تعیین معادلات رژیم رودخانه بر اساس معادله توان واحد جریان

محمد صادق قربانی[۱]، علی باقری[۲*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران

Email: ali523b@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، معادلات رژیم رودخانه به کمک توسعه معادله توان واحد جریان و کاربرد آن در مورد رودخانه بابلرود به دست آمده اند. برای این منظور با مروری بر تحقیقات گذشته، ابتدا مبانی و مفهوم رژیم و هندسه -هیدرولیکی در رودخانه ذکر می شود و سپس روش ها و نتایج به دست آمده توسط محققین قبلی به صورت دسته بندی شده ارائه می شود. در گام بعدی معادله توان واحد جریان با در نظر گرفتن پارامترهای غلظت وزنی رسوبات و سنگینی نسبی ذرات معلق توسعه داده می شود. سپس با استفاده از آنالیز ابعادی، معادله توان واحد جریان بی بعد به دست می آید .در انتها، معادلات رژیم برای رودخانه بابلرود به کمک معادله توان واحد جریان بی بعد استنتاج و ارائه می شود. در نهایت نتایج حاصل از این معادلات با مقادیر مشاهداتی و سایر معادلات رژیم مقایسه می شوند. نتایج به دست آمده از معادلات رژیم توسعه یافته در این تحقیق با مشاهدات صحرائی همخوانی خوبی را نشان می دهند ولی معادلات رژیم تجربی و معادلات رژیم نیمه تئوری که از آن جمله می توان به معادلات سیمونز (۱۹٦۹) و بلنچ (۱۹٦۹) اشاره کرد، به علت ماهیت تجربی و همخوان نبودن با شرایط اقلیمی منطقه درصد خطای زیادی دارند. با توجه به مقادیر تخمین زده شده ، دقت محاسبات برای پیش بینی عرض رودخانه بابلرود دارای متوسط خطای مطلق ۱۱٪ و جذر میانگین مربع های خطایی برابر ٤,۷٦ =RMSE است. همین مطلب در مورد پیش بینی مقدار عمق رودخانه بابلرود به صورت متوسط خطای مطلق ۰,۹۵٪ و جذر میانگین مربع های خطایی برابر RMSE=۰,٤٥ می باشد.

واژه های کلیدی : ***معادلات رژیم؛ هندسه - هیدرولیکی؛ توان واحد جریان؛ رودخانه بابلرود؛ آنالیز ابعادی***

مقدمه

رودخانه‌های آبرفتی، شکل‌دهنده هندسه ظاهری خود در پلان و مقطع هستند ، به طوری‌که مشخصات خود را در پاسخ به هر تغییری که در محیط به‌وجود می‌آید تنظیم می‌کنند . این تغییرات محیطی می‌تواند به صورت طبیعی رخ دهند از قبیل تغییرات آب و هوایی و یا تغییرات پوشش گیاهی. همچنین ممکن است به صورت مصنوعی و به علت فعالیت‌های انسانی از قبیل سدسازی، عملیات ساماندهی رودخانه، برداشت شن و ماسه، احداث پل و ... حاصل شوند.

در هر صورت، این تغییرات، رودخانه را از حالت تعادل خارج می‌کند و برای اینکه رودخانه به تعادل برسد، خود را از راه تغییر در شیب، ضریب زبری، دانه‌بندی ذرات بستر و به طور کلی تغییر در هندسه هیدرولیکی با شرایط جدید وفق می‌دهد. این تطابق به گونه‌ای است که طی آن رودخانه بین توانایی حمل رسوب و میزان بار رسوبی ورودی از بالادست، توازن ایجاد می-کند یا به تعبیری به حالت رژیم می‌رسد. (۱۴) رودخانه ها بر اساس پایداری‌شان به انواع پایدار استاتیکی، پایدار دینامیکی(رژیم) و ناپایدار تقسیم می‌شوند. اگرچه یک رودخانه در حال رژیم، پایدار فرض می‌شود ولی، لزوماً به این معنی نیست که بستر و کناره‌هایش در طول زمان فرسایش ناپذیر و ثابت هستند، بلکه به این معناست که متوسط ابعاد آبراهه در یک بازه زمانی حفظ می‌شوند. (۳)

رودخانه‌های رژیم به طور مداوم فعال هستند و آبشستگی و رسوبگذاری در کف و سواحل آنها رخ می-دهد، همزمان حمل مقادیر زیاد رسوب در آنها دیده می‌شود. هر چند در یک دوره کوتاه ممکن است شکل آبراهه تغییر یابد، ولی این تغییرات پیش رونده نبوده و نزدیک به یک مقدار متوسط نوسان می‌کند .اگرچه هر گونه اختلالی در الگوی جریان در چنین رودخانه‌هایی باعث تغییرات موضعی در هندسه آبراهه می‌شود، اما بعد از یک سیکل کامل شرایط متعادل می‌شود. (۱۲)

مبانی رژیم رودخانه در یک آبراهه رژیم، دبی جریان، دبی رسوب، هندسه و شیب آبراهه در حال اندرکنش با یکدیگر هستند و به عبارت دیگر یک آبراهه آبرفتی در طول یک دوره زمانی مقادیر عرض، عمق و شیب خود را بر اساس مقادیر دبی جریان و دبی رسوب تنظیم می کند. در واقع مقادیر عرض، عمق و شیب آبراهه سه متغیر وابسته هستند که بر اساس متغیرهای مستقل دبی جریان و دبی رسوب تعیین می‌گردند. بنابراین هر آبراهه برای رسیدن به تعادل بدون اینکه در پارامترهای ورودی معلوم (دبی جریان و دبی رسوب) تغییری ایجاد شود، سه درجه آزادی در عرض جریان، عمق جریان و شیب بستر دارد که برای به دست آوردن این سه متغیر به سه رابطه مستقل نیاز است. معادله انتقال رسوب و معادله مقاومت جریان برای این کار مفید هستند و از آنها برای تعیین شیب و عمق آبراهه پایدار استفاده می شود. در رودخانه ها برای تحلیل کامل جریان، یک رابطه دیگر مورد نیاز است که این رابطه از طریق یکی از روش های زیر به دست می آید:

تئوری رژیم یا فرمول های تجربی:

تئوری رژیم فراگیرترین روش برای طراحی کانال های آبرفتی پایدار، با در نظر گرفتن مسئله انتقال رسوبات و الزام های خاص آبراهه های آبرفتی می باشد .براساس این تئوری، یک آبراهه زمانی در حالت رژیم است که شیب و سطح مقطع آن در شرایط تعادل قرار داشته باشد و فرسایش یا رسوب گذاری در آن رخ ندهد، هر چند که امکان حمل رسوبات توسط جریان وجود دارد. از این روش به علت ارائه روابط تجربی متعدد توسط محققین برای تعیین ابعاد آبراهه های رژیم، با عنوان

فرمول های تجربی، یاد می شود. ماهیت روابط ارائه شده در این روش به صورت توابعی نمایی هستند که در آنها متغیرهای وابسته از قبیل عرض، عمق و سرعت جریان نسبت به دبی بیان می‌شوند. از معادلات معروف استنتاج شده از این روش، می‌توان به این موارد اشاره کرد. (۱۳)

روش نیروی مالشی یا فرمول های نیمه تئوری

این روش از قوانین اساسی مکانیک و بر اساس پایداری جداره و کف مجرا به صورت تابعی از مقاومت ذرات بدنه آن در مقابل نیروی فرساینده آب بهره می گیرد و اولین بار در سال ۱۹۴۰ توسط USBR پیشنهاد شده است .این تئوری یک آبراهه مستقیم با بستر دانه ای را در آستانه حرکت فرض می کند و هندسه مقطع عر ضی آبراهه را بر اساس نیروی برشی آب بسط می دهد. در این روش برای آنالیز فرض می‌شود که بار رسوبی وجود ندارد و هیچ گونه فرسایشی در مجرای کانال صورت نمی‌گیرد. از معادلات معروف استنتاج شده از این روش می‌توان به معادلات زیر اشاره کرد.(۱۱)

روش استدلالی یا روش حد نهایت

در دو دهه اخیر استفاده از مدل‌هایی که یک فرضیه حد نهایت را به عنوان بخشی از فرمول‌های خود برای پیش‌بینی مورفولوژی آبراهه به کار می‌برند، افزایش یافته در این روش از معیار بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی یک پارامتر کلیدی از قبیل قدرت جریان، نرخ مصرف انرژی یا غلظت رسوب به عنوان سومین معادله لازم برای تحلیل کامل شیب، عرض و عمق جریان استفاده می‌کنند. از معادلات معروف استنتاج شده از این طریق می توان به معادلات زیر اشاره کرد. (۱۳)

توان واحد جریان رودخانه

توان جریان از جمله پارامترهای مهم رودخانه‌ای است که در تجزیه و تحلیلها می‌توان از آن استفاده کرد. بنا به تعریف، توان جریان عبارت است از مقدار انرژی مصرف شده در واحد زمان که برحسب ژول بر ثانیه بیان می‌شود. یانگ (۱۹۸۱) با استفاده از مباحث ترمودینامیک چنین بیان کرد که رودخانه‌های مئاندری مسیری را طی می‌کنند که تغییرات انرژی پتانسیل در واحد زمان در آنها به حداقل مقدار خود برسد.

قنبرپور و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی کیفی معادلات ارائه شده در بحث تئوری رژیم شامل لیسی، بلنچ، سیمونز و آلبرستون، زند پاشا وجوان پرداختند و نتیجه گرفتند که در معادله سیمونز و آلبرستون به علت این که برای کانال هایی با شرایط مختلف اندازه ذرات کف و غلظت رسوبات مورد بررسی قرار گرفته شده بود، برآورد بهتری به دست آمده است.(۶)

طاهرشمسی و ایمان‌شعار (۱۳۸۹) در تحقیقی معادلات رژیم را برای دو رودخانه سیستان و کرج به کمک معادله توان واحد جریان بی بعد استنتاج کردند و سپس نتایج حاصل از این معادلات را با مقادیر مشاهداتی و سایر معادلات رژیم مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که معادلات رژیم توسعه یافته در این تحقیق با مشاهدات صحرائی همخوانی خوبی را نشان می دهند.(۷)

عبدالحسینی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی به ارائه معادلات رژیم برای رودخانه کاج پرداختند. برای این منظور آنها با استفاده از تحلیل رگرسیون چندگانه آماری، سه معادله برای پیش بینی مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقطع پایدار در حالت جریان غیریکنواخت کردند. نتایج نشان داد که رابطه پیشنهادی به خوبی قادر به پیش بینی عمق جریان است اما معادلات مربوط به عرض و شیب کف برآورد مناسبی از این دو پارامتر ندارند و مطالعات گسترده تری به منظور ارائه معادلات مناسب برای پیش‌بینی عرض و شیب کف مورد نیاز می باشد.(۸)

اکبری و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیقی معادلات رژیم را برای منطقه کامفیروز استان فارس با نمونه‌برداری صحرایی از کانالها بررسی و ضرایب معادلات را برای منطقه مورد نظر تعدیل کردند و نتیجه گرفتند که هرگاه بتوان از شیب تعادلی منطقه مورد نظر به عنوان متغیر مستقل در معادلات رژیم استفاده کنیم معادلات برآورد خوبی نشان می دهند.(۱)

سوامی و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی به بررسی معادلات رژیم لیسی برای رودخانه برهماپوترا پرداختند و نتیجه گرفتند که رودخانه از ساختار معادلات رژیم لیسی پیروی می کند.(۱۷)

مواد و روشها

انرژی پتانسیل مصرف شده بر واحد وزن آب را می-توان با عنوان توان جریان به صورت زیر تعریف کرد.(۶)

$$P = \frac{W}{t} = \frac{(\rho.Q.t).g.\Delta h}{t} = \gamma.Q.\Delta h \qquad (1)$$

در رابطه (۱) P توان جریان، W کار انجام شده در مدت زمان t ، □ وزن مخصوص ، Q دبی جریان ، g نشانگر شتاب ثقل و ρ جرم مخصوص آب ، Δh میزان استهلاک انرژی پتانسیل واحد وزن آب است . بر اساس رابطه قبل، در مهندسی رودخانه توان جریان در واحد طول رودخانه که به اختصار توان واحد جریان نامیده می‌شود، به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$P_L = \frac{\gamma.Q.\Delta h}{L} = \gamma.Q.S \qquad (2)$$

در این رابطه، P_L معرف توان واحد جریان رودخانه است و سایر پارامترهای دخیل در معادله قبل از این معرفی شده‌اند .شایان ذکر است در رابطه فوق چون میزان $\frac{\Delta h}{L}$ را می توان معادل S شیب طولی رودخانه در نظر گرفت، بنابراین رابطه (۱) به صورت رابطه (۲) ساده شده است . همچنین بر اساس رابطه تحلیلی بالا چنین استدلال شده است که تغییرات در رودخانه های آبرفتی ناشی از توان واحد جریان است. پیرستانی و همکاران (۱۳۷۸) با این استدلال و با تکیه بر مفهوم دبی غالب، روابط رژیم را برای عرض و عمق در رودخانه سفیدرود در بازه های شریانی، پیچان وکل مسیر به دست آوردند . بر اساس تحلیل های انجام شده توسط آنها همه پدیده‌های مربوط به تغییر شکل و توسعه خم‌های رودخانه تابعی از پارامترهای زیر است.(۴)

$$P_{L\pi} = f(\rho, Q, S, \rho', D_{50}, g) \qquad (3)$$

در رابطه ۳ ، Q دبی غالب رودخانه ، ρ' چگالی مستغرق ذرات رسوب و D_{50} قطر میانه ذرات رسوب ، (قطری از ذرات بستر است که ۵۰ درصد وزنی ذرات از آن ریزتر باشد) است. به طوری که ملاحظه می شود، محققان یاد شده علاوه بر پارامترهای موجود در رابطه (۲) ، پارامترهای D_{50} را که نشان دهنده معیار خاصی از محیط فیزیکی رودخانه است و ρ' را که به خصوصیات فیزیکی ذرات رسوب اشاره دارد، به معادله توان واحد جریان اضافه کرده اند . همچنین آنها با فرض کروی بودن ذرات رسوب و با استفاده از تئوری π-Bukingham معادله ابعادی توان واحد جریان بی بعد رودخانه ای را به شکل معادله (۴) به دست آوردند:

$$P_{L\pi} = \frac{Q.S}{\left(\frac{\rho'}{\rho}\right).\sqrt{g.D_{50}^5}} \qquad (4)$$

در رابطه ۴، $P_{L\pi}$ معرف توان واحد جریان بی‌بعد رودخانه است و سایر پارامترها قبل از این معرفی شده اند.

توسعه معادله توان واحد جریان رودخانه

مهم‌ترین تفاوت بین مطالعات صحرائی رودخانه و آزمایش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی رودخانه با فلوم، در

این است که آب رودخانه ها در حالت طبیعی همانند آب مورد استفاده در آزمایشگاه ها زلال نیست و حاوی مقادیر متنابهی از رسوبات است. با توجه به این مطلب، کار انجام شده در واحد زمان برای مخلوط آب و رسوب به شکل حاصل ضرب عامل حرکت آب و ذرات رسوب در مقدار جا به جایی (طول کانال) فرض می شود .در نتیجه، سنگینی نسبی ذرات معلق و غلظت وزنی رسوبات در واحد حجم مخلوط آب و رسوب، نقش مهمی در نحوه استهلاک انرژی مصرف شده در رودخانه برای انتقال جرم خواهند داشت.

با تکیه بر مطالب ذکر شده، معادله توان واحد جریان در رودخانه با در نظر گرفتن اثر پارامترهای غلظت مواد رسوبی موجود در جریان و سنگینی نسبی ذرات معلق توسعه می یابد. بنابراین علاوه بر شش پارامتر معادله (۴)، رو پارامتر C_s غلظت مواد رسوبی و G سنگینی نسبی ذرات رسوب نیز وارد معادله توان واحد جریان می شود .در این صورت می توان گفت:

$$P_{L\pi} = f(\rho, Q, S, \rho', D_e, g, C_s, G) \qquad (5)$$

در این رابطه D_e قطر مؤثر ذرات بستر است که برای رودخانه‌های ماسه‌ای به صورت $D_e=D_{50}$ و برای رودخانه‌های شنی به صورت $D_e= D_{84}$ منظور می شود. با به کار بردن تئوری پی–بوکینگهام رابطه بی بعد زیر که مبین پدیده های ناشی از توان واحد جریان در رودخانه است، به دست می آید: (۱۹)

$$P_{L\pi} = \frac{G.C_s.Q.S}{\rho.\sqrt{g.D_e^5}} \qquad (6)$$

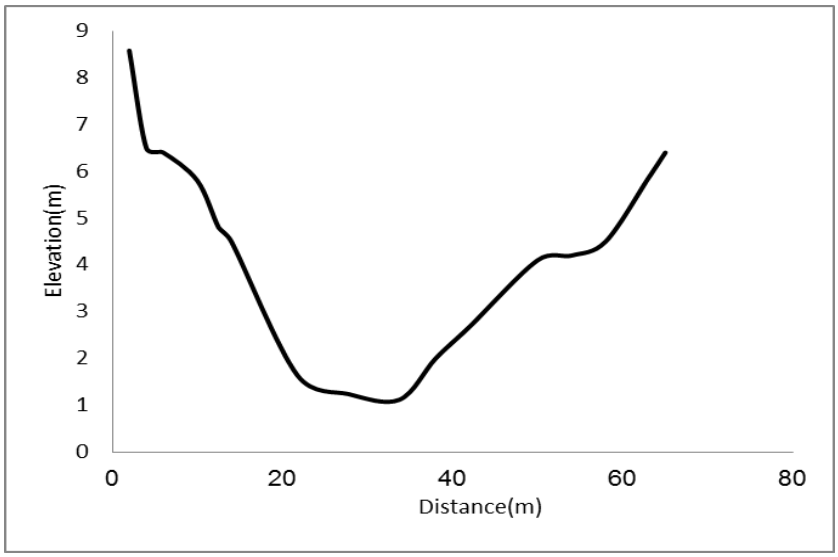
حال اگر مقادیر G=2.65 ، ρ=1000 $(\frac{kg}{m^3})$ و g=10$(\frac{m^2}{s})$ فرض شود، توان واحد جریان بی بعد توسعه یافته به صورت تابعی بر حسب غلظت وزنی رسوبات، شیب طولی رودخانه، دبی جریان و قطر مؤثر ذرات بستر به دست می آید:

$$P_{L\pi} = 8.46 * 10^{-4} \frac{C_s.Q.S}{\sqrt{D_e^5}} \qquad (7)$$

در این تحقیق با استفاده از رابطه (۷) ، همبستگی پارامتر P_{Lp} با مقادیر عرض و عمق جریان در رودخانه بابلرود با بستر ریزدانه (ماسه ای) بررسی می‌شود. وجود اطلاعات و آمار در حد قابل قبول یکی از عوامل انتخاب این رودخانه بود .در این تحقیق برای محاسبه دبی غالب از روش دبی مؤثر استفاده شده است. شایان ذکر است برای مطالعه هندسه -هیدرولیکی رودخانه مورد مطالعه در این تحقیق از روش موضعی (در یک مقطع) استفاده شده است، به این نحو که داده های رودخانه بابلرود در ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه اندازه گیری شده است. نحوه استفاده از داده‌ها و روند آنالیز آنها برای مطالعه رودخانه بابلرود به این ترتیب است که برای هر دبی اندازه گیری شده، مقدار غلظت وزنی رسوبات متناظر با آن دبی از مجموعه داده های اندازه گیری شده برداشت می شود. سپس به کمک منحنی دبی -اشل برای آن دبی، d عمق آبراهه نیز به دست می‌آید. مقدار w عرض آبراهه هم به کمک داده‌های برداشت شده یا سطح مقطع رودخانه و تعیین موقعیت سطح آب به ازای آن دبی به دست می‌آید. به عبارت دیگر داده های دبی جریان، غلظت مواد رسوبی، عرض و عمق آبراهه متغیر هستند و داده‌های شیب طولی و قطر مؤثر ذرات ثابت فرض شده‌اند.

در این مرحله با تکمیل داده‌های مورد نیاز به ترتیب زیر محاسبات انجام می‌شود. ابتدا مقادیر P_{Lp} ، $\frac{w}{D_e}$ ، $\frac{d}{D_e}$ به کمک اطلاعات و آمار موجود برای رودخانه مورد مطالعه محاسبه می شود و سپس رابطه بین P_{Lp} ، $\frac{w}{D_e}$ و همچنین P_{Lp} ، $\frac{d}{D_e}$ با برازش منحنی به داده ها در دستگاه مختصات لگاریتمی بدست می آید. در گام آخر، رابطه نهائی w با پارامترهای جریان و همچنین d با پارامترهای جریان استنتاج می‌شود.

رودخانه بابلرود از ارتفاعات ۳۷۰۰ متری البرز مرکزی سرچشمه گرفته و پس ازعبور از مسیرهای پر پیچ و خم و دره‌های عمیق و الحاق انشعابات مختلف، ابتدا به منطقه لفور وارد شده و پس از آن، از مناطق قرآن-طالار، درون کلای شرقی، گنج‌افروز و شهر بابل عبور و در شمال به دریای مازندران ختم می‌شود. رودخانه بابلرود حدود ۷۸ کیلومتر طول دارد. این رودخانه، آبراهه ای طبیعی با بستر و سواحل متشکل از مصالح رس و ماسه است، این رودخانه دائمی در دشت رسوبی جاری بوده و بار رسوبی غالب در آن، بار معلق است. برای مطالعه رودخانه بابلرود در روش هندسه-هیدرولیکی موضعی، به اطلاعات اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه مراجعه شده است. ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه با قدمتی حدود ۶۰ سال با کد ۰۱۷-۱۴ روی رودخانه بابلرود در موقعیت جغرافیایی ۶۴۸۹۰۲ درجه طول جغرافیایی و ۴۰۴۵۷۱۸ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد و شیب طولی رودخانه در محل ایستگاه $S=$ ۰/۰۰۰۲ است. سطح مقطع جریان در حالت لبالب در محل ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه $A_b=$ ۲۲۶/۳۵ متر مربع است. هندسه مقطع عرضی رودخانه بابلرود در محل ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه در شکل نشان داده شده است. رابطه دبی-اشل رودخانه بابلرود در محل ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه به صورت $d = 0.0337*Q + 0.9319$ است، در این رابطه Q ، دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه و d ، عمق جریان بر حسب متر است.(۵)

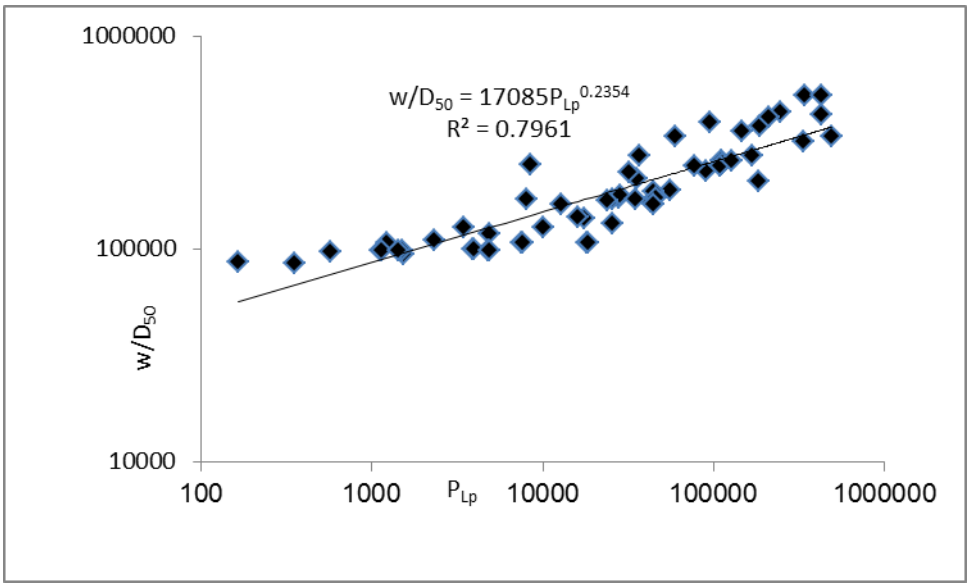


شکل ۱- مقطع عرضی رودخانه بابلرود در محل ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه

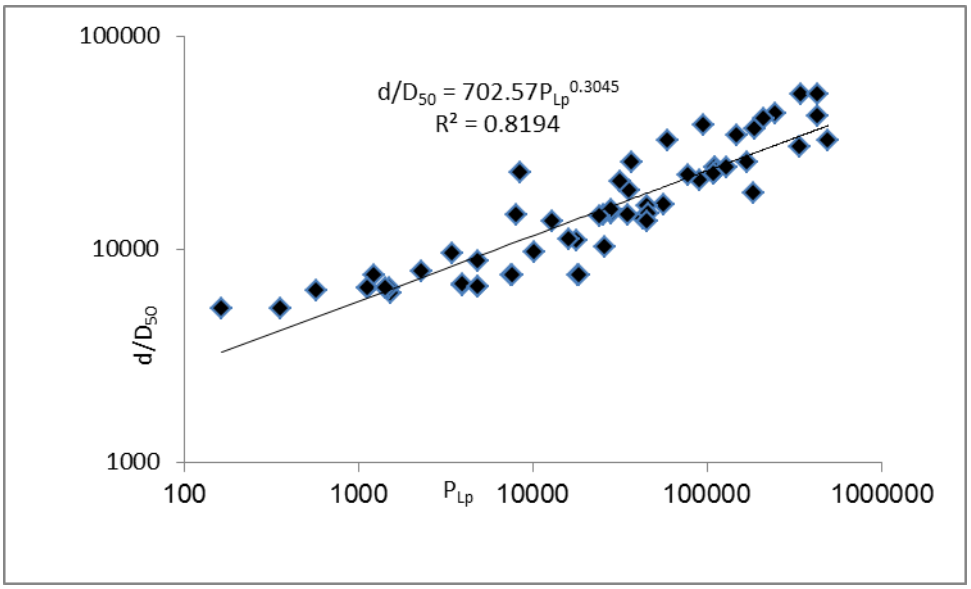
نتایج و بحث

بر اساس رابطه (۷) برای استنتاج معادلات رژیم رودخانه بابلرود، با توجه به اختلاف آمار و اطلاعات موجود در ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه در خصوص مقادیر Q , S , D_e , C_s ابتدا پارامتر توان واحد جریان بی بعد (P_{Lp}) قابل محاسبه خواهد بود. در گام بعد، پارامترهای بی بعد $\frac{w}{D_e}$ و $\frac{d}{D_e}$ محاسبه می‌شود. D_e قطر مؤثر ذرات رسوب است که برای رودخانه

ماسه‌ای بابلرود $D_e= D_{50}= 0.0002$ m در نظر گرفته می‌شود. سپس مقادیر P_{Lp} ، $\frac{w}{D_e}$ و همچنین P_{Lp} ، $\frac{d}{D_e}$ در دو دستگاه مختصات با مقیاس لگاریتمی رسم می‌شود و با برازش منحنی به داده ها، معادلات رژیم به شرح زیر استنتاج می شوند :



شکل ۲- رابطه بین P_{Lp} و $\frac{w}{D_e}$ در ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه



شکل ۳- رابطه بین P_{Lp} و $\frac{d}{D_e}$ در ایستگاه هیدرومتری کشتارگاه

$$w = 3230\ Q^{0.2354}\ S^{0.2354}\ C_s^{0.2354}\ D_e^{0.41}$$

$$d = 81.48\ Q^{0.3045}\ S^{0.3045}\ C_s^{0.3045}\ D_e^{0.238}$$

در روابط قبل، Q دبی جریان بر حسب متر مکعب بر ثانیه ، D_e قطر مؤثر ذرات رسوب بر حسب متر، S شیب طولی رودخانه و بی بعد، C_s نشانگر غلظت وزنی ذرات رسوب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است.

برای سنجش میزان دقت معادلات رژیم استنتاج شده در این تحقیق برای رودخانه بابلرود با سایر معادلات رژیم، باید مقادیر عرض و عمق پایدار در رودخانه به کمک معادلات رژیم تخمین زده شود و سپس با داده های مشاهداتی صحت‌سنجی شود. با توجه به این مطلب و با تکیه بر مفهوم دبی غالب (به عنوان داده‌ای که در استنتاج معادله رژیم نقش نداشته است) به این نحو عمل شده است که ابتدا مقادیر عرض و عمق پایدار متناظر با دبی غالب در رودخانه بابلرود به کمک معادلات رژیم مختلف به دست آمده است و سپس با مقادیر مشاهداتی مقایسه شده‌اند.

جدول ۱- مقایسه روابط رژیم به دست آمده با روابط رژیم موجود در مورد رودخانه بابلرود.

معادله بکار رفته جهت تخمین	عرض (m)	درصد خطا	عمق (m)	درصد خطا
مقادیر مشاهداتی	۵۴	-	۵	-
باقری، ۱۳۹۲	۵۵,۰۸	۲,۴	۵,۵	۱۰
ایمان شعار، ۱۳۸۵	۸۳,۰۹	۵۳,۸	۲,۵۷	۴۸,۶
Hafez,2000	۶۷	۲۴	۴,۹	۲
Hey et al, 1968	۵۸,۳	۸	-	-
Blench,1969	۳۹,۱	۲۷	۳,۱	۳۸
Simons *et a*l, 1969	۳۱,۴	۴۱	۶,۶۶	۳۳,۲
Yang,1981	۵۷	۵,۵	۴,۶۴	۷,۲
Chang,1985	۶۰	۱۱	۴,۵	۱۰
Hancu et al, 1988	۵۹,۱	۹,۵	۴,۸۷	۲,۶

نتیجه گیری

در جدول (۱) میزان دقت معادلات رژیم رودخانه بابلرود (معادلات ۸ و ۹) به ازای دبی غالب برابر ۱۲۵/۲۹ متر مکعب در ثانیه با سایر معادلات رژیم موجود در مورد رودخانه های ماسه ای مقایسه شده و درصد خطای هر یک نسبت به مقادیر مشاهداتی ارائه شده است. همان طور که در جدول (۱) مشاهده می شود معادلات رژیم به دست آمده از معادله توان واحد جریان توسعه یافته برای تخمین مقادیر عرض و عمق رودخانه بابلرود دقت بسیار خوبی دارند، با توجه به مقادیر تخمین زده شده ، دقت محاسبات برای پیش بینی عرض رودخانه بابلرود دارای متوسط خطای مطلق ۱۱٪ و جذر میانگین مربع های خطایی برابر RMSE= ۴,۷۶ است. همین مطلب در مورد پیش بینی مقدار عمق رودخانه بابلرود به صورت متوسط خطای مطلق ۰,۹۵٪ و جذر میانگین مربع های خطایی برابر RMSE= ۰,۴۵ می باشد. ، ولی معادلات رژیم تجربی و معادلات رژیم نیمه تئوری که از آن جمله می توان به معادلات سیمونز (۱۹۶۹) و بلنچ (۱۹۶۹) اشاره کرد، به علت ماهیت تجربی و همخوان نبودن با شرایط اقلیمی منطقه درصد خطای زیادی دارند در حالی که طبق نتایج ارائه شده در جدول (۱) معادلات رژیم استدلالی که با معادله به دست آمده در این

تحقیق هم نوع هستند، دقت خوبی دارند که از آن جمله می توان به معادلات یانگ (۱۹۸۱) و چانگ (۱۹۸۸) اشاره کرد. در این تحقیق با توجه به این نکته که آب در حالت طبیعی در رودخانه ها زلال نیست و مخلوط آب و رسوب در آبراهه جریان دارد، معادله توان واحد جریان با در نظر گرفتن اثر پارامترهای غلظت مواد رسوبی موجود در جریان و سنگینی نسبی ذرات معلق توسعه یافت. با توجه به این معادله، توان واحد جریان رودخانه تابعی از چگالی آب، چگالی مستغرق ذرات رسوب، سنگینی نسبی ذرات رسوب، غلظت وزنی ذرات رسوب معلق، دبی جریان آب، شیب طولی آبراهه، شتاب ثقل و قطر مؤثر ذرات رسوب خواهد بود. از آن جا که معادلات رژیم رودخانه بابلرود از روش برازش منحنی بر داده های صحرائی این رودخانه محاسبه شده است، بنابراین برای کنترل میزان دقت این معادلات از دبی غالب به عنوان داده ای که در استنتاج معادله رژیم نقش نداشته است، استفاده شده است.

طبق صحت سنجی و مقایسه انجام شده در جدول (۱) چنین نتیجه گیری می شود که معادلات رژیم تجربی و معادلات رژیم نیمه تئوری برای تخمین عرض و عمق پایدار در رودخانه های واقع در اقلیم ایران دقت کمی دارند. علت اصلی این خطای زیاد، ماهیت تجربی معادلات است زیرا این معادلات بر ای اقلیم های خاصی تهیه شده اند که با شرایط حاکم در ایران همخوانی خوبی ندارند. علت دیگر دقت کم این معادلات مبانی علمی آنها است، زیرا بر اساس فرضیه ها این معادلات، یک آبراهه زمانی در حالت رژیم است که شیب و سطح مقطع آن در شرایط تعادل قرار داشته باشد و فرسایش یا رسوب گذاری در آن رخ ندهد. بنابراین این معادلات در مدل سازی فرآیند رسوبی و چرخه رسو بگذاری و فرسایش در آبراهه های رسوبی ضعف دارند. از طرف دیگر، با توجه به مقایسه انجام شده ملاحظه می شود که معادلات رژیم استدلالی دقت خو بی دارند. دلیل موفقیت این مدل ها در این است که تئوری های ارائه شده برای این معادلات دارای ریشه های قوی و مستدل است و به علت مدل سازی فرآیند رسوبی– هیدرولیکی رودخانه بر اساس شاخص های جریان از جامعیت بیشتری بهره‌مند هستند و به علت دخیل نبودن پارامترهای اقلیمی، محدود به یک منطقه خاص نیستند. به طور مثال یانگ (۱۹۸۱) نظریه حداقل توان واحد جریان در واحد وزن آب را با این مضمون که زمانی یک کانال پایدار است که کار انجام شده در واحد زمان برای واحد وزن آب مینیمم شود، مطرح کرده است. بنابراین رابطه ارائه شده توسط این محقق به خو بی توان جریان رودخانه و اندرکنش نیروی برشی آب با مقاومت بستر و در نهایت تعادل شکل آبراهه را مدل کرده است. از آن جا که ابعاد آبراهه به حجم دبی بالادست و انرژی مصرفی به وسیله جریان آب بستگی دارد، این نظریه به خو بی روند توسعه مورفولوژی رودخانه ها را توضیح می‌دهد و در نتیجه مقادیر به دست آمده از آن برای تخمین ابعاد رژیم رودخانه از دقت خوبی بهره‌مند می‌باشند.

منابع

۱. اکبری، د. خلیلی، د. زند پارسا، ش. جوان، م. ۱۳۸۴ . بررسی قابلیت کاربرد معادلات رژیم در طراحی مجاری آبرفتی منطقه کامفیروز استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۴): ۱۰ ص.

۲. افضلی مهر، ح.، حیدرپور، م .فرشی، س .ح .۱۳۸۵ . تئوری رژیم و کاربرد آن برای جریان های یکنواخت و غیر یکنواخت، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰ (۱): ۱-۱۳.

۳. ایمان شعار، ف. ۱۳۸۵. بررسی معادلات رژیم در رودخانه های کرج و سیستان، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

۴. پیرستانی، م.، رضایی، ن. طباطبایی، م. ۱۳۷۸. تعیین معادله رژیم در حوضه های آبرفتی رودخانه سپیدرود، سومین کنفرانس هیدرولیک. ایران.

۵. قربانی، م، ص. باقری، ع. ۱۳۹۲. بررسی معادلات رژیم در رودخانه بابلرود، پایاننامه کارشناسی ارشد عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.

۶. قنبرپور، ع. اکبری، د. قربانی زاده، ح. ۱۳۸۹. بررسی معادلات رژیم در مجاری آبرفتی در استان مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.

۷. طاهرشمسی، ا. ایمان شعار، ف. ۱۳۸۹. تعیین معادلات رژیم رودخانه بر اساس معادله توان واحد جریان. نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری- دانشکده فنی، دوره ۴۴ ، شماره ۱، از صفحه ۷۳ تا ۸۱,

۸. عبدالحسینی، م. افضلی مهر، ح. مصطفی زاده فرد، ب. ۱۳۸۵ . ارائه معادلات رژیم برای رودخانه کاج. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه ، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

9. Afzalimehr. H. and Anctil. F. 2000. Acceleration shear velocity in gravel-bed channels. J. Hydro. Sc., No.7, 37-44.

10. Blench. T. 1957. Regime behavior of canals and rivers. Butterworths, Sci. Pub. London. PP: 429-444.

11. Chow, V. T. 1959. Open channel hydraulic. Chapter 5, McGraw-Hill Pub. Co., New York.

12. Chang, H. H. 1988. Fluvial processes in river engineering. John Wiely & Sons Ltd, New York.

13. Farias, H. D., Pilian, M. T., Matter, M. T. and Pece, F. J. 1998. Regime width of alluvial channels. ICHE,Cottbus, PP. 1-21.

14. Hafez, Y. I. 2000. Response theory for alluvial river adjustment to environmental and man-made changes. Journal of Environmental Hydrology, Vol. 8, No. 14.

15. Henderson, F. M. 1966. Open channel flow. Chapter 10, McMillan-Collier Pub. Co., New York.

16. Millar, R.G. 2005. Theortical regime equations for mobile gravel-bed rivers with stable banks, Geomorphology, Sience direct (Elsevier), 64: 207-220.

17. Swamee, P. K., Sharma, N and Dwivedi, A. 2008. Lacey regime equations for river Brahmaputra. Journal of Hydraulic Research. 46(5): 707-710

18. Raudkivi, A. J. 1998. Loose boundary hydraulics. A. A. Balkema Pub. Co., PP. 182-202, Netherlands.

19. Streeter, V. L., Wylie, E. B. and Bedford, K. W. 1998. Fluid mechanics. 9th. Ed. Chapter 5, McGraw-Hill Pub. Co., London.

Determination of River Regime Equations Based on Stream Power Equation

abstract

In this paper, river regime equations through developing of unit stream power equation and based on data of babolrood River were derived. For this purpose, with the review of previous research, the principles and concepts of regime and hydraulic geometry of the river is mentioned. then, methods and out-comes of former researchers are classified. On the next step, based on dimensional analysis, unit stream power as a function of river flow parameters including suspended sediment load and specific gravity of particles is developed. Using the unit stream power equation and babolrood River' data, regime equations are derived for these rivers. Finally, the results derived from regime equations are compared with the field data and regime equations of the other researchers. A good agreement was observed between field data and values resulted from developed regime equations in this research. But the equations of the experimental regime and the equations of the semi-theoretical regime, among them we can mention the equations of Simmons (1969) and Blanch (1969), due to their experimental nature and not matching with the climatic conditions of the region, have a high percentage of error. According to the estimated values, the accuracy of the calculations for predicting the width of Babolrood river has an average absolute error of 11% and the root mean square error is equal to RMSE=4.76. The same thing about the prediction of the depth of the Babolrood river with an average absolute error of 0.95% and the root mean square error is equal to RMSE = 0.45.

Key words

Babolrood River؛ dimensional analysis؛ Hydraulic Geometry؛ Regime Equations؛ Unit Stream Power؛