که با فرسایش بستر در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی و کناره آبراهه در اثر عبور جریان آب همراه می‌باشد. عمق ناشی از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه را عمق آبشستگی<sup>1</sup> می‌نامند. در اثر برخورد آب به پایه پل روی پایه به تناسب سرعت جریان، فشار ایجاد می‌شود و به دلیل توزیع سرعت عمودی جریان که سرعت از بستر رودخانه به طرف سطح آب زیاد می‌شود، فشار دینامیکی بیشتری نیز در ترازهای بالاتر به پایه وارد شده که باعث به وجود آمدن گرادیان فشار روی پایه از بالا به پایین می‌شود. این گرادیان فشار باعث ایجاد جریان‌های رو به پایین می‌شود. این جریان‌های رو به پایین پس از برخورد به بستر با جریان اصلی برخورد کرده و گرداب نعل اسبی را به وجود

<sup>1</sup> - Scour depth

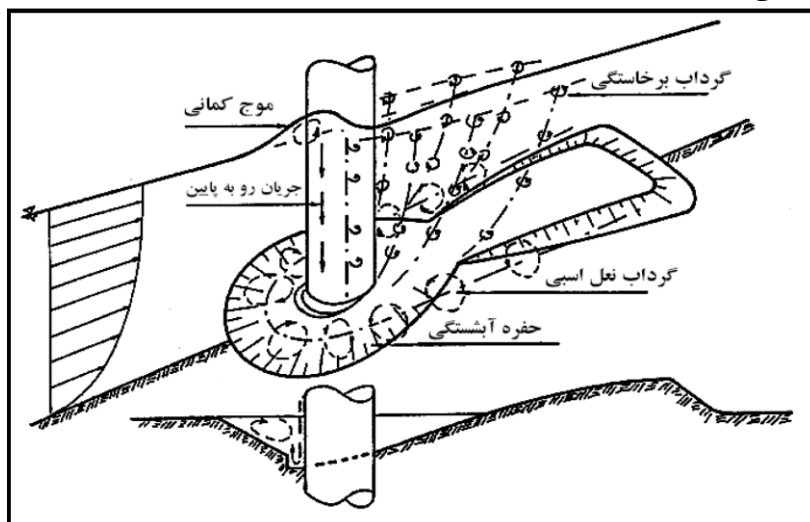
می‌آورند. بررسی‌ها نشان می‌دهد گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی نقش عمده‌ای در ایجاد حفره آبشستگی اطراف پایه پل دارند(زراتی و عزیزی<sup>۲</sup>، 2001). به طور کلی آبشستگی در اثر اندرکنش نیروهای زیر حاصل می‌شود:

- 1- نیروی محرک ناشی از جریان که در راستای جدا کردن ذره از بستر عمل می‌کند.
  - 2- نیروی مقاوم ناشی از اصطکاک ذرات و وزن ذره که در برابر حرکت ذره مقاومت کرده و مانع جدایی ذره از بستر می‌شود.
- حرکت یک ذره هنگامی آغاز می‌شود که نیروهای اعمال شده توسط جریان یعنی نیروی کشسانی<sup>۳</sup> و بالابرنده<sup>۴</sup> که باعث جدا شدن ذره از بستر می‌شوند، بر نیروی مقاوم ذره غالب آید.
- عطایی آشتیانی و همکاران (2010) آبشستگی آب زلال اطراف پایه پل پیچیده با ابعاد مختلف سرشمع را مورد ارزیابی قرار داد.

دانشفراز و همکاران (1392) به بررسی مدل‌های CSU2001 و HEC-RAS جهت عمق آبشستگی استفاده و مشاهده شد به علت خطای کم با نتایج آزمایشگاهی یکی از گزینه‌های مناسب جهت محاسبه عمق آبشستگی موضعی می‌باشد.

## 2- الگوی جریان و مکانیزم آبشستگی در اطراف پایه‌های پل

الگوی جریانی که در اطراف پایه پل شکل می‌گیرد به طور مستقیم یا غیرمستقیم با یکی از این دو عامل در ارتباط می‌باشد. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی را شکل داده و جدایی جریان از پایه باعث به وجود آمدن گرداب‌هایی که به گرداب برخاستگی موسومند، می‌شود. الگوی جریان در اطراف یک پایه در شکل 1 نشان داده شده است. گرداب نعل اسبی عامل اصلی فرسایش بستر رودخانه در اطراف پایه به ویژه در جلو آن می‌باشد. پس از برخورد جریان آب به دماغه پل، روی پایه به تناسب سرعت جریان، فشار ایجاد می‌شود و به دلیل توزیع سرعت عمودی جریان که سرعت از بستر رودخانه به طرف سطح آب زیاد می‌شود، فشار دینامیکی بیشتری نیز در ترازهای بالاتر به پایه وارد شده که باعث به وجود آمدن گردابیان فشار روی پایه از بالا به پایین می‌شود. این گردابیان فشار باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلو پایه می‌شود. همچنین در رودخانه، سرعت در سطح آب حداکثر نمی‌باشد، بلکه حداکثر مقدار آن کمی پایین‌تر از سطح آب به وجود می‌آید. در نتیجه در این قسمت نیز یک توزیع سرعت و به تبع آن توزیع فشار ایجاد می‌شود که باعث حرکت آب رو به بالا شده و در سطح آب در نوک پایه موجی به نام موج کمانی ایجاد می‌شود.



شکل 1: الگوی جریان در اطراف یک پایه استوانه‌ای (بروسرز<sup>۵</sup>، 1991)

<sup>2</sup> - Zarrati and Azizi

<sup>3</sup> - Drag force

<sup>4</sup> - Lift force

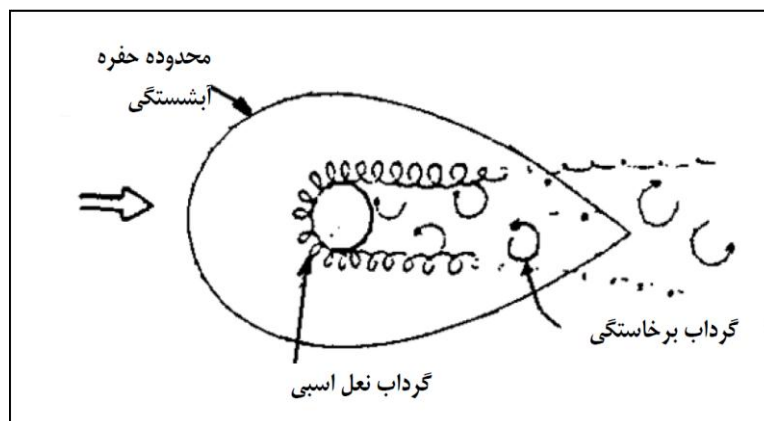
<sup>5</sup> - Breusers

سرعت جریان رو به پایین در عمق یکنواخت نمی‌باشد و به دلیل متغیر بودن گرادیان فشار در عمق، از سطح آب به سمت کف بیشتر می‌شود. مقدار حداکثر این سرعت به اندازه 0.8 برابر سرعت متوسط جریان بوده و در عمقی به اندازه قطر پایه پایین‌تر از بستر و داخل حفره آبشستگی می‌باشد. سرعت جریان روی پایه صفر است و جریان رو به پایین در فاصله 0.5 الی 0.2 قطر پایه در بالادست آن اتفاق می‌افتد. جریان رو به پایین در حین برخورد به بستر رودخانه، ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود. با حفر بستر در جلو پایه، این جریان وارد حفره شده و بخشی از آن به سمت بالادست بر می‌گردد. در نهایت در برخورد با جریان اصلی مجبور به حرکت در جهت جریان می‌شود. در واقع جریان رو به پایین کاملاً چرخیده و گردابی را ایجاد می‌کند. با به وجود آمدن این گرداب، عمل حفر حفره تسریع شده و رفته رفته عمیق تر می‌شود. چرخش جریان در دور پایه نیز باعث افزایش سرعت موضعی و تمرکز تنش در دو طرف پایه می‌شود و در نتیجه دو شیار در دو طرف پایه توسعه می‌یابد که این دو شیار خود به حمل مصالح کنده شده از جلو پایه و عمیق تر شدن حفره آبشستگی کمک می‌کنند. چرخش آب داخل حفره جلو پایه به دو طرف پایه نیز کشیده می‌شود و در مجموع گردابی را ایجاد می‌نماید که در پلان به نعل اسب شبیه است و از آن رو به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. از نظر بروسرز و رادکیوی<sup>6</sup> (1991) گرداب نعل اسبی نتیجه آبشستگی می‌باشد نه علت آن.

سرعت‌های بالای گرداب نعل اسبی که باعث ایجاد تنش برشی در سطح تماس آن با کف حفره می‌شود، باعث تسریع در ایجاد حفره شده و مصالحی را که توسط آن از بستر جدا شده، در اختیار جریان عمومی رودخانه قرار می‌دهد. جریانی که به صورت عمودی به نوک پایه برخورد می‌کند، روندی مشابه روند اشاره شده در بالا را طی می‌کند، ولی جریانی که به کناره‌های پایه برخورد می‌کند، بردار سرعت آن به دو مولفه شعاعی (عمود بر سطح) و مماسی (روی سطح) تفکیک می‌شود. مولفه شعاعی سرعت مانند آنچه در مورد نوک دماغه پایه به آن اشاره شد باعث تشکیل جریان رو به پایین و رو به بالا می‌شود. البته طبیعی است که با دور شدن محل برخورد آب از دماغه پایه، تصویر بردار سرعت در جهت شعاعی کوچک و کوچک تر شده و تصویر آن در جهت مماسی بزرگ تر می‌شود. در این حالت جریان رو به پایین حاصل شده، در برخورد با جریان اصلی بالادست به طرفین منحرف می‌شود. مولفه مماسی بردار سرعت، گرداب نعل اسبی را به سمت پایین دست حرکت می‌دهد و در کناره‌های پایه به برداشت مصالح بستر کمک می‌کند. اصطکاک گرداب نعل اسبی با پایه پل و بستر، باعث تضعیف آن در طول مسیر می‌شود. حفره آبشستگی توسط گرداب نعل اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب داخل حفره زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. هنگامی که جریان از کناره‌های پایه پل عبور می‌کند، در طول جداره پایه تحت تاثیر گرادیان فشار از آن جدا می‌شود. همچنین در پشت پایه به دلیل کاهش فشار، جریان و لایه برشی به سمت داخل متمایل شده و ایجاد گرداب‌های برخاستگی می‌کنند. محور این گرداب‌ها عمود بر بستر رودخانه می‌باشد. شکل‌های 1 و 2 وضعیت این گرداب‌ها را نشان می‌دهند. همان طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، جهت گرداب‌ها به سمت داخل بوده و در دو طرف خلاف جهت یکدیگر می‌چرخند. گرداب برخاستگی در نزدیکی کف با گرداب نعل اسبی باقی مانده از بالادست که در حال نوسان عمودی و افقی می‌باشد، اندرکنش دارد. این گرداب‌ها با محور عمودی و مرکز کم فشار، مانند یک گرداب، ذرات بستر را به سمت بالا مکیده و در معرض جریان قرار می‌دهند. به این ترتیب گرداب‌های برخاستگی به حمل مصالح کنده شده از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک کرده و در عین حال یک حفره آبشستگی مستقل در پایین دست پایه ایجاد می‌کنند (راجاراتنام<sup>7</sup>، 1977). الگوی سه بعدی آبشستگی حول یک پایه پل در شکل 2 نشان داده شده است.

<sup>6</sup> - Raudkivi

<sup>7</sup> - Rajaratnam



شکل 2: محل تشکیل گرداب‌های برخاستگی در پشت پایه‌های استوانه‌ای و جهت تشکیل این گرداب‌ها

### 3- معرفی نرم افزار HEC-RAS

HEC-RAS یک بسته نرم افزاری مجتمع از سری برنامه‌های تحلیل هیدرولیکی است که در آن کاربر از طریق استفاده از واسط گرافیکی کاربر (GUI) با سیستم ارتباط برقرار می‌کند. این مدل که نسخه تحت ویندوز HEC-2 می‌باشد، توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی انجمن ارتش آمریکا تهیه شده است. نرم افزار مذکور قابلیت انجام محاسبات یک بعدی جریان در حالت ماندگار و غیر ماندگار را دارد.

پنج گام اساسی در ایجاد یک مدل هیدرولیکی با HEC-RAS وجود دارد که عبارتند از:

- 1- شروع یک پروژه جدید
- 2- وارد کردن داده‌های هندسی
- 3- وارد کردن داده‌های جریان و شرایط مرزی
- 4- وارد کردن داده‌های دانه بندی بستر در طول رودخانه
- 5- وارد کردن داده‌های رسوب اندازه گیری شده در بالادست
- 6- انجام محاسبات
- 7- مشاهده نتایج روندیابی هیدرولیکی و رسوب

### 4- منطقه مورد مطالعه

پل نظام آباد توسط سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی بر روی رودخانه زرینه رود برای تسهیل در رفت و آمد و اتصال دو طرف رودخانه احداث شده است. این پل اهمیت به سزایی در اتصال، کاهش هزینه رفت و آمد، حمل و نقل محصولات کشاورزی منطقه و رفاه روستاییان داشته است. این پل دارای چهار ردیف پایه دو تایی است که پایه‌های اول و چهارم به کالورت صندوقه‌ای چسبیده به تکیه گاه‌های راست و چپ پل بسیار نزدیک می‌باشد. به طوریکه بخش عمده‌ای از ارتفاع آنها در داخل خاک مدفون می‌باشد. پایه‌ها استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای و به قطر 1/4 متر هستند. طول پل از پایه اول تا چهارم 90 متر و با احتساب تکیه گاه‌ها و کالورت‌های صندوقه‌ای طول نهایی پل به 130 متر می‌رسد. عرض پل شش متر و ارتفاع پایه‌های پل 5 و ارتفاع تا عرشه پل 5/5 متر است. پایه‌های ردیف سوم بیشترین عمق و پایه‌های ردیف دوم، اول و چهارم در رتبه‌های بعدی هستند. زاویه حمله آب به پایه‌ها در محل پل حدود 5 درجه است. در شکل زیر نمایی از پل آورده شده است.

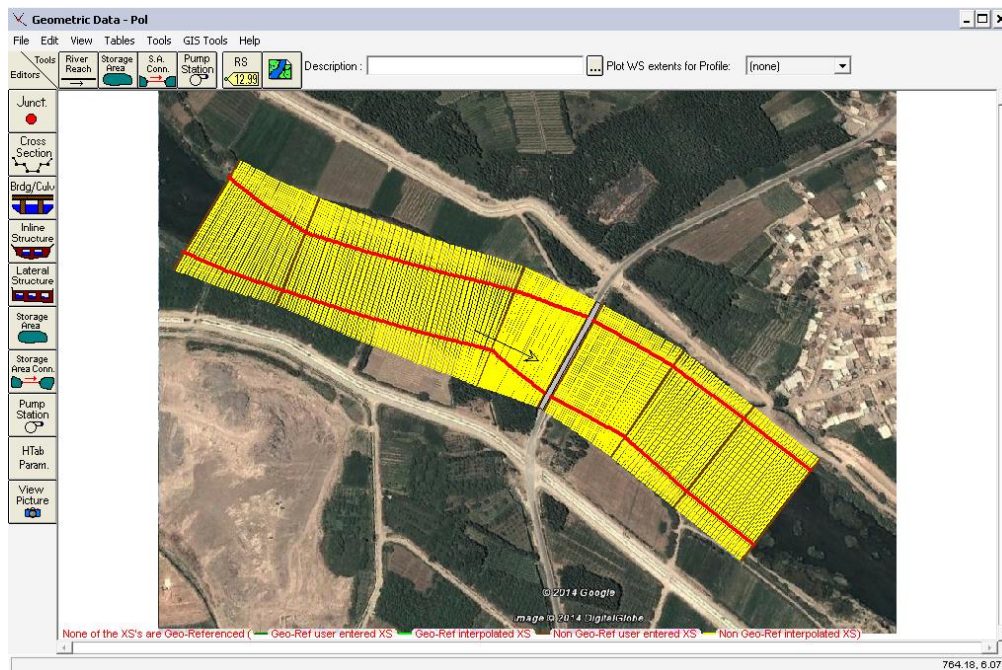


شکل 3: نمایی کلی از پل نظام آباد میاندوآب

رودخانه در این محدود پل مورد مطالعه در دشت واقع شده که حداکثر شیب محاسبه شده برای آن یک و نیم درصد می باشد. مخلوطی از خاک رس، ماسه های ریز و دانه های متوسط تا درشت بستر و جداره رودخانه را تشکیل داده است. در تمام مسیر در سواحل رودخانه رشد درخت های گز و در ارتفاع بالاتر رشد درختان بید کاملاً محسوس می باشد.

## 5- مدل هیدرولیکی

برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی پایه های پل با استفاده از نرم افزار، اولین قدم تهیه مدل هیدرولیکی از بازه های از رودخانه است که پل در آن قرار دارد. این مدل می بایست چند مقطع عرضی در پایین دست و چند مقطع عرضی در بالا دست پل را شامل باشد. برای این منظور از محل مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار Google Earth تصویر هوایی تهیه شده و آن را به نرم افزار اضافه نمودیم. سپس به دقت مقاطع عرضی مورد نیاز را ایجاد و بین آنها میانبایی انجام شد. شکل 4 مقاطع عرضی و شکل سه بعدی این مقاطع را نشان می دهند.

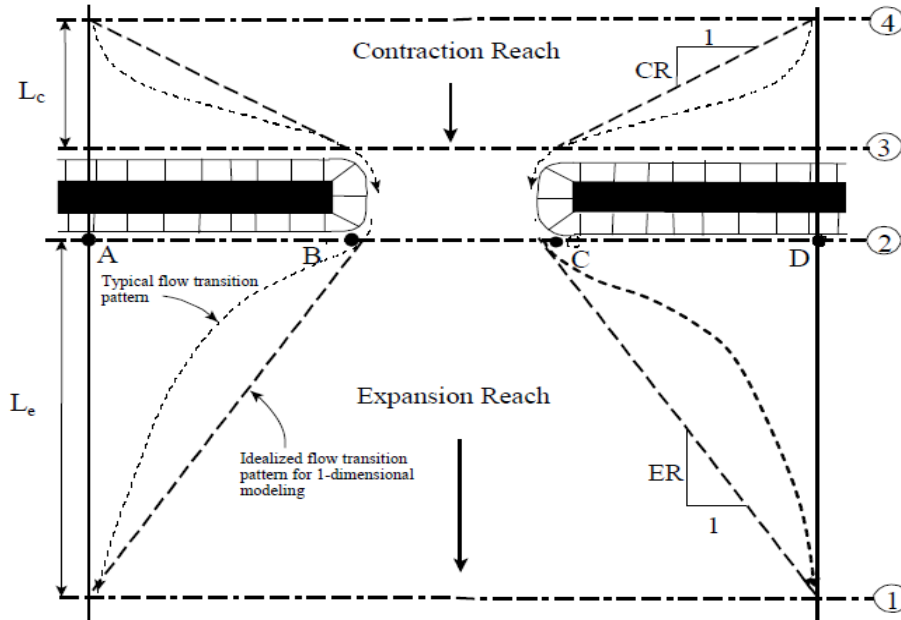


شکل 4: مقاطع عرضی جهت تعیین عمق آبشستگی پایه های پل نظام آباد میاندوآب



1-5- موقعیت مقاطع عرضی لازم جهت قرارگیری پل

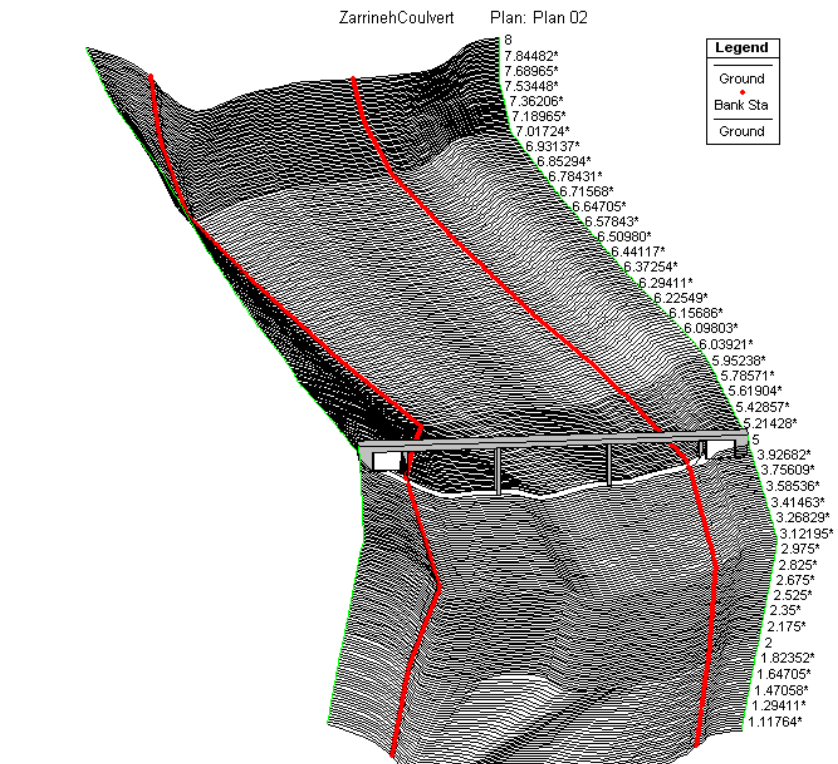
در شکل زیر نمایی پلان گونه از جانمایی اساسی مقاطع عرضی نشان داده شده است.



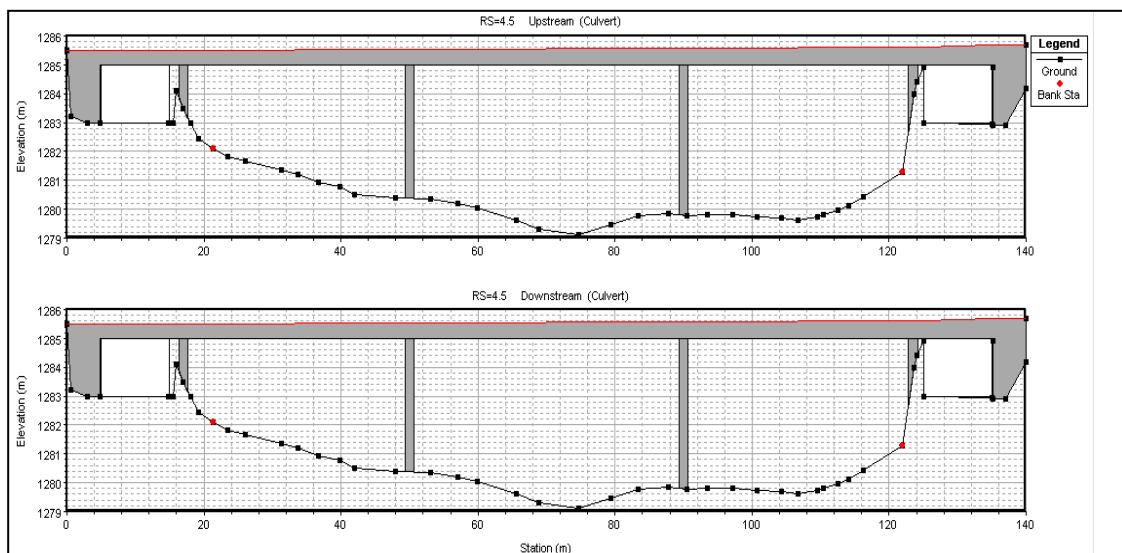
شکل 5: نمایی پلان گونه از جانمایی اساسی مقاطع عرضی

2-5- هندسه پل

هندسه داخل پل، ترکیبی از مقاطع عرضی محصور کننده و هندسه پل می باشد. هندسه پل شامل عرشه پل، تکیه گاه ها و هر تعداد از پایه هایی که وجود دارند. در این تحقیق 4 ردیف پایه 2 تایی وجود داشت. در شکل 6 مقاطع عرضی و محل پل ها جهت تعیین عمق آبستنگی پایه های پل نظام آباد نشان داده شده است.



شکل 6: مقاطع عرضی و محل بلها جهت تعیین عمق آبشستگی پایه‌های پل نظام آباد  
 در شکل 7 پروفیل مقاطع عرضی در محل پل نظام آباد آورده شده است.



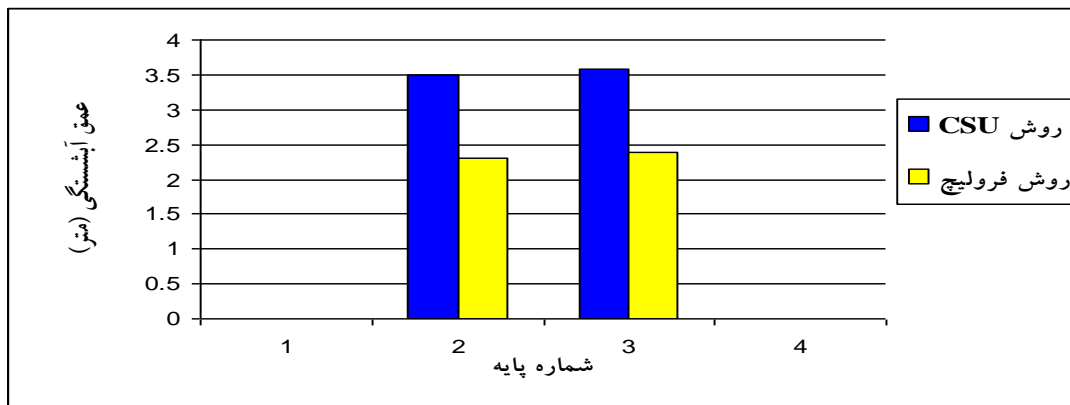
شکل 7: پروفیل عرضی در محل پل نظام آباد

### 6- تعیین عمق آبشستگی

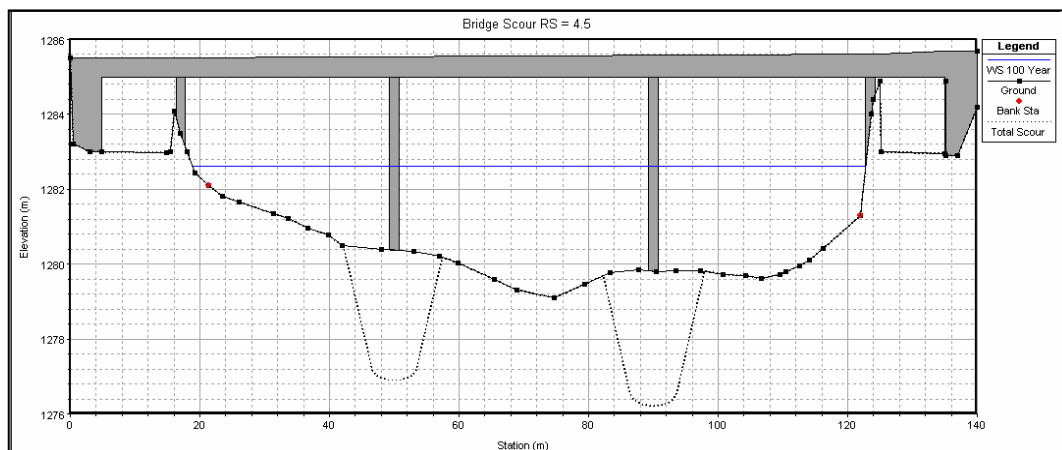
در این تحقیق با استفاده از دبی‌های ذکر شده و با دو روش نرم افزار HEC-RAS (رابطه CUS و فرولیچ) اقدام به محاسبه حداکثر عمق آبشستگی شد. نوع جریان زیر بحرانی، نوع بستر آب زلال و بدون ریگ، زاویه حمله آب به پایه‌ها 5 و D50 برابر 10/1 میلی متر و D95 برابر 16 میلی متر در نظر گرفته شد.

به طور کلی رویداد طراحی (دبی طرح) برای تحلیل آبشستگی معمولاً رویداد 100 ساله (با احتمال 1 در صد) است (راهنمای نرم افزار HEC-RAS).

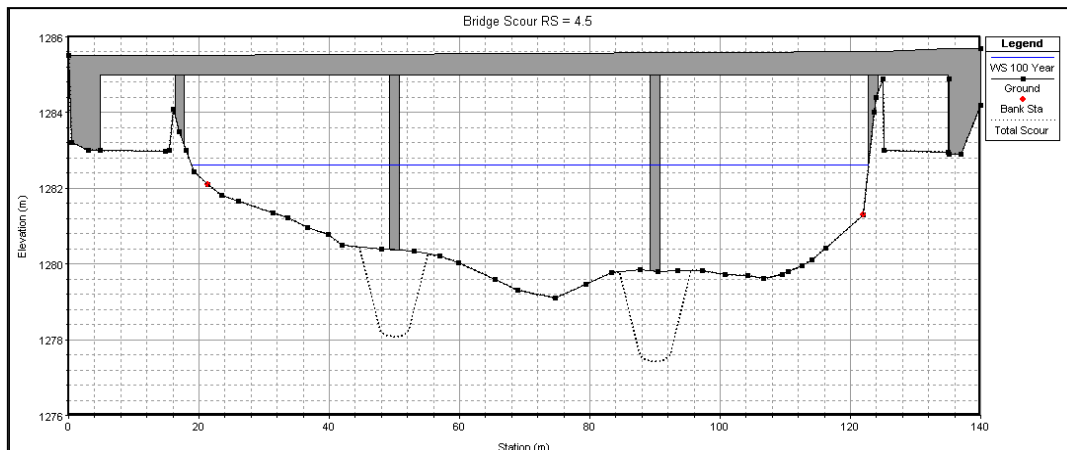
بررسی نتایج محاسبه عمق آبشستگی با این دوره برگشت نشان داد که در هر دو روش CSU و فرولیچ در پایه های 1 و 4 هیچگونه آبشستگی اتفاق نمی افتد. عمق آبشستگی در پایه شماره 3 معمولاً بیشتر از پایه دو است. اعداد به دست آمده با روش فرولیچ کمتر از روش CSU می باشد. شکل 8 میزان عمق آبشستگی را با هر دو روش نشان می دهد. ضمن اینکه در اشکال شماره 9 و 10 شکل آبشستگی با دو روش برای دبی با دوره برگشت 100 سال آورده شده است.



شکل 8: مقایسه عمق آبشستگی برای پل نظام آباد با دو روش نرم افزار HEC-RAS برای دبی 100 ساله



شکل 9: آبشستگی ناشی از دبی 100 ساله روش CSU نرم افزار HEC-RAS



شکل 10: آبشستگی ناشی از دبی 100 ساله روش فرولیچ نرم افزار HEC-RAS



## 7- بررسی تاثیر عوامل مختلف روی عمق آبشستگی

### 7-1- تاثیر دبی روی عمق آبشستگی

با استفاده از تحلیل آماری دبی‌های با دوره برگشت 1/33 تا 1000 سال برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد. با وارد نمودن این دبی‌ها به نرم افزار عمق آبشستگی متناسب با آنها با هر دو روش نرم افزار محاسبه گردید. در اشکال زیر میزان عمق آبشستگی برای هر چهار پایه و برای هر دو روش آورده شده‌اند.

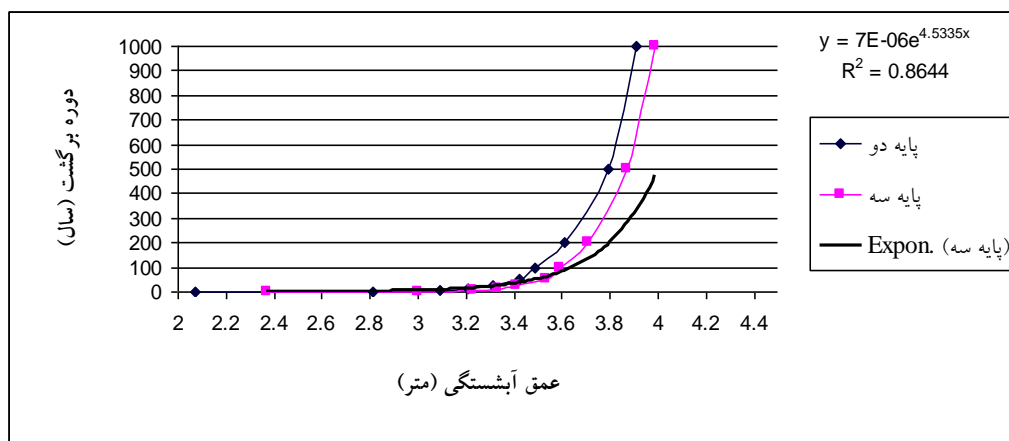


شکل 11: مقایسه عمق آبشستگی برای پل نظام آباد با روش CSU نرم افزار HEC-RAS

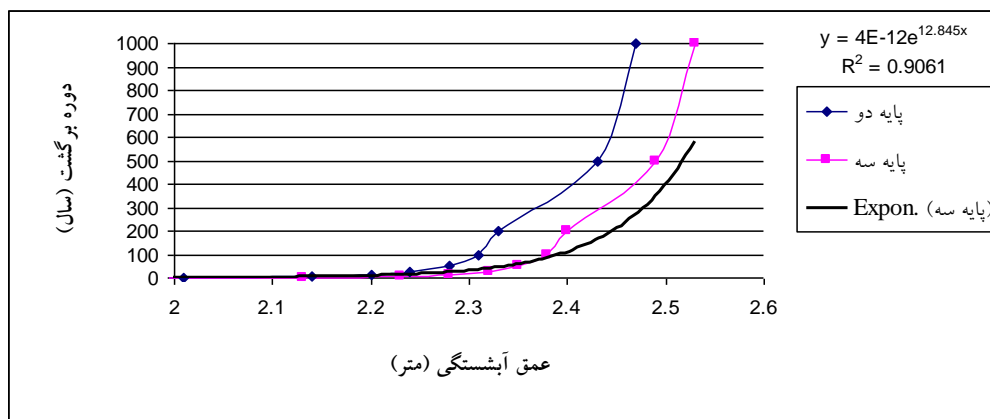


شکل 12: مقایسه عمق آبشستگی برای پل نظام آباد با دو روش فرولیچ نرم افزار HEC-RAS

بر اساس نتایج این محاسبات در روش CSU عمق آبشستگی در دبی 1000 سال نسبت به دبی 1/33 سال، 188 درصد برای پایه دوم و 168 درصد برای پایه سوم و در روش فرولیچ به ترتیب 138 و 129 درصد افزایش یافته است. بر این اساس تاثیر افزایش دبی قابل لمس می‌باشد. همچنین روش فرولیچ به اندازه روش CSU در مقابل افزایش دبی حساس نمی‌باشد. جهت بررسی دقیق اثر تغییر دبی جریان بر روی آبشستگی در حالت آب زلال نتایج بدست آمده از نرم افزار HEC-RAS روی نمودار شکل 13 و 14 برای دبی‌های با دوره برگشت مختلف نمایش داده شده است.



شکل 13: اثر تغییر دبی جریان بر عمق آبستگي پایه‌های پل نظام آباد در حالت آب زلال، روش CSU



شکل 14: اثر تغییر دبی جریان بر عمق آبستگي پایه‌های پل نظام آباد در حالت آب زلال، روش فرولیچ

باتوجه به اشکال بالا مشاهده می‌شود با افزایش دبی، عمق آبستگي بصورت نمایی افزایش پیدا می‌کند. این افزایش از دبی با دوره برگشت 100 سال به بالا شدت گرفته و کاملاً مشهود می‌باشد. معادله نمایی برآزش داده شده بر این نمودارها با ضریب رگرسیون بالا بیانگر این نکته است. همچنین بر اساس نتایج این اشکال در روش CSU اختلاف بین عمق آبستگي پایه دو و سه کمتر از روش فرولیچ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در صورتی که سایر پارامترهای آبستگي از جمله: a (عرض یا قطر پایه)، L (طول پایه)،  $k_1$ ،  $k_2$ ،  $k_3$  و D50 و D90 ثابت باشند، افزایش دبی باعث افزایش عمق آبستگي می‌شود. جدول زیر درصد افزایش عمق آبستگي در دوره برگشت‌های متوالی نسبت به هم را نشان می‌دهد.

جدول 1: نسبت عمق آبستگي در دوره برگشت متوالی با روش CSU

نسبت عمق آبستگي در دوره برگشت متوالی									پایه
1000/500	500/200	200/100	100/50	50/25	25/10	10/5	5/2	2/1/33	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	5	3	2	3	3	4	10	36	2
3	4	3	2	4	2	3	8	27	3
28	0	0	0	0	0	0	0	0	4

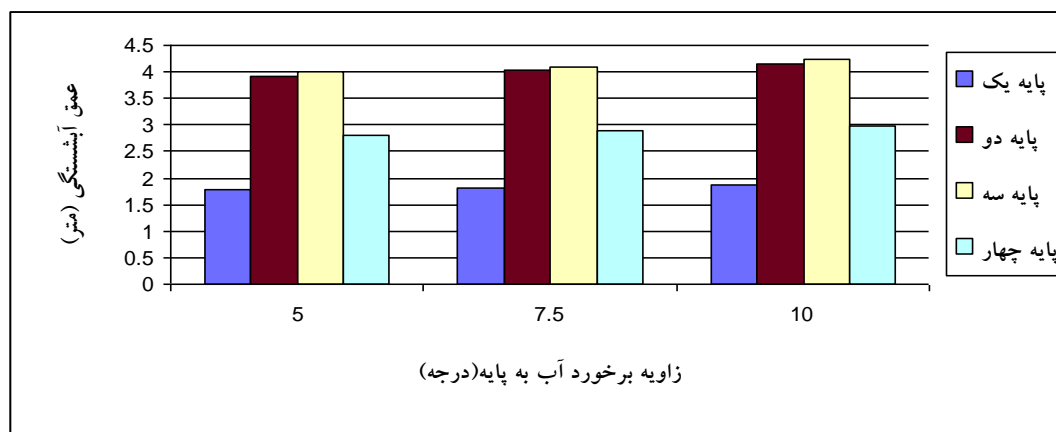
جدول 2: نسبت عمق آبستگي در دوره برگشت متوالی با روش فرولیچ

نسبت عمق آبستگي در دوره برگشت متوالی									پایه
1000/500	500/200	200/100	100/50	50/25	25/10	10/5	5/2	2/1/33	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	4	1	1	2	2	3	6	12	2
2	4	1	1	1	2	2	5	9	3
15	0	0	0	0	0	0	0	0	4

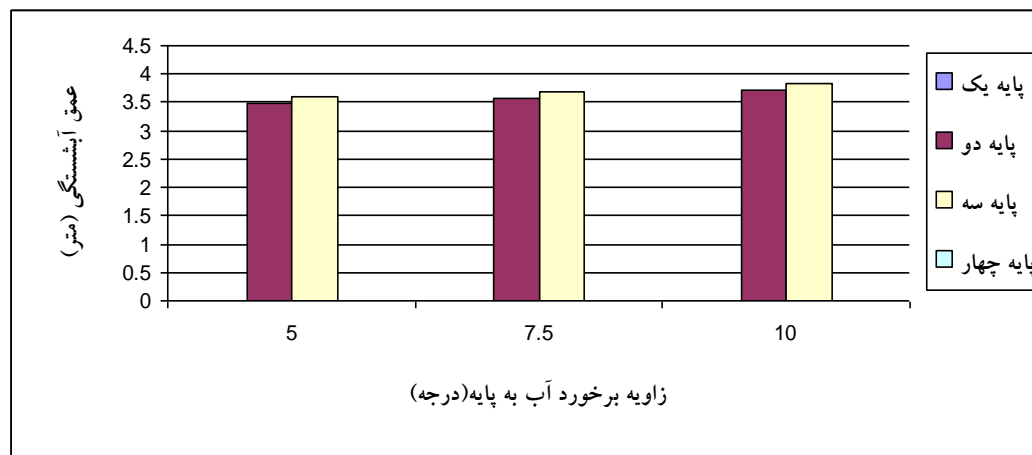
بر اساس این نتایج بیشترین افزایش مربوط به نسبت دو دوره برگشت متوالی  $1/33$  و 2 سال و در پایه شماره دو است. به طور متوسط در هر دوره بین 2 تا 4 درصد به عمق آبشستگی اضافه شده است. این افزایش در روش CSU بیشتر از روش فرولیج می باشد.

### 7-2- تاثیر زاویه برخورد آب به پایه روی عمق آبشستگی

زاویه برخورد آب به پایه های پل یکی از پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی می باشد. در محل پایه های پل نظام آباد اب با زاویه نزدیک به 5 درجه با پایه ها برخورد می نماید. ما علاوه بر محاسبه عمق آبشستگی با این زاویه برخورد، به زوایای  $7/5$  و 10 درجه اقدام به محاسبه نموده و نتایج را مورد مقایسه قرار دادیم. در تمام این محاسبات میزان قطر متوسط دانه های رسوب، نوع بستر و سایر پارامترهای موثر در عمق آبشستگی ثابت نگه داشته شده و فقط اقدام به تغییر زاویه گردید. البته لازم به ذکر است که روش فرولیج متأثر از زاویه برخورد نبوده و بررسی تاثیر زاویه در عمق آبشستگی با روش CSU انجام گردید. در شکل های زیر قسمتی از نتایج آورده شده است.

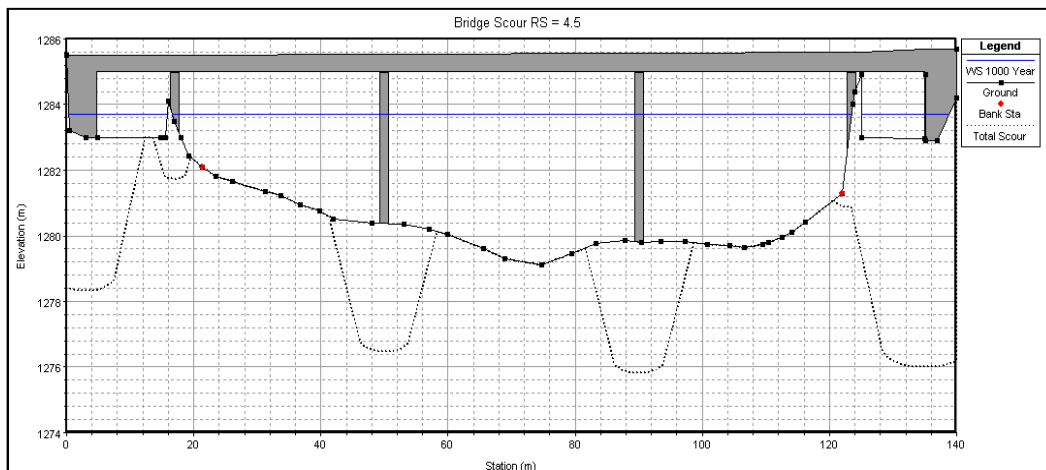


شکل 15: مقایسه عمق آبشستگی برای دبی 1000 سال با زوایای مختلف برخورد آب در پل نظام آباد

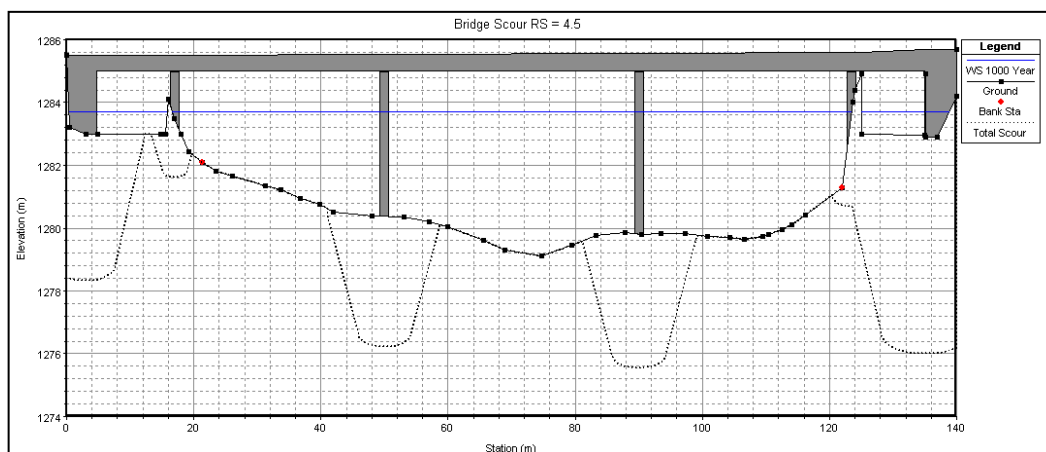


شکل 16: مقایسه عمق آبشستگی برای دبی 100 سال با زوایای مختلف برخورد آب در پل نظام آباد

با توجه به نتایج این اشکال و دیگر نتایج، با افزایش زاویه برخورد در تمام دبی های با دوره برگشت مورد مطالعه، عمق آبشستگی در تمام پایه ها افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تاثیر از افزایش زاویه برخورد مربوط به پایه چهارم است. به دلیل اینکه این پایه در چپ پل قرار گرفته و با افزایش زاویه برخورد جریانات گردابی به شدت افزایش می یابد. اشکال زیر آبشستگی پایه ها را به صورت نمادین برای دبی 1000 سال و زوایای 5 و 10 درجه نشان می دهند.

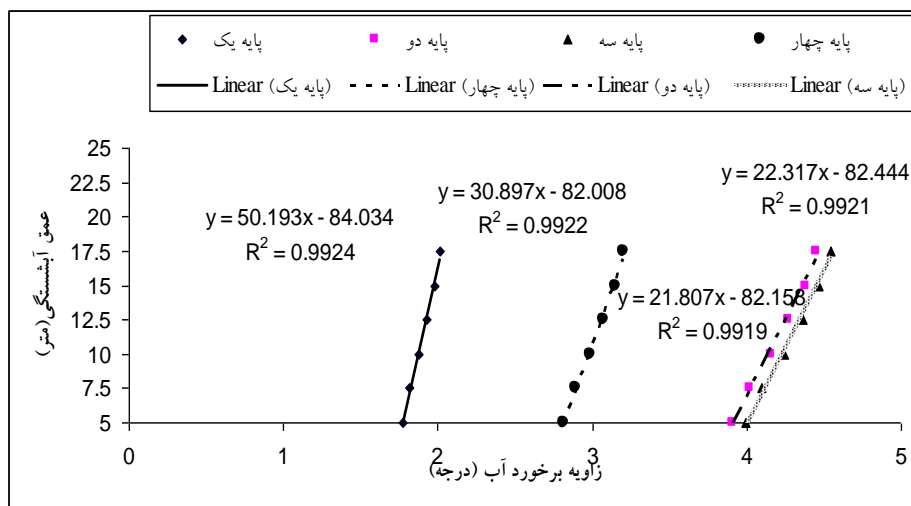


شکل 17: آبشستگی ناشی از دبی 1000 ساله با زاویه برخورد 5 درجه، روش CSU نرم افزار HEC-RAS

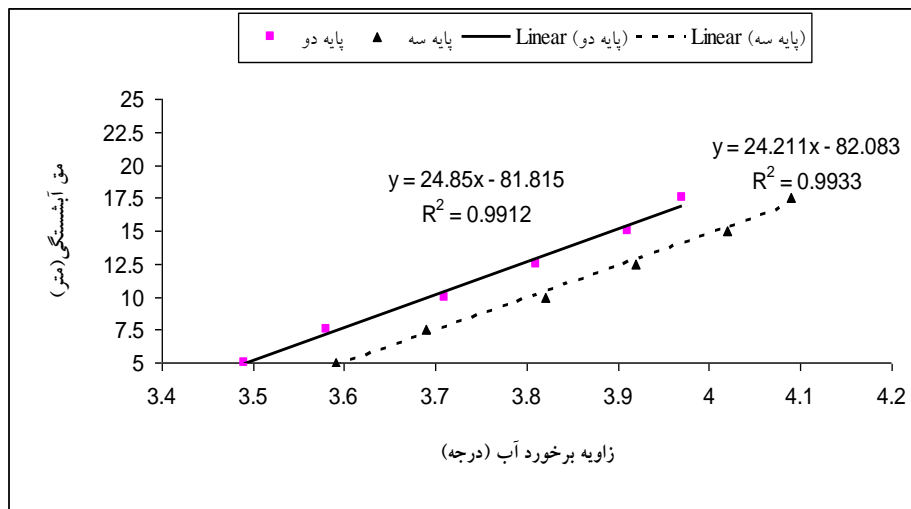


شکل 18: آبشستگی ناشی از دبی 1000 ساله با زاویه برخورد 10 درجه، روش CSU نرم افزار HEC-RAS

رسم نمودار و بررسی روند افزایش عمق آبشستگی با افزایش زاویه برخورد نشان داد که بر خلاف دبی، عمق آبشستگی با زاویه برخورد به صورت خطی افزایش می‌یابد. در تمام پایه‌ها این روند تقریباً ثابت است. ضریب رگرسیون بالای 99 درصد بیانگر این نتیجه است. در اشکال زیر نمودار برازش معادله خطی به داده‌های عمق آبشستگی محاسباتی با دوره برگشت‌های 100 و 1000 سال آورده شده است.



شکل 19: اثر تغییر زاویه برخورد آب جریان 1000 ساله بر عمق آبشستگی پل نظام آباد ، روش CSU



شکل 20: اثر تغییر زاویه برخورد آب جریان 100 ساله بر عمق آبشستگی پل نظام آباد ، روش CSU

همانگونه که از شکلها مشخص است، ضریب رگرسیون بین داده‌های محاسباتی و معادله برازش شده در تمام پایه‌ها بالای 99 درصد است. این امر بیانگر خطی بودن افزایش عمق با افزایش زاویه برخورد آب به پایه‌هاست. همچنین برای مقایسه بهتر اقدام به محاسبه درصد افزایش عمق آبشستگی با افزایش زاویه برخورد گردید که نتایج در جدول زیر آورده شده اند.

جدول 3: نسبت عمق آبشستگی در زوایای مختلف، پل نظام آباد روش CSU برای دبی 1000 ساله

نسبت عمق آبشستگی در زوایای متوالی					پایه
17/5/15	15/12/5	12/5/10	10/7/5	7/5/5	
2	3	3	3	3	1
2	3	3	3	3	2
2	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	4

با توجه به نتایج توجه به این نکته ضروری است که در هنگام ساخت پل باید با تثبیت سواحل در بالادست پل از افزایش زاویه برخورد آب به جد جلوگیری نمود. این امر در منطقه مورد مطالعه به راحتی می تواند اتفاق افتد. چرا که عامل حفظ سواحل رودخانه در این قسمت درختان گز و بید است که در بعضی از سالها کشاورزان اقدام به قطع یا سوزاندن آنها می‌نمایند. هر چند افزایش این درختان در نزدیکی پایه‌ها می‌تواند با افزایش ضریب زبری باعث افزایش جریانات گردابه‌ای و تلاطم جریان گردند که این امر خود می‌تواند باعث افزایش عنق جریان گردد. اما منظور از تثبیت در حد معقول و در فاصله از بالادست پل که باعث آرام شدن جریانات گردند، می‌باشد.

## 8- نتایج

بررسی نتایج محاسبه عمق آبشستگی در دبی با دوره برگشت 100 ساله (دبی طراحی برای آبشستگی) نشان داد که در هردو روش CSU و فرولیچ در پایه‌های 1 و 4 هیچگونه آبشستگی اتفاق نمی‌افتد. بر اساس نتایج در روش CSU عمق آبشستگی در دبی 1000 سال نسبت به دبی 1/33 سال، 188 درصد برای پایه دوم و 168 درصد برای پایه سوم و در روش فرولیچ به ترتیب 138 و 129 درصد افزایش یافته است. بر این اساس تاثیر افزایش دبی قابل لمس می‌باشد.



روش فرولیچ به اندازه روش CSU در مقابل افزایش دبی حساس نمی‌باشد. با افزایش دبی، عمق آبشستگی بصورت نمایی افزایش پیدا می‌کند. این افزایش از دبی با دوره برگشت 100 سال به بالا شدت گرفته و کاملاً مشهود می‌باشد. با توجه به نتایج با افزایش زاویه برخورد در تمام دبی‌های با دوره برگشت مورد مطالعه، عمق آبشستگی در تمام پایه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین تاثیر از افزایش زاویه برخورد مربوط به پایه چهارم است. رسم نمودار و بررسی روند افزایش عمق آبشستگی با افزایش زاویه برخورد نشان داد که بر خلاف دبی، عمق آبشستگی با زاویه برخورد به صورت خطی و با ضریب رگرسیون بالای 99 درصد، افزایش می‌یابد. با مقایسه نتایج بررسی تاثیر پارامترهای مختلف و محاسبات درصد افزایش اعماق آبشستگی می‌توان نتیجه گرفت که دبی به دلیل داشتن رابطه نمایی بیشتر از همه در افزایش عمق آبشستگی موثر می‌باشد. زاویه برخورد آب به پایه‌ها در ردیف بعدی عوامل مهم موثر در افزایش اعماق آبشستگی هستند.

## مراجع

- [1] ارونقی، ه. حسین زاده دلیر، ع.ح. فرسادی زاده، د. فاخری فرد، ا و اقبالی، پ. 1392. بررسی تأثیر ضخامت طوق اطراف پایه پل در کاهش آبشستگی. جلد بیستم، شماره دوم، جلد بیستم، شماره دوم.
- [2] امام قلی زاده، ص و شیردلد، س. 1389. بررسی وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه شیرین دره با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS. فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آب، پیش شماره 1
- [3] حسن زاده، ی. کاظمی اربط، پ و اکرمی، س.م. 1387. بررسی اثرات فاصله پایه های پل بر شدت آبشستگی موضعی اطراف پایه ها. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، تبریز.
- [4] دانشفرز، ر. موسوی، ف. و اشرفی، س. 1392. بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر محاسبه عمق آبشستگی موضعی با استفاده از Hec-Ras و معادله تجربی CSU2001. اولین همایش ملی بحران آب.
- [5] دانشفرز، ر. موسوی، ف. و اشرفی، س. 1392. مقایسه نرم افزار Hec-Ras با معادلات تجربی در برآورد عمق آبشستگی موضعی پیرامون پایه‌های پل. همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم مهندسی.
- [6] زراتی، ا. و عزیز، م. 1376. بررسی روشهای کنترل آبشستگی پایه‌های مستطیل شکل پل، اولین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- [7] Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A. J. 1991. "Scouring", Hydraulic structures design manual, vol.2.
- [8] Rajaratnam, N. and Berry, B. 1977. "Erosion by circular turbulent wall jets." Journal of Hydraulic Research, Vol.15, No.3, pp.277-289.
- [9] Raudkivi, A.J. and Ettema, R. 1983. clear-Water Scour at Cylindrical piers ASCE, Vol . 109(3) , 339-350.
- [10] Richardson, E. V. and Davis, S. R. 1995. "Evaluating scour at bridges". Hydr. Eng. Circular No.18.
- [11] Richardson, E.V. and Davis, S.R. 1995. Evaluating scour at bridges, Hydr. Eng. Circular No. 18, FHWA-IP-90-017, Fairbank Turner Hwy. Res. Ctr. McLean, Va.
- [12] Parol, A.C, Jones. J.S, and Miller. A.C 1996. "Model study on the stability of riprap placed in local scour holes at bridge". Dept of Interior, U.S. Geological survey, Water resources Divion office of water Data Cordination, pp.307-317.
- [13] shen, H.W., Schneider, V.R. and Karaki, S.S. 1969. Local scour around bridge piers, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 95, No. Hy11, pp. 1919-1940.
- [14] Thamer, A.M, Megat Johari, M., Ghazali, A.H, and Huat, B.K. 2005. "Validation of some bridge pier scour formulae using field data and laboratoty data." American Journal of Environmental Science, pp.119-125.
- [15] Zarrati, A., and Azizi, M. 2001. Control of scouring around bridge piers. Tehran, J. Tehran Univ. Vol.35, PP. 1. 21-33.