



## تحلیل هیدرولیکی رودخانه کن با استفاده از مدل HEC-RAS

نازنین حق پرست<sup>۱</sup>، اویس ترابی<sup>۲</sup>، مسعود تجریشی<sup>۳</sup>

۱، ۲، ۳- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

N\_haghparsat@mehr.sharif.ir

### خلاصه

نزدیکی رودخانه کن به شهر تهران و مورد توجه قرار گرفتن آن به عنوان منطقه تفرجگاهی در سال‌های اخیر، منجر به افزایش ساخت و ساز پیرامون رودخانه شده است. از این رو انجام مطالعات هیدرولیک رودخانه به منظور شناسایی رفتار هیدرولیکی آن و پیش‌بینی پاسخ رودخانه در شرایط مختلف به منظور ساماندهی آن امری ضروری می‌باشد. مدل‌های ریاضی می‌توانند ابزارهای مفیدی جهت شبیه‌سازی جریان آب در رودخانه‌ها باشند. مدل HEC-RAS یکی از پرکاربردترین این مدل‌ها می‌باشد که برای محاسبات هیدرولیکی جریان یک بعدی رودخانه‌ها و کانال‌ها طراحی شده است. هدف از این مقاله تلفیق الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط ArcGIS با مدل هیدرولیکی HEC-RAS به منظور شناسایی رفتار هیدرولیکی؛ رژیم غالب جریان، پدیده‌های هیدرولیکی و پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه کن در دبی‌های با دوره بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را جهت مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان در منطقه مطالعاتی ارائه دهد.

**کلمات کلیدی:** رودخانه کن، شبیه‌سازی هیدرولیکی، رفتار هیدرولیکی رودخانه، HEC-RAS، HEC-GeoRAS

### مقدمه

تجاوزات صورت گرفته توسط انسان در محدوده حریم و بستر رودخانه‌های کشور به اشکال مختلف رخ داده که شدت و ضعف آن در رودخانه‌های مختلف، متفاوت است. رودخانه‌های درون شهری به عنوان پرتوجه‌ترین اماکن تفرجگاهی اطراف شهر به شمار می‌آیند. رودخانه کن نیز به علت قرارگیری در محدوده شهر تهران، در سال‌های اخیر مورد توجه توسعه‌های عمرانی قرار گرفته است که در صورت عدم شناخت صحیح از رفتار هیدرولیکی رودخانه، بعضاً منجر به وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری می‌گردد. بنابراین لازم است با مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان و حریم بستر رودخانه، محدوده امن برای فعالیت‌های انسان در اطراف آن تعریف گردد [۱].

مدل هیدرولیکی مورد استفاده در این مقاله مدل HEC-RAS می‌باشد، که از مدل‌های معتبر برای محاسبات هیدرولیک آبراهه‌های طبیعی است. این مدل با شبیه‌سازی یک بعدی رودخانه، امکان محاسبات جریان‌های پایدار و ناپایدار را مهیا می‌سازد [۲، ۳ و ۴]. به منظور فراهم آوردن اطلاعات هندسی مورد نیاز مدل HEC-RAS، از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط ArcMap از مجموعه نرم‌افزارهای ArcGIS استفاده و از طریق تحلیل جریان رودخانه، تراز سطح آب و تراز سطح بحرانی آب در طول مسیر رودخانه، رژیم غالب جریان، پدیده‌های هیدرولیکی و همچنین پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند تراز خط انرژی، سرعت، عمق هیدرولیکی، تنش برشی، شیب خط انرژی و ... در هر مقطع عرضی قابل دستیابی است.

هیل و همکاران در سال ۲۰۰۱ توانایی‌های الحاقیه HEC-GeoRAS و برتری‌های پیوند نرم‌افزار ArcGIS به HEC-RAS را بیان نمودند [۵]. بار و همکاران در سال ۲۰۰۲ در تحقیقی تحت عنوان کاربرد ابزارهای GIS در مدل‌سازی هیدرولیکی، یکی از مهمترین مزایای استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS را دقت و صرفه جویی در هزینه‌های مربوط به مهندسی رودخانه و اعمال بهترین روش مدیریتی در منطقه عنوان نمودند [۶].

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه های هیدرولیکی

<sup>۲</sup> دکتری مهندسی عمران گرایش آب

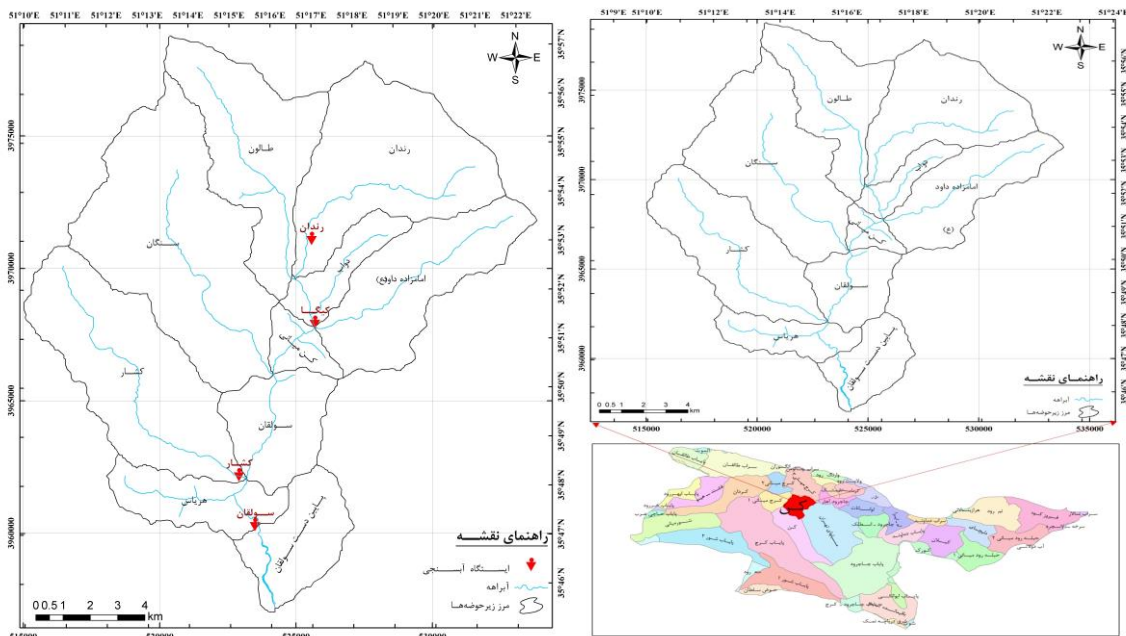
<sup>۳</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران

آندام و همکاران در سال ۲۰۰۳ به مقایسه رژیم جریان رودخانه‌های جنگلی و خارج از جنگل با استفاده از الحاقیه HEC-GeorAS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS پرداخته و تغییرات سرعت و عدد فرود این دو نوع رودخانه را مورد بررسی و تأثیر پوشش گیاهی بر رژیم و رفتار هیدرولیکی جریان را با این مدل مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را جهت مطالعه رژیم و سایر خصوصیات هیدرولیکی جریان رودخانه در اختیار محققین قرار دهد [۷]. در مطالعه‌ای که در کره جنوبی توسط Jung و همکاران در سال ۲۰۱۲ انجام گرفت، از مدل HEC-RAS برای تحلیل هیدرولیکی جریان استفاده و در نهایت HEC-RAS به عنوان مدلی توانا در شبیه‌سازی جریان و رسوب رودخانه‌ها شناسایی شد [۸].

## مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از رودخانه کن، از رودخانه‌های عبوری از درون شهر تهران می‌باشد. این رودخانه به طول ۳۳ کیلومتر از رشته کوه توجال سرچشمه گرفته، از تهران گذشته و در جنوب تهران خشک می‌شود. این رودخانه با بده متوسط ۲۷۰۰ لیتر بر ثانیه، پرآب‌ترین رود تهران و سالانه به میزان پنج میلیون متر مکعب از آب این رودخانه برای دریاچه چیتگر منطقه ۲۲ اختصاص می‌یابد. حوضه آبریز رودخانه کن از حوضه‌های شمالی شهر تهران می‌باشد و از شمال و غرب به حوضه کرج و از شرق و جنوب به دشت تهران می‌رسد. ارتفاع متوسط این حوضه ۲۳۷۷ متر از سطح دریای آزاد است [۹].

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش رودخانه کن از ابتدای ایستگاه هیدرومتری رندان تا ایستگاه سولقان به طول تقریبی ۱۱ کیلومتر و شیب متوسط ۴/۱٪ از شمال به جنوب می‌باشد. آزمایش‌های مکانیک خاک مصالح تشکیل دهنده رودخانه را درشت‌دانه و هم‌وزن نشان می‌دهد [۱۰]. شکل ۱ موقعیت حوضه مطالعاتی کن در استان تهران به همراه رودخانه اصلی و زیرشاخه‌های آن و شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



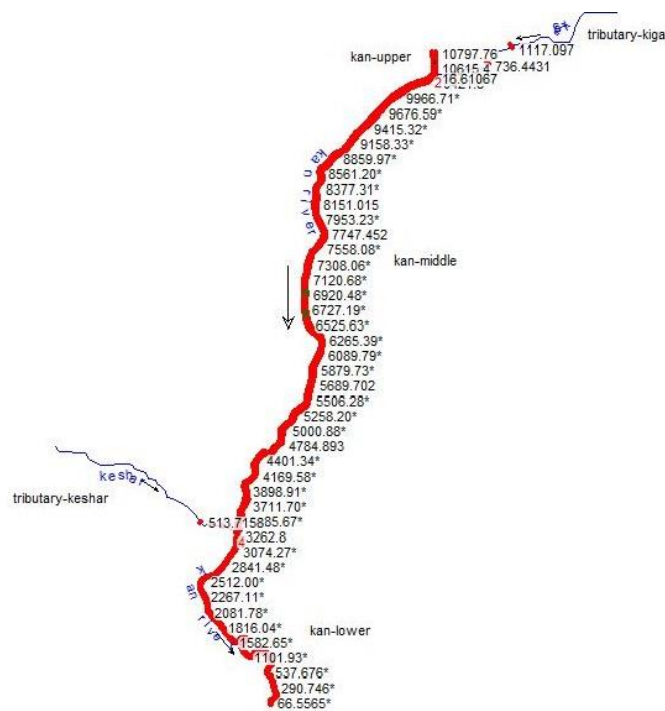
شکل ۱ حوضه مطالعاتی کن به همراه رودخانه اصلی و زیرشاخه‌های آن      شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مطالعاتی کن

## معرفی مدل

مدل عددی HEC-RAS مدلی یک بعدی با قابلیت تحلیل و آنالیز همزمان جریان‌های ثابت، متغیر تدریجی و انتقال رسوب می‌باشد. این مدل شامل سه مولفه تحلیل هیدرولیکی یک بعدی برای: ۱- محاسبه پروفیل سطح آب در حالت جریان ماندگار، ۲- شبیه‌سازی جریان غیرماندگار و ۳- محاسبه انتقال رسوب در مرز متحرک است. مولفه جریان ماندگار قابلیت مدل‌سازی پروفیل‌های سطح آب در رژیم‌های جریان زیر بحرانی، فوق بحرانی و

مختلط را دارا است. همین‌طور به علت توانایی ارتباط این برنامه با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان در آن داده‌های ورودی را با کیفیت بالا وارد کرده و نتایج خروجی را با دقت بالایی بدست آورد.

**اطلاعات هندسی:** اطلاعات هندسی از مهمترین اجزای مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه در برنامه HEC-RAS می‌باشد. به این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی شکل رودخانه اصلی از ایستگاه رندان تا سولقان و زیرشاخه‌های آن شامل کیگا و کشار، مقاطع عرضی عمود بر امتداد رودخانه و مشخصات هیدرولیکی پل‌های موجود در رودخانه به مدل شناسایی گردید. به این منظور از الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) که با محیط نرم‌افزار HEC-RAS انطباق کامل دارد استفاده شده است. به کمک الحاقیه HEC-GeoRAS با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه، در ابتدا مسیر اصلی رودخانه و زیرشاخه‌های آن و سپس خطوط سواحل و جریان آب ترسیم گردید و در نهایت به تعداد ۴۵۰ مقطع عرضی عمود بر امتداد رودخانه در فواصل حداکثری ۵۰ متری از مقاطع مجاور و در نزدیکی محل پل‌های موجود در مسیر رودخانه ترسیم شد. سپس با استفاده از یک فرآیند تبدیلی، مشخصات هندسی مربوط به رودخانه، به مدل HEC-RAS معرفی و جزئیات مربوط به پل‌ها (شامل تعریف عرشه و پایه‌ها) در مدل تعریف گردید. مطابق شکل ۳، رودخانه در بازه مطالعاتی به سه بخش middle upper و lower تقسیم شد. بخش upper از بالادست رودخانه تا محل تقاطع با شاخه فرعی کیگا، بخش middle از محل تقاطع با شاخه فرعی کیگا تا محل تقاطع با شاخه فرعی کشار و بخش lower از محل تقاطع با شاخه فرعی کشار تا پایین دست رودخانه تعریف شده است. شکل ۳ پلان رودخانه مدل‌سازی شده در HEC-RAS را نشان می‌دهد. مطابق این شکل اکثر مقاطع عرضی در طول رودخانه اصلی و تعداد اندکی بر روی شاخه‌های فرعی (در نزدیکی محل اتصال آنها به رودخانه اصلی) به منظور بررسی تاثیر جریان این شاخه‌ها بر جریان رودخانه اصلی در نظر گرفته شده است. لازم بذکر است بعد از اجرای برنامه، در بازه‌هایی که مدل قادر به تشخیص رفتار هیدرولیکی رودخانه نبوده است، بین مقاطع موجود درونبایی انجام گرفت.



شکل ۳ پلان رودخانه کن در مدل HEC-RAS

**اطلاعات جریان:** پس از وارد نمودن اطلاعات هندسی به منظور شناسایی رفتار هیدرولیکی رودخانه، محاسبه نیم‌رخ سطح آب، تعیین رژیم غالب جریان و پدیده‌های هیدرولیکی رودخانه بر اساس مدل‌سازی جریان به صورت ماندگار انجام گرفت. بنابراین دبی‌های مربوط به سیلاب با دوره بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله در نقاط تغییر دبی به مدل اعمال گردید و با توجه به عدم اطلاع از وضعیت جریان رودخانه و عدم وجود اطلاعات کافی، شرط مرزی عمق نرمال به عنوان شرط مرزی مناسب در نظر گرفته شد. در نهایت مدل در حالت جریان ماندگار و به صورت رژیم مختلط (فوق بحرانی و تحت بحرانی) به شبیه‌سازی جریان پرداخت.



## اطلاعات ورودی مدل

برای شبیه‌سازی جریان رودخانه کن توسط HEC-RAS، اطلاعات زیر به عنوان ورودی‌های مدل جهت شناساندن رودخانه به نرم‌افزار استفاده شده است:

**نقشه توپوگرافی:** نقشه توپوگرافی منطقه مطالعاتی از موسسه تحقیقات منابع آب ایران اخذ گشته و تلفیقی از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰ در امتداد رودخانه که با نقشه برداری حاصل شده و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در نواحی اطراف که از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده است می‌باشد [۱۱].

**ضریب زبری:** از عوامل مهم در بیان مشخصات هندسی منطقه، تعیین ضریب زبری بستر است. روش‌های تجربی بهترین روش برای تعیین مقدار آن بستگی به شرایط منطقه و جریان دارد. در این پژوهش به علت شباهت بستر در سرتاسر بازه مورد مطالعه، بر اساس جداول ارائه شده توسط Chow، ضریب زبری برای کانال اصلی ۰/۰۳۵ و برای سواحل رودخانه ۰/۰۴۵ در نظر گرفته شد [۱۲].

**مشخصات پل‌ها:** در بازه lower از رودخانه دو پل به نام‌های سولقان ۱ و ۲ با مشخصات جدول ۱ وجود دارد [۱۱].

جدول ۱ مشخصات هندسی پل‌های موجود در منطقه مطالعاتی

نام پل	موقعیت جغرافیایی (UTM)		طول (m)	عرض (m)	ارتفاع (m)	ضخامت عرشه (m)
	X (m)	Y (m)				
سولقان ۱	۵۲۴۰۰۹	۳۹۶۵۰۲۴	۸	۴	۸	۰/۴
سولقان ۲	۵۲۴۰۵۲	۳۹۶۴۸۱۴	۷	۴	۴	۰/۴

**دبی سیلابی:** به این منظور طبق جدول ۲ از سه دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله در ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه استفاده گردید و در نقاط تغییر دبی به مدل اعمال شد [۱۱].

جدول ۲ سیلاب ایستگاه‌های هیدرومتری بر حسب مترمکعب بر ثانیه

ایستگاه‌های هیدرومتری	دوره بازگشت (سال)		
	۱۰	۲۵	۵۰
رندان	۳۳	۴۴	۵۳
کیگا	۱۴	۱۹	۲۲
کشار	۱۸	۲۵	۳۰

**شرایط مرزی:** در تحلیل جریان، رژیم آن مختلط فرض شد. لذا همانطور که اشاره شد شرایط مرزی در بالادست و پایین دست بازه مطالعاتی به صورت عمق نرمال وارد و برای بدست آوردن شیب اصطکاکی شرط مرزی عق نرمال، از روش سعی و خطا استفاده شد. در ابتدا شیب کف کانال به عنوان شیب اصطکاکی شرط مرزی عمق نرمال لحاظ گردید. اما پس از اجرای برنامه، شیب خط انرژی ارائه شده در جدول نتایج مدل به عنوان شرط مرزی در تلاش بعدی در نظر گرفته شد. در نهایت شیب اصطکاکی شرط مرزی عق نرمال مطابق جدول ۳ به مدل وارد شد.

جدول ۳ شیب اصطکاکی بکار رفته در شرط مرزی عمق نرمال

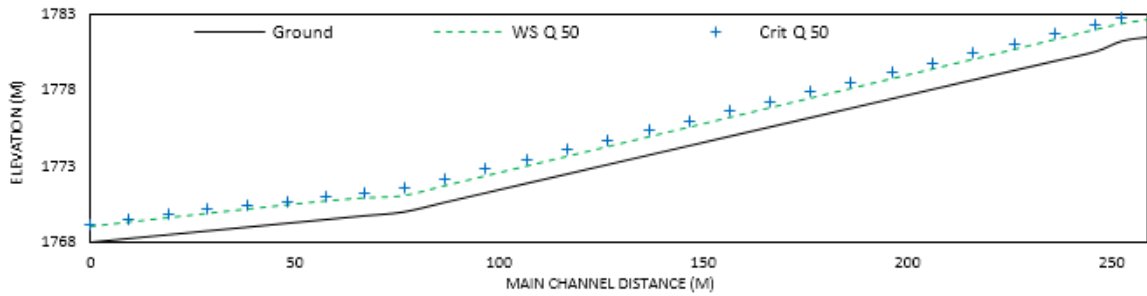
محل اعمال شرط مرزی	شیب اصطکاکی
رندان	۰/۰۴۱۸
کیگا	۰/۱۵۳۹
کشار	۰/۰۴۷۳
سولقان	۰/۰۳۴۶

## نتایج و بحث

در نهایت رفتار هیدرولیکی رودخانه کن در دبی‌های با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله شبیه‌سازی و ارتفاع آب در رودخانه در هریک از دبی‌ها تعیین و با ترسیم پروفیل طولی رودخانه در هریک از بازه‌ها به بررسی تراز سطح آب و تراز سطح بحرانی مربوط به هر دبی پرداخته شد و در انتها رفتار

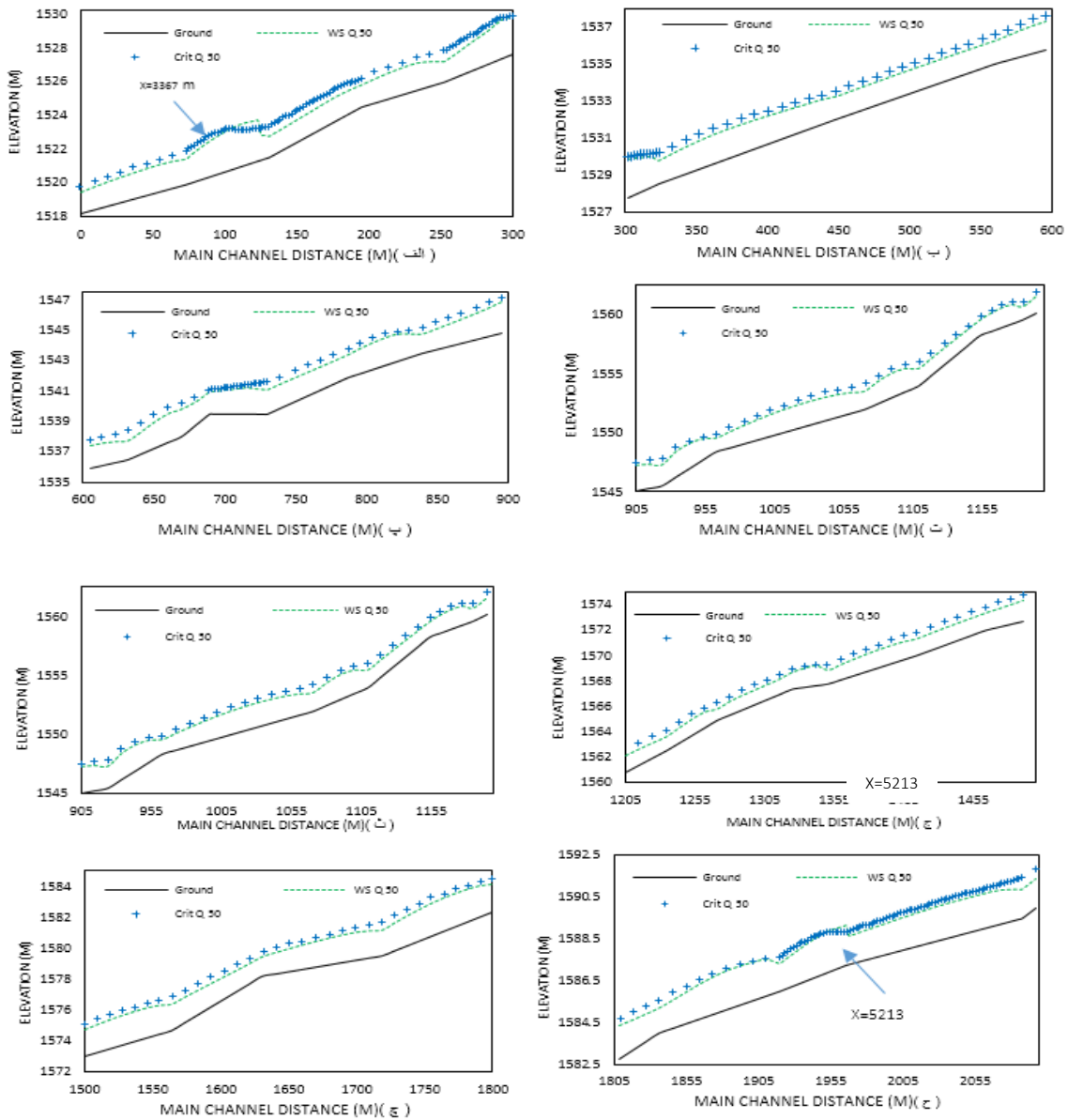
هیدرولیکی رودخانه در طول مسیر آن تحلیل گردید. در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ تراز سطح آب و تراز بحرانی مربوط به دبی با دوره بازگشت ۵۰ ساله نمایش داده شده است.

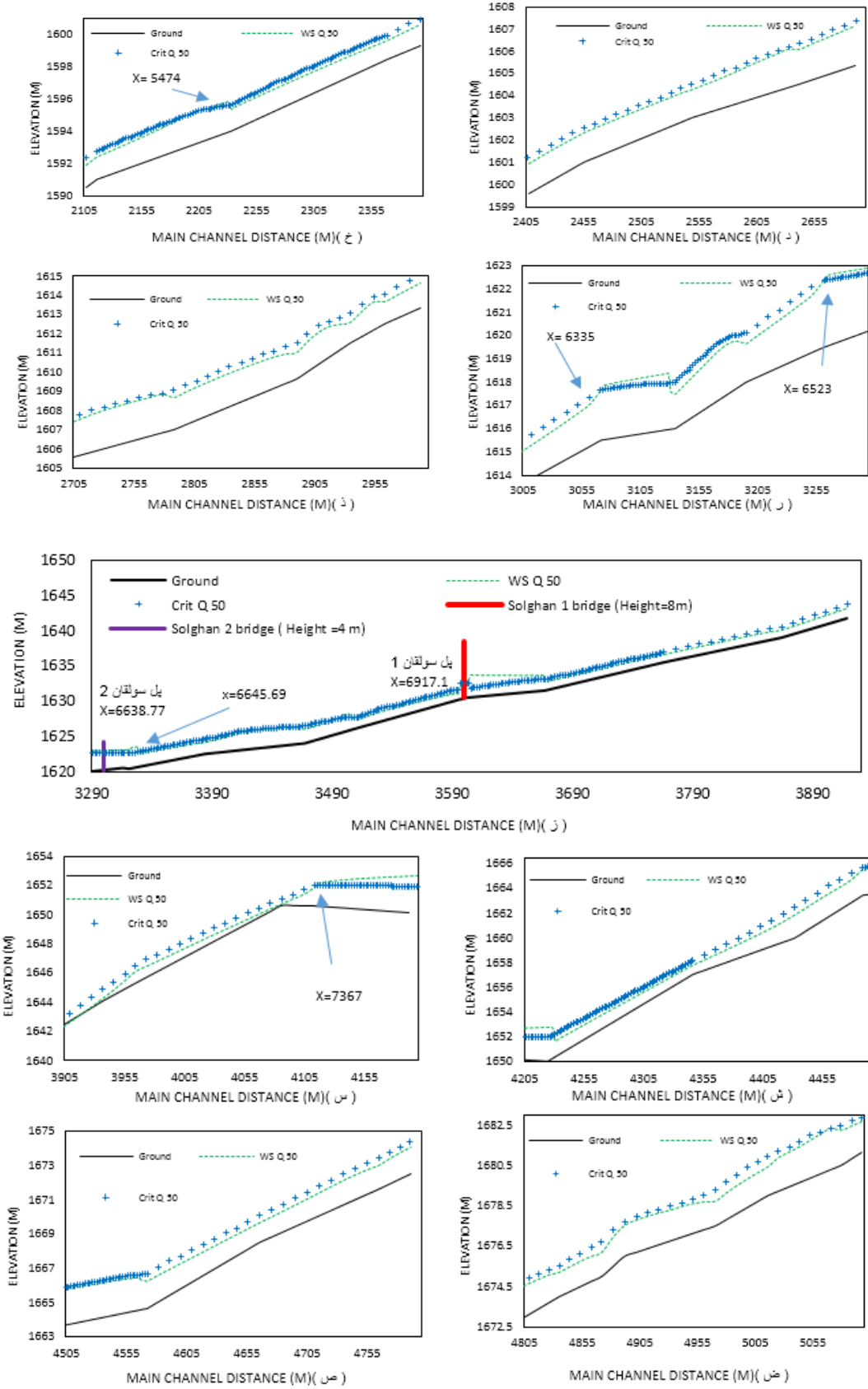
*upper* پروفیل طولی این بخش از رودخانه در شکل ۴ نشان داده شد.

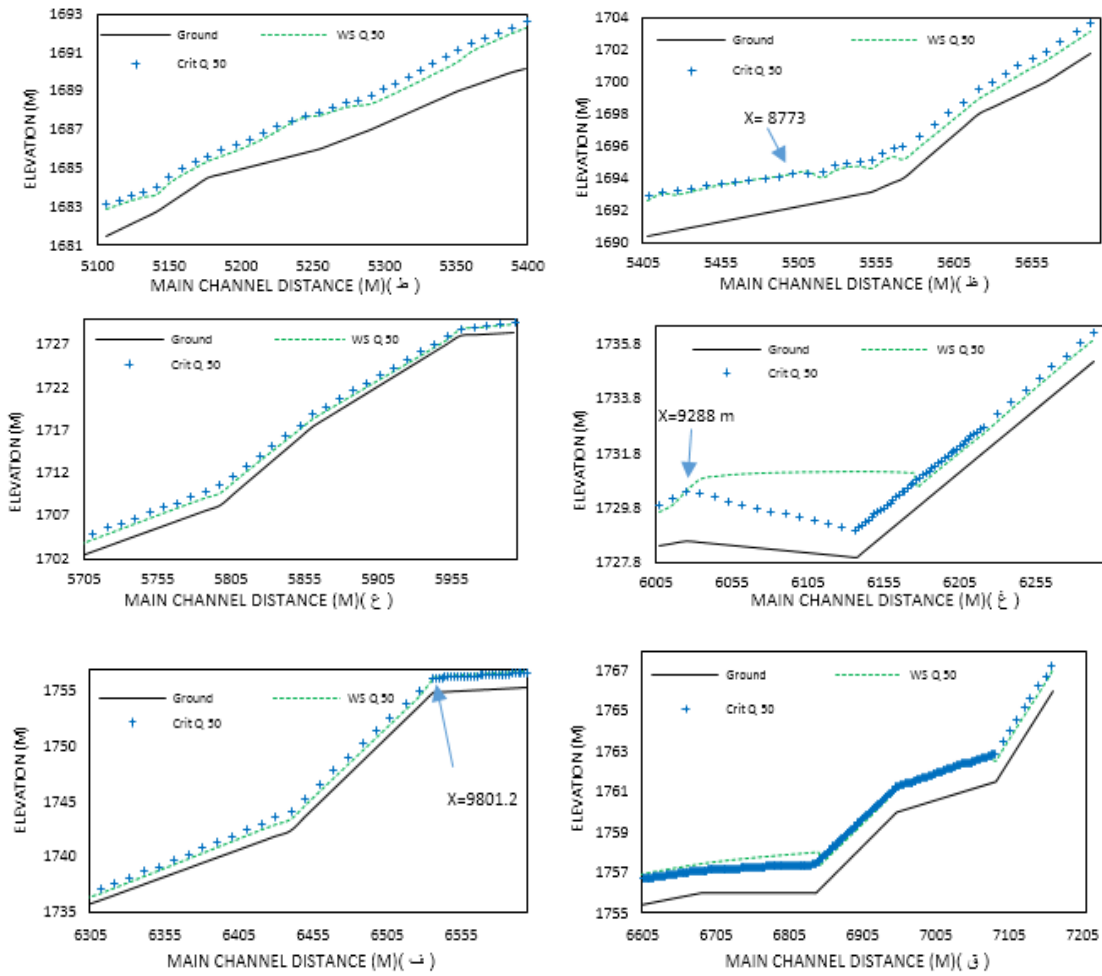


شکل ۴ پروفیل طولی رودخانه کن در بازه *upper*

*middle* با توجه به طولانی بودن رودخانه در این بازه و عدم وضوح رفتار هیدرولیکی کل این بخش در یک شکل، برای نمایش هرچه بهتر آن، رودخانه به چند قسمت تقسیم و نتایج آن از ابتدای این بازه در شکل ۵ نشان داده شد.

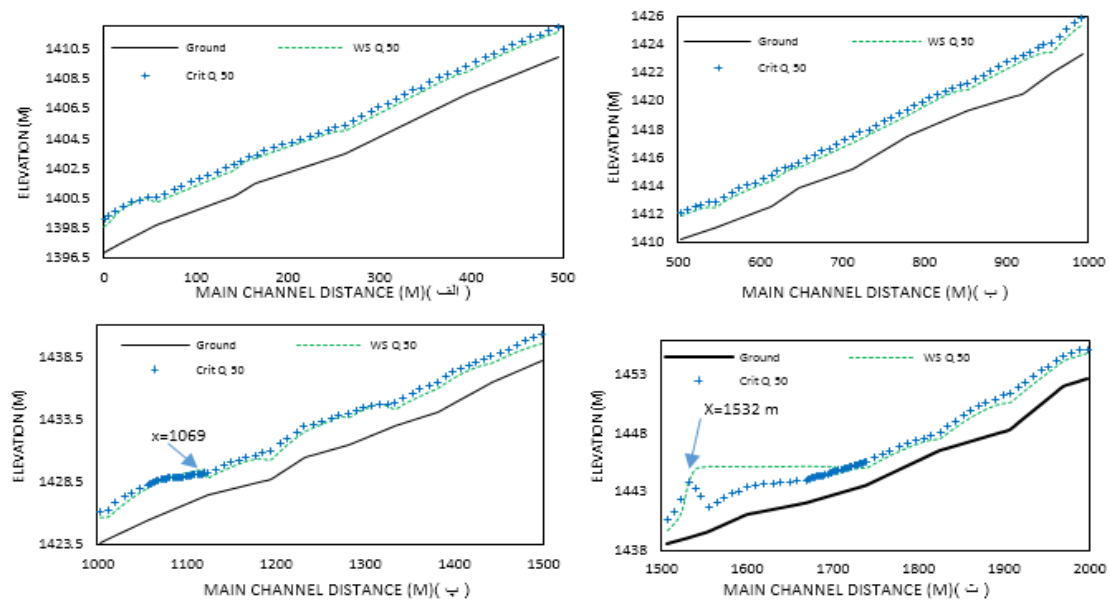


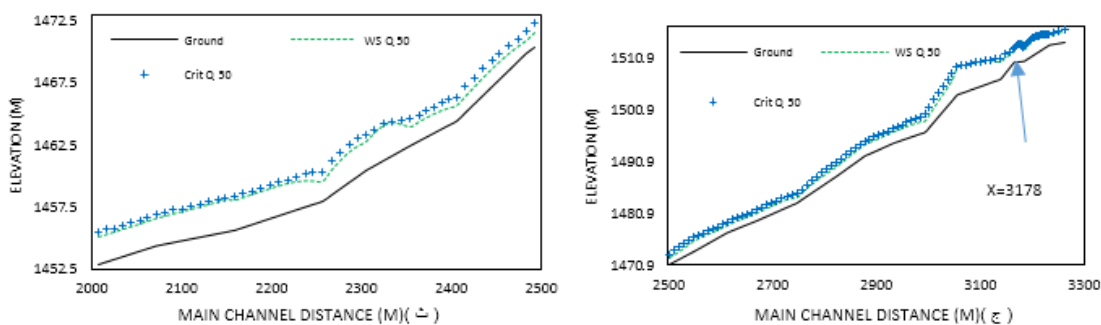




شکل ۵ (الف) تا (ق) پروفیل طولی رودخانه کن در بازه middle

*lower* پروفیل طولی این بخش از رودخانه نیز همانند بازه middle در چند بخش از ابتدای بازه در شکل ۶ نمایش داده شد.





شکل ۶ (الف) تا (ج) پروفیل طولی رودخانه کن در بازه lower

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

- ۱- با توجه به شکل ۴، با مقایسه تراز سطح آب و تراز سطح بحرانی و همچنین مقدار عدد فرود بزرگتر از ۱ در بخش upper، می‌توان دریافت که جریان در کل این بازه فوق‌بحرانی بوده و پدیده هیدرولیکی خاصی در این ناحیه رخ نمی‌دهد. متوسط سرعت جریان در این بخش در حدود ۴/۲ متر بر ثانیه است.
- ۲- رودخانه در بازه middle دارای رژیم جریان مختلط بوده و شاهد پدیده‌های هیدرولیکی در این بخش هستیم. با قیاس تراز سطح آب و تراز سطح بحرانی و همچنین تغییرات مقدار عدد فرود، نقاط پرش هیدرولیکی (نقاطی که رژیم جریان قبل از آن فوق‌بحرانی بوده، سپس بحرانی شده و بعد از آن تحت‌بحرانی است) شناسایی گردید و فاصله این نقاط از پایین دست بازه مطالعاتی (ایستگاه هیدرومتری سولقان) در شکل ۵ (الف، ح، خ، ر، ز، س، ظ، غ، ف) نشان داده شد. وقوع پدیده پرش هیدرولیکی منجر به ایجاد فرسایش در منطقه شکل‌گیری پرش می‌شود.
- ۳- مطابق شکل ۵ (ز) در محل قرارگیری پل سولقان ۱ در بازه middle، با بررسی مقدار عدد فرود در هر قسمت، رژیم جریان در بالادست پل تحت‌بحرانی با سرعت ۱/۴۸ متر بر ثانیه، در مکان قرارگیری پل بحرانی با سرعت ۴/۰۵ متر بر ثانیه و در پایین دست آن فوق‌بحرانی با سرعت ۴/۳۶ متر بر ثانیه می‌باشد. اساساً بالا رفتن سطح آب در بالادست پل به علت افت بار انرژی به هنگام عبور جریان از میان دهانه پل رخ می‌دهد. بنابراین سرعت جریان قبل از پل کم و بعد از آن زیاد می‌باشد که علت این امر تنگ‌شدگی مقطع رودخانه در مکان قرارگیری پل است. لذا در بالادست پل انتظار رسوب‌گذاری و در پایین دست آن انتظار شسته شدن بستر و فرسایش را خواهیم داشت.
- ۴- مطابق شکل ۵ (ز) جریان در پایین دست پل سولقان ۱ با رژیم فوق‌بحرانی و سرعت متوسط ۵/۲۵ متر بر ثانیه ادامه یافته و در نزدیکی پل سولقان ۲ در قسمت بالادست پل، پرش هیدرولیکی رخ می‌دهد و رژیم جریان تحت‌بحرانی و سرعت آن ۲/۸۸ متر بر ثانیه می‌شود که در ناحیه شکل‌گیری پرش قبل از پل سولقان ۲ انتظار ایجاد فرسایش بستر رودخانه می‌رود. همچنین در محل قرارگیری پل و پایین دست آن جریان با رژیم تحت‌بحرانی و سرعت تقریبی ۳/۵ متر بر ثانیه ادامه می‌یابد. سطح آب در بالادست پل بیشتر بوده و در پایین دست آن کاهش می‌یابد اما همچنان جریان با عدد فرود کمتر از ۱ و با رژیم تحت‌بحرانی می‌باشد. بنابراین به علت کم بودن سرعت جریان در اطراف پل، انتظار رسوب‌گذاری بستر در این ناحیه از جریان وجود دارد. رسوب‌گذاری در ناحیه بالادست بیشتر رخ خواهد داد.
- ۵- رودخانه در بازه lower نیز همانند بازه middle دارای رژیم جریان مختلط می‌باشد. با این تفاوت که تغییر رژیم جریان در این ناحیه کمتر بوده و رژیم غالب جریان فوق‌بحرانی با مقدار عدد فرود کمی بزرگتر از ۱ است که بیانگر کاهش شیب عمومی رودخانه در این بازه نسبت به بازه‌های قبل می‌باشد. از این رو پدیده‌های هیدرولیکی کمتری نیز در آن رخ می‌دهد. در این بخش نیز با قیاس تراز سطح آب و تراز سطح بحرانی و همچنین تغییرات عدد فرود، نقاط پرش هیدرولیکی شناسایی و فاصله این نقاط از پایین دست بازه مطالعاتی (ایستگاه هیدرومتری سولقان) در شکل ۶ (ب، ت، ج) نشان داده شد. همانطور که اشاره گردید وقوع پدیده پرش هیدرولیکی منجر به ایجاد فرسایش در منطقه شکل‌گیری آن می‌شود.

## فهرست مراجع

1. Plate, E.J. 202. Flod risk and flod management. Journal of Hydrology, 297: 2- 1.
2. Prafulkumar, V.T., L.P. Prem and D.P. Prakash. 201. Calibration of HEC-RAS model on prediction of flood for Lower Tapi River, India. Journal of Water Resource and Protection, 3: 805-81.
3. USACE. 208. Users manual, geospatial hydrologic modeling extension, HEC- GeoRAS, Version 4, U.S. Army Crop of Engineers Hydrologic Engineering Center, California, USA, www.hec.usace.army.mil. 246 p.





4. U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 208. HEC-RAS River Analysis System Users Manual, Version 4.0. California, USA. [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil). 747 p.
5. Hill, M. 2001. Flood plain delineation using the HEC-GeoRas extension for ARCVIEW. Brigham Young University. 514 pp.
6. Bar, T. 202. Application of tools for hydraulics upper Gotvand hydroelectric power project feasibility study. Reservoir operation flood. 14 p.
7. Andam, K.S. 203. Comparing physical habitat condition in forest and non-forested streams. Msc Thesis, University of Vermont, USA, 136 p.
8. Wang, Zhengbing. and Wang, Zhaoyin. and J. de Vriend, H. "Impact of water diversion on the morphological development of the Lower Yellow River". International Journal of Sediment Research 23 (2008) 13-27
9. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
۱۰. بزرگی، ع. پورجعفر، م. بمانیان، م. (۱۳۸۳) "روند برنامه ریزی در جهت احیای رود دره های شهر تهران، مورد مطالعه رود دره کن" اولین همایش منطقه ای توسعه منابع آب
۱۱. افتخاری، م. (۱۳۹۰) "گزارشات طرح جامع سیلاب، گزارش تخصصی هیدرولیک" موسسه تحقیقات منابع آب ایران
12. Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., Applied hydrology, Mc Graw-Hill, 1988