

هیدرودینامیک جریان دوبعدی در دوشاخه هیرمند

سید اویس ترابی^۱، مسعود تجریشی^۲، میر مصدق جمالی^۳

چکیده

در این مقاله هیدرودینامیک جریان در دوشاخه هیرمند واقع در مرز شرقی بین ایران و افغانستان مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بررسی از مدل المان محدود تحلیل دوبعدی جریان در رودخانه، (نرم افزار RMA2) جهت تعیین الگوی جریان در دوشاخه و نحوه تقسیم آب بین شاخه‌های پریان مشترک و سیستان استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده تغییر رژیم تقسیم جریان آب رودخانه هیرمند به نفع رودخانه پریان مشترک (به نسبت ۱ به ۳) می‌باشد.

کلمات کلیدی: ۱- هیدرودینامیک دوبعدی، ۲- دوشاخه هیرمند، ۳- رودسیستان، ۴- رود پریان مشترک، ۵- RMA2

۱- مقدمه

رودخانه هیرمند به طول بیش از ۱۰۵۰ کیلومتر پس از طی ۲/۳ از خاک افغانستان در ورود به ایران در نقطه مرزی به دوشاخه رود پریان مشترک و رود سیستان تقسیم می‌شود (شکل ۱). جریان بالقوه رود هیرمند در محل دوشاخه مرزی حدود ۱۱/۶ میلیارد متر مکعب در سال و جریان بالفعل آن ۵/۶ میلیارد متر مکعب است. جریان بالقوه رود سیستان ۲/۸ میلیارد متر مکعب می‌باشد. حال آن‌که طبق آخرین پروتکل هیرمند، ایران فقط مجاز به استفاده از ۰/۸۳ میلیارد متر مکعب (سالانه) از آب هیرمند است. هر چند افغانستان هرگز نتوانسته (به علت نابسامانی‌های داخلی) طبق پروتکل به ایران آب تحویل دهد و همواره جریان طبیعی وارد رود سیستان شده است. روند طبیعی تقسیم آب رودخانه هیرمند بین دو شاخه سیستان و پریان مشترک بر طبق گزارش‌های تاریخی و داده‌های آماری موجود، نظم ثابت و مشخصی نداشته است و تحت تأثیر عوامل مختلفی چون پایین افتادگی یا افزایش رقوم بستر هر یک از دو شاخه‌های سیستان و پریان (ناشی از فرایند فرسایش و رسوب‌گذاری حاصل از جریان طبیعی رودخانه و یا رسوبات بادی منطقه) و یا احداث سازه‌های کنترل‌کننده جریان (نظیر سد کهک و یا آبگیر فیدرکانال) دست‌خوش تغییر بوده است. گاهی جریان رود هیرمند به نسبت مساوی بین دو شاخه‌های سیستان و پریان مشترک تقسیم شده و برخی اوقات نیز (مطابق داده‌های موجود می‌توان گفت که در اکثر اوقات) نسبت تقسیمی برابر «۲ به ۱» الی «۳ به ۱» بین جریان ورودی رودخانه‌های پریان مشترک و سیستان وجود داشته است. پیش از سال ۱۳۳۰ شمسی تقسیم جریان آب در دوشاخه به نفع پریان مشترک بوده است و پس از آن به دلیل فرسایش بستر رودخانه سیستان، رژیم مذکور به هم خورده و به نفع رود سیستان تغییر کرده است. در این دوره است که به دلیل اعتراض افغان‌ها و دخالت هیأت میانجی انگلیسی با احداث سد انحرافی کهک بر روی رود سیستان (در ۲ کیلومتری پائین دست دوشاخه) رژیم تقسیم آب در دوشاخه مساوی می‌گردد. ولی به مرور زمان و به علت تأثیر برگشت آب ناشی از وجود این سازه در محل دو شاخه و همچنین رسوب‌گذاری شدید در بازه بالادست رودخانه سیستان (به علت اثر برگشت آب و تنگ‌شدگی شدید مقطع در محل احداث سد کهک) رژیم تقسیم جریان آب در محل دوشاخه به نفع پریان مشترک به نسبت ۳ به ۱ تغییر می‌کند. از سال ۱۳۶۲ به بعد است که با اضافه شدن مخازن چاه‌نیمه و فیدرکانال به سیستم آبی دشت سیستان و ایجاد بای‌پس کهک دو مرتبه رژیم تقسیم آب به نفع رودخانه سیستان تغییر می‌کند و در نهایت به علت عدم گنجایش ظرفیت سیستم هیدرولیکی رودخانه سیستان، باعث وقوع سیل مخرب سال ۷۰-۱۳۶۹ می‌گردد. پس از این تاریخ مجدداً با احداث سد موقت کهک، وضعیت رودخانه به حالت پیشین خود بازگشته است. در این مقاله، بررسی و مطالعه الگوی جریان در محل دوشاخه هیرمند و رژیم

تقسیم جریان آب رودخانه هیرمند بین رودخانه‌های سیستان و پریان مشترک مد نظر قرار گرفته است. بدین منظور اطلاعات توپوگرافی محل تهیه شده و مطابق آن مدل المان محدود متناسب با الگوی جریان در دوشاخه به دست آمده است. به منظور مطالعه جریان از نرم‌افزار تحلیل دوبعدی جریان در رودخانه (RMA2) استفاده شده است.

۲- مدل عددی RMA2

نرم‌افزار RMA2، بر اساس مدل دوبعدی هیدرودینامیک جریان بنا نهاده شده است. این مدل محصول گروه مهندسی ارتش آمریکا می‌باشد که قادر است تراز سطح آب و مؤلفه‌های سرعت افقی جریان زیر بحرانی را در محیط‌های جریان دو بعدی با سطح آزاد (متوسط گیری شده در عمق) محاسبه نماید.

در مدل RMA2، روش المان محدود برای حل معادلات ناویر استوکس در قالب رینولدز و برای جریان‌های آشفته مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل، اصطکاک با استفاده از معادله مانینگ یا شزی محاسبه می‌شود و ضرایب لزجت گردابی نیز برای تعریف مشخصه‌های آشفتگی جریان استفاده شده‌اند. ضمناً از قابلیت‌های آن می‌توان به تحلیل جریان در هر دو حالت دایمی و غیردایمی، در نظر گرفتن اثرات تر و خشک شدن المان‌ها، در نظر گرفتن اثرات دوران زمین و تنش‌های حاصل از باد اشاره نمود.

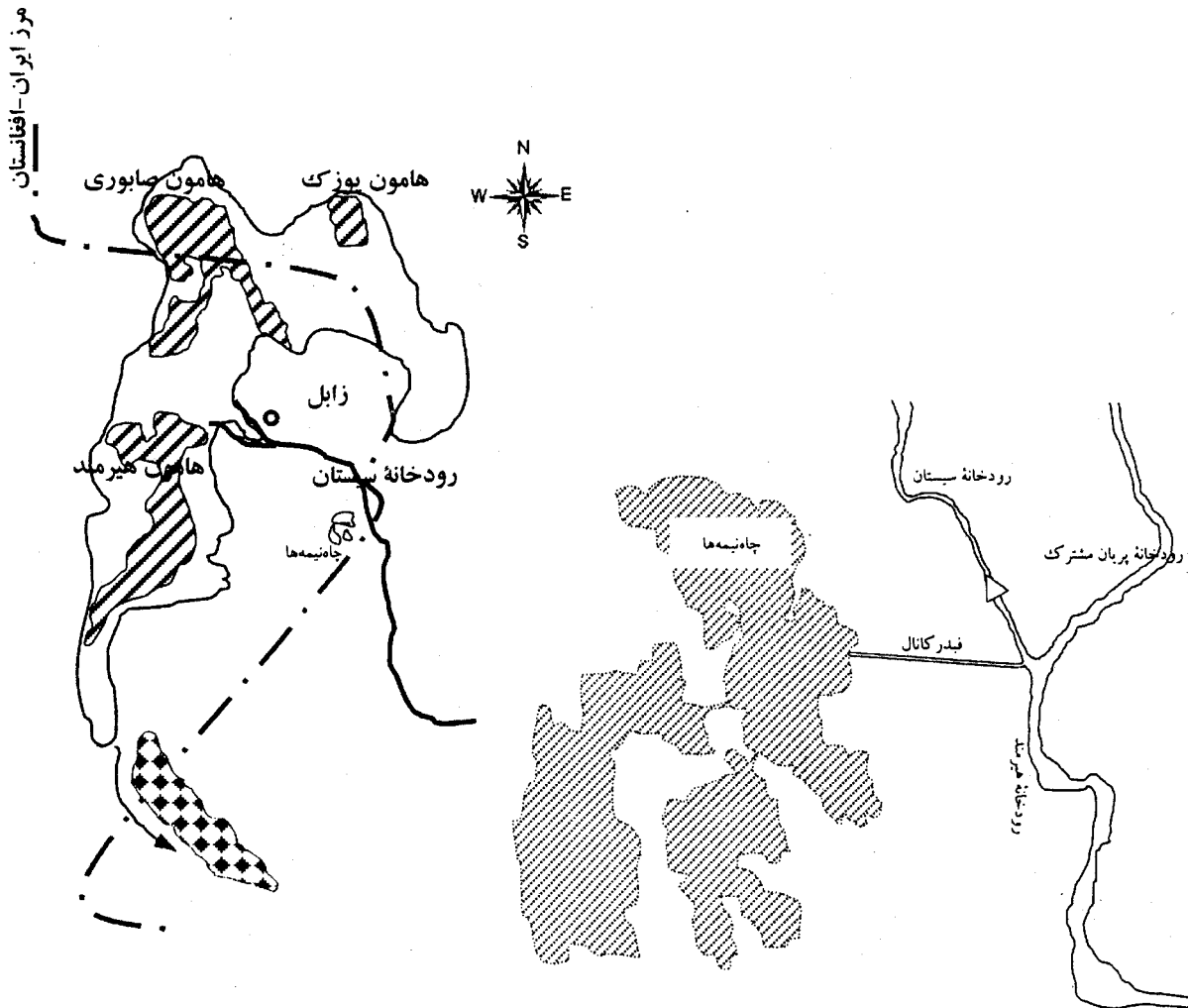
این برنامه برای محاسبه ترازهای سطح آب و توزیع جریان پیرامون جزایر، جریان در پل‌ها، جریان در شاخه‌های تنگ‌شونده و بازشونده، جریان در داخل و خارج نیروگاه‌های واقع در مسیر جریان، جریان در اتصالات رودخانه‌ها، دوران و انتقال اجسام داخل آب و تعیین الگوی جریان در رودخانه‌ها و مخازن به کار برده شده است [۸].

۳- سیستم هیدرولیکی

رژیم حاکم بر جریان رودخانه هیرمند ناشی از ذوب برف بوده که از سلسله کوه‌های هندوکش سرچشمه می‌گیرد. رودخانه هیرمند در حوضه بالادست خود از مناطق کوهستانی و نسبتاً مرتفع سرزمین افغانستان گذشته و در پایین دست حوضه خود به زمین‌های نسبتاً پست و کم ارتفاع منتهی می‌شود. رودخانه هیرمند در بدو ورود به خاک ایران به دوشاخه سیستان و پریان مشترک تقسیم می‌گردد (شکل ۱). شیب بستر رودخانه در محل دوشاخه از شیب عمومی دشت سیستان تبعیت کرده و به همین خاطر بسیار پست است. عرض تقریبی رودخانه هیرمند در محل دوشاخه در حدود ۲۰۰ متر بوده و پهنای شاخه‌های سیستان و پریان مشترک متناسب با تغییر رژیم تقسیم آب تغییر می‌کند. در حال حاضر عرض تقریبی رودخانه پریان مشترک در محل دوشاخه برابر ۲۰۰ متر و برای رودخانه سیستان در حدود ۱۰۰ متر است. در وضعیت فعلی به علت رویداد چندین ساله

شده و متناسباً آبگذری آن کاهش یافته است.

خشکسالی و فعالیت بادهای ۱۲۰ روزه، بستر رودخانه شدیداً رسوب گذاری



شکل ۱ - نقشه موقعیت منطقه مطالعاتی

برابر ۰/۰۴ در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است که مقدار زبری انتخاب شده بر حسب دانه بندی مصالح رودخانه (عموماً از جنس رس سیلنی) و تعدیل آن با توجه به ناهمواری کف بستر به دست آمده است. در ضمن برای کنترل اثر ناهمواری های بستر در ایجاد گردابه های موضعی و تغییر رژیم جریان، از ضریب لزجت گردابه ای استفاده شده است. مقدار لزجت گردابه ای^۶ برای انشعاب در رودخانه برابر $1000 \text{ Pa}\cdot\text{sec}$ در نظر گرفته شده است. انتخاب این مقدار بر اساس معیارهای USACE-WES بوده است.

۵- شرایط مرزی

مسأله در حالت دائمی^۷ مورد تحلیل قرار گرفته است. بدین جهت در مرز ورودی از دبی جریان و در مرز خروجی نیز از تراز سطح آب استفاده شده است. قابل ذکر است که به علت محدود بودن سطح توپوگرافی برداشت شده، اعمال تراز سطح آب بیش از ۴۹۳ متر امکان پذیر نخواهد بود. به همین جهت بر طبق داده های آماری موجود در رابطه با تغییرات دبی-اشل در محل دوشاخه، دبی ورودی به سیستم و از طریق رودخانه هیرمند برابر $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ انتخاب گردید. در ضمن به علت کوچک بودن سطح توپوگرافی برداشت شده و شیب بسیار کم زمین در دوشاخه، رقوم سطح آب در مرزهای خروجی برابر در نظر گرفته

۴- سیستم هندسی

توپوگرافی دوشاخه هیرمند در سطحی برابر ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر در سال ۱۳۷۹ ثبت و برداشت شده است. تراز بستر رودخانه در ابعاد نقشه برداری مذکور در محدوده رقومی ۴۸۹/۵ الی ۴۸۹ متر تغییر نموده و تراز زمین های اطراف نیز در بازه رقومی ۴۹۴ الی ۴۹۲ تغییر می کند. مقیاس توپوگرافی برداشت شده برابر ۱:۱۰۰۰ می باشد.

توپوگرافی مذکور مطابق با الگوی جریان در محل شبکه بندی گردید. شبکه بندی مسأله مطابق با مش المان محدود^۸ و استفاده از المان های چهاروجهی هشت گرهی صورت گرفته است. در مش مذکور از ۲۹۴۴ المان و ۹۱۳۷ گره استفاده شده است. به این ترتیب مقطع عرضی رودخانه هیرمند با پهنای تقریبی ۲۲۱ متر توسط ۶۵ گره، مقطع عرضی رودخانه پریان مشترک با پهنای تقریبی ۲۴۳ متر توسط ۳۳ گره، مقطع عرضی رودخانه سیستان با پهنای تقریبی ۱۰۰ متر توسط ۳۳ گره و مقطع عرضی فیدر کانال با پهنای تقریبی ۳۵ متر توسط ۳۳ گره مدل شده است (شکل ۲).

ناهمواری های شدید و دستخوردگی های مصنوعی ایجاد شده در بستر رودخانه که مانعی در برابر شرایط جریان است، توسط پارامترهای زبری بستر کنترل شده اند. برای تعیین زبری بستر از معادله مانینگک استفاده شده و زبری بستر

رودخانه سیستان به ترتیب برابر ۱/۲ و ۱/۳ متر بر ثانیه، و حداکثر سرعت جریان نیز در ورودی فیدر کانال معادل ۱/۹ متر بر ثانیه به دست آمده است. در شکل ۴ منحنی‌های هم‌تراز عمق آب در دوشاخه مشاهده می‌گردد. در این شکل حداکثر عمق آب در شاخه سیستان مشاهده شده که در حدود ۴ متر است. توزیع جریان و سهم هر یک از شاخه‌ها نیز مطابق جدول ۱ است:

جدول ۱- توزیع جریان و سهم هر یک از شاخه‌ها

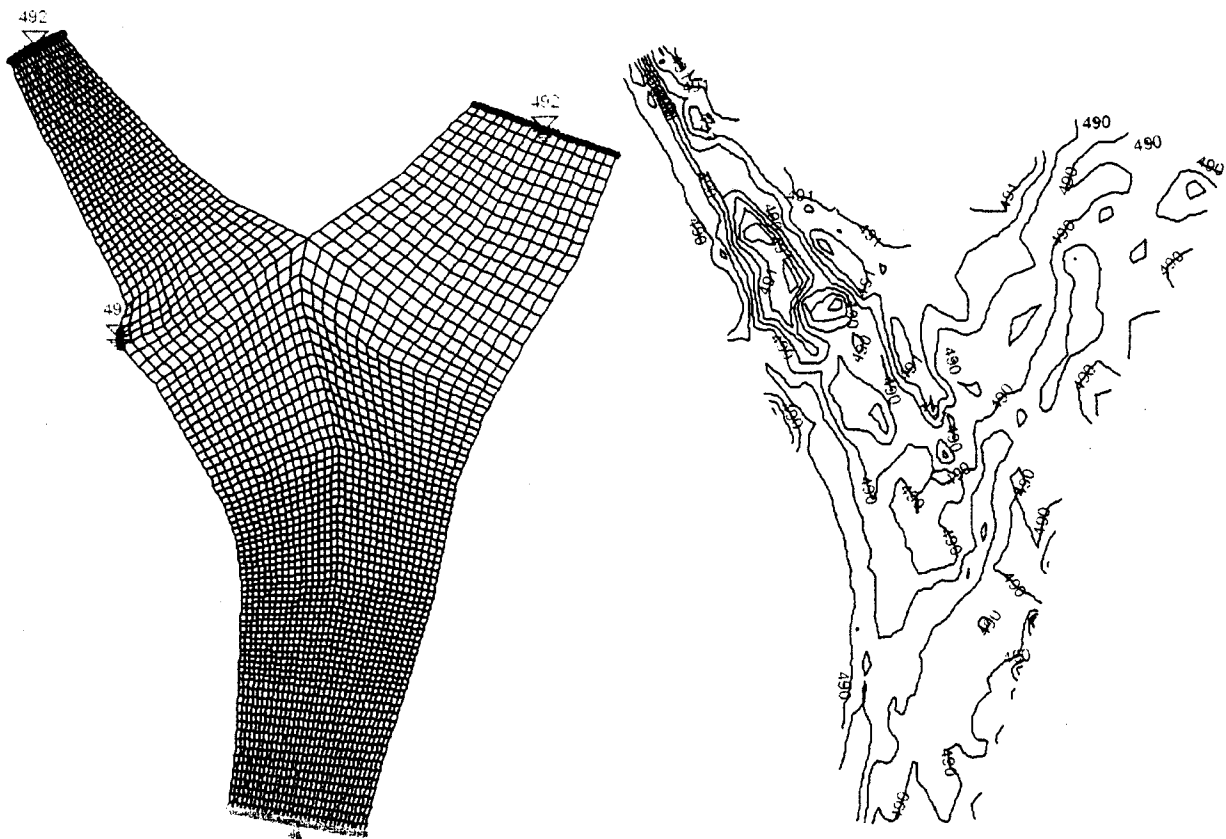
رودخانه هیرمند	۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه	٪۱۰۰
رودخانه پریان مشترک	۶۷۸ متر مکعب بر ثانیه	٪۶۸
رودخانه سیستان	۲۱۰ متر مکعب بر ثانیه	٪۲۱
فیدر کانال	۱۱۲ متر مکعب بر ثانیه	٪۱۱

شده است. به عبارت دیگر، تراز سطح آب در مرز خروجی رودخانه‌های پریان مشترک و سیستان و فیدر کانال برابر ۴۹۲ متر در نظر گرفته شده است.

۶- تحلیل جریان و نتایج

مسئله مذکور با مشخصات هندسی و هیدرولیکی بیان شده، توسط نرم‌افزار تحلیل دوبعدی جریان در رودخانه‌ها (RMA2) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. قابل ذکر است که حساسیت نتایج مدل به ابعاد مش المان محدود، و پارامترهای مختلف در حین انجام سعی و خطاهای متعدد بررسی شده و وضعیت هندسی و هیدرولیکی تشریح شده برای مدل تأیید گشته است. در نهایت با تعداد ۲۰ روند تکرار سعی و خطا، پاسخ نهایی به دست آمد.

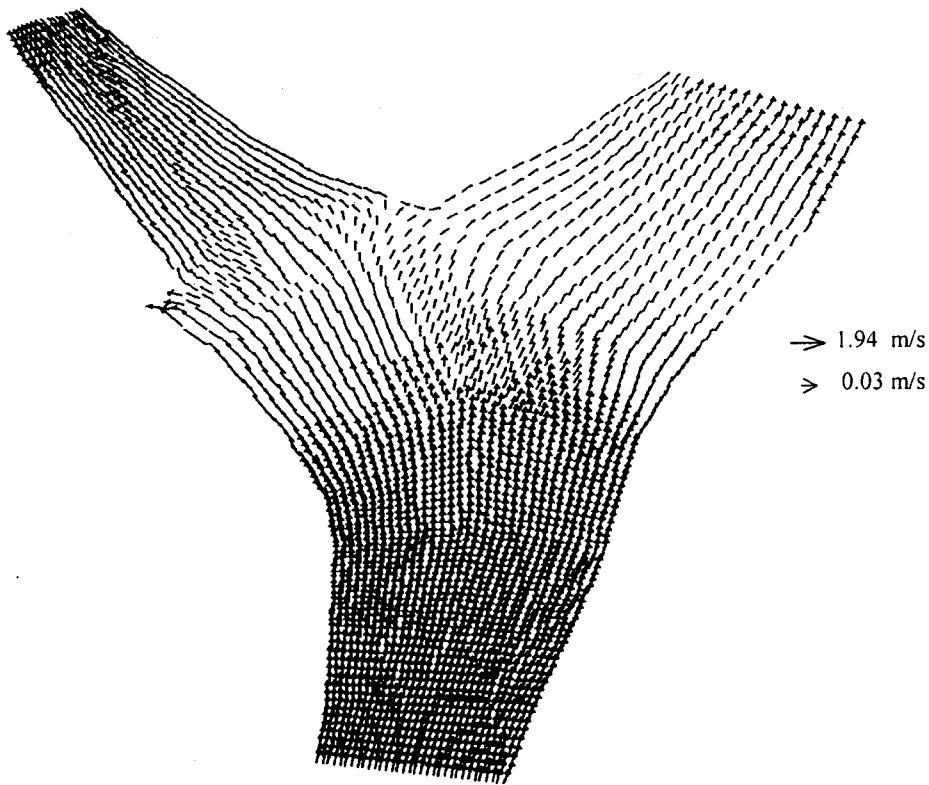
در شکل ۳، الگوی تغییرات سرعت جریان به صورت بردارهای سرعت در دوشاخه هیرمند مشاهده می‌گردد. طبق تحلیل انجام شده، حداکثر سرعت در ورودی رودخانه هیرمند حدوداً برابر ۱/۶ m/s، در شاخه‌های پریان مشترک و



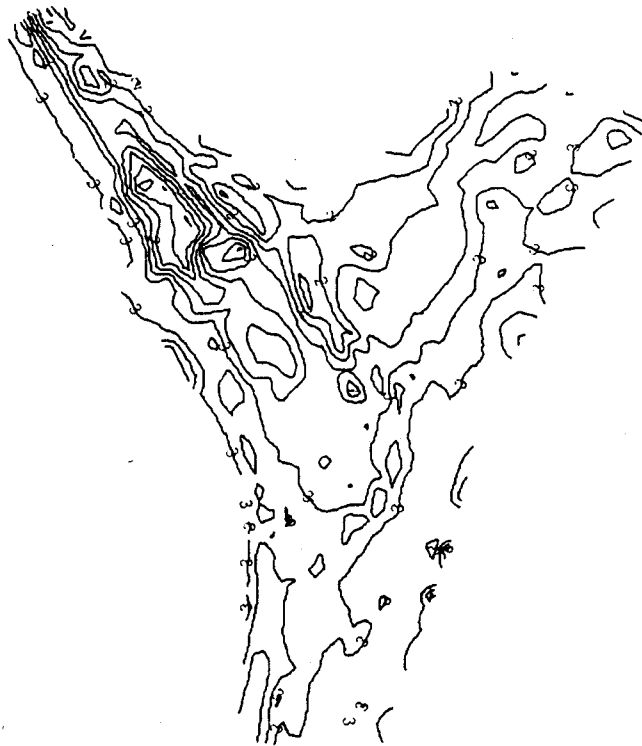
شکل ۲- نقشه توپوگرافی و مش المان محدود تهیه شده برای مدل هیدرولیکی دوشاخه هیرمند

سیستان است. البته این وضع بحرانی را می‌توان ناشی از احداث موقتی سد کهک و رسوب‌گذاری‌های شدید حاصل از کم‌آبی‌های اخیر دانست. برای تحلیل و ارزیابی بهتر شرایط منطقه بایستی پس از شروع دوران آبی منطقه، مجدداً توپوگرافی منطقه برداشت شود؛ چرا که وضعیت توپوگرافی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، مربوط به دوران خشکسالی بوده و بالطبع اثرات شدید طبیعت و انسان بر روی آن از دقت نتایج حاصله می‌کاهد.

با مراجعه به آمار هیدرولوژی موجود در منطقه، ملاحظه می‌گردد که در شرایط طبیعی یک رژیم تقسیم برابر جریان آب در دوشاخه وجود دارد ولی به ازای تأثیر عوامل مصنوعی چون ساخت سد کهک و رسوب‌گذاری‌های تابعه، این رژیم به نفع رودخانه پریان مشترک تغییر می‌کند. در گذشته و در بدترین شرایط، رژیم تقسیم آب در دوشاخه در حدود ۲ به ۱ به نفع پریان مشترک بوده است، حال آنکه مطابق جدول فوق این نسبت به مقدار ۳ به ۱ تغییر کرده است که خود حاکی از موقعیت بحرانی وضعیت هیدرولیکی رودخانه



شکل ۳ - بردارهای نشان دهنده توزیع سرعت مطابق با الگوی جریان در دوشاخه هیرمند



شکل ۴ - منحنی‌های هم‌تراز عمق در دوشاخه هیرمند

۷- قدردانی

به اطلاعات و مطالعه مذکور را فراهم نمودند و همچنین تمامی همکارانمان در مرکز تحقیقات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف^۸ به خصوص مهندس عبدالمجید محمدیان تقدیر و تشکر می‌گردد.

در نهایت از مساعدت و همکاری شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان به خصوص جناب آقای مهندس سیامک شیرزاد که امکان دسترسی

مراجع

- ۱- طرح بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند، گزارش ویژه ب-۱، هیدرولوژی (الف)، مهندسين مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۰
- ۲- طرح بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند، گزارش ویژه ب-۲، هیدرولوژی رودخانه سیستان (ب)، مهندسين مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۱
- ۳- طرح بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند، گزارش ویژه ب-۲، هیدرولوژی رودخانه پريان مشترک (ج)، مهندسين مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۱
- ۴- طرح بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند، گزارش نهائی طرح جامع، مهندسين مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۱
- 5- Sistan River Flood Works Rehabilitation Project, Hydrological Studies, Tehran Sahab Consulting Engineers & National Engineering Services, Pakistan (PVT) Limited, 1993
- 6- Finite Element Surface-Water Modeling System (FESWMS-2DH) : Two-Dimensional Flow in a Horizontal Plane User Manual, U.S. Geological Survey, Water Resources Division, 1989.
- 7- Surface-Water Modeling System (SMS), Reference Manual, Version 7.0, Brigham Young University, 1999.
- 8- RMA2 WES Version 4.3, Users Guide, US Army Corps of Engineers-Waterways Experiment Station Hydraulics Laboratory, 1997.
- 9- McAnally, W.H., Letter, J.V., Stewart, P., Thomas, A., Brogdon, J., Application of Columbia Hybrid Modeling System, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, No. 5, May, 1984.

پی‌نویس

E-mail:oveis@mehr.sharif.edu

E-mail:tajrishy@sharif.edu

E-mail:mjamali@sharif.edu

- 4- Back Water
- 5- F.E. (Finite Elements)
- 6- Eddy Viscosity
- 7- Steady State
- 8- EWRC

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

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف