شبیه‌سازی انتقال بار کل در رود: مطالعه‌ی موردی، رود دز

مجتبی ره نورد[1]، محمد ره نورد[*2]، محمد محمودیان شوشتری[3]، ناصر طالب بیدختی[4]، حمیدرضا غفوری[5]

تاریخ دریافت: 90/7/24 تاریخ پذیرش: 91/1/19

چکیده

با توجه به این که کشور ایران، بخصوص استان خوزستان، دارای رودهای بسیاری می باشد، و با توجه به گسترش سدسازی بر روی آن‌ها، اهمیت براورد حجم بار معلق رودها از اهمیت دوچندانی برخوردار می‌شود. در این مقاله، شبیه سازی پدیده‌ی انتقال بار معلق در بازه‌ای از رودخانه‌ی دز (بازه‌ی بین ایستگاه حرمله تا بامدژ) با کاربرد شبیه‌های Gstars 2.1 و Hec-Ras 4.0 مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام این فعالیت، شبیه سازی بازه‌ی مورد نظر، مقایسه نتایج دو شبیه ذکر شده با یکدیگر و با حالت واقعی، انجام تحلیل حساسیت شبیه، و در نهایت نتیجه گیری مناسب جهت برآورد نرخ انتقال بار معلق در ناحیه‌ی مورد مطالعه می باشد.

واژه های کلیدی: شبیه سازی، انتقال بار معلق، Gstars 2.1، Hec-ras 4.0

[1] - بخش مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کازرون، کازرون، ایران.
[2] - بخش مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سروستان، سروستان، ایران
[3] - استاد بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.
[4] - استاد بخش راه و ساختمان و محیط زیست، رییس مرکز توسعه وتحقیقات پایدار محیط زیست ، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
[5] - استاد بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
*- نویسنده‌ی مسؤول: Email:mohamad.rahnavard@yahoo.com

مقدمه

هیدرولیک انتقال بارهای کف و معلق رود به وسیله‌ی دانشی است که چگونگی حرکت، فرسایش و رسوبگذاری مواد رسوبی را در نهرها و رودها مورد بحث قرار می‌دهد. از آن جا که خسارات وارده به وسیله‌ی بارهای مزبور رودها به طبیعت، کشاورزی و سازه‌های آبی ساخته شده در یا کنار رودخانه‌ها بسیار گسترده، وسیع و زیان‌آور است، شناختن دقیق آن‌ها از اهداف مهم مهندسان هیدرولیک می‌باشد.

برای جلوگیری، و یا به کمینه رساندن زیان‌های وارده باید سه فرایند فرسایش، انتقال و ته‌نشینی رسوبی را مورد مطالعه قرار داد. این فرایندها دارای پیچیدگی خاصی می‌باشند، زیرا عوامل مؤثر در به وجود آوردن آن‌ها بسیار زیاد است. در فرایند فرسایش، ذرات خاک به وسیله‌ی ضربه‌ی قطره‌های باران و یا به وسیله‌ی نیروهای به وجود آمده بر اثر حرکت آب، از بستر خود جدا می‌شوند. سپس ذرات مزبور در آستانه‌ی حرکت قرار می‌گیرند، و در صورتی که نیروهای وارد شده از سوی آب بیشتر از نیروهای مقاوم باشند، ذرات همراه با جریان آب منتقل می‌شوند. شرایط شروع آستانه‌ی حرکت ذرات و میزان انتقال آن‌ها به خصوصیات مواد بار معلقی چون اندازه، شکل و چگالی آن‌ها و همچنین به ویژگی‌های جریان نظیر سرعت، عمق و نیز به شکل نهر یا رودخانه نظیر شعاع هیدرولیکی، شیب و غیره بستگی دارد. چنانچه در مسیر انتقال، به هر دلیلی، نیروهای وارد شده از طرف آب کاهش یابد، ذرات معلق ته‌نشین خواهند شد.

با توجه به اهمیت پدیده‌ی انتقال بار معلق، نیازمند آگاهی و پیش‌بینی از میزان حجم مواد جابه‌جا شده، تغییرات بستر و... می‌باشیم. برای دسترسی به این آگاهی می‌توان از روابط تجربی موجود، از نمونه‌های آزمایشگاهی، و یا از طریق شبیه‌های عددی موجود که قابلیت شبیه سازی انتقال مواد معلق و پیش بینی آن را دارند، استفاده کرد. در این راستا از دو شبیه عددی Gstars 2.1 و Hec-ras 4.0 استفاده شد و نتایج حاصله از آن‌ها با داده‌های میدانی مقایسه گردید. مراحل انجام فعالیت به شرح زیر است:

- مطالعه و جمع‌آوری تحقیقات و روابط مورد نیاز برای بررسی و پیش‌بینی پدیده‌ی انتقال بار معلق؛
- جمع آوری و پردازش و طبقه بندی اطلاعات و فراسنج‌های مورد نیاز برای شبیه سازی بازه‌ی مورد نظر و انجام آن؛
- واسنجی و صحت سنجی شبیه و مقایسه با آمارهای موجود؛
- جمع بندی مطالب و ارائه‌ی الگوی مناسب انتقال بار معلق در بازه‌ی موردنظر.

مواد و روش‌ها

مطالعات انجام شده در مورد رود دز و دیگر رودها

شوریان و همکاران (1388) در پژوهشی معادلات مناسب را جهت برآورد تراز بار معلق رود دز تعیین

کردند. در این پژوهش معادلات انتقال بار معلق در ایستگاه‌های رود دز در جدول1 آورده شده اند:

جدول 1- معادلات مناسب انتقال بار معلق رود دز

نام ایستگاه	معادله‌ی انتقال بار معلق
دزفول	$Q_s = 2.4516Q_w^{1.197}$
حرمله	$Q_s = 0.0513Q_w^{2.072}$
بامدژ	$Q_s = 0.0927Q_w^{1.999}$
زورآباد	$Q_s = 0.655Q_w^{2.1761}$

Q_s= بار معلق برحسب ton/day (تن بر روز)
Q_w= بده برحسب m^3/s (متر مکعب بر روز)

نجفی (1386) به بررسی رسوبدهی حوضه‌ی آبخیز سد دز با استفاده از سامانه‌ی هوشمند شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخت. نتایج نشان دهنده‌ی این واقعیتند که از میان روش‌های تجربی شوکلیچ، بروکس و توفالتی، نمی توان یکی را به عنوان بهترین و مناسبترین انتخاب نمود، چرا که، هر یک از روش‌ها در هر ایستگاه نمونه‌برداری، نتایج متفاوتی را ارائه می‌نماید. نتایج حاصل از کاربرد شبیه‌های شبکه عصبی مصنوعی در شبکه‌ی رود دز دلالت بر توانایی این شبیه‌ها در برآورد بار معلق رود را داشته، و بر اساس معیارهای متداول نتایج قابل قبولی ارائه نموده اند.. رحمانی (1386) با برآورد بار بار معلقی با استفاده از شبیه‌های تجربی مبتنی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در رود کرج به این نتیجه رسید که برای بار بستر، معادله‌ی فان‌راین، و برای بار معلق، معادله‌ی اینشتین برآورد منطقیتری را ارئه می‌دهند.

سلینو و اساید (2002) Gstars 2.0 را برای مطالعه راه حل‌های مهندسی در کاهش رسوبگذاری در رود درینس، که یک شاخه فرعی از رود رن در سویس می باشد، به کار بردند. نتایج محاسبه شده از Gstars 2.0 در مقایسه با آزمایش‌های نمونه‌ی فیزیکی و اندازه گیری‌های صحرایی تأیید شدند. Gstars 2.0 به وسیله‌ی یانگ و همکاران (1998) برای نهر آزمایشگاهی بروش و ولمن (1960) در مورد تغییرات مکان رودشکن (نقاطی که در آن‌ها تغییر ناگهانی شیب اتفاق می افتد) اجرا شد و نتایج به دست آمده با نتایج تجربی مطابقت خوبی نشان دادند.. اتمان و وانگ (2004) شبیه Gstars 2.1 را برای شبیه سازی طرح فرایند سپر شدن رود دجله در پایین دست سد موصل در عراق به کار برده و نشان دادند که شبیه Gstars 2.1 در مقایسه با نتایج اندازه گیری شده به درستی می تواند عمق آبشستگی و تغییرات قطر ذرات رسوب را پیش بینی کند. Gstars 1D به وسیله‌ی کلامپ و همکاران(2005) برای شبیه سازی انتقال غیردایمی بار معلق چسبنده در جریان غیردایمی در آبگذر کالیفرنیا نزدیک نهر پیاسجرو با چندین آب بند در بازه‌ی مورد مطالعه به کار برده شد. مصالح بستر شامل 2% ماسه و 98% لای و رس بود. دستاوردها با نتایج اندازه‌گیری مطابقت خوبی را نشان دادند.

بهرامی و همکاران (1388) به محاسبه‌ی بارهای معلق و کف رود فیروزآباد در محل سد هایقر با استفاده

از روش‌های غلظت سنجی، هیدرولیکی و تجربی (MPSIAC) در قالب GIS پرداختند. در این پژوهش جهت شبیه سازی رود از نرم افزار Hec-ras استفاده شد و با کاربرد روابط موجود بار کل رود محاسبه و با روش تجربی مقایسه گردید. اعلمی و همکاران (1388) برای برآورد تغییرات پایاب سد شهید مدنی، از نرم افزار Hec-ras 4.0 استفاده کردند. در این مطالعه با استفاده از شبیه Hec-ras 4.0، مسأله فرسایش و رسوبگذاری در بستر رود در پایاب آبگیر سد شهید مدنی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهند که معادله‌ی انتقال بار معلق لارسن نتایج قابل قبولتری را در مقایسه با سایر معادلات ارائه می‌کند. همچنین، با توجه به نیمرخ‌های تغییرات بستر، فرسایش بیشتری در نزدیکی سد مشاهده می‌شود، ولی رسوب گذاری در پایین‌دست و انتهای محدوده‌ی مورد مطالعه بیشتر به چشم می‌خورد.

نرم افزار Gstars 2.1 برای محاسبه‌ی بار معلق، از مفهوم لوله‌ی جریان استفاده می‌کند. بنا به تعریف، خط جریان عبارت است از یک خط فرضی در یک لحظه‌ی مشخص، که بر بردارهای سرعت مماس باشد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

رود دز از ناحیه‌های بروجرد و الیگودرز در استان لرستان سرچشمه گرفته و با طی مسافت 415 کیلومتر در بندقیر به رود کارون می پیوندد. شاخه‌های اصلی آن شامل رودهای بختیاری و سزار است، که نخستین از الیگودرز و دیگری از بروجرد روان می‌گردد. شاخه‌ی مزبور در استان لرستان به هم پیوسته و رود دایمی دز را تشکیل می‌دهند که آب آن از برف و باران تأمین می گردد. حوضه‌ی آبخیز رود دز در داخل ارتفاعات و چین خوردگی‌های میانی، بین مختصات جغرافیایی 48°-$9'$ تا 50°-$18'$ طول شرقی و 31°-$35'$ تا 34°-$5'$ عرض شمالی قرار گرفته، مساحت آن 23250 کیلومتر مربع بوده، و از نظر تقسیم بندی کلی آبشناسی ایران جزیی از حوضه‌ی آبخیز خلیج فارس می‌باشد. این حوضه دارای منشأ زمین شناسی جدید بوده و بخش عمده ای از اراضی آن دارای شیب تند است. رود دز در امتداد شاخه‌ی اصلی و در دشت بروجرد دارای شیب متوسط 6 در هزار است که در دشت الیگودرز-ازنا به 20 در هزار می‌رسد. رود مزبوردر مسیر خود و بین شهرهای درود و دزفول با میانگین شیب 7 در هزار، و در امتداد رود بختیاری با میانگین شیب 8 در هزار ادامه مسیر می‌دهد (شکل1).

شکل1- نقشه‌ی مسطحه‌ی رودخانه‌ی دز

داده های مورد نیاز شبیه های ریاضی

برای حل معادلات ریاضی حاکم بر جریان و بارهای معلق و کف در رودها و آبگیر سدها، باید شرایط مرزی شبیه مشخص شوند. این شرایط، داده‌های جریان و بارهای مزبور در مرزهای بالا و یا پایین دست و وضعیت پستی و بلندی یا هندسه شبیه می باشد. مسلماً هرچه دقت داده‌های ورودی بیشتر باشد نتایج حاصل از شبیه نیز دقیقتر خواهد بود. در این بخش داده‌های مورد نیاز در چهار قسمت، شامل داده‌های آبشناسی، هندسی، هیدرولیکی و بار معلق ارائه می گردند.

اطلاعات هندسی

اطلاعات هندسی شامل نقشه‌های مقاطع عرضی می باشند که به وسیله‌ی سازمان آب و برق استان خوزستان در سال 1381 تهیه شده، و پس از آن تا سال 1390 نقشه‌های مقاطع دیگری برداشت نشده اند. نقشه‌های مربوط به مقاطع عرضی رود دز به صورت پرونده‌ی اتوکد عرضه می گردد که در این پرونده تنها نمای مقاطع عرضی و مختصات نقاط X و Y موجود بوده و حتی فواصل بین مقاطع مشخص نشده است. برای رسم مسیر رود، کلیه مقاطع عرضی، که از پایین دست سد دز تا بند قیر می باشند، به صورت مختصات X و Y به برنامه‌ی اتوکد داده شدند که پس از وصل کرن این نقاط مسیر رود مشخص گردید. با استفاده از مختصات جغرافیایی محل ایستگاه‌های حرمله و بامدژ در مسیر رود تعیین، و بازه‌ی مورد مطالعه، که شامل 63 مقطع عرضی بود، مشخص گردید.

ضریب زبری مانینگ

در بررسی‌های انجام گرفته مشخص شد که بیشتر پژوهش‌های انجام شده در مورد رود دز مربوط به بالادست وخود سد دز است که عملاً اطلاعات موجود برای براورد ضریب مانینگ به کار نمی آیند. همچنین، در مورد بار معلق رود دز در پایین دست و در وبازه‌ی مورد نظر پژوهشی صورت نگرفته است که بتوان با استناد به آن‌ها ضرایب مربوط را به دست آورد؛ بنابراین، ضریب مانینگ با استفاده از روابط تجربی بازه ای، به دست آمد(جدول2).

جدول 2- تعیین ضریب مانینگ

رابطه مورد استفاده			
رابطه استریکلر (1923)	$n = 0.047 d_{50}^{\frac{1}{6}}$	$n = 0.036$	$d_{50} = 0.19mm$
کارلسون و لین (1953)	$n = 0.026 d_{75}^{\frac{1}{6}}$	$n = 0.021$	$d_{50} = 0.275mm$
گاردی و راجو (1975)	$n = 0.039 d_{50}^{\frac{1}{6}}$	$n = 0.030$	$d_{50} = 0.37mm$
میپر-پیتر و مولر (1948)	$n = 0.038 d_{90}^{\frac{1}{6}}$	$n = 0.032$	
هاگر (1999)	$n = 0.048 d_{50}^{\frac{1}{6}}$	$n = 0.036$	

d= اندازه‌ی قطر ذرات برحسب mm

آمار و اطلاعات آب سطحی

این اطلاعات شامل آمار بده-اشل روزانه و دمای آب رود می باشند. با توجه به این که بازه‌ی مورد مطالعه شامل دو ایستگاه آبسنجی حرمله در بالادست و بامدژ در پایین دست می باشد، و با توجه به آمار موجود ایستگاه حرمله، کلیه‌ی آمار مورد نیاز از این ایستگاه برداشت شده است.

تغییرات دمای آب

یکی از اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌های Gstars 2.1 و Hec-ras ، بار معلق رود و دمای آن است. با توجه به این که شمار اندازه گیری‌های دمای آب از رود زیاد نمی باشد (طی سال‌های 1345 تا 1388، 269 مورد اندازه گیری شده است)، از میانگین دمای آب رود، که برابر با 20 درجه‌ی سانتی گراد است، برای شبیه استفاده گردید.

بده‌ی جریان روزانه‌ی رود

از آن جا که فرایند شبیه سازی در رود دز به آمار 30 ساله و 20 ساله‌ی بده‌ی روزانه نیازمند می باشد، همان طور که گفته شد، با توجه به وجود ایستگاه حرمله در بالادست بازه‌ی مورد نظر، از آمار این ایستگاه استفاده شده است. در این ایستگاه آمار بده‌ی روزانه از سال

1357 تا 1388 موجود است. متأسفانه، در این 30 سال، آمار بده- اشل بطور کامل برداشت نشده و دارای خطای فراوانی می‌باشد. کل روزهایی که آمار بده- اشل آن بطور صحیح برداشت شده برابر با 6217 است. آمار فوق با استفاده از برنامه‌ی Excel به صورت رابطه‌ی $H=c_1Q^{c2}$ درآورده شد تا بتوان از آن در شبیه Gstars 2.1 استفاده کرد(شکل2).

از آن جا که در نرم افزار Excel وایازی توانی به صورت خطی محاسبه می شود، بنابراین رابطه‌ی فوق به صورت رابطه‌ی (2) برای Excel تعریف شده است :

$$H = C_1 Q^{C_2} \quad (1)$$

$$\ln H = \ln\left(C_1 Q^{C_2}\right) \rightarrow \ln H = \ln C_1 + C_2 \ln Q \rightarrow y = a + bx \quad (2)$$

$$y = \ln H \quad (3)$$

$$x = \ln Q \quad (4)$$

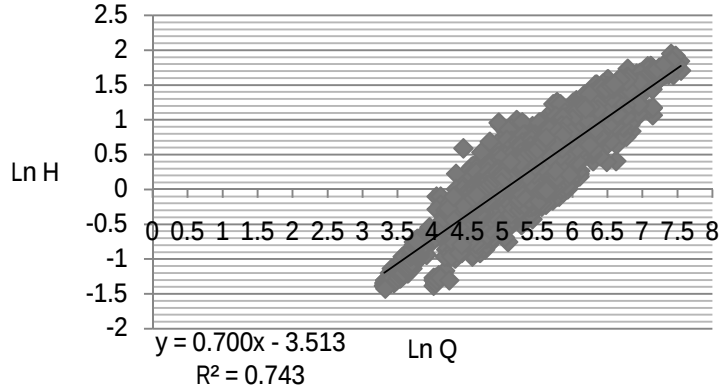
$$a = \ln C_1 \quad (5)$$

$$b = C_2 \quad (6)$$

$$a = -3.513 \rightarrow C_1 = 0.029807 \quad (7)$$

$$b = 0.700 \rightarrow C_2 = 0.700 \quad (8)$$

$$H = 0.029807 Q^{0.700} \quad (9)$$



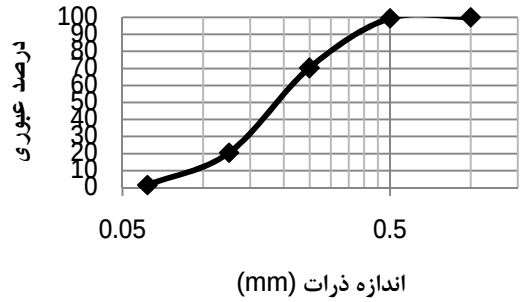
در رابطه‌ی فوق، H برحسب متر و Q بر حسب متر مکعب برثانیه می باشد.

شکل 2- رابطه‌ی همبستگی بین LnQ و LnH

6 - 3 - دانه بندی مصالح بستر رود

دانه بندی مواد بستر معرفی شده به شبیه بر اساس آمار موجود در ایستگاه حرمله می باشد که به وسیله‌ی بخش معاونت مطالعات پایه‌ی سازمان آب و

برق استان خوزستان تهیه شده است. دانه بندی مزبور تقریباً میانگین دانه بندی سال‌های اندازه گیری شده می باشد.



شکل 3- منحنی دانه بندی ایستگاه حرمله.

واسنجی و مقایسه نتایج شبیه ها

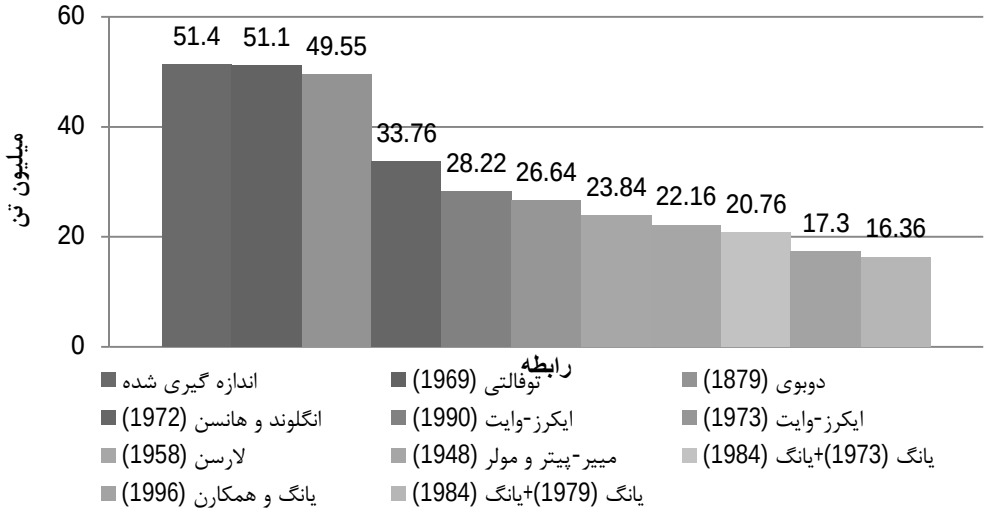
آمار 30 ساله‌ی اخیر بار کل رود دز به سه گروه با دوره‌های 10 ساله (1388-1379)، 20 ساله (1388-1369) و 30 ساله (1388-1359) تقسیم شد، و نتایج شبیه Gstars 2.1 با آن مقایسه می شود تا بهترین رابطه برای شبیه سازی انتقال بار معلق مشخص گردد. از آن جا که برنامه Hec-ras تنها تا مدت 20 سال را با گام زمانی یک روزه می تواند شبیه سازی کند، بنابراین، آمار مربوط به مدت مزبور مبنای کار قرار گرفته است. نتایج این شبیه سازی با آن چه از کاربرد شبیه Gstars 2.1 و آمار 20 و 30 ساله به دست می آید مقایسه می گردد. نتایج حاصله از شبیه سازی در جداول 6-3 و اشکال 5-4 آورده شده اند.

جدول 3- میزان بار کل تجمعی خروجی از بازه طی دوره‌های زمانی متفاوت

سال آماری	بار کل تجمعی خروجی از بازه بر حسب میلیون تن
20 سال (1388-1369)	51/4
30 سال (1388-1359)	71/5

جدول4- نتایج مربوط به رسوب تجمعی 20 ساله خروجی از بازه با کاربرد شبیه Gstars 2.1.

رابطه	رسوب تجمعی خروجی از بازه بر حسب میلیون تن	% تخمین شبیه	% میزان خطا
توفالتی (1969)	51/10	99/42	-0/58
دوبوی (1879)	49/55	96/30	-3/70
انگلوند و هانسن (1972)	33/76	65/68	-34/32
ایکرز-وایت (1990)	28/22	54/90	-45/10
ایکرز-وایت (1973)	26/64	51/83	-48/17
لارسن (1958)	23/84	46/38	-53/62
مییر-پیتر و مولر (1948)	22/16	43/11	-56/89
یانگ (1973)+ یانگ (1984)	20/76	40/39	-59/61
یانگ و همکاران (1996)	17/30	33/66	-66/34
یانگ (1979)+ یانگ (1984)	16/36	31/77	-68/23



شکل 4- مقایسه برآورد بار رسوب آماری 20 ساله با بار رسوب محاسباتی شبیه Gstars 2.1.

جدول 5- نتایج مربوط به رسوب تجمعی 30 ساله خروجی از بازه با کاربرد شبیه Gstars 2.1.

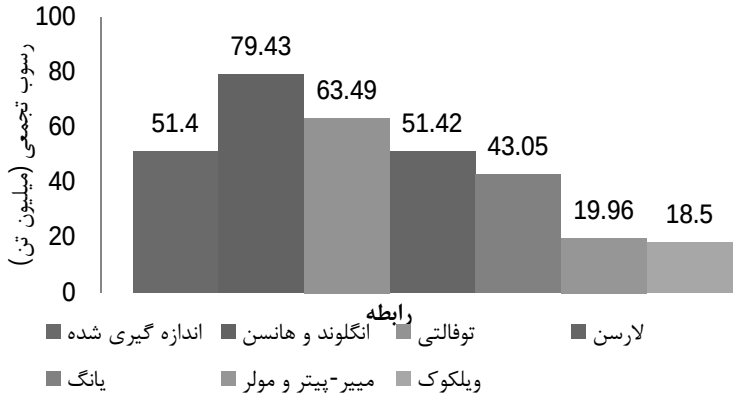
رابطه	بار معلق تجمعی خروجی از بازه، میلیون تن	% تخمین شبیه	% میزان خطا
دوبوی (1879)	74/22	103/80	+3/80
توفالتی (1969)	73/00	102/10	+2/10
انگلوند و هانسن (1972)	50/44	70/55	-29/45
ایکرز-وایت (1973)	45/20	63/22	-36/78
لارسن (1958)	37/46	52/39	-47/61
مییر- پیتر و مولر (1948)	37/04	51/80	-48/20
یانگ (1979) + یانگ (1984)	29/79	41/66	-58/34

تمام داده‌های موجود که به وسیله‌ی شبیه شبه دوبعدی Gstars 2.1 واسنجی و دقت سنجی شده است، به شبیه یک بعدی Hec-ras نیز داده شده تا علاوه بر شبیه سازی به وسیله‌ی این شبیه و ارائه‌ی نتایج، مقایسه‌ای بین این دو شبیه صورت گیرد. با توجه به این که شبیه Hec-ras از شبیه Gstars 2.1 کاربری آسانتری دارد، و همچنین شبیه از توانایی شبیه سازی پیچ وخم رود برخوردار بوده و می تواند و ضریب افت این مورد را منظور دارد، بنابراین بازه‌ی مورد نظر از رود برای شبیه Hec-ras تعریف شد.

برخلاف شبیه Gstars 2.1، شبیه Hec-ras تمام داده‌های ورودی و خروجی را به گونه‌ی جدولی و نیز به صورت طرح واره نشان می دهد.

جدول 6- نتایج مربوط به رسوب تجمعی 20 ساله خروجی از بازه با کاربرد شبیه Hec-ras 4.0.

رابطه	بار معلق تجمعی خروجی از بازه بر حسب میلیون تن	% تخمین شبیه	% میزان خطا
انگلوند و هانسن (1972)	79/43	154/53	+54/53
توفالتی (1969)	63/49	123/52	+23/52
لارسن (1958)	51/42	100	0
یانگ	43/05	83/75	-16/25
میپر-پیتر و مولر (1948)	19/96	38/83	-61/17
ویلکوک	18/50	35/99	-64/01



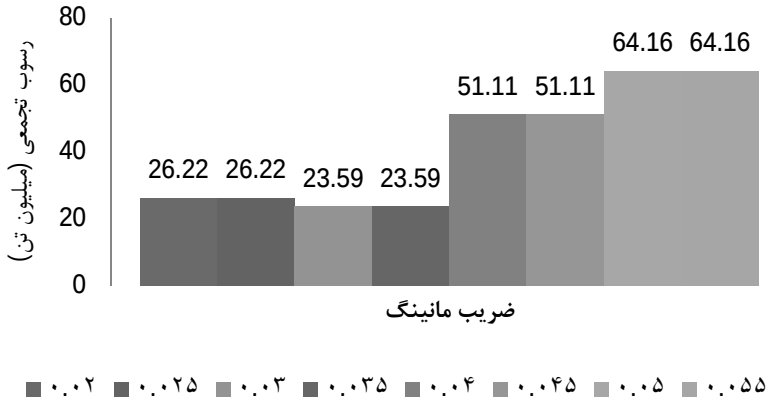
شکل 5- رسوب تجمعی خروجی از بازه با کاربرد شبیه Hec-ras 4.0.

حساسیت سنجی شبیه Gstars 2.1

در این قسمت حساسیت شبیه Gstars 2.1، نسبت فراسنجهایی نظیر ضریب مانینگ، ضریب ضخامت لایه فعال، دمای آب و تعداد لوله‌های جریان بررسی شده است.

ضریب مانینگ یکی از حساسترین و مهمترین فراسنجها برای محاسبه و شبیه سازی پدیده‌ی انتقال رسوب می باشد. مقدار برآورد شده‌ی ضریب مانینگ، همان طور که در برآورد حجم بار معلقات تأثیرگذار است، در تغییرات بستر نیز مؤثر می باشد.

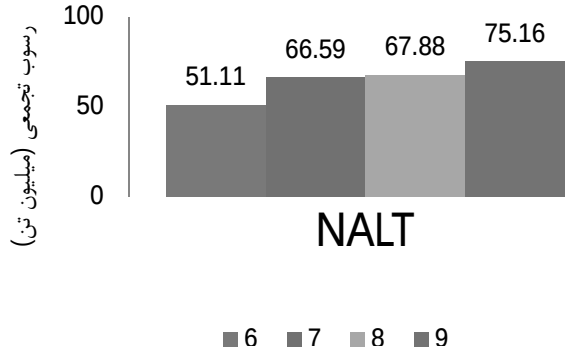
شکل (6) مشخص می‌کند که با افزایش ضریب مانینگ حجم بار کل انتقالی افزایش می‌یابد. همچنین، میزان تغییرات ضریب مانینگ برای مشاهده تغییرات نباید کمتر از 0/01 باشد. در صورت تغییرات کمتر از حد ذکر شده، تغییری در حجم بار معلق و تغییرات بستر مشاهده نمی‌شود.



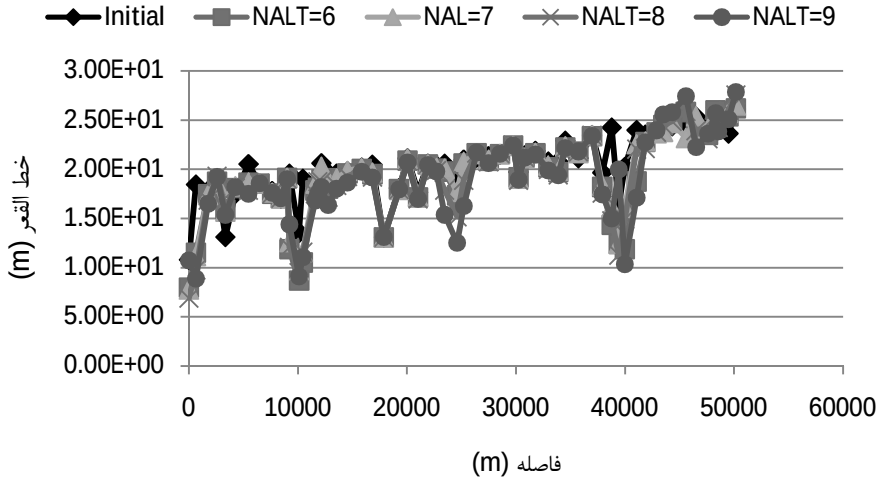
شکل 6- مقایسه برآورد بارکل با ضریب‌های مانینگ متفاوت با کاربرد شبیه Gstars 2.1

بر پایه‌ی نظریه‌ی بنت و نوردین، بستر به دو لایه برای فرسایش، و سه لایه برای رسوبگذاری تقسیم می‌گردد. لایه بالایی، که شامل مواد بستر برای انتقال است، لایه فعال نامیده می‌شود. در زیر لایه‌ی فعال، لایه‌ی غیر فعال قرار دارد که برای ذخیره سازی مواد بستر تعریف شده است. در زیر این دو لایه، لایه‌ی اصلی بستر، که غیر قابل فرسایش است، قرار دارد. شبیه Gstars 2.1 ضخامت لایه‌ی فعال را به صورت حاصل‌ضرب یک ضریب در میانگین هندسی ذرات بار معلق بزرگترین بخش ذرات موجود محاسبه می‌کند. این ضریب به وسیله‌ی کاربر به شبیه معرفی می‌شود. با توجه به این که منحنی دانه بندی ثابت است، بنابراین، با تغییر این ضریب می‌توان ضخامت لایه‌ی فعال را تغییر داد. این ضریب در شبیه با نام NALT معرفی می‌شود.

با توجه به شکل‌های 8-7 مشاهده می‌گردد که انتخاب عمق لایه‌ی فعال تأثیر بسزایی در برآورد حجم بار کل منتقل شده، و پیش بینی تغییرات تراز بستر دارد. ملاحظه می‌شود که با افزایش ضریب ضخامت لایه‌ی فعال، مقدار بار کل تجمعی خارج شده از بازه‌ی مورد نظر افزایش می‌یابد.



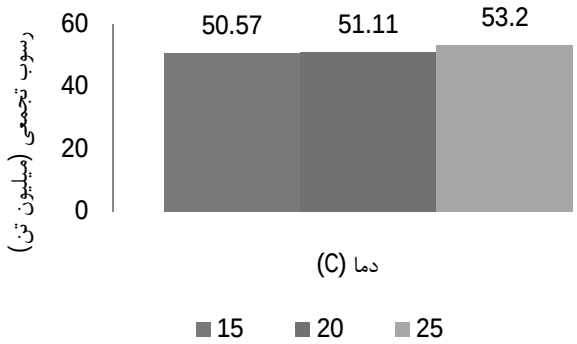
شکل 7- مقایسه‌ی برآورد بار کل با ضریب NALT متفاوت با کاربرد شبیه Gstars 2.1.



شکل 8- مقایسه‌ی تغییرات خط القعر اولیه با خط القعر حاصل از NALTهای متفاوت با کاربرد شبیه.

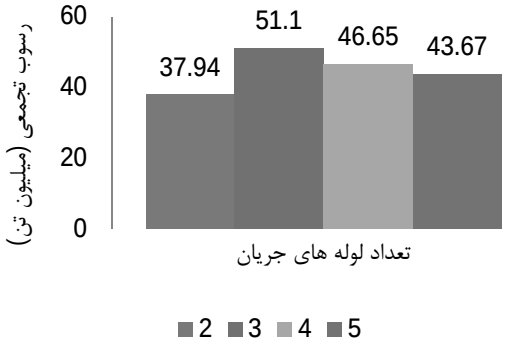
دمای آب به عنوان یک کمیت تأثیرگذار در مبحث انتقال بار معلق و بخصوص در مورد رابطه‌ی توفالتی می‌باشد. تغییر در دما باعث تغییر در گرانروی آب، و در نتیجه تغییر در مقدار سرعت سقوط ذرات در آب می‌گردد.

با توجه به شکل9 مشخص می شود که با افزایش دما، میزان بار کل خروجی از بازه افزایش می‌یابد؛ با این وجود، شبیه حساسیت زیادی را نسبت به دمای آب نشان نمی‌دهد. همچنین، بهترین دما، که نزدیکترین جواب را با آمار موجود دارد، دمای اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه می‌باشد.



شکل 9- مقایسه برآورد بار کل تجمعی با دماهای متفاوت آب با کاربرد شبیه Gstars 2.1.

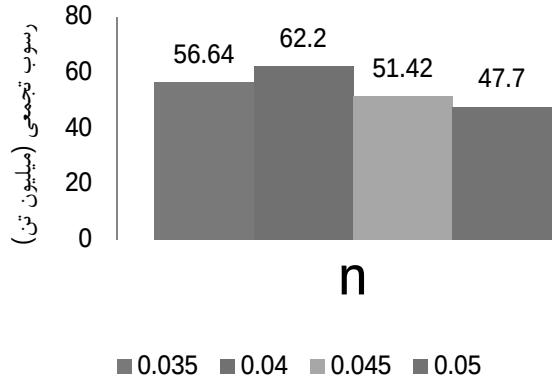
برای مشخص کردن حساسیت شبیه به تعداد لوله‌های جریان، شبیه با تعداد لوله‌های مختلف اجرا شد، که نتایج آن‌ها در شکل 10 ارائه شده اند. با توجه به شکل مزبور مشخص می گردد که تعداد لوله‌های جریان برای محاسبه‌ی میزان بار معلق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین، این نکته نیز قابل ذکر است که، انتخاب تعداد لوله جریان بیشتر، ضامن به‌دست آوردن جواب دقیقتر نمی‌باشد.



شکل10- تأثیر شمار لوله‌های جریان در میزان بار کل خروجی از بازه.

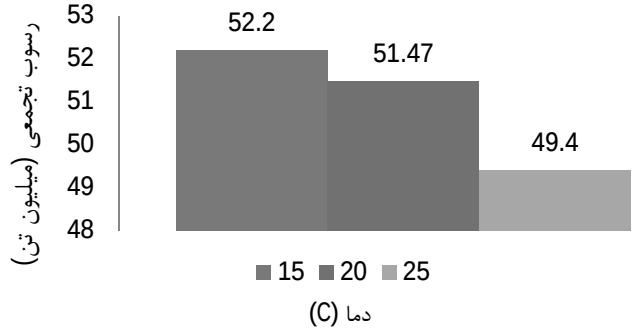
حساسیت سنجی شبیه Hec-ras 4.0

در شکل 11 حجم بار کل خروجی از بازه برای ضریب‌های مانینگ متفاوت مقایسه گردیده است. ملاحظه می‌شود که ضریب مانینگ 0/045 نزدیکترین جواب را به واقعیت دارد.



شکل 11- مقایسه برآورد بار کل با ضریب‌های مانینگ متفاوت با کاربرد شبیه Hec-ras 4.0.

دمای آب در رابطه‌ی لارسن به عنوان یک فراسنج که تأثیر مستقیم بر محاسبه حجم انتقال بار معلق داشته باشد، به شمار نمی آید. با این حال، این فراسنج بر سرعت برشی بحرانی، و سرعت سقوط ذرات، تأثیر می‌گذارد. در شکل 12 حساسیت شبیه نسبت به دمای آب نشان داده شده است. همان‌طور مشخص است، شبیه نسبت به دمای آب حساسیت زیادی را نشان نمی‌دهد؛ و دمای 20 درجه سانتی‌گراد مناسبترین دما در این شبیه سازی می باشد.



شکل 12- مقایسه برآورد بار کل با دماهای متفاوت آب با کاربرد شبیه Hec-ras 4.0.

نتیجه‌گیری

از بررسی‌هایی که در این مقاله با شبیه شبه دوبعدی Gstars 2.1 و شبیه یک بعدی Hec-ras 4.0 انجام گردید می توان به نتایج زیر رسید :

- گزینش شبیه از نظر نوع روش برای تعیین بار معلق از اهمیت خاصی برخوردار است. شبیه شبه دوبعدی نسبت به شبیه یک بعدی در شبیه سازی پدیده‌ی انتقال بار معلق و برآورد حجم بار معلق از دقت بیشتری برخوردار است. با این که شبیه Gstars 2.1 دو بعدی است، اما در مقایسه با شبیه Hec-ras 4.0 از لحاظ زمان شبیه سازی، زمان بسیار کمتری را صرف این عملیات می کند، که این امر هم در وقت و هم در

هزینه بسیار اهمیت دارد.

- گزینش نوع رابطه‌ی انتقال بار معلق از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. انتخاب یک رابطه‌ی صحیح که با شرایط هیدرولیک و بار معلق در طرح مورد نظر تطبیق داشته باشد. احتمالاً مهمترین مسأله در شبیه سازی است؛ بنابراین بهتر است برای شبیه سازی از شبیه‌هایی استفاده شود که دارای معادلات انتقال بار معلق بیشتری باشند. در مورد رود دز، با استفاده از شبیه Gstars 2.1، رابطه‌ی توفالتی از دقت بالاتری نسبت به سایر روابط برخوردار است؛ با استفاده از شبیه Hec-ras 4.0، رابطه‌ی لارسن بهترین جواب را داشته است، لکن در مجموع، میزان خطای رابطه‌ی توفالتی نسبت به روابط دیگر کمتر می باشد.

- اندازه نگرفتن فراسنج‌هایی چون منحنی دانه بندی و دما و همچنین براورد با دقت پایین اطلاعاتی مانند ضریب مانینگ وتعریف ژرفای لایه‌ی فعال مناسب، باعث به وجود آمدن خطاهای زیادی در شبیه سازی می گردد. ضریب مانینگ تعریف شده برای رود دز در بازه‌ی مورد نظر برابر با 0/045 می‌باشد.

- با استفاده از نتایج به دست آمده از شبیه ریاضی، حجم رسوبگذاری در بازه‌ی حرمله تا بامدژ از رود دز برابر با 2/5 میلیون تن در سال برآورد شده است.

- نتایج نشان می‌دهند که شبیه Gstars 2.1در مقایسه با شبیه‌یک بعدی Hec-ras 4.0 برای شبیه‌سازی تغییرات بستر رود و مقاطع عرضی آن، بسیار کارآمدتر می‌باشد.

منابع

1. اعلمی، م. ت. ، احمدیان، م. و تیموری‌مقدم، ع. ، 1388، برآورد تغییرات پایاب سد شهید مدنی با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS 4.0، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رود، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
2. رحمانی، الف. ، 1386، برآورد بار معلقی با استفاده از شبیه‌های تجربی مبتنی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در رود کرج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
3. شوریان، م. ، مصباحی، ج. و محمودی کردستانی، س. ، 1388، تعیین معادلات مناسب جهت برآورد تراز بار معلق رود دز، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، تهران.
4. نجفی، م. ،1386، مطالعه و بررسی بار معلق‌دهی حوضه‌ی آبخیز سد دز با استفاده از سامانه هوشمند شبکه‌های عصبی مصنوعی، وزارت نیرو، شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان.
5. M. Cellino, and K. Essyad, 2002, Reduction of Sediment Deposition by Introducing an Artificial Stony Bank. A Practical Example in Upper Rhon River, Switzerland, Proceeding of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Louvain-La-Neuve, Belgium, pp.951-959.

6. C. Klump, J. Huang and B. P. Greimann. 2005, Sediment Model of the Arroyo Pasajero and California Aqueduct, U. S. Bureau of Reclamation repart prepared for the California Department of water Resources.
7. K. I. Othman, and D. Wang.2004, Application of GSTARS 2.1 Model for Degradation in Alluvial Channels, Proceeding of the 9th International Symposium on River Sedimentation, Yichang, China, pp. 1532-1537
8. C. T. Yang, M. A. Trevino and F. J. M. Simoes. 1998, User's Manual for GSTARS 2.0. Technical Service Center, U. S. Bureau of Reclamation, Denver CO, 80225.
9. بهرامی، م. ، رحیمی، ع. ، کنگی، ع. و کرمی، م. ، 1388، محاسبه بار کل بار معلق رود فیروزآباد در محل سد هایقر با استفاده از روش‌های آبسنجی، هیدرولیکی و تجربی (MPSIAC) در قالب GIS، فصلنامه بار معلق و سنگ بار معلقی، سال دوم، شماره چهارم.