

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

مجتبی ره نورد¹، محمد ره نورد^{2*}، محمد محمودیان شوشتری³، ناصر طالب بیدختی⁴، حمیدرضا غفوری⁵

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 برآورد 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 Hec- و Gstars 2.1 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، Hec-ras 4.0، Gstars 2.1

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 و تحقیقات پایدار محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

⁵ - استاد بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

* - نویسنده‌ی مسؤول: [Email:mohamad.rahnvard@yahoo.com](mailto:mohamad.rahnvard@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 معلق 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 شبیه‌سازی انتقال مواد معلق و پیش‌بینی 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؛
- جمع‌آوری و پردازش و طبقه‌بندی اطلاعات و فراسنج‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی بازه‌ی مورد نظر و انجام آن؛
- واسنجی و صحت‌سنجی شبیه و مقایسه با آمارهای موجود؛
- جمع‌بندی 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

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 سوئیس می باشد، به کار بردند. نتایج محاسبه شده از Gstars 2.0 در مقایسه با آزمایش‌های نمونه‌ی فیزیکی و اندازه گیری‌های صحرائی 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

کردند. در این پژوهش معادلات انتقال بار معلق در ایستگاه‌های رود دز در جدول 1 آورده شده اند:

جدول 1- معادلات مناسب انتقال بار معلق رود دز

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

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 معلق 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 ارائه می‌دهند.

منطقه‌ی مورد مطالعه

رود دز از ناحیه‌های بروجرد و الیگودرز در استان لرستان سرچشمه گرفته و با طی مسافت 415 کیلومتر در بندقییر به رود کارون می‌پیوندد. 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 می‌گردد. حوضه‌ی آبخیز رود دز در داخل ارتفاعات و چین خوردگی‌های میانی، بین مختصات جغرافیایی $9^{\circ}-48^{\circ}$ تا $18^{\circ}-50^{\circ}$ طول شرقی و $31^{\circ}-35^{\circ}$ تا $5^{\circ}-34^{\circ}$ 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 عمده‌ای 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 مزبور در 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 (شکل 1).

از روش‌های غلظت سنجی، هیدرولیکی و تجربی (MPSIAC) در قالب GIS پرداختند. در این پژوهش جهت شبیه‌سازی 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.



شکل 1- نقشه‌ی مسطحه‌ی رودخانه‌ی دز

خوزستان در سال 1381 تهیه شده، و پس از آن تا سال 1390 نقشه‌های مقاطع دیگری برداشت نشده‌اند. نقشه‌های مربوط به مقاطع عرضی رود دز به صورت پرونده‌ی اتوکد عرضه می‌گردد 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 می‌باشند، 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.

داده‌های مورد نیاز شبیه‌های 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 می‌باشد. 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 آشناسی، هندسی، هیدرولیکی و بار معلق ارائه می‌گردند.

اطلاعات هندسی

اطلاعات هندسی شامل نقشه‌های مقاطع عرضی می‌باشند که به وسیله‌ی سازمان آب و برق استان

ضریب زبری مانینگ

در بررسی‌های انجام گرفته مشخص شد که بیشتر پژوهش‌های انجام شده در مورد رود دز مربوط به بالادست و خود سد دز است که عملاً اطلاعات موجود برای برآورد ضریب مانینگ به کار نمی‌آیند. همچنین،

در مورد بار معلق رود دز در پایین دست و در بازه‌ی 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 بازه‌ی ای، به دست آمد (جدول 2).

جدول 2- تعیین ضریب مانینگ

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

d = اندازه‌ی قطر ذرات برحسب mm

است. با توجه به این که شمار اندازه‌گیری‌های دمای آب از رود زیاد نمی‌باشد (طی سال‌های 1345 تا 1388، 269 مورد اندازه‌گیری شده است)، از میانگین دمای آب رود، که برابر با 20 درجه‌ی سانتی‌گراد است، برای شبیه‌سازی استفاده گردید.

بدهی جریان روزانه‌ی رود

از آن جا که فرایند شبیه‌سازی در رود دز به آمار 30 ساله و 20 ساله‌ی بدهی روزانه نیازمند می‌باشد، همان‌طور 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

آمار و اطلاعات آب سطحی

این اطلاعات شامل آمار بده-اشل روزانه و دمای آب رود می‌باشند. با توجه به این که بازه‌ی مورد مطالعه شامل دو ایستگاه آبسنجی حرمله در بالادست و بامدژ در پایین دست می‌باشد، 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

خطی محاسبه می شود، بنابراین رابطه‌ی فوق به صورت رابطه‌ی (2) برای Excel تعریف شده است :

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 $H=c_1Q^{c_2}$ درآورده شد تا بتوان از آن در شبیه Gstars 2.1 استفاده کرد(شکل 2).

از آن جا که در نرم افزار Excel وایازی توانی به صورت

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

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

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

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

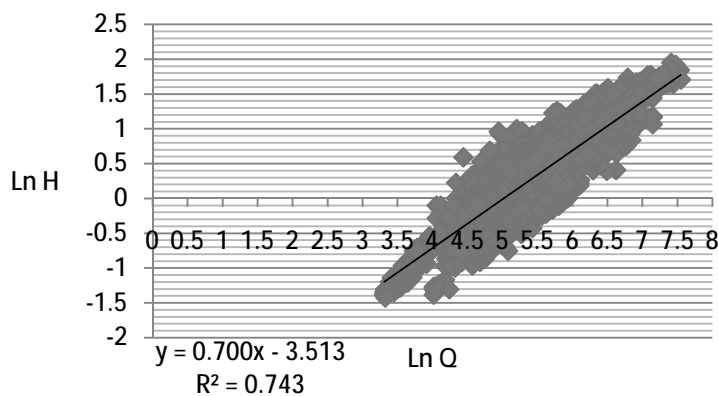
$$a = \ln C_1 \quad (5)$$

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

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

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

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



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

شکل 2- رابطه‌ی همبستگی بین $\ln H$ و $\ln Q$

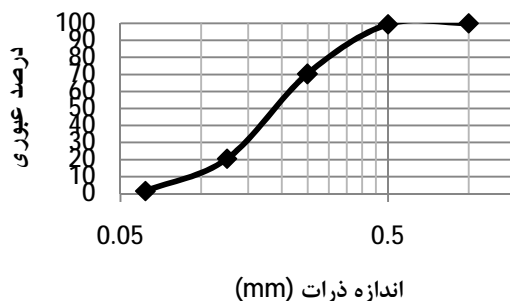
اساس آمار موجود در ایستگاه حرمله می باشد که به

وسیله‌ی بخش معاونت مطالعات پایه‌ی سازمان آب و

6-3 - دانه بندی مصالح بستر رود

دانه بندی مواد بستر معرفی شده به شبیه بر

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



شکل 3- منحنی دانه بندی ایستگاه حرمله.

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 3-6 و اشکال 4-5 آورده شده اند.

واسنجی و مقایسه نتایج شبیه ها

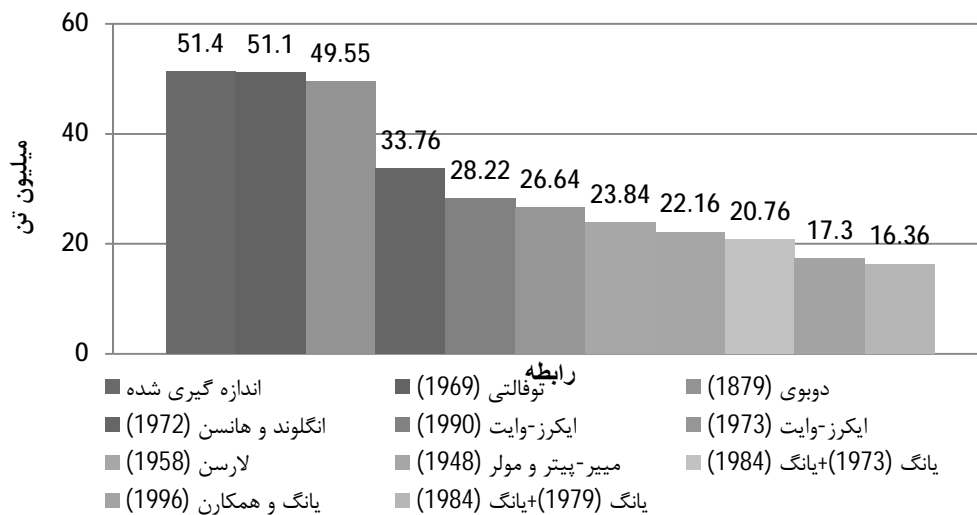
آمار 30 ساله‌ی اخیر بار کل رود دز به سه گروه با دوره‌های 10 ساله (1379-1388)، 20 ساله (1369-1388) و 30 ساله (1359-1388) تقسیم شد، و نتایج شبیه Gstars 2.1 با آن مقایسه می شود تا بهترین رابطه برای شبیه سازی انتقال بار معلق مشخص گردد. از آن جا که برنامه Hec-ras تنها تا

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 (1369-1388)	51/4
30 سال (1359-1388)	71/5

جدول 4- 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

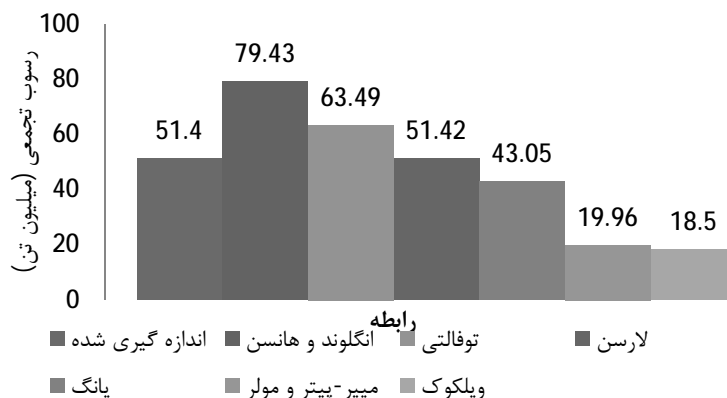
شبیه‌سازی پیچ و خم رود برخوردار بوده و می‌تواند و ضریب افت این مورد را منظور دارد، بنابراین بازه‌ی مورد نظر از رود برای شبیه Hec-ras تعریف شد.

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

تمام داده‌های موجود که به وسیله‌ی شبیه شبیه دوبعدی Gstars 2.1 واسنجی و دقت سنجی شده است، به شبیه یک بعدی Hec-ras نیز داده شده تا علاوه بر شبیه‌سازی 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

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
مییر-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.

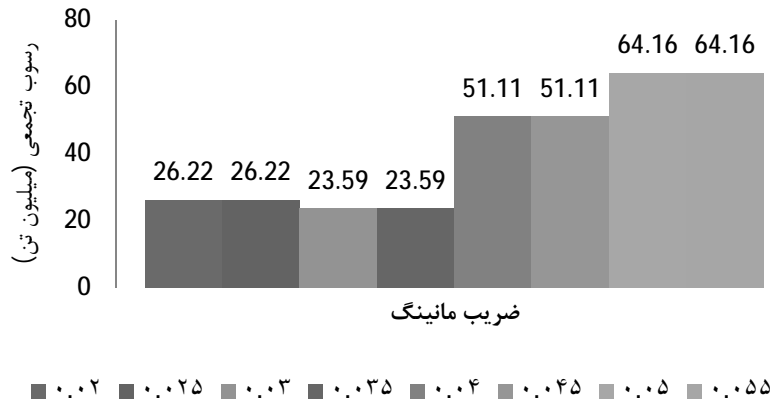
ضریب مانینگ یکی از حساسترین و مهمترین فراسنج‌ها برای محاسبه و شبیه‌سازی پدیده‌ی انتقال رسوب می‌باشد. مقدار برآورد شده‌ی ضریب مانینگ، همان طور که در برآورد حجم بار معلقات تأثیرگذار است، در تغییرات بستر نیز مؤثر می‌باشد.

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.

نباید کمتر از 0/01 باشد. در صورت تغییرات کمتر از حد ذکر شده، تغییری در حجم بار معلق و تغییرات بستر مشاهده نمی‌شود.

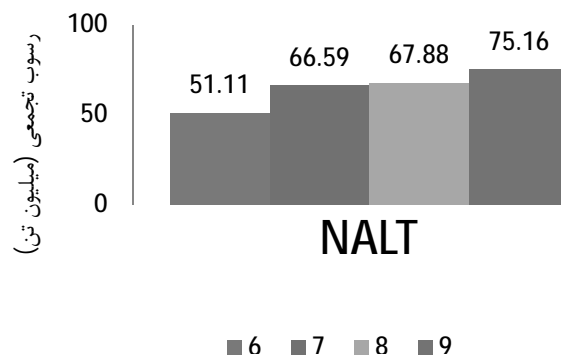
شکل (6) مشخص می‌کند که با افزایش ضریب مانینگ حجم بار کل انتقالی افزایش می‌یابد. همچنین، میزان تغییرات ضریب مانینگ برای مشاهده تغییرات



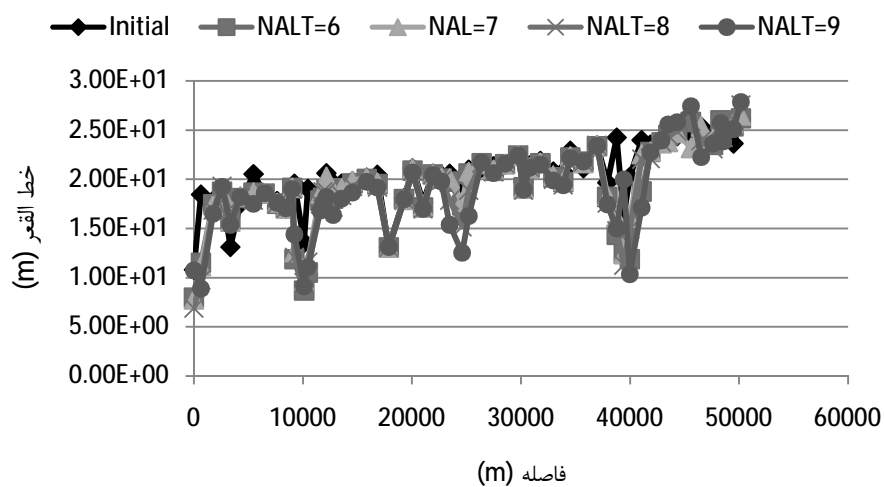
شکل 6- مقایسه برآورد بار کل با ضریب‌های مانینگ متفاوت با کاربرد شبیه Gstars 2.1

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 7-8 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.

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 حاصل ضرب یک ضریب در میانگین هندسی ذرات بار معلق بزرگترین بخش ذرات موجود محاسبه می‌کند. این



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

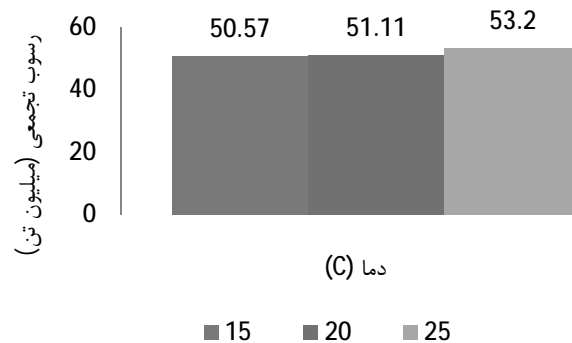


شکل 8- مقایسه‌ی تغییرات خط القعر اولیه با خط القعر حاصل از NALT‌های متفاوت با کاربرد شبیه.

دمای آب به عنوان یک کمیت تأثیرگذار در مبحث انتقال بار معلق و بخصوص در مورد رابطه‌ی توفالیتی می‌باشد. تغییر در دما باعث تغییر در گرانیروی آب، و در نتیجه تغییر در مقدار سرعت سقوط ذرات در آب می‌گردد. امار موجود دارد، دمای اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه می‌باشد.

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

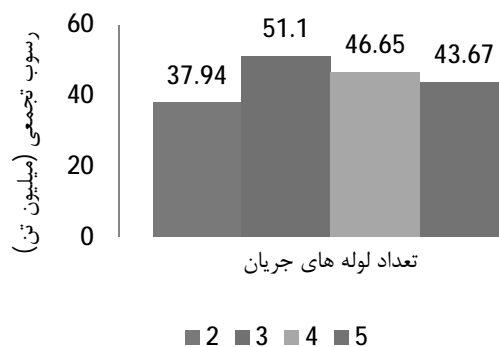
با توجه به شکل 9 مشخص می‌شود که با افزایش



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

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.

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 می‌گردد که تعداد لوله‌های جریان

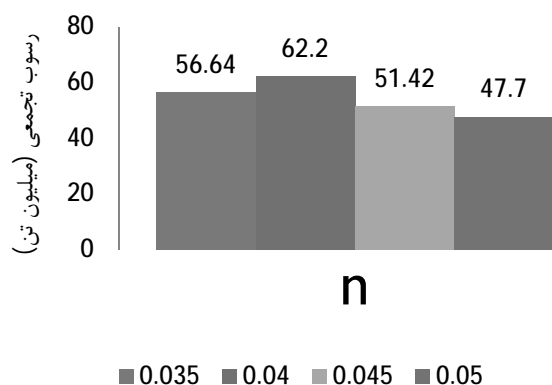


شکل 10- تأثیر شمار لوله‌های جریان در میزان بار کل خروجی از بازه.

ضریب‌های مانینگ متفاوت مقایسه گردیده است. ملاحظه می‌شود که ضریب مانینگ 0/045 نزدیکترین جواب را به واقعیت دارد.

حساسیت سنجی شبیه Hec-ras 4.0

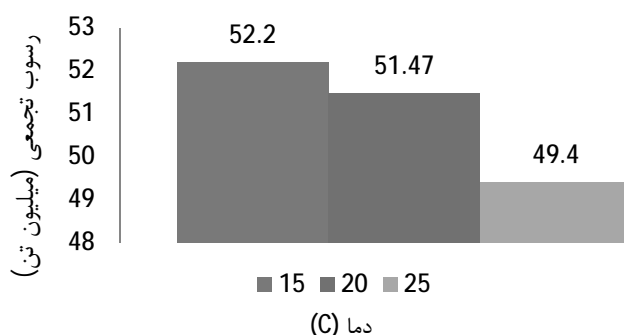
در شکل 11 حجم بار کل خروجی از بازه برای



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

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 شبیه‌سازی می‌باشد.

دمای آب در رابطه‌ی لارسن به عنوان یک فراسنج که تأثیر مستقیم بر محاسبه حجم انتقال بار معلق داشته باشد، به شمار نمی‌آید. با این حال، این فراسنج بر سرعت برشی بحرانی، و سرعت سقوط ذرات، تأثیر می‌گذارد. در شکل 12 حساسیت شبیه نسبت به دمای



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

دوبعدی نسبت به شبیه یک بعدی در شبیه‌سازی 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 شبیه‌سازی، زمان بسیار کمتری را صرف این عملیات می‌کند، که این امر هم در وقت و هم در

نتیجه‌گیری

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

- گزینش شبیه از نظر نوع روش برای تعیین بار معلق از اهمیت خاصی برخوردار است. شبیه‌شبه

هزینه بسیار اهمیت دارد.

منابع

1. اعلمی، م. ت. ، احمدیان، م. و تیموری مقدم، 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 معلق 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.
- گزینش نوع رابطه‌ی انتقال بار معلق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. 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 می‌باشد.
- اندازه نگرفتن فراسنج‌هایی چون منحنی دانه بندی و دما و همچنین برآورد با دقت پایین اطلاعاتی مانند ضریب مانینگ و تعریف ژرفای لایه‌ی فعال مناسب، باعث به وجود آمدن خطاهای زیادی در شبیه سازی می‌گردد. 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 2.1 در مقایسه با شبیه‌یک بعدی Hec-ras 4.0 برای شبیه‌سازی تغییرات بستر رود و مقاطع عرضی آن، بسیار کارآمدتر می‌باشد.

6. C. Klump, J. Huang and B. P. Greimann. 2005, Sediment Model of the Arroyo Pasajero and California Aqueduct, U. S. Bureau of Reclamation report 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 معلق، سال دوم، شماره چهارم.