شبيه سازي جريان در زير پلها با استفاده از مدلهاي مختلف نرم افزاري

دکتر محمد تقی دستورانی
استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد. تلفن و فاکس: 0351-8210312
e-mail: mdastorani@yazduni.ac.ir

چکیده:
در اين تحقيق شبيه سازي جريان در زير ساختمان پل با استفاده از سه نرم افزار هيدروليكي شناخته شده MIKE11 ,HEC-RAS,ISIS مورد ارزيابی قرار گرفته است. داده هاي مورد استفاده در اين مطالعه مربوط به يک بررسي آزمايشگاهي است كه قبلا با استفاده از يك فلوم 22 متري در دانشگاه بيرمنگهام انگلستان انجام شده است . سطح مقطع اين فلوم در برگيرندة يك كانال اصلي در وسط و دو دشت سيلابي در دو طرف است . در تحقيق حاضر حالت نرم و ملايم براي بستر كانال اصلي و دشتهاي سيلابي در نظر گرفته شده و دو نوع پل شبيه سازي شده است كه يكي پل قوسي (Arch bridge) دو دهانه و ديگري پل مستقيم عرشه دار (Straight deck bridge) يا پل مدل US BPR با سه پايه است . در شبيه سازي هر پل دو جريان متفاوت تحت عنوان دبي كم و دبي زياد مورد ارزيابي قرار گرفته و نتايج حاصل از نرم افزارها مقايسه و تجزيه و تحليل گرديد. جهت ارزيابي توانايي نرم افزارها پروفيل سطح آب محاسبه شده توسط اين نرم افزارها با مقادير اندازه گيري شده مورد مقايسه قرار گرفت .هرچند هر سه نرم افزار قادر بودند كه جريان در زير پلهاي قوسي و مستقيم عرشه دار را شبيه سازي كند ولي نتايج ارائه شده توسط آنها متفاوت بود .

1 مقدمه:

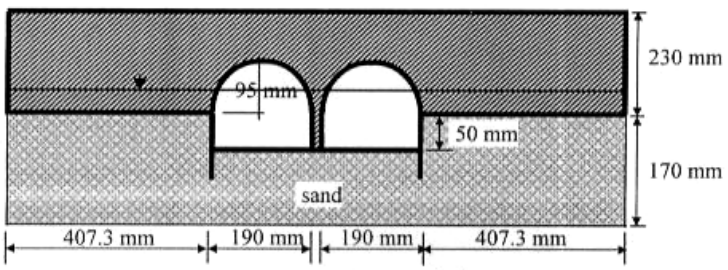
پل هاي زيادي هر ساله در سراسر جهان تخريب مي شوند كه اغلب نه به دلايل سازه اي بلكه به دليل در نظر نگرفتن نقش عوامل هيدروليكي در طراحي پل ها مي‌باشد . جهت ارزيابي دقيق اين عوامل و بهينه سازي طراحي، استفاده از مدل روشي معمول و رايج مي باشد . در اين حالت اطلاعات مورد نياز جهت ساخت مدل از محل پروژة اصلي برداشت مي شود و سپس نتايج حاصل از مطالعه بر روي مدل جهت طراحي پروژه اصلي مورد استفاده قرار مي گيرد . مدل مي تواند يك مدل رياضي ، فيزيكي و يا كامپيوتري باشد . مدلهاي فيزيكي هر چند دقت قابل ملاحظه اي را دارا مي باشند ولي اغلب پرهزينه و وقت گير هستند . امروزه مدلهاي كامپيوتري جهت حل بسياري از مسائل مربوط به مهندسي رودخانه روشي رايج تلقي مي شود كه غالبا كارايي مناسبي را نيز از خود نشان داده است . به همين علت نرم افزارهاي متعددي نيز در اين زمينه تهيه گرديده است كه در نقاط مختلف دنيا مورد استفاده قرار مي گيرد . مسئله مهمي كه در اين

زمینه بایستي مورد توجه قرار گیرد اطمینان از کارایي این نرم افزارها و اعتماد کافي به نتایجي است که توسط آنها جهت طراحي در شایط مختلف ارائه مي شود، و این امر میسر نیست مگر با انجام تحقیقات لازم در این زمینه و مقایسه نتایج آنها با یکدیگر و نیز با نتایج واقعي و آزمایشگاهي. هر چند جریان آب در رودخانه و دشتهاي سیلابي سه بعدي است ولي در اغلب موارد و براي بیشتر کاربردها مدل کامپیوتري سه بعدي بیش از حد پیچیده و وقت گیر مي باشد و لذا حالت میانگیني براي عمق و سطح در نظر گرفته مي شود و در نتیجه یك مدل یك بعدي براي آن طراحي و اجرا مي شود . مدلهاي کامپیوتري یك بعدي اصولا ابزاري مناسب براي حل بسیاري از مسائل مربوط به جریان رودخانه خصوصا رودخانه هایي که داراي بستر طویل و نسبتا همگني مي باشند هست هر چند در این میان استثناناتي نیز وجود دارد . سه نرم افزار شناخته شده جهت مدلسازي یك بعدي جریان عبارتند از : ISIS (تهیه شده توسط مرکز تحقیقات هیدرولیکي والینگفورد و کمپاني هالکرو در انگلستان)، MIKE11 (تهیه شده توسط مؤسسة هیدرولیك دانمارك) و HEC-RAS (مربوط به گروه مهندسین ارتش آمریکا). هر یك از این نرم افزارها روش خاصي را جهت حل معادلات جریان مورد استفاده قرار مي دهند و لذا جهت بررسي وضعیت هیدرولیکي جریان در سازه هاي مختلف و از جمله پل ها روش ویژه خود را دارند . این مقاله ارائه دهندة نتایج حاصل از تحقیقي است که در این زمینه انجام گرفته و درحقیقت توانایي و تناسب هر یك از این سه نرم افزار را در شبیه سازي جریان در زیر دو نوع پل متفاوت در مواقع دبي کم و دبي بالا مورد ارزیابي قرار مي دهد .

2 تشریح مدل

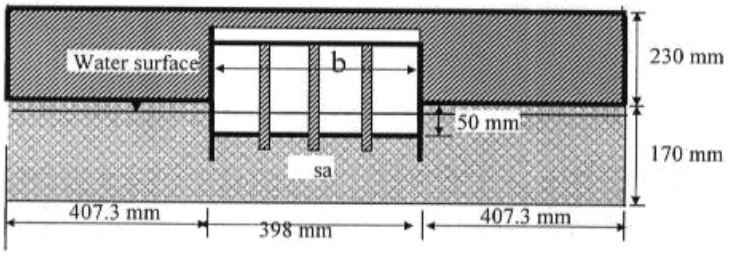
در این تحقیق از داده هاي حاصل از تحقیقات آزمایشگاهي روي مدل فیزیکي ایجاد شده در یك فلوم 22 متري در دانشگاه بیرمنگهام انگلستان استفاده گردیده است . این داده ها و توضیحات مربوطه در یك گزارشي تحت عنوان « مطالعة بر روي کارایي هیدرولیکي پل ها و ساختمانهاي دیگر شامل اثرات مربوط به بند آمدن در زمانهاي بادبي بالا (آزمایشات مربوط به Afflux پل در کانالهاي مرکب) که توسط اس.آتاباي و د.دبلیو. نایت (ژانویه 2002) تهیه شده است ثبت مي‌باشد.این فلوم داراي یك سطح مقطع مرکب است که یك کانال اصلي در وسط و دو عدد دشت سیلابي در دو طرف آن قرار گرفته است. در این تحقیق فلوم با بستر هموار و زبري کم مورد استفاده واقع شده است. دو نوع پل متفاوت مورد شبیه سازي قرار گرفته که عبارتند از:

2.1 پل قوسي (با دو دهانه): شکل 1 ابعاد مربوط به این نوع پل را نشان میدهد. شبیه سازي این پل با دو نوع مختلف جریان تحت عناوین جریان کم(20.97 lit/s) و جریان زیاد(34.43 lit/s) انجام گرفته است.



شکل 1. ابعاد و شکل پل قوسی شبیه سازی شده در این تحقیق.

2.2 پل مستقیم عرشه دار با سه پایه (US BPR bridge): ابعاد این پل در شکل 2 نشان داده شده است. براي اين پل دو شبيه‌سازي متفاوت با استفاده از دو مقدار مختلف دبي‌جريان تحت عناوين جريان كم و جريان زياد انجام شده است. جريان تحت عناوين جريان كم (20.98 lit/s) و جريان زياد(34.29 lit/s) بوده است.



شکل 2. ابعاد و شکل پل قوسی شبیه سازی شده در این تحقیق.

شرايط مرزي پايين دست (آخرين سطح مقطع در فلوم) در وضعيت «عمق نرمال» قرار داده شد. شش عدد سطح مقطع اندازه‌گيري شده در فواصل 0و6و36./7و49/7و15 متر از ابتداي فلوم تعريف شد كه مقاطع 7/36و7/49 به ترتيب بلافاصله در بالا دست و پايين دست پل قرار گرفته‌اند. جهت اندازه‌گيري پروفيل سطح آب در نقاط بيشتر و خصوصاً بالا دست و پايين دست پل تعدادی سطح مقطع اضافي نيز با استفاده از روش انترپلاسيون در نظر گرفته شد.

سعي گرديد كه آخرين نسخة نرم افزارها كه در زمان شروع تحقيق موجود بود استفاده گردد و تا پايان تحقيق تعويضي در نسخة استفاده شده صورت نگيرد. نسخه‌هاي موجود در آن مقطع زماني كه در اين تحقيق مورد استفاده واقع شده عبارتند از:

- ISIS ورژن 2 (مربوط به 13ژانويه 2001).
- MIKE11 ورژن 2001b (مربوط سال 2001).
- HEC-RAS ورژن (Beta) 3.1.0 (مربوط به فوريه 2001).

همانطور كه اشاره شد علاوه بر شش سطح مقطع اندازه گيری شدهء مذكور 14 سطح مقطع ديگر نيز بصورت انترپلاسيون به مدل اضافه گرديد. در قسمت بالا دست و پايين دست فلوم سطح مقطع‌ها با فواصل يك متر در نظر گرفته شد در حالي كه در قسمت مياني فلوم و در طول حدود 3 متر كه سراب و پاياب پل را شامل ميشود سطح مقطع‌ها با فواصل نيم متري به مدل داده شد.

2.3 نرم افزار ISIS: ISIS يك نرم افزار كامپيوتري است كه جهت شبيه سازي و حل مسائل مختلف مربوط به هيدروليك جريان در حالت يك بعدي مورد استفاده واقع ميشود و خود از زير برنامه‌هاي متفاوتي تشكيل شده است. اين نرم افزار بصورت مشترك توسط مركز تحقيقات هيدروليك وا لينگفورد و كمپاني هال كرو در انگلستان توليد شده است. اين نرم افزار قادر است هر دو نوع جريان ماندگار و غير ماندگار را شبيه سازي نمايد. ISIS روش كاملاً ديناميكي را جهت حل عددي معادلات St.Venant بكار مي‌گيرد كه در آن از روش صريح پريسمن با حالت شبكه‌هاي 4 نقطه‌اي استفاده ميكند.

ISIS محاسبات مربوط به ارتفاع حداكثر آب زير پل قوسي را با استفاده از روشي كه توسط مركز تحقيقات هيدروليك والينگفورد (HR Wallingford) ارائه شده است انجام ميدهد.اين روش براساس نتايج حاصل از مدلهاي فيزيكي در آزمايشگاه تنظيم شده وسپس با استفاده از دادههاي مربوط به پلهای موجود در انگلستان مورد آزمون و صحت يابي قرار گرفته است. ارتفاع حداكثر آب زير پلهاي قوسي يك دهانه و چند دهانه در اين روش به صورتي مورد محاسبه قرار ميگيرد كه جزئيات آن در گزارشي تحت عنوان «afflux در پلهاي قوسي, 1988» تشريح گرديده است. لازم به ذكر است كه در اين روش سطح زير هر يك از دهانهها از كف و نيز از سطح springing با اين فرض كه شكل قوس پارابوليك است محاسبه ميگردد (راهنماي نرم افزار ISIS, 1997) . جريان مربوط به بالاي پل و نيز مجاري مربوط به سيلاب (زير گذر سيلاب) در اين روش در نظر گرفته نميشود و در صورتي كه ضروري باشد واحدهاي شبيه سازی مربوط به سريز و زيرگذر كه در نرم افزار موجوداست بايستي به مدل اضافه گردند (جهت پوشش دادن اين موارد).

در مورد پلهاي (US BPR) مستقيم عرشه دار ISIS روشي را جهت محاسبه ارتفاع حداكثر آب زير پل بكار ميگيرد كه در كتاب «هيدروليك آبراههاي پل 1978» تشريح گرديده است. در اين روش لازم است كه يك سطح مقطع در بالادست پل (ترجيحاً جايي كه حداكثر پس زدگي آب را داريم) و يك سطح مقطع نيز در پايين دست پل (ترجيحاً جايي كه جريان به حالت عمق نرمال ميرسد) در مدل تعبيه شده باشد.

2.4 نرمافزار MIKE11: نرم افزار MIKE11 كه توسط موسسه هيدروليك دانمارك توليد شده است در واقع يك نرم افزار حرفهاي مهندسي جهت شبيه سازي جريان، كيفيت آب و انتقال رسوب در مصبها، رودخانهها و كانالهاي آبياري است. اين نرم افزار اساسا يك ابزار جهت شبيه سازي يك بعدي به منظور طراحي، مديريت و اجرا در سيستمهاي رودخانهاي ساده و پيچيده است و در آن سه روش مجزا جهت آناليز جريان تعبيه شده كه استفاده كننده بنا به شرايط مسئله ميتواند آنها را انتخاب نمايد. اين سه روش عبارتند از روش موج وينامیكي، روش موج انتشار (پخش شونده) و روش موج سينماتيكي. براي محاسبات جريان در پل قوسي دو روش در MIKE11 تعبيه شده است كه عبارتند از روش بايري (Biery) و دلور (Delleur) و روش موسسة تحقيقات والينگفورد (HR Wallingford). در مورد پل US BPR نرم افزار MIKE11محاسبات مربوط به سطح آزاد جريان را با فرض شرايط عمق نرمال انجام ميدهد. براي حالتي كه سطح جريان با قسمت سقف دهانة پل در تماس كامل است در حقيقت جريان با سطح آزاد نبوده و تحت فشار است در اين حالت MIKE11 معادلات ديگري را جهت محاسبه جريان در زير پل مورد استفاده قرار ميدهد. در اين شرايط ممكن است دو حالت حاكم باشد:

- جريان لوله ای (orifice) مستقرق: كه در آن دهانههاي پل كاملاً غرق شده و دبي با استفاده ار معادلة مربوط به اين نوع جريان بدست ميآيد.
- جريان لوله ای (orifice) : كه جريان فقط در تماس با سقف دهانه پل ميباشدولی تحت فشار آنچنانی نيست.

2.5 نرمافزار HEC-RAS: نسخة اخير HEC-RAS (در اين تحقيق استفاده شده) كه توسط بخش تجزيه و تحليل رودخانه در مركز مهندسي هيدرولوژي انجمن مهندسين ارتش آمريكا ارائه شده است نرمافزاري است كه قادر است

شبیه‌سازي يك بعدي جريان ماندگار و غير ماندگار و نيز محاسبات پروفيل سطح آب در حالت زير بحراني، فوق بحراني و نيز رژيم جريان مخلوط (Mixed flow) را انجام دهد. اين نرم‌افزار جهت انجام محاسبات هيدروليكي جريان يك بعدي براي سيستم كامل رودخانه‌هاي طبيعي و كانالهاي دست سازي طراحي شده است (راهنماي كاربرد HEC-RAS، 2000). در HEC-RAS فرآيند اصلي محاسبات بر يك روش حل يك بعدي معادلة انرژي استوار است. معادلة انرژي از يك سطح مقطع به سطح مقطع بعدي با استفاده از روش گام استاندارد جهت محاسبة پروفيل سطح آب حل مي‌شود. اين نرم‌افزار همچنين هدر رفت انرژي در اثر اصطكاك (بوسيله معادلة مانينگ) و نيز در اثر كم و زياد شدن عرض رودخانه را مورد ارزيابي قرار ميدهد. HEC-RAS محاسبات جريان در زير پل را بسته به شرايط براى سه حالت انجام ميدهد كه عبارتند از محاسبات مربوط به جريان تحت فشار ، محاسبات جريان سرريز و محاسبات جريان تركيبي.

3 انجام شبيه سازى:

همانطور كه قبلاً نيز اشاره شد وضعيت پاياب فلوم در حالت عمق نرمال قرار داده شد. در نرم افزار ISIS جهت تأمين داده‌هاي پاياب فلوم براي حالت عمق نرمال از قسمت Generate approximate QH boundary نرم افزار استفاده گرديد كه با استفاده از اين عامل داده هاي مربوط به دبي - عمق در حالت عمق نرمال توليد شده و در مدل مورد استفاده قرار گرفت . در مورد نرم افزار MIKE 11 امكان ايجاد داده هاي مربوط به عمق نرمال براي پاياب فلوم با استفاده از خود نرم افزار امكان پذير نمي باشد لذا اين مقادير بصورت دستي محاسبه گرديد و در مدل وارد شد (با استفاده از رابطة مانينگ). نرم افزار HEC-RAS براحتي امكان قرار دادن وضعيت پاياب فلوم در حالت عمق نرمال را فراهم مي سازد. در مورد پل قوسي در شبيه سازي با جريان كم, جريان آبي با دبي 0.02097 متر مكعب در ثانيه (20.98 ليتر در ثانيه) در فلوم مورد استفاده قرار گرفت درحاليكه در شبيه سازي با جريان زياد مقدار 0.03443 متر مكعب در ثانيه (34.43 ليتر در ثانيه) بكار گرفته شد . درمدل مربوط به پل US BPR نيز دو شبيه سازي با استفاده از دبى جريان كم و دبى جريان زياد انجام گرديد . در شبيه سازي مربوط به جريان كم مقدار دبي جريانى برابر 0.02098 متر مكعب در ثانيه در نظر گرفته شد در صورتيكه براي شبيه سازي با جريان زياد مقدار دبي جريانى معادل 0.03429 متر مكعب در ثانيه يا 34.29 ليتر در ثانيه مورد استفاده قرار گرفت . سپس مدل ران شده و نتايج مربوطه اخذ شد .

4 بررسي نتايج :

جهت بررسي بهتر نتايج حاصل از هر يك از نرم افزارها در هر يك از شبيه سازي ها و امكان مقايسه دقيقتر اين نتايج با يكديگر و نيز با نتايج مشاهده‌اي كه در آزمايشگاه بدست آمده است, داده‌هاي مربوط به ارتفاع حداكثر آب در فلوم كه پس از تعبية پل‌ها ايجاد شده استخراج گرديده و در جداولي ثبت شده سپس پروفيل سطح آب بر اساس نتايج نرم افزارهاي مختلف استفاده شده در اين تحقيق ترسيم شد كه در شكل‌هاي 3 تا 6 نمايش داده شده است . اشكال 3 و 4 مربوط به پروفيل سطح آب در بالا دست و پايين دست پل قوسي است و اشكال 5 و 6 اين پروفيل را به ترتيب در شبيه سازي‌هاي با جريان كم و زياد براي پل US BPR نشان ميدهد. علاوه بر ارتفاع سطح آب حجم آبي كه در يك زمان مشخص از سيستم مي گذرد نيز مورد ارزيابي و مقايسه قرار گرفت . با توجه به اينكه شبيه سازيها در اين تحقيق با استفاده از جريان ماندگار صورت گرفته است دورة زماني ويژه جهت ارزيابي حجم آب مفهوم چنداني ندارد و لذا اين

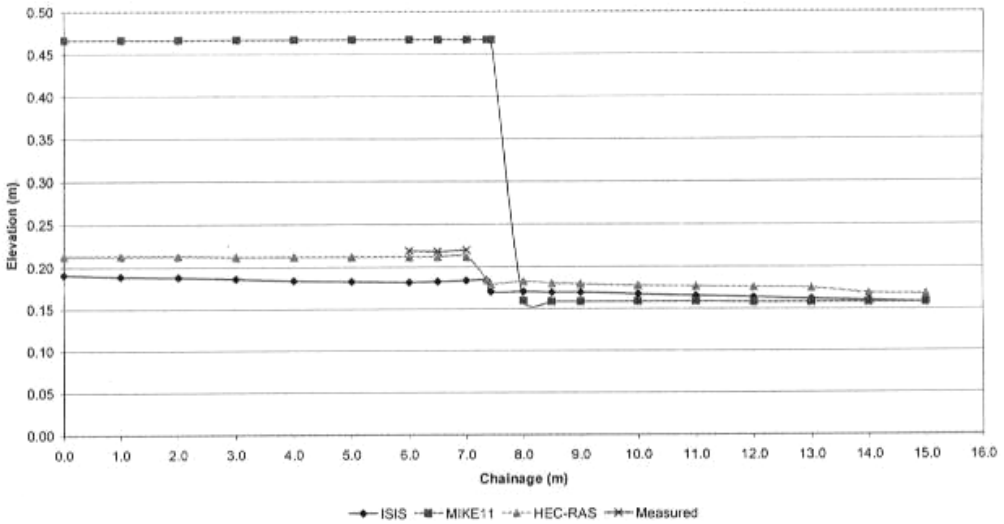
ارزيابي فقط با مقايسة جريان ورودي و خروجي انجام گرفته است و يا به عبارت ديگر دبي جريان در سطح مقطع اول با دبي جريان در سطح مقطع نهايي براي هر شبيه سازي مقايسه شده است. نتيجة اين ارزيابي نشان داد كه هر سه نرم افزار در اين مورد بسيار خوب عمل كرده دبي ورودي به سيستم با دبي خروجي از سيستم اختلاف چندانی و يا به عبارت ديگر هدر رفت آب از سيستم ناچيز است .

بطور كلي ميتوان گفت كه هرچند هر سه نرم افزار قادر به شبيه سازي پل قوسي و پل مستقيم عرشه دار (US BPR) بوده‌اند ولي نتايج اخذ شده از آنها در مواردي بطور قابل ملاحظ ای متفاوت بوده است . بالاترين ارتفاع آب محاسبه شده در بالا دست پل به عنوان مثال يكي از عواملي بوده كه در نتايج نرم افزارهاي مختلف متفاوت مي باشد . اين مقادير در جدول 1 نشان داده شده است .

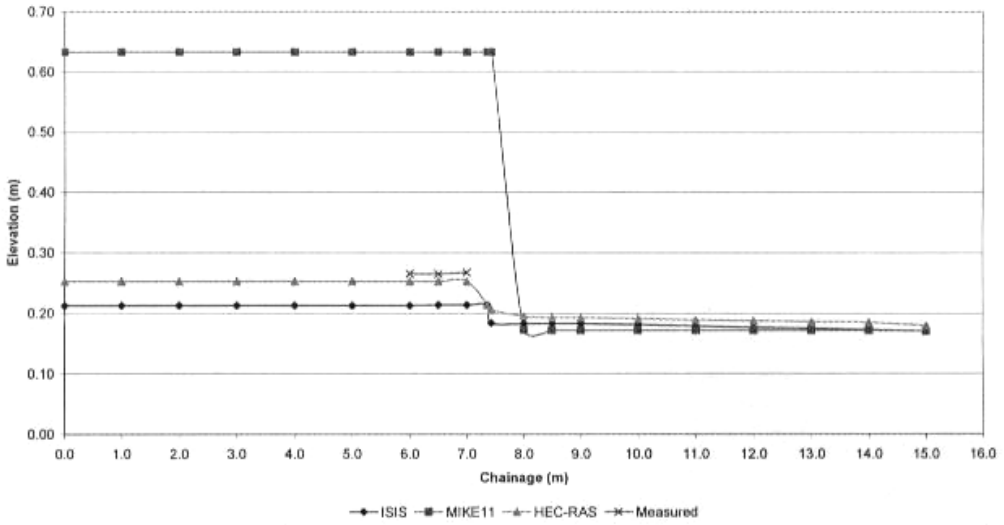
جدول 1. حد اكثر ارتفاع براورد شده آب به سانتيمير در بالادست پل در شبيه سازيهای انجام شده.

	شبیه سازی با پل قوسی		شبیه سازی با پلUS BPR	
	دبی کم	دبی زیاد	دبی کم	دبی زیاد
ISIS	0.191	0.214	0.234	0.316
HEC-RAS	0.213	0.253	0.214	0.254
MIKE11	0.467	0.633	0.177	0.213
Measured	0.219	0.267	0.219	0.260

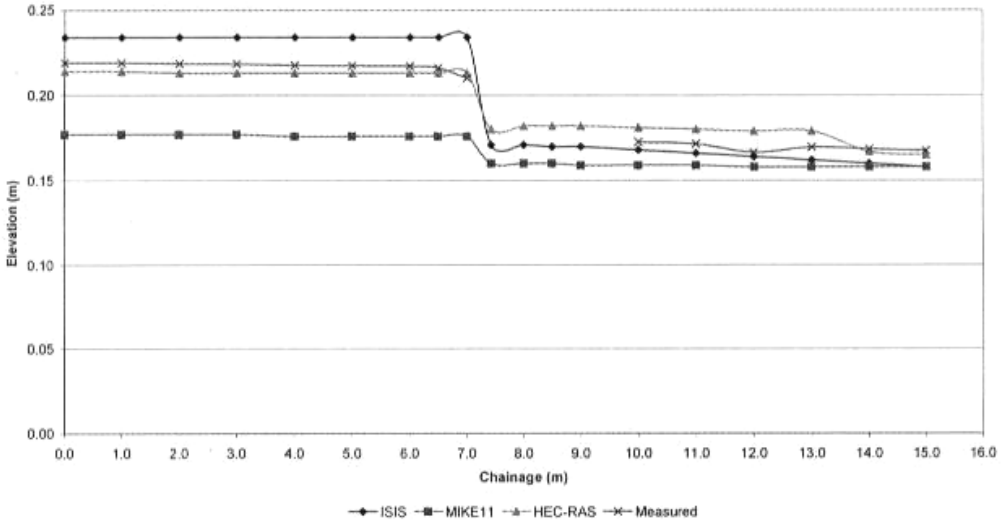
همانطور كه درجدول مشاهده ميشود در مورد پل قوسي نتايج ارائه شده توسط HEC-RAS در مقايسه با دو نرم افزار ديگر به مقادير واقعي (اندازه گير شده در آزمايشگاه) نزديكتر است . نتايج MIKE11 در اين مورد به مقدار قابل ملاحظه‌اي بالاتر از دو نرم افزار ديگر و نيز مقادير اندازه گيري شده است و نتايج ارائه شده بوسيله ISIS اندكي پايين تر از مقادير اندازه گيري مي باشد . در مورد پل مستقيم يا US BPR نيز نتايج ارائه شده بوسيلة HEC-RAS دوباره كاملا نزديك به مقادير اندازه گير شده است . در مورد اين نوع پل بر عكس پل قوسي نتايج ارائه شده بوسيلة MIKE11 اندكي پايين تر از مقادير اندازه گيري شده است در حالي كه نتايج ارائه شده توسط ISIS مقداري بالاتر مي باشد .



شكل 3. پروفيل سطح آب بر اساس نتايج حاصل از هر يک از نرم افزارها در مقابل مقادير واقعی (اندازه گيری شده) در شبيه سازی با پل قوسی و دبی جريان كم.

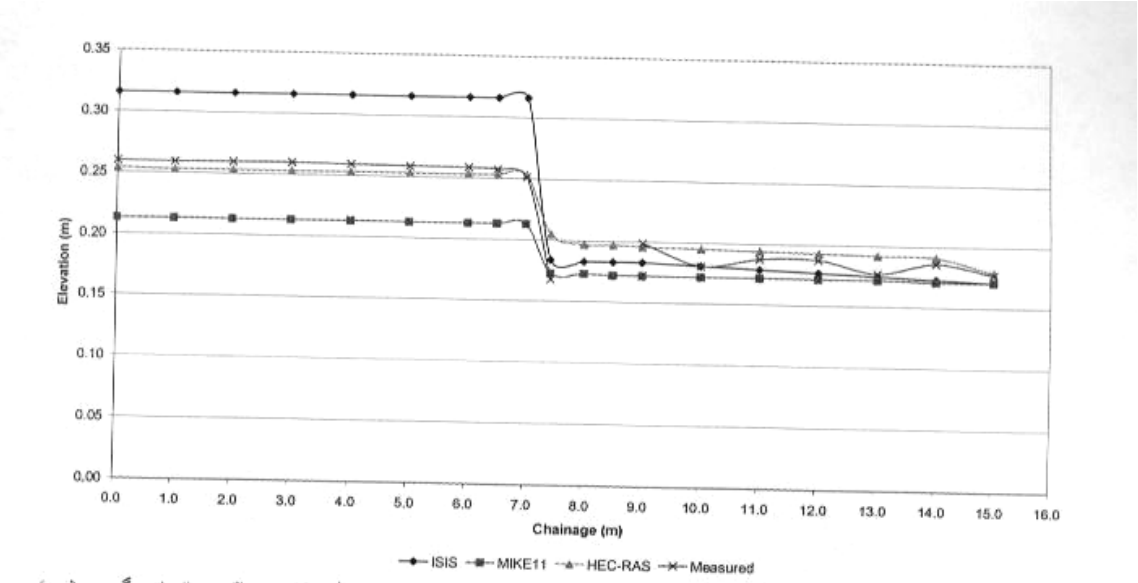


شکل 4. پروفیل سطح آب بر اساس نتایج حاصل از هر یک از نرم افزارها در مقابل مقادیر واقعی (اندازه گیری شده) در شبیه سازی با پل قوسی و دبی جریان زیاد.



شکل 5. پروفیل سطح آب بر اساس نتایج حاصل از هر یک از نرم افزارها در مقابل مقادیر واقعی (اندازه گیری شده) در شبیه سازی با پل مستقیم عرشه دار و دبی جریان کم.

در حالی که میزان تجربه قبلی و مهارت کار با هر سه نرم افزار برای نگارنده تقریبا مشابه بوده است، تکمیل شبیه سازي با MIKE11 زمان وتلاش بیشتري در مقایسه با دو نرم افزار دیگر نیازداشته است. از نظر تواناییهاي گرافیکي نیز MIKE11 سطح مقطع پل ایجاد شده را بصورت گرافیکي نمایش نمي دهد در حالي که دو نرم افزار دیگر این عمل را انجام میدهند و خصوصاً HEC-RAS در این زمینه از توانایي فوق العادهاي برخوردار مي باشد.



شکل 6. پروفیل سطح آب بر اساس نتایج حاصل از هر یک از نرم افزارها در مقابل مقادیر واقعی (اندازه گیری شده) در شبیه سازی با پل مستقیم عرشه دار و دبی جریان زیاد.

5 . نتیجه گیري نهايي و پيشنهادات :

با توجه به نتايج حاصل از اين تحقيق ميتوان گفت كه هر چند هر سه نرم افزار امكانات لازم جهت شبيه سازي جريان در زير هر دو نوع پل را دارا ميباشند ولي نتايج متفاوتي را نشان داده‌اند و با مقايسه نتايج ارائه شده توسط اين نرم افزارها با مقادير اندازه گير شده بايستي گفت كه جهت شبيه سازي جريان در زير پل قوسي HEC-RAS و ISIS (خصوصا HEC-RAS) توانايي و دقت بيشتري را نشان داده‌اند ولي نتايج حاصل از MIKE11 در اين مرحله فاصله زيادي با نتايج واقعي دارد . در رابطه با شبيه سازي جريان در زير پل مستقيم عرشه دار(US BPR) هر سه نرم افزار نتايج معقولي ارائه داده‌اند هر چند كه نتايج حاصل از HEC-RAS در مقايسه با دو نرم افزار ديگر به مراتب به مقادير واقعي نزديك تر است . با توجه به دقت نتايج ، راحتي استفاده و نيز توانايي گرافيكي, HEC-RAS بهترين نرم افزار جهت شبيه سازي جريان در زير پل مي باشد . البته بديهي است كه اين قضاوت حاصل اين تحقيق است و در اين زمينه تحقيقات بيشتر نياز مي باشد .

6 . فهرست منابع

-Atabay,S. & Knight, D.W., Bridge afflux experiments in compound channels, A report written for an engineering consultant in January 2002.
-DHI, MIKE 11 User Manual, 2002.
-US Corps of Engineers, HEC-RAS Hydraulic Reference, 1999.
-US Corps of Engineers, HEC-RAS User Manual 2002.
-Wallingford and Halcrow, ISIS User Manual, 2000.