

## بررسی انتقال رسوب و تغییرات بستر رودخانه یلفان سداکباتان همدان

مریم خانجانی زوراب - دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ملایر، ایران.  
علیرضا ایلدرمی\* - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ملایر، ایران.  
حمید نوری - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ملایر، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱

### چکیده

مدل‌های ریاضی یکی از ابزارهای مهم برای پیش‌بینی مقدار رسوبگذاری در بستر رودخانه‌ها و مخازن سد هستند که بر معادلات حاکم بر پدیده‌های مؤثر در انتقال، توزیع و انباشت رسوب مبتنی می‌باشند. هدف از این تحقیق بررسی انتقال رسوب و تغییرات پروفیل بستر در راستای طولی و عرضی در رودخانه یلفان سداکباتان با استفاده از مدل GSTARS 2/1 می‌باشد. بررسی تغییرات مقاطع ۱، ۲ و ۳ با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که دارای مطابقت قابل قبولی می‌باشد و نشان می‌دهد که در مقطع ۴ مقدار فرسایش نسبت به مقاطع قبل افزایش و در مقاطع پایین دست رسوبگذاری افزایش یافته است. به طوری که میزان تغییرات مقاطع عرضی رودخانه از بالا به طرف پایین دست تقریباً هم‌سو و هم‌راستا با نتایج مدل بوده و میزان خطای محاسبه شده نیز این نتیجه را تأیید می‌نماید. نتایج حاصل از بررسی خط القعر در مدل بیان‌کننده افزایش میزان رسوبگذاری به طرف پایین دست و بالابودن میزان فرسایش و کف‌کنی در بستر رودخانه در بالا دست می‌باشد. مقادیر ضریب همبستگی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری محاسبه شده توسط مدل 2.1 GSTARS در مقاطع شبیه‌سازی شده طی مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی  $0.72+$  و این مقدار برای پروفیل طولی رودخانه  $0.53+$  به دست آمد که در حد قابل قبولی می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل حجم رسوب انتقالی را برابر  $1/36$  میلیون متر مکعب برآورد کرده و نزدیکی آن با مقدار اندازه‌گیری شده به میزان  $1/42$  میلیون متر مکعب نشان داد که معادله یانگ در مدل Gstars 2/1 نتایج قابل قبولی ارائه کرده است، بنابراین پیشنهاد می‌شود به منظور اطمینان و کارایی بیشتر نتایج حاصل از اجرای مدل‌های شبه دو بعدی، نتایج حاصل با استفاده از مدل‌های دیگر مانند River intake نیز ارزیابی و اجرا شود.

واژگان کلیدی: رودخانه آبشینه، شبیه‌سازی عددی، مدل GSTARS 2.1

## مقدمه

رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، مورفولوژیکی و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها همواره در معرض تغییر و تحول ناشی از فرسایش یا رسوبگذاری در بستر، به شکل تخریب دیواره‌ها، تغییر راستای جریان، تغییر و جابجایی مئاندرها و تغییر در فرم رودخانه می‌باشند (ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹۵). در حال حاضر پیش‌بینی صحیح پارامترهای هیدرولیک جریان و رسوب برای بهره‌برداری و مدیریت بهتر رودخانه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه مدل‌های ریاضی شبه دو بعدی به عنوان یک راه حل بهینه و کارآمد، کاربرد گسترده‌ای در مباحث هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه‌ها یافته‌اند. در این مدل‌ها، تغییرات سرعت در عرض رودخانه‌ها به کمک حل عددی معادلات دیفرانسیل ناویر-استوکس و در شرایط جریان ماندگار و یکنواخت شبیه‌سازی می‌شود (ظهیری و همکاران، ۱۳۹۷). در این رابطه کاربرد مدل‌های ریاضی مناسب از جمله مدل GSTARS جهت بررسی هیدرولیک جریان‌های سیلابی ضروری و مورد توجه قرار گرفته است. چرا که می‌تواند بین متغیرهای هندسی و هیدرولیکی رودخانه همبستگی معنی‌داری برقرار نماید. بعلاوه مدل GSTARS توانایی مناسبی جهت بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه دارد و به خوبی نقش رواناب و تأثیر آن را در تغییر مورفولوژی رودخانه بررسی می‌نماید (بایزیدی، ۱۳۹۶). سری برنامه‌های GSTARS برای حل مسائل پیچیده مهندسی رودخانه در جایی که محدودیت‌های اطلاعات و منابع وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مدل برای شبیه‌سازی رفتار رودخانه از مفهوم لوله‌های جریان استفاده می‌شود، به این صورت که کل مقطع عرضی رودخانه به چندین لوله تقسیم شده و سپس محاسبات هیدرولیک جریان و انتقال رسوب در هر یک از لوله بصورت مجزا انجام می‌گیرد (یانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های عددی جهت بررسی انتقال رسوب و تغییر مورفولوژی رودخانه‌ها در ایران و خارج از کشور بسیار مورد توجه قرار گرفته است، که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

بایزیدی و همکاران (۱۳۹۶)، در پیش‌بینی روند رسوبگذاری رودخانه قره سو با استفاده از مدل GSTARS3 و معادلات حاکم بر پدیده‌های موثر در انتقال، توزیع، انباشت و آشفستگی رسوب نشان دادند که مدل یانگ از عملکرد بهتری در پیش‌بینی تغییر پروفیل‌های طولی و عرضی برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد که مدل تطابق خوبی بین پروفیل طولی بستر اولیه با پروفیل طولی محاسبه شده، برای بررسی روند رسوبگذاری در رودخانه‌ها ارائه داده است.

خیری زاده آروق و همکاران (۱۳۹۶)، در تحلیل تغییرات جانبی مجرای رودخانه زرینه رود با استفاده از روش‌های ژئومورفومتریکی نشان دادند که شاخص‌های ژئومورفومتریکی برای بازه‌های پایاب سد نورولو نشان دهنده دینامیک بسیار پایین و تنگ‌شدگی مجرا در طی این بازه زمانی می‌باشد که دلیل اساسی این امر مربوط به کاهش دینامیک جانبی در بازه‌های بالادست سد نورولو به صورت افت نرخ مهاجرت جانبی مجرا، کاهش قابل توجه رخداد میان برها و تمایل بیشتر رودخانه به الگوی مئاندری شدن است.

ظهیری و همکاران (۱۳۹۷)، در محاسبه توزیع عرضی رسوب رودها با استفاده از مدل ریاضی شبه دو بعدی GSTARS 2.1 و حل عددی معادلات دیفرانسیل ناویر-استوکس بر روی رود قره سو به این نتیجه رسیدند که عملکرد مدل دو بعدی در برآورد توزیع عرضی سرعت جریان مناسب می‌باشد و رابطه یانگ در شبیه‌سازی رسوب بیشترین دقت را دارد.

صلحی و همکاران (۱۳۹۷)، در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی و تحلیل‌های آماری در محیط پایتون به ارزیابی تغییرات مورفومتری پروفیل طولی دره‌های سه‌پند پرداختند. نتایج نشان داد که دره‌های دامنه‌های شمال و شمال شرقی سه‌پند از تکامل پروفیل طولی متفاوتی نسبت به دامنه‌های جنوب و جنوب غربی برخوردارند که حاکی از تفاوت در سیستم‌های اقلیمی، فرسایشی و نیز رژیم‌های رطوبتی-حرارتی در این دو جناح از ارتفاعات سه‌پند است.

<sup>۱</sup> . Yong

اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۸)، در تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی مائدرهای رودخانه سلمان رود، استان گیلان و روند تغییرات آن. نتایج نشان دادند که پارامترهای مورفودینامیک تغییرات کاهشی مشخصی را تجربه کرده‌اند و رودخانه سلمان رود در طی دوره‌های مورد بررسی از تعادل دینامیک به تعادل استاتیک تغییر حالت یافته است.

شرفی و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی تغییرات مکانی- زمانی مورفولوژی رودخانه سیلاخور در استان لرستان در یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۵-۱۹۹۵) در بازه‌ای به طول ۶۱ کیلومتر، به این نتیجه رسیدند که با توجه به ماهیت ماندری بودن رودخانه سیلاخور، عمده تغییرات در بازه ۲ و ۳ رودخانه بوده و تغییرات نشان می‌دهد که در بازه‌های اول، دوم و سوم در ۳ دوره زمانی مورد مطالعه، ساحل راست رودخانه عمدتاً فرسایشی و ساحل چپ در حال افزایش رسوبگذاری بوده است.

هو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰)، با استفاده از حل معادله پخش (دیفوزیون) در عرض رودخانه، توزیع غلظت رسوب معلق را با مدل های شبه دو بعدی شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از شرایط آزمایشگاهی و مقایسه آن با داده‌های محاسباتی می‌تواند به حل معادلات مربوطه جهت شبیه‌سازی رسوب و برآورد دقیق‌تر کمک نماید.

رودریگرز بلالکو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰)، تغییرات زمانی انتقال رسوب معلق در حوزه آبخیز آتلانتیک واقع در شمال غرب اسپانیا را بررسی کردند و از داده‌های رسوب معلق و دبی جریان در طی مدت ۳ سال استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تغییر در مقدار تولید رسوب معلق با تعداد و شدت وقایع رواناب رابطه معنی‌داری دارد.

هو بنگکی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۱)، در تحقیقی به بررسی تغییرات مکانی منحنی سنج رسوب در رودخانه چانگ جیانگ یانگ تسه پرداختند. نتایج نشان داد که فعالیت انسانی نسبت به طبیعت بیشتر بر روی پارامترهای منحنی سنجه حوزه تاثیر داشته است.

شی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۲)، با بررسی فرآیند فرسایش و انتقال رسوب و مکانیسم آن بر روی شیب‌های (۱۰، ۲۰، ۱۵، ۲۵ درجه) در چین به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش و انتقال رسوب ذرات بزرگ‌تر از ۱۵۲/ میلی‌متر در مناطق شیب‌دار بستگی به قدرت جریان و دبی داشته و حمل رسوبات با افزایش شیب نیز رابطه مستقیم دارد.

مورایس و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۶)، تغییرات مکانی تغییرات بستر رودخانه پیکس برزیل و عوامل موثر در ایجاد پیچ و خم‌های آن را با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و یک نقشه تاریخی از سال ۱۹۰۷ بررسی کردند. بررسی مکانیسم‌های تغییر کانال و مورفومتری خم‌ها و تغییرات سینوسیته و مورفودینامیکی رودخانه نشان داد که تغییرات عمده‌ای به شکل جابجایی بستر طولی و عرضی در ویژگی‌های پلان رودخانه رخ داده است.

شورمن و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۶)، در بررسی دینامیک و تحول مائدرهای دشت‌های سیلابی نشان دادند که جریانات آشفته ورودی به کانال اصلی با ایجاد میکروگردابه‌ها و رسوبات ورودی، تأثیر زیادی بر ایجاد حالت سینوسی به صورت دوره‌ای در مجرای اصلی دارند و این موضوع موجب ایجاد تحول زیاد و میانبرهای متعدد در مسیر رودخانه می‌شود.

لی و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۷)، در بررسی جابجایی میانبرهای محیطی ایجاد شده رودخانه طاریم میانی در شمال غربی چین با استفاده از تصاویر سنجش از دور و مشاهدات میدانی، مورفولوژی کانال و پوشش گیاهی ساحلی آن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که انحناي خم (نسبت شعاع خم به عرض کانال) بین ۰/۳ و ۲/۸ متغیر شده و میانگین زاویه انحراف از مفصل خم در حدود ۷۹/۹ درجه تغییر کرده است. نرخ تغییرات وسعت از ۱/۴ تا ۹۶/۷ متر مربع نیز متغیر و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، تقریباً ۴۵ برش در امتداد ۴۰۰ کیلومتری طول رودخانه رخ داده است.

1. Hu et al

2. Rodrigo &amp; Blalenco

3. Hu et al

4. Shi et al

5. Morais et al

6. Schuurman et al

7. Li et al

زو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷)، در بررسی تعادل مورفولوژیکی وسعت اراضی حاشیه رودخانه یانگ تسه میانی تحت تاثیر فعالیت های شدید انسانی بیان داشتند که بر اساس داده های هیدرولوژیکی اندازه گیری شده و داده های توپوگرافی، تعادل در هندسه پلان و مقطع مورد بررسی با توجه به اجرای یک برش مصنوعی در مسیر رودخانه به شکل کانال انحرافی باعث شده رژیم رودخانه به طور چشم گیری تنظیم و جابجایی و تغییرات وسعت اراضی حاشیه رودخانه به حداقل ممکن برسد. اودا<sup>۲</sup> (۲۰۱۹)، در مدل سازی و بررسی چند فازی انتقال رسوب و فرسایش بستر و تغییرات مورفودینامیک ساحلی رودخانه با استفاده از مدل سازی عددی و آنالیز مکانیسم های تولید و انتقال رسوب و فرآیندهایی مانند اختلاط آشفته، نشان دادند که مدل عددی فعلی عملکرد مطلوبی را در بیشتر موارد آزمون چند فازی انتقال رسوب و فرسایش نشان می دهد و می توان با استفاده از این آزمون برخی از نقص ها و محدودیت های داده های تجربی را مشخص و برطرف نمود. لای و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۹)، در بررسی ظرفیت انتقال جریان و رسوب با مدل سه بعدی برای کانال های رو باز سطح آزاد با استفاده از معادلات حاکم بر جریان و رسوب معلق، الگوریتم راه حل بهبود یافته ارائه دادند. نتایج آن ها نشان داد که مدل شبیه سازی خوبی بین جریان و رسوبات جهت پیش بینی ارائه می کند و با داده های تجربی مطابقت خوبی دارد. ایکبال و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۹)، برای شبیه سازی شست و شوی رسوب در مخزن سد از دومدل، 2D و نوع متوسط یا گودونف (Godunov) استفاده و با مطالعه مدل فیزیکی و یک فلوم آزمایشگاهی اعتبارسنجی مدل را از طریق تغییر توپوگرافی بستر و محاسبه میزان ترسیب رسوب انجام دادند. نتایج نشان داد که فرسایش جانبی و تغییرات بستر بر اساس مقدار دبی و ویژگی های مورفولوژیکی کانال متغیر و با نتایج آزمایشگاهی نیز مطابقت خوبی دارد. بررسی و مرور منابع نشان می دهد که تحلیل ریاضی و عددی ظرفیت انتقال رسوب و تغییرات بستر به دلیل کاربرد دقیق و مطابق با واقعیت در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. لذا هدف این پژوهش، شبیه سازی و وضعیت رسوبگذاری و تغییرات پروفیل طولی و مقاطع عرضی رودخانه یلفان سد اکباتان همدان با استفاده از مدل ریاضی GSTARS 2.1 می باشد. تا بتوان از نتایج این تحقیق علاوه بر پیش بینی نرخ انتقال رسوب، توزیع و تغییرات طولی و عرضی رسوبگذاری، در طرح های ساماندهی رودخانه و مدیریت سیلاب حوزه مورد مطالعه به ویژه طراحی و اجرای صحیح پروژه های مهندسی رودخانه بهره برد.

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز یلفان سد اکباتان در جنوب شرقی شهرستان همدان بین  $34^{\circ}34'$  و  $34^{\circ}45'$  عرض شمالی و  $48^{\circ}42'$  و  $48^{\circ}48'$  طول شرقی قرار دارد. این حوزه یکی از زیر حوزه های رودخانه قره چای می باشد که در جنوب غربی کوه الوند واقع شده است (شکل ۱). رژیم رودخانه تحت اقلیم نیمه مرطوب سرد کوهستانی برفی-بارانی و دائمی می باشد. متوسط بارندگی سالانه حوزه  $312/9$  میلی متر و متوسط درجه حرارت سالانه آن  $11/3$  درجه سانتی گراد است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوزه به ترتیب  $3580$  مربوط به قله الوند و  $2100$  متر خروجی سد می باشد. از نظر زمین شناسی حوزه مورد مطالعه در محدوده دگرگونی زون سنندج-سیرجان واقع شده و از نظر لیتولوژی به علت قرار گرفتن در مجاورت توده نفوذی الوند دارای سنگ های دگرگونی و نفوذی از نوع گرانیت، شیست، هورنفلس و به شکل محدود دارای تشکیلات آهکی می باشد که نقش مهمی در تولید رسوب، رواناب و تغییر مورفولوژی رودخانه یلفان سد اکباتان دارند. گرانیت های منطقه دارای بلورهای درشت با بافت مشبک همراه با کانی های بیوتیت است که نقش مهمی در مقاوم سازی داشته و فرسایش پذیری کمتری دارند. شیست ها قسمت اعظم حوزه را پوشانده و چین خوردگی و فشارهای تکتونیکی را تحمل کرده اند. شیست ها

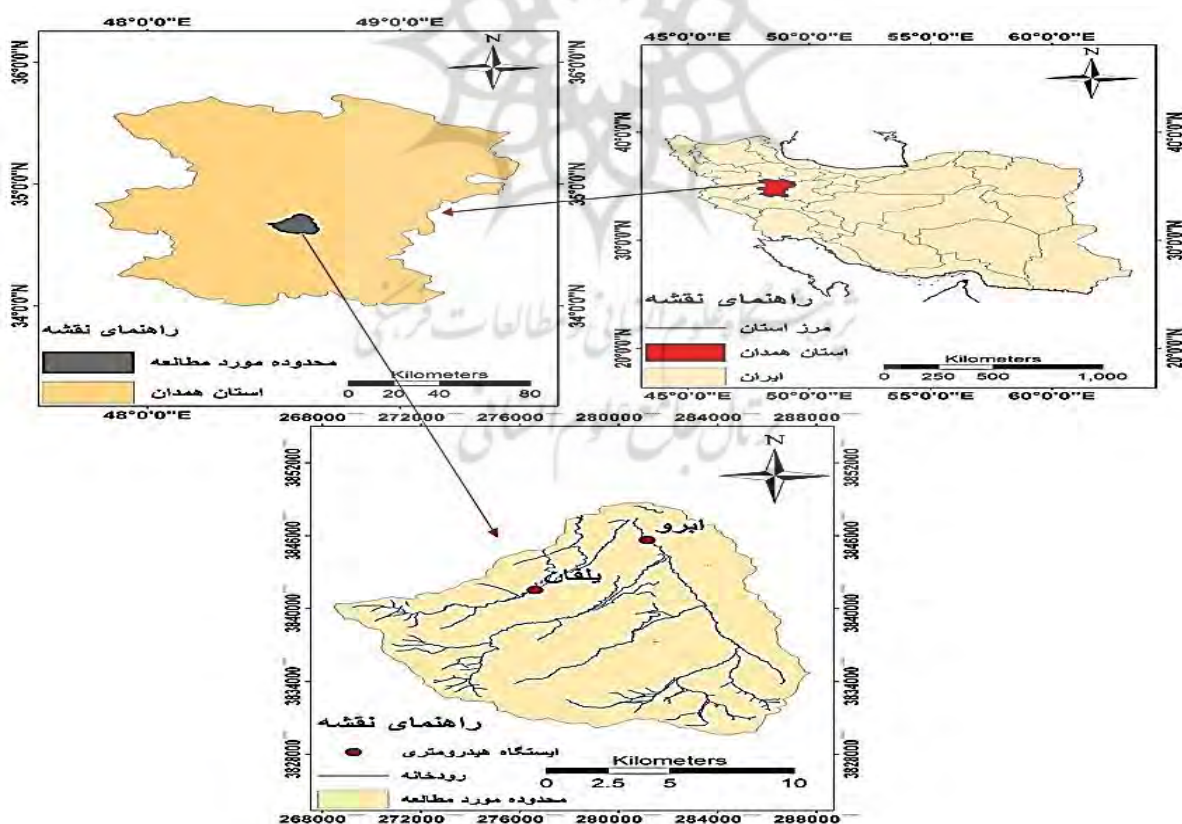
1. Zhou et al

2. Ouda et al

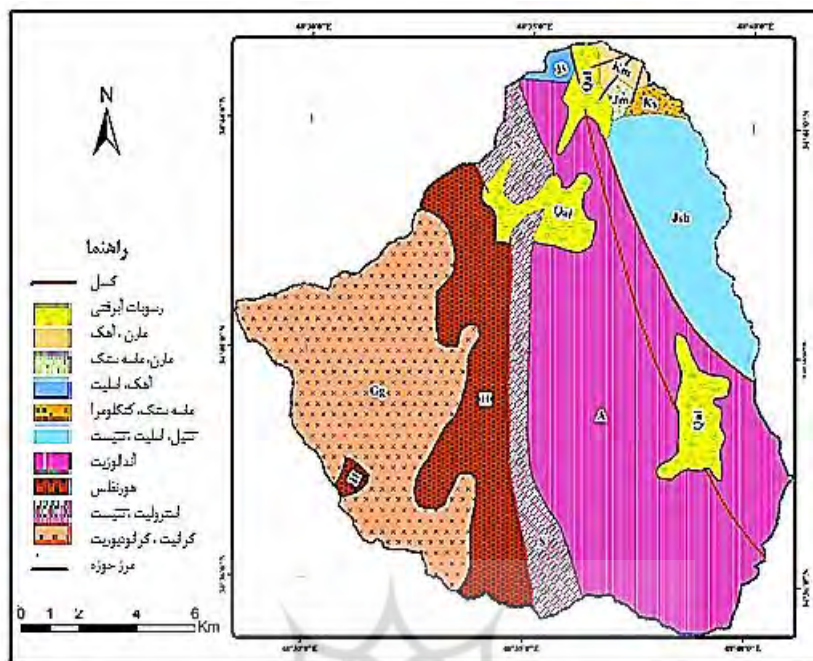
3. Lai et al

4. Eqbal et al

به سادگی ورقه ورقه می‌شوند و سریعاً تحت تأثیر سیستم فرسایش پریگلاسیر حاکم بر توده کوهستانی الوند به شدت هوازده می‌شوند. هورنفلس‌ها عمدتاً از نوع آندالوزیت کردیریت هورنفلس می‌باشد که علاوه بر بلورهای درشت کردیریت، بلورهای آندالوزیت نیز دارند که در درجه حرارت‌های متفاوت به وجود آمده‌اند. به طوری که کردیریت هورنفلس در دمای بالا تشکیل شده لذا از مقاومت بیشتری برخوردار بوده و وسعت کمتری را شامل می‌شوند. اما هورنفلس‌های آندالوزیت‌دار در درجه حرارت پائین تشکیل یافته، لذا از مقاومت کمتری برخوردارند و این امر موجب تخریب شدید آن‌ها شده است. هورنفلس‌هایی فاقد کردیریت و آندالوزیت با وسعت بیشتر، به شدت در حال تخریب هستند و این امر موجب تولید مواد تخریبی فراوان به شکل رسوبات آبرفتی شده که سطح وسیعی از حوزه را شامل می‌شوند. رسوبات آبرفتی روی سازندهای قدیمی تر را پوشانده‌اند و به صورت رسوبات واریزه‌ای دامنه‌ای شامل ذراتی در حد شن، قلوه سنگ و مخلوطی از رس و سیلت می‌باشند. بخش دیگر رسوبات آبرفتی رسوبات ترانس‌های آبرفتی قدیمی در سمت چپ حوزه می‌باشند. جنس این رسوبات شامل قلوه سنگ‌های کاملاً گرد شده از جنس گنیس و شیست می‌باشد. گسل‌های موجود در منطقه از روند کلی زاگرس تبعیت می‌کنند. مهمترین گسل‌های ایجاد شده در حوزه یلفان سد اکباتان دارای روند کلی NNW-SSE می‌باشند، این گسل‌های جوان مربوط به پس از الیگوسن بوده و به صورت مسیر مستقیم حتی در مسافت‌های طولانی دیده می‌شوند. عملکرد این گسل‌ها باعث تغییر ناگهانی لیتولوژی دو حاشیه و باعث ایجاد سیستم‌های گسل‌های کوچکتر شده است. گسل‌های قدیمی تر به صورت مجموعه‌ای از سیستم گسلی با روند عمومی NW-SE در مجموعه دگرگونی ناحیه ای و سنگ‌های دگرگون نشده ایجاد شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌ها و رودخانه آبشینه در استان و ایران



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی حوزه مورد مطالعه

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی انتقال رسوب و تغییرات پروفیل بستر در راستای طولی و عرضی در بازه ۱۲ کیلومتری رودخانه یلفان سد اکباتان از مدل GSTARS 2/1 و معادله انتقال رسوب یانگ و توفالیتی استفاده گردید. بدین منظور از آمار دبی جریان و رسوب ثبت شده در ایستگاه یلفان سد اکباتان هم‌مدان مربوط به سال‌های آماری کامل یعنی اول مهر ۸۰ تا پایان شهریور ۹۰ برای برآزش داده‌ها و به منظور شبیه‌سازی میزان انتقال رسوب نیز از اطلاعات دبی و رسوب مربوط به سال‌های ۸۶-۹۵ ایستگاه یلفان و داده‌های رقوم سطح آب محاسبه شده و خط القعر رودخانه و تعدادی مقاطع عرضی برداشت شده و موجود در اداره امور آب استان همدان استفاده شده است.

### آنالیز آماری داده‌ها

در این بررسی از نرم افزار TH جهت کنترل و صحت داده‌ها و از آزمون اسمیرنوف-کلموگروف در سطح  $p$  کمتر از ۵ درصد جهت بررسی همگنی داده‌های دبی جریان ایستگاه یلفان سد اکباتان استفاده شده است. پس از آنکه از کافی بودن تعداد داده‌ها و همگن بودن آنها اطمینان حاصل شد ابتدا با روش‌های آماری برآورد رسوب معلق مورد ارزیابی قرار گرفته و میزان کارایی و دقت این روش‌ها در این ایستگاه مشخص و در نهایت به مدل‌سازی داده‌های آنالیز شده توسط مدل عددی Gstars 2/1 پرداخته شد.

### مراحل اجرای مدل Gstars 2/1

- جمع‌آوری داده‌ها (اطلاعات رسوبی شامل (منحنی سنج رسوب و معادله انتقال رسوب یانگ ۲۰۰۰)، اطلاعات هیدرولیکی (هیدروگراف جریان روزانه و منحنی دبی-اشل)، اطلاعات هندسی (پلان عمومی رودخانه همراه با ۹ مقطع عرضی)
- تجزیه و تحلیل داده‌ها

آماده کردن داده‌های ورودی در یک فایل متنی  
- اجرای مدل (هیدرولیک جریان و رسوب جریان)

### نحوه مدل‌سازی

در این تحقیق بازه‌ای به طول ۱۲ کیلومتر مشتمل بر ۲۰ مقطع عرضی به عنوان طول مطالعاتی انتخاب گردید. در ادامه اطلاعات دانه‌بندی بستر برای ۹ مقطع عرضی که بصورت تصادفی انتخاب شدند، بررسی شد. سپس اطلاعات رسوبات مقاطع مورد نظر و سایر داده‌های ورودی مدل در سه بخش، هندسی، هیدرولیکی و رسوبی آماده‌سازی و وارد مدل ریاضی GSTARS<sup>1</sup> 2.1 گردید. در بخش مدل‌سازی نیز داده‌های مورد نیاز مدل جهت کالیبراسیون و واسنجی به مدل معرفی و سپس نتایج حاصل از پردازش این داده‌ها و اجرای مدل ریاضی GSTARS 2.1 توسط رابطه یانگ (۲۰۰۰) بررسی شد.

### مدل ریاضی GSTARS 2.1

مدل ریاضی Gstars مدل تعمیم یافته لوله جریان و انتقال جهت شبیه‌سازی جریان به روش شبه دو بعدی و تغییر هندسه کانال به روش شبه سه بعدی است که ابتدا توسط مولیناس و یانگ در سال ۱۹۸۶ ابداع گردید (مولیناس و همکاران<sup>۲</sup> ۱۹۸۶). مدل ریاضی GSTARS 2.1 جدیدترین نوع از این مدل ریاضی برای شبیه‌سازی جریان آب و انتقال رسوب بر اساس فرضیه لوله جریان، در رودخانه‌های آبرفتی دارای کاربرد است که می‌تواند جهت حل مسائل پیچیده مهندسی رودخانه با توجه به منابع و اطلاعات محدود مورد استفاده قرار گیرد. این مدل می‌تواند تغییرات طولی و عرضی جریان و رسوبگذاری را به صورت رفتار شبه دو بعدی محاسبه نماید (یانگ و سیموئز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰). این مدل توسط محققان برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و دارای قابلیت‌های زیادی جهت محاسبه مشخصات هیدرولیکی مقاطع روباز، محاسبه پروفیل سطح آب در شرایط جریان زیر بحرانی، فوق بحرانی و ترکیبی است و می‌تواند شبیه‌سازی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی را در دو جهت طولی و عرضی با استفاده از مفهوم تیوب‌های جریان و با استفاده از ۱۳ معادله تجربی انتقال رسوب را به خوبی انجام دهد (یانگ و سیموئز، ۲۰۰۰).

### واسنجی، صحت سنجی و تحلیل حساسیت مدل

جهت واسنجی مدل و تحلیل میزان تغییرات رودخانه در راستای عرضی از ۷ مقطع عرضی برداشت شده در طی سال‌های ۸۶-۹۵ و جهت تایید صحت نتایج حاصل از واسنجی مقاطع عرضی بار دیگر توسط سه مقطع برداشت شده در سال‌های ۹۳-۹۵ که در فاصله ۱۲ و ۶ کیلومتری و نزدیک سد برداشت شده بودند، استفاده شد. جهت بررسی میزان تغییرات خط القعر رودخانه و بستر به طرف پایین دست بازه از خط القعر اندازه‌گیری شده رودخانه در سال ۹۵ و خط القعر اولیه مربوط به سال ۸۶ استفاده شد. در بخش حساسیت سنجی مدل، حجم رسوبات تولید شده از رابطه توفالتی محاسبه و با حجم رسوب تولید شده از رابطه یانگ مقایسه و سپس به منظور بررسی اثر تغییر ضریب زبری بر روی نتایج مدل از تغییر میزان ضریب زبری مانینگ استفاده شده است.

1. Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation

2. Molinas et al

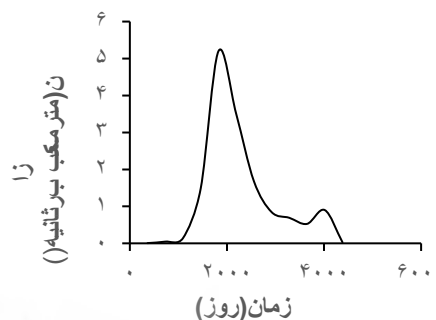
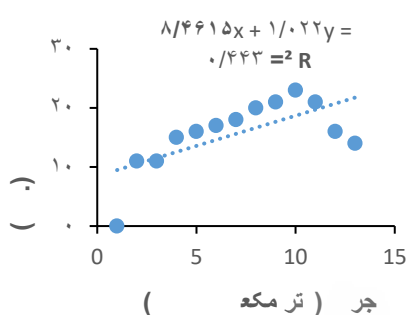
3. Yang & Simoes



## داده‌های مورد نیاز در مدل Gstars 2/1

## داده‌های هیدرومتری

در این بررسی داده‌های ده سال آبی (اول مهر ۸۰ تا پایان شهریور ۹۰) و در مجموع ۹۰ داده مربوط به ایستگاه هیدرومتری رودخانه یلفان به عنوان سال مبنا برای برازش و همچنین از هیدروگراف جریان روزانه و منحنی دبی-اشل در بازه زمانی در شبیه‌سازی استفاده شده است (اشکال ۳ و ۴).



شکل ۳: نمودار هیدروگراف دبی جریان روزانه

رودخانه یلفان در ایستگاه یلفان (شرط مرزی بالادست) شکل ۴: نمودار منحنی دبی - اشل رودخانه یلفان در پایین دست بازه مورد مطالعه (شرط مرزی پایین دست)

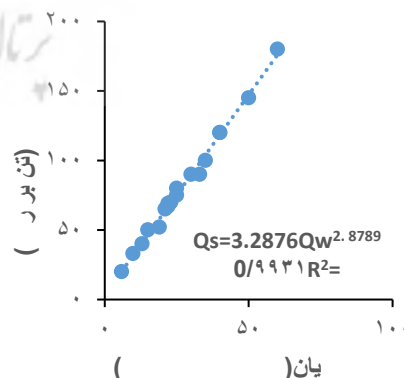
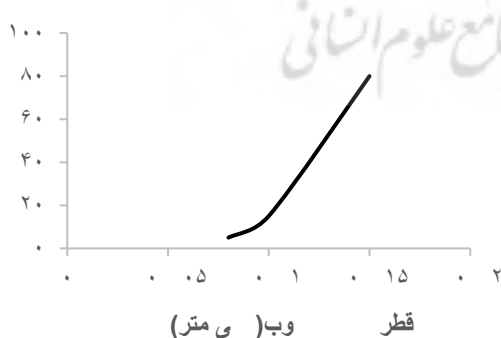
## داده‌های رسوب

در بخش اطلاعات رسوبی منحنی سنج رسوب معلق ایستگاه یلفان به عنوان شرط مرزی به کار گرفته شد (شکل ۵). با توجه به آمار موجود و منحنی سنج رسوبی زیر جهت واسنجی نیز به مدل معرفی گردید.

$$Q_s = 3/2876 Q_w^{2.8789}$$

رابطه (۱)

با توجه به اینکه اطلاعات منحنی دانه‌بندی مصالح بستر نقش مهمی در شبیه‌سازی جریان و رسوب دارد. به همین علت منحنی‌های دانه بندی طی ۱۰ سال گذشته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نهایت از متوسط آن‌ها در مدل استفاده شد. بررسی این منحنی‌ها و آمار معرفی شده به مدل بیانگر قرار گرفتن ذرات خاک در گروه ذرات ریز دانه و چسبنده (رس و سیلت) بود. در شکل زیر منحنی متوسط دانه‌بندی جهت معرفی به مدل آورده شده است (شکل ۶).



شکل ۶: نمودار منحنی دانه بندی ذرات

شکل ۵: نمودار منحنی سنج رسوب معلق ایستگاه یلفان



### معیارهای ارزیابی مدل‌ها

جهت کالیبراسیون و واسنجی بخش هیدرودینامیک جریان، از اطلاعات پروفیل سطح آب ایستگاه یلفان در سال ۱۳۹۵ و سپس به منظور تایید صحت نتایج از معیارهای<sup>۱</sup> (ARE) و<sup>۲</sup> (RRMS) استفاده شده است که عبارتند از:

$$\text{RRMS} = \left[ \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - Q_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - Q_i)} \right]^{0.5} \quad \text{رابطه (۲)}$$

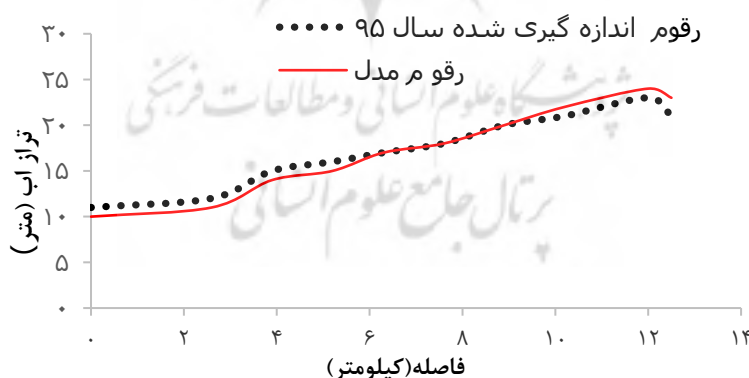
$$\text{ARE} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |p_i - Q_i|}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این روابط n تعداد مقاطع عرضی، p<sub>i</sub> عمق خط القعر مقاطع عرضی شبیه‌سازی شده توسط مدل و Q<sub>i</sub> عمق خط القعر مقاطع عرضی به دست آمده در عملیات میدانی می‌باشد.

### بحث و یافته‌ها

#### واسنجی هیدرولیک جریان

با توجه با اینکه پارامترهای بدست آمده از هیدرودینامیک جریان منای محاسبات رسوبی قرار می‌گیرند، بنابراین لازم است که ابتدا از کالیبره بودن مدل هیدرولیکی اطمینان حاصل گردد. به این منظور ضریب مانینگ در ابتدا به میزان (۰/۰۳) تعیین گردید و در بخش محاسبات هیدرولیک جریان توسط مدل با استفاده از نسبت دبی-اشل به ازای دبی ورودی تراز سطح آب توسط مدل محاسبه گردید بررسی‌ها نشان می‌دهد که با ضریب مانینگ برابر ۰/۰۳ مقادیر محاسبه شده مدل با تراز مشاهداتی دارای تطابق خوبی بود. بنابراین مدل ریاضی GSTARS 2/1 به ازای دبی ۵/۱۹ متر مکعب بر ثانیه (دبی متوسط دوره مورد مطالعه) و مقدار ضریب زبری مانینگ برابر ۰/۰۳ اجرا شد و نتایج پروفیل سطح آب محاسباتی با مقادیر واقعی رقوم سطح آب اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۹۵ رودخانه یلفان مقایسه گردید. که نتایج بیانگر مطابقت خوب رقوم سطح آب محاسباتی و مشاهداتی بود (شکل ۷).



شکل ۷: نمودار واسنجی هیدرولیکی مدل ریاضی به ازای دبی جریان ۵/۱۹ مترمکعب بر ثانیه

با اجرای معادله انتقال رسوب یانگ مشخص شد که پروفیل سطح آب مشاهداتی و پروفیل سطح آب محاسبه شده توسط مدل مطابقت خوبی باهم داشته و روند کلی تغییرات هر دو نمودار به موازات یکدیگر می‌باشد که بیانگر دقت قابل قبول رابطه یانگ برای مدل‌سازی انتقال آب می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تراز آب رودخانه از ابتدای بازه (۱۲-۸ کیلومتر)

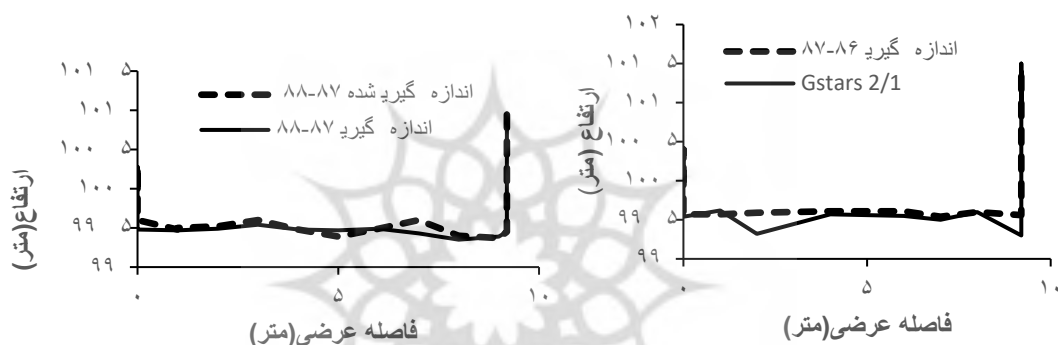
<sup>1</sup>. Relative Error Absolute

<sup>2</sup>. Root Relative Mean Square Error

از پایین دست) تا میانه محدوده مورد مطالعه اندکی افزایش و به طرف پایین دست بازه (۴ کیلومتری تا آخر بازه و نزدیک بدنه سد) روند کاهشی داشته است. بنابراین مشاهده می شود مدل یانگ این روند را به طور دقیق شبیه سازی کرده است.

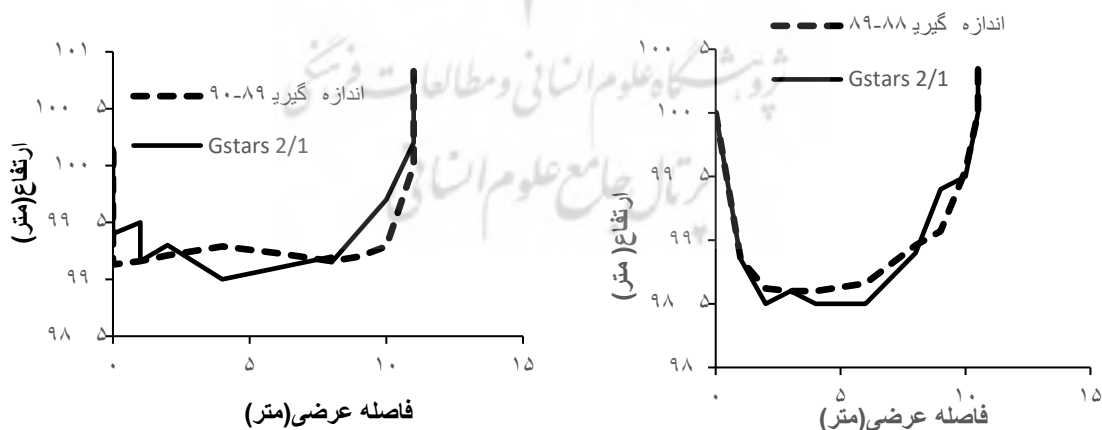
### واسنجی هیدرولیک رسوب در بخش مقاطع عرضی

با توجه به مطابقت خوب رابطه یانگ (۲۰۰۰) با بازه مورد مطالعه از نظر شرایط هیدرولوژیکی و نوع دانه بندی، مدل توسط این رابطه رسوبی اجرا گردید. جهت بررسی تغییرات رسوبگذاری و فرسایش، واسنجی هیدرولیک رسوب هم در بخش مقاطع عرضی و هم در بخش پروفیل طولی انجام شده است. جهت بررسی تغییرات رسوبگذاری و فرسایش در مقاطع عرضی رودخانه و میزان نهشته شدن رسوبات و کنش کف بستر و سواحل و فرسایش کناره های رودخانه از ۹ مقطع عرضی برداشت شده طی سال های ۸۶ تا ۹۵ (۶ مقطع در بخش واسنجی و ۳ مقطع باقی مانده جهت مرحله صحت سنجی) استفاده و برای هر مقطع میزان تغییرات مقاطع مشخص شده است (اشکال ۸ تا ۱۳).



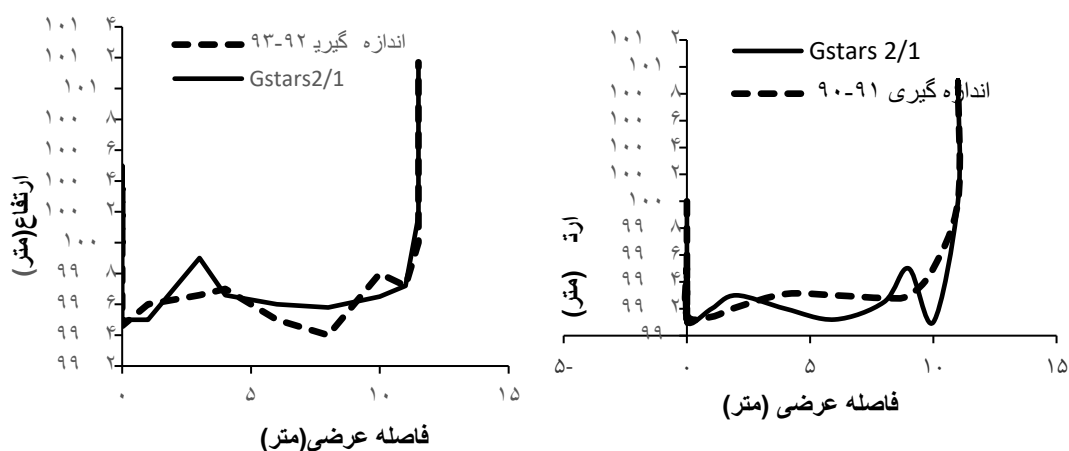
شکل ۹: نمودار مقطع شماره دو در فاصله ۱۰ کیلومتری از پایین دست

شکل ۸: نمودار مقطع شماره یک در فاصله ۱۲ کیلومتری از پایین دست



شکل ۱۱: نمودار مقطع شماره چهار در فاصله ۶ کیلومتری از پایین دست

شکل ۱۰: نمودار مقطع شماره سه در فاصله ۸ کیلومتری از پایین دست



شکل ۱۳: نمودار مقطع شماره شش در فاصله نزدیک بدنه سد

شکل ۱۲: نمودار مقطع شماره پنج در فاصله ۴ کیلومتری از پایین دست

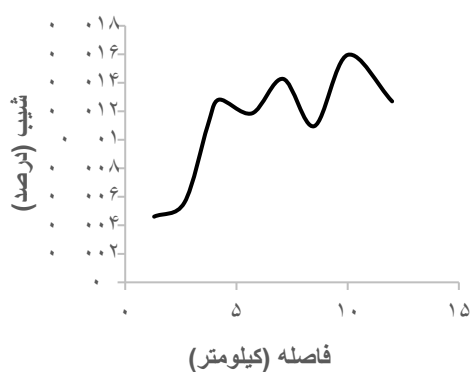
بررسی وضعیت لیتولوژی و مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که وجود کانی‌های ورقه‌ای (میکاه‌ها) بافت سنگ‌ها (به ویژه در خصوص گرانیته‌ها) وجود شیبستوزیته، درز و شکاف در سطوح لایه‌بندی، تخلخل سنگ‌ها، عدم تجانس در دانه‌بندی، ناهمگن بودن جنس عناصر متشکله و سیستم گسل‌های حوزه که طویل و دارای انشعابات فرعی است، از عوامل مهم لیتولوژی موثر در تغییرات رسوبگذاری و فرسایش درمقاطع عرضی و طولی رودخانه و میزان نهشته شدن رسوبات و فرسایش کف بستر و سواحل و کناره‌های رودخانه یلفان می‌باشند. بررسی وضعیت لیتولوژی حوزه نشان می‌دهد که از سرشاخه به طول ۴ کیلومتر، جنس بستر اغلب تخته سنگی تا قلوه سنگی و از جنس گرانیته است و با توجه به شیب تند و سرعت زیاد آب (به عنوان منطقه اول)، مسیر رودخانه مسقیم و دره‌ای است. در منطقه دو با توجه به کاهش شیب و تغییر جنس بستر (بیشتر از نوع تشکیلات هورنفلس و شیبست) مسیر رودخانه به طول ۵ کیلومتر همچنان حالت دره‌ای خود را حفظ کرده اما تا حدودی رودخانه الگوی مئاندری به خود گرفته است. اما در منطقه سوم در نزدیکی سد اکباتان به دلیل شیب ملایم و به عنوان خروجی مسیر رودخانه، جنس بستر بیشتر از رسوبات انباشتی از نوع ماسه، سیلت و رس می‌باشد و در این محدوده مورفولوژی رودخانه به طول ۳ کیلومتر تغییر یافته و به شکل طشتکی شکل دیده می‌شود و تا حدودی رودخانه دارای مسیر مستقیمی است. بنابراین به دلیل یکنواخت نبودن جنس بستر و کناره‌ها و اتصال سرشاخه‌های فرعی از لیتولوژی متفاوت، مقاطع عرضی به شدت تغییر کرده است. در رابطه با پروفیل طولی رودخانه نیز بررسی‌ها نشان می‌دهد که عبور مسیر جریان از امتداد گسل‌ها و لیتولوژی متفاوت به خوبی بیانگر تغییرات تعادل رودخانه و تطابق با وضعیت لیتولوژیکی است. به طوری که عبور مسیر جریان از تشکیلات سست شیبست و تا حدودی هورنفلس‌های تخریبی به حد تعادل و در تشکیلات گرانیته در حال رسیدن به نیمرخ تعادل است که این موضوع بیشتر با تغییرات مکانی الگوی کنش (فرسایش و رسوب‌گذاری) و فراوانی سیلاب‌های منفرد، بزرگ و جریان‌های کوچکتر و کم آب نیز در حوزه همراه می‌باشد. بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که تغییر جنس بستر در طول ۱۲ کیلومتری رودخانه یلفان از سازندهای گرانیته به شیبست و هورنفلس و آهک بعلاوه ویژگی‌های دانه‌بندی آن‌ها و پارامترهای دیگری مانند وضعیت پوشش گیاهی، پیچ و خم‌های رودخانه از عوامل موثر در رابطه با تغییر مورفولوژی (طولی و عرضی رودخانه) باشند. اما بررسی دبی و رسوب به خوبی نشان داد که رواناب بیش‌ترین تأثیر را در تغییر مورفولوژی رودخانه دارد که با فرآیند فرسایش و رسوبگذاری به صورت توأم مقاطع عرضی را تغییر می‌دهند. همچنین با توجه به اندازه قطر ذرات رودخانه، فرآیند فرسایش، افزایش سرعت آب و شیب زیاد، مقاطع عرضی بالا دست V شکل شده و در آن‌ها تنگ شدگی بستر رخ داده است. در حالی که در مقاطع میانی به دلیل فرآیند فرسایش و رسوبگذاری، به شکل U و در انتهای مسیر به دلیل وجود سداکباتان و فرآیند انباشت به

حالت طشتکی کشیده تغییر مورفولوژی داده است. بنابراین نتایج نشان داد که مقدار ظرفیت رسوب با رواناب و سرعت جریان رابطه مستقیم دارد و با افزایش و کاهش سرعت جریان و تغییر مورفولوژی مقاطع عرضی و طولی، ظرفیت انتقال رسوب نیز تغییر می‌یابد که این امر با توجه به تغییر لیتولوژی در مسیر موجب افزایش تغییر مورفولوژی رودخانه نیز شده است.

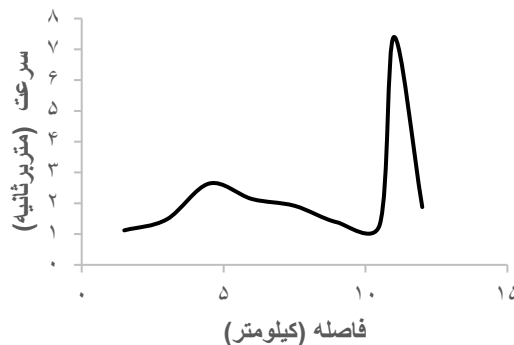
بررسی‌ها نشان می‌دهد، اندازه‌گیری فرسایش و رسوبگذاری در مقاطع عرضی مختلف به ازای معادله انتقال رسوب یانگ (۲۰۰۰) متفاوت است. به طوریکه در مقطع یک شکل (۸) در ساحل سمت چپ و کف بستر متمایل به ساحل سمت راست مقدار فرسایش کم و در مقطع دو شکل (۹) در کف بستر مقدار فرسایش بر میزان رسوبگذاری غالب است و به نسبت مقطع شماره یک تغییرات بیشتری پیدا کرده است که این اتفاق به دلیل افزایش میزان سرعت جریان و شیب بازه می‌باشد. در مقطع شماره سه شکل (۱۰) در ساحل سمت چپ رسوبگذاری و در کف بستر فرسایش رخ داده است. بررسی تغییرات مقاطع ۱، ۲ و ۳ با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل ریاضی اختلاف ناچیزی با مقدار اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و دارای مطابقت قابل قبولی می‌باشد. اما در مقطع شماره ۴ شکل (۱۱) به دلیل افزایش میزان شیب و سرعت زیاد جریان آب فرسایش در کف بیشتر شده است. نتایج شبیه‌سازی مدل بیانگر این است که در مقطع ۴ مقدار فرسایش در بستر نسبت به مقاطع قبل افزایش یافته و در مقابل در کناره‌های رودخانه رسوبگذاری اتفاق افتاده و می‌توان گفت فرسایش در این مقطع از رودخانه بر میزان رسوبگذاری غالب است. اما در مقاطع مربوط به پایین دست بازه مطالعاتی و نزدیک بدنه سد میزان سرعت جریان و شیب بازه کم شده و از شدت میزان فرسایش کاسته شده و میزان رسوبگذاری افزایش یافته که بررسی‌ها بیانگر مطابقت خوب مدل یانگ (۲۰۰۰) با مقادیر برداشت شده و مقاطع اولیه می‌باشد. بررسی پروفیل طولی سرعت و شیب محاسبه شده توسط مدل و بررسی تغییرات سرعت و شیب در طول بازه مطالعاتی موید این موضوع است. (اشکال ۱۲ و ۱۳). با توجه به مقادیر RRMS و ARE (جدول ۱) برای هر مقطع و اینکه مقدار RRMS باید از ۵ کمتر و ARE نیز باید کمتر از یک باشد تا نتیجه مورد قبول واقع شود، می‌توان بیان کرد که مدل توانایی بیشتری در شبیه‌سازی نزدیک بدنه سد (رسوبات ریز دانه) داشته است. همانطور که از اشکال (۱۴ و ۱۵) مشخص است، سرعت جریان و شیب از بالادست بازه مطالعاتی تا پایین دست دچار نوساناتی شده است به منظور تجزیه و تحلیل این تغییرات و بررسی میزان تنش برشی محاسبه شده توسط مدل، رودخانه به سه بازه اول از ابتدای محدوده تا فاصله ۸ کیلومتری از پایین دست، بازه دوم از فاصله ۸ کیلومتری تا ۴ کیلومتری و بازه سوم از فاصله ۴ کیلومتری تا انتهای بازه مورد مطالعه تقسیم شد.

جدول ۱: برآورد خطای آماری (RRMS و ARE) نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل در بخش مقاطع عرضی

شماره مقطع	فاصله مقطع از سد (متر)	تراز بستر بعد از ۹ سال با استفاده از مدل Gstars 2/1	تراز بستر بعد از ۹ سال با داده های هیدروگرافی	ARE	RRMS
۱	۱۲۰۰۰	۹۹/۳	۹۹/۵۴	۰/۰۰۱۵۴	۱/۸۴۹۳
۲	۱۰۰۰	۹۹/۳۷	۹۹/۳۵	۰/۰۰۰۲۳۶	۲/۱۳۵۴
۳	۸۰۰۰	۹۸/۵	۹۸/۶	۰/۰۰۰۳۷۳	۰/۸۲
۴	۶۰۰۰	۹۹	۹۹/۱۳	۰/۰۰۰۷۶۷	۱/۳
۵	۴۰۰۰	۹۹/۱	۹۹/۱۳	۰/۰۰۰۳۵۸	۰/۸۸
۶	۰	۹۹/۵	۹۹/۳۹	۰/۰۰۰۲۴	۲/۱۶۷۰



شکل ۱۵: نمودار پروفیل طولی شیب در بازه مورد مطالعه



شکل ۱۴: نمودار پروفیل طولی سرعت جریان آب در بازه مورد مطالعه

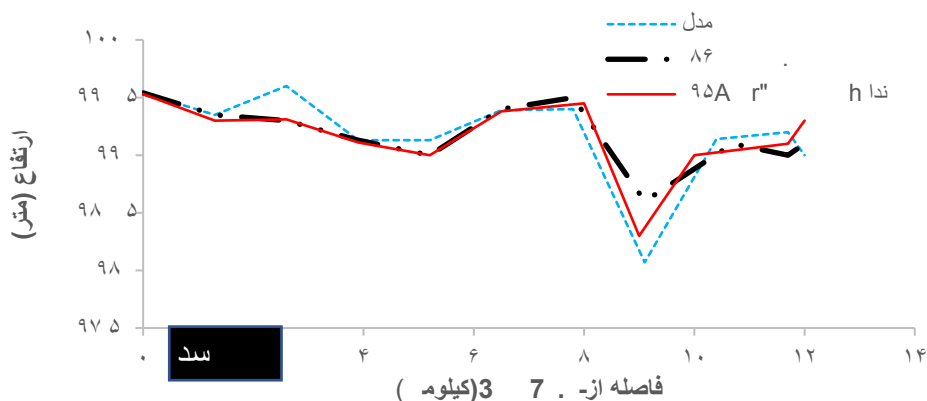
بررسی تنش برشی محاسبه شده با توجه به دبی  $5/19$  متر مکعب بر ثانیه نشان می‌دهد که این مقدار در ابتدای بازه اول بیشتر از بقیه بازه‌هاست که به دلیل افزایش شیب و به دنبال آن افزایش حمل رسوب و ایجاد کنش در بستر رودخانه می‌باشد. بررسی مقدار تنش برشی در بازه‌های مذکور نیز نشان می‌دهد که مقدار تنش برشی به ترتیب  $25/67$ ،  $20/67$  و  $18/86$  نیوتن بر متر مربع در بازه‌ها می‌باشد که متناسب با آن مقدار متوسط قدرت جریان نیز کاهش می‌یابد. مقدار متوسط قدرت جریان در بازه اول، دوم و سوم به ترتیب برابر با  $765$ ،  $586$  و  $359$  نیوتن بر متر مربع می‌باشد که از بالادست به پایین دست در حال کاهش است و نشان می‌دهد که انرژی جریان برای حفر بستر و تغییر مقاطع عرضی کاهش یافته است. همچنین مقدار حداقل و حداکثر تنش برشی دبی در رودخانه به ترتیب  $49/42$  و  $248/11$  نیوتن بر متر مربع برای دبی بادوره بازگشت ۵۰ ساله، بیانگر این است که رودخانه قابلیت حفر بستر را در طول ۱۲ کیلومتری به شکل قابل توجهی داراست. بررسی رابطه عدد فرود، سرعت و مقاطع عرضی رودخانه در بازه‌ها نیز موید این موضوع می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲: رابطه عدد فرود، سرعت و مقاطع عرضی رودخانه

مقاطع	عدد فرود/F	سرعت/V	شکل مقطع و فرایند
بازه اول	۰/۹۸۹	زیاد	V شکل و فرسایشی
بازه دوم	(۰/۳۵ - ۰/۵)	متوسط	U شکل و فرسایش و انباشت
بازه سوم	۰/۳	کم	انباشت

### ۳-۶- واسنجی هیدرولیک رسوب در بخش پروفیل طولی

به منظور بررسی تغییرات رسوبگذاری و فرسایش در راستای پروفیل طولی رودخانه (تالوگ) از پروفیل طولی برداشت شده مربوط به سال ۸۶ و خط القعر اندازه‌گیری شده مربوط به سال ۹۵ استفاده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مطابقت خوبی بین تالوگ اولیه (سال ۸۶) و اندازه‌گیری شده سال ۹۵ با شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود دارد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: نمودار واسنجی مدل نسبت به پروفیل طولی رودخانه

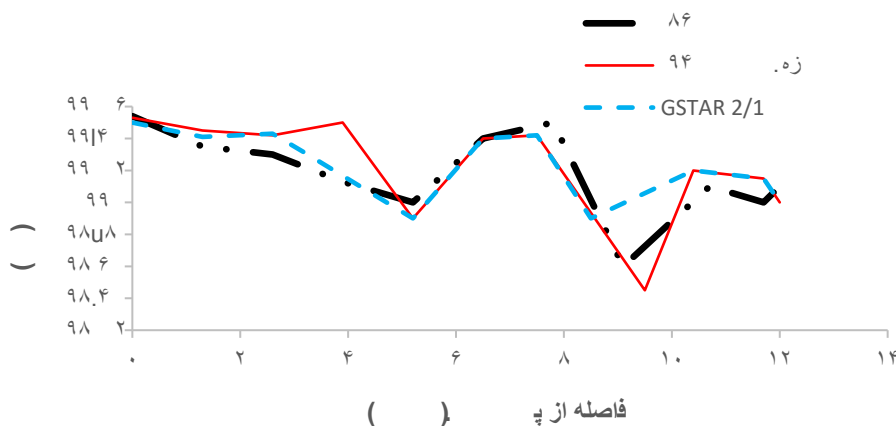
با توجه به میزان محاسبه شده پارامترهای ARE و RRMS میزان صحت داده‌های وارد شده به مدل جهت انجام مرحله ارزیابی صحت سنجی اثبات گردید (جدول ۳).

جدول ۳: برآورد خطای آماری (ARE و RRMS) نتایج حاصل از واسنجی پروفیل طولی رودخانه

ارتفاع خط القعر بعد از ۹ سال با استفاده از مدل	ارتفاع خط القعر بعد از ۹ سال با داده‌های اندازه‌گیری شده	ARE	RRMS
۹۸/۰۷	۹۸/۳	۰/۰۰۱۲۱	۱/۱۵

### صحت سنجی بخش هیدرولیک رسوب با توجه به خط القعر

در این مرحله جهت سنجش و ارزیابی میزان صحت پارامترهای بدست آمده در مرحله کالیبراسیون پروفیل طولی رودخانه، یکبار دیگر مدل با معرفی داده‌های خط القعر رودخانه در سال ۹۴ اجرا و نتایج با مقادیر مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی صحت سنجی خط القعر نشان می‌دهد که از بالا دست تا فاصله ۸ کیلومتری از بدنه سد فرسایش به نسبت رسوبگذاری بیشتر اتفاق افتاده و پس از آن به طرف پایین تا ۵ کیلومتری سد میزان رسوبگذاری خیلی کم محاسبه شده و در نهایت تا آخر بازه رسوبگذاری فرایند غالب می‌باشد که نتایج نزدیک به مرحله واسنجی را ارائه کرده است. بنابراین با توجه به رضایتمند بودن نتایج مرحله ارزیابی، بار دیگر صحت پارامترهای معرفی شده به مدل مورد تایید واقع گردید. (شکل، ۱۷). بعلاوه نتایج و میزان خطای برآوردی در این روش در جدول (۴) ارائه شده که موید صحت موارد است.



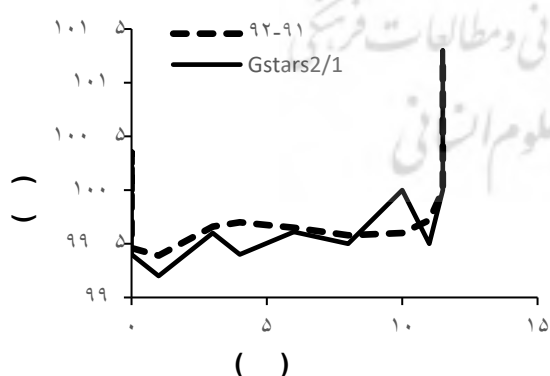
شکل ۱۷: نمودار صحت سنجی مدل ریاضی با توجه به پروفیل طولی (خط القعر) رودخانه یلفان

جدول ۴: برآورد خطای آماری (RRMS و ARE) نتایج حاصل از صحت سنجی پروفیل طولی رودخانه

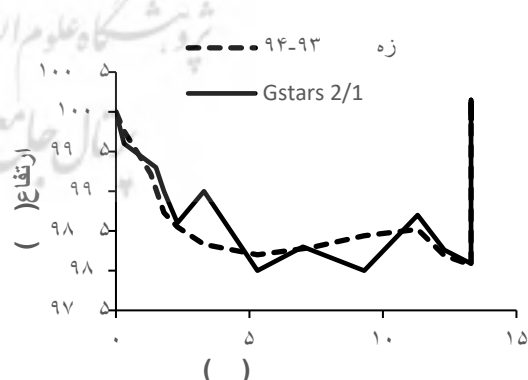
ارتفاع خط القعر بعد از ۹ سال با استفاده از مدل	ارتفاع خط القعر بعد از ۹ سال با داده‌های اندازه‌گیری شده	ARE	RRMS
۹۸/۴۵	۹۸/۹	۰/۰۰۰۶۵	۰/۸۴

### صحت سنجی بخش هیدرولیک رسوب با توجه به مقاطع عرضی

در این مرحله نیز به منظور بررسی میزان صحت پارامترهای بدست آمده از بخش واسنجی مدل، یکبار دیگر مدل با معرفی داده‌های مقاطع عرضی برداشت شده در سال‌های ۹۵ و ۹۴ و ۹۳ اجرا و نتایج با مقادیر مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به مطابقت نمودارهای اولیه و شبیه‌سازی مدل توسط رابطه ینگ و مقدار خطای روش توسط پارامترهای ARE و RRMS (جدول ۵) برای بار دوم صحت و درستی اطلاعات معرفی شده به مدل مورد تایید قرار گرفت (اشکال ۱۸، ۱۹ و ۲۰). به منظور صحت سنجی تغییرات مقاطع عرضی توسط مدل از سه مقطع برداشت شده در سال‌های ۹۳، ۹۴ و ۹۵ مدل یکبار دیگر به ازای رابطه ینگ جهت تایید تغییر مقاطع عرضی رودخانه با معرفی سه مقطع به شماره‌های ۷ و ۸ و ۹ اجرا شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در مقطع شماره هفت (شکل ۱۸)، در فاصله ۱۲ کیلومتری از سد به دلیل بالا بودن میزان سرعت جریان و شیب بازه میزان فرسایش از رسوبگذاری بیشتر و در مقطع شماره هشت (شکل ۱۹)، نیز که در ۶ کیلومتری پایین دست سد قرار دارد، به دلیل افزایش سرعت جریان و شیب بازه، مقدار فرسایش زیاد و در نهایت در مقطع شماره ۹ (شکل ۲۰)، که در نزدیکی پایین دست سد واقع شده به دلیل کاهش قابل توجه میزان شیب بازه و سرعت جریان و کاهش حمل رسوب توسط جریان، میزان رسوبگذاری زیاد است. برآورد خطای آماری (RRMS و ARE) و نتایج حاصل از ارزیابی و صحت سنجی مدل در بخش مقاطع عرضی نیز موید این موضوع است که در جدول (۵) نتایج ارائه شده است.

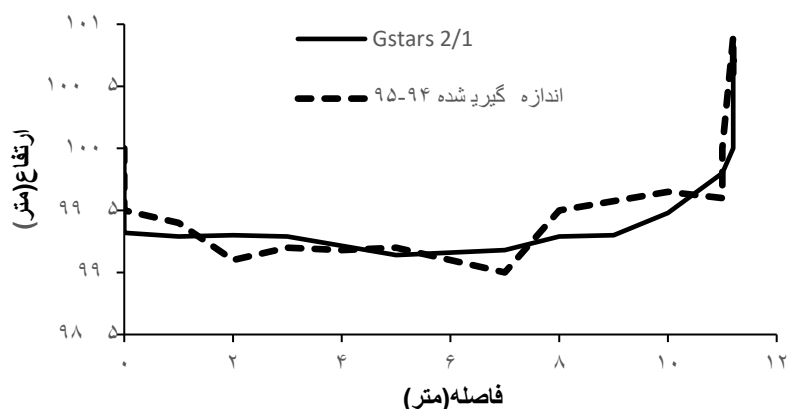


شکل ۱۹: نمودار مقطع شماره هشت در فاصله ۶ کیلومتری از پایین دست



شکل ۱۸: نمودار مقطع شماره هفت در فاصله ۱۲ کیلومتری از پایین دست





شکل ۲۰: نمودار مقطع شماره نه در نزدیک بدنه سد

جدول ۵: برآورد خطای آماری و نتایج حاصل از ارزیابی و صحت سنجی مدل در بخش مقاطع عرضی

شماره مقطع	فاصله مقطع (از سد) (متر)	تراز بستر بعد از ۹ سال با استفاده از مدل Gstars 2/1	تراز بستر بعد از ۹ سال با داده های هیدروگرافی	ARE	RRMS
۷	۱۲۰۰۰	۹۹/۲	۹۹/۳۹	۰/۰۰۳۱۵	۲/۸۵
۸	۶۰۰۰	۹۸	۹۸/۰۷	۰/۰۰۳۱۶	۲/۱۶۷
۹	*	۹۹	۹۹/۱۴	۰/۰۰۰۱۴	۱/۲۴

### بررسی تغییرات طولی و عرضی در طول مسیر رودخانه:

مقادیر ضریب همبستگی در بازه مطالعاتی و وضعیت فرسایش و رسوبگذاری محاسبه شده توسط مدل GSTARS 2.1 طی مراحل کالیبراسیون و صحت سنجی در مقاطع شبیه‌سازی شده ۰/۷۲ و برای پروفیل طولی رودخانه ۰/۵۳ به دست آمد که در حد قابل قبولی می‌باشند. که نتایج این قسمت از پژوهش با مطالعات (آلونسو<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰) همخوانی دارد. آن‌ها نیز در بررسی میزان رسوبگذاری با معادلات یانگ، ایکرز، وایت و انگلاند و هانسون نشان دادند که معادله یانگ دارای خطای کمتری است. همچنین با نتایج (بایزیدی و همکاران، ۱۳۹۶) که بر روی رودخانه قره سو با استفاده از رابطه یانگ، ضریب همبستگی ۰/۸۵ بین پروفیل طولی اولیه و شبیه‌سازی شده را به دست آورده اند، بیانگر صحت این بخش از نتایج می‌باشد.

### مقایسه نتایج مدل با مقادیر مشاهداتی بر مبنای حجم رسوبات:

هدف از مدل‌سازی در این مطالعه محاسبه مقدار رسوبات خارج شده از بازه مورد مطالعه بود. در این تحقیق کالیبراسیون بر مبنای حجم رسوبات انتقال یافته صورت گرفت و با استفاده از اطلاعات و داده‌های آماری موجود خروجی مدل بر مبنای حجم رسوبات کالیبره گردید. تغییرات هر مقطع در هر گام زمانی و بار رسوبات عبوری از هر مقطع محاسبه و نتایج به دست آمده از اجرای مدل برای آخرین گام زمانی (که در این مطالعه ۹ سال می‌باشد) به دست آمد. با توجه به آمار موجود در طی ۹ سال آماری میزان کل رسوبات انتقال یافته از بازه معادل ۱/۴۲ میلیون متر مکعب اندازه گیری شده بود. به منظور محاسبه حجم رسوبات، مقایسه آمار موجود با خروجی مدل با بکارگیری معادله انتقال رسوب یانگ صورت گرفت که نتایج در جدول (۶) آمده است.

<sup>۱</sup>. Alonso

جدول ۶: نتایج حاصل از محاسبه حجم رسوبات با استفاده از اجرای مدل توسط رابطه یانگ

مقدار حجم اندازه گیری شده (میلیون متر مکعب)	مقدار حجم برآورد شده توسط مدل (میلیون متر مکعب)	میزان اختلاف با مقدار حجم رسوبات ورودی (خطای مدل (درصد))	تخمین مدل (درصد)
۱/۴۲	۱/۳۶	۴/۲۲	۹۵/۷۸

بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل حجمی برابر ۱/۳۶ میلیون متر مکعب برآورد کرده و نزدیکی مقدار برآورد شده با مقدار اندازه‌گیری شده به میزان ۱/۴۲ میلیون متر مکعب نشان داد که معادله یانگ به خوبی توانسته میزان حجم رسوبات حمل شده در این سال‌های آماری را شبیه‌سازی کند. به منظور سنجش حساسیت مدل به تغییر تابع انتقال رسوب این با، از رابطه توفالیتی (۱۹۶۹) استفاده و تغییرات حجم رسوبات برآورد شده توسط رابطه توفالیتی نسبت به نتایج یانگ بررسی و مقایسه شد. برای بررسی حساسیت مدل تغییرات حاصله در هر مقطع از رودخانه با استفاده از توابع انتقال رسوب توفالیتی نسبت به تابع انتقال رسوب یانگ حساسیت سنجی شد. به این منظور، ابتدا مدل نسبت به تغییر معادله انتقال رسوب بررسی شد به طوری که با ثابت در نظر گرفتن سایر شرایط و پارامترهای مدل این بار به ازای رابطه‌ای غیر از رابطه یانگ مدل‌سازی انجام گردید. دلیل این کار این بود که از رابطه یانگ به عنوان مبنا جهت مقایسه میزان رسوبات حمل شده توسط مدل استفاده شود. برای این کار، مدل انتقال رسوب توفالیتی انتخاب و جهت حساسیت سنجی مدل بکار گرفته شد. نتایج اجرای مدل با رابطه توفالیتی نشان داد که حجم رسوبات حمل شده نسبت به نتایج حاصل از رابطه یانگ اختلاف زیادی داشت. به طوریکه میزان خطای مدل به ۲۷/۹۴ رسید و مقادیر پارامترهای حساسیت سنجی ( $\bar{n}_1$  و  $\bar{n}_2$ ) با توجه به اینکه مقدار قدر مطلق  $\bar{n}_1$  از ۰/۱ کمتر باشد، مقدار خطا قابل قبول و نتایج پذیرفته خواهند شد، به ترتیب برابر ۰/۱۳ و ۰/۱۲۵ محاسبه شد و عبارتی  $\bar{n}_1$  از ۰/۱ بیشتر بدست آمد. بنابراین نتایج مدل پذیرفته نگردید. جدول (۷) نتایج حاصله از تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییر تابع انتقال رسوب توفالیتی را نشان می‌دهد.

جدول ۷: نتایج دست آمده از حساسیت سنجی مدل نسبت به تغییر تابع انتقال رسوب

تابع انتقال رسوب	مقدار حجم برآورد شده توسط مدل (میلیون متر مکعب)	X (درصد)	$\bar{n}_1$	$\bar{n}_2$
توفالیتی	۰/۹۸	۲۷/۹۴	۰/۱۳	۰/۱۲۵

### بررسی تغییر ضریب مانینگ بر روی پروفیل طولی رودخانه

ضریب زبری بر روی هیدرولیک جریان اثر می‌گذارد و از پارامترهای مهم در محاسبات و شبیه‌سازی توسط مدل محسوب می‌گردد، تغییر در مقدار آن بر حجم رسوبات و پروفیل طولی مؤثر می‌باشد (بایزدی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین مقدار آن با توجه به شرایط رودخانه تغییر داده شد تا تأثیر آن بر انتقال رسوبات در بازه مورد نظر مشخص گردد. به همین جهت این بار ضریب زبری برابر ۰/۰۳۲ قرار داده شد و مدل با ثابت در نظر گرفتن سایر شرایط اجرا گردید. نتایج نشان داد با افزایش مقدار این ضریب در مقاطع انتهایی رودخانه و نزدیک سد افزایش میزان رسوبگذاری به دلیل کاهش سرعت جریان رخ می‌دهد و تأثیر این مقدار بر تغییر مورفولوژی مقطع ابتدایی اندک و در مقاطع میانی که میزان سرعت جریان کمتر از ابتدای بازه بود نیز با افزایش ضریب مانینگ میزان رسوبگذاری افزایش پیدا کرده، ولی چون شیب و سرعت هر دو در میانه مسیر محدوده کمتر از ابتدای منطقه و بیشتر از انتها می‌باشد، میزان رسوبگذاری در میانه به نسبت ابتدا بیشتر و نسبت به پایین دست منطقه مورد مطالعه کمتر مشاهده گردید. به عبارتی می‌توان نتیجه گرفت افزایش ضریب مانینگ

به همراه سایر پارامترهای حوزه مانند لیتولوژی منجر به ته نشینی رسوبات در قسمت‌های پر پیچ و خم مسیر رودخانه به دلیل کاهش سرعت و تغییر مورفولوژی رودخانه گردیده است و تداوم چنین فرآیندی موجب متاندری شدن رودخانه و افزایش پیچ و خم‌های آن می‌گردد که این موضوع در مدت ۹ سال موجب افزایش طول مسیر، تحول و تغییر فرایند فرسایش و رسوبگذاری و تغییر در مورفولوژی مقاطع عرضی و پروفیل طولی رودخانه یلفان گردیده است. (شکل ۲۱).



شکل ۲۱: نمودار مقایسه پروفیل طولی بستر رودخانه با مقادیر مختلف ضریب زبری مانینگ

### نتیجه‌گیری

پیش‌بینی تغییرات بستر رودخانه در راستای طول و عرض و شبیه‌سازی دو بعدی جریان و رسوب با استفاده از مدل‌های فیزیکی و یک بعدی امکان پذیر نیست. اما این امکان وجود دارد که با بکارگیری مدل‌های عددی شبه دو بعدی مانند Gstars 2/1 به این نتایج دست پیدا کرد. در این تحقیق نتایج واسنجی مدل GSTARS 2/1 و معادله انتقال رسوب یانگ و توفالیتی بیانگر رسوبگذاری زیاد در پایین دست مخزن سد اکباتان و با توجه به میزان خطای حاصله از واسنجی بخش مقاطع عرضی در مدل، رابطه یانگ تایید گردید. نتایج شبیه‌سازی مدل بیانگر این است که در مقطع ۴ مقدار فرسایش در بستر نسبت به مقطع قبل افزایش یافته و در مقابل در کناره‌های رودخانه رسوبگذاری اتفاق افتاده و فرسایش در این مقطع بر میزان رسوبگذاری غالب است. اما در مقاطع مربوط به پایین دست و نزدیک بدنه سد میزان سرعت جریان و شیب بازه کم شده و از شدت میزان فرسایش کاسته شده و میزان رسوبگذاری افزایش یافته که بیانگر مطابقت خوب مدل یانگ (۲۰۰۰) با مقادیر برداشت شده و مقاطع اولیه بازه مطالعاتی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که میزان تغییرات پروفیل عرضی رودخانه از بالا به طرف پایین دست تقریباً همسو و هم راستا با نتایج مدل GSTARS 2/1 بوده و میزان خطای محاسبه شده نیز این نتیجه را تایید می‌نماید. بعلاوه نتایج بررسی خط القعر رودخانه در مدل بیان‌کننده افزایش میزان رسوبگذاری به طرف پایین دست محدوده مطالعاتی و بالا بودن میزان فرسایش و کف‌کنی در بستر رودخانه در بالا دست می‌باشد. همچنین نشان می‌دهد که مقطع عرضی رودخانه از سال ۸۴ تا ۹۴ دارای تغییرات مورفولوژیکی قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. به طوری که بستر از حالت V شکل به U شکل در حال تغییر است و نشان می‌دهد که فرسایش در ساحل چپ نسبت به ساحل راست بیشتر می‌باشد و بیانگر این است که عدم تقارن آبراهه از سال ۱۳۸۴ نسبت به سال ۱۳۹۵ بیشتر و کج‌شدگی در بستر رودخانه رخ داده است. بررسی پروفیل طولی رودخانه نشان می‌دهد که عبور مسیر جریان از لیتولوژی متفاوت به خوبی بیانگر تغییرات نیمرخ تعادل رودخانه و تطابق با وضعیت لیتولوژیکی است. به طوری که عبور مسیر جریان از تشکیلات سست شیبست و تا حدودی هورنفلس‌های تخریبی به حد تعادل و در تشکیلات گرانیتی در حال رسیدن به نیمرخ تعادل است که این موضوع به فرآیند فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه یلفان سد اکباتان و سیلاب‌های کوچک اما با تکرار و فراوانی زیاد مربوط می‌باشد که موجب کف‌کنی و فرسایش حاشیه و بستر رودخانه شده است. بررسی‌های میدانی نشان داد که ساحل راست رودخانه به دلیل انجام طرح‌های مهندسی رودخانه از قبیل تثبیت ساحل، اختلاف زیادی با نتایج مدل ریاضی دارد. با بررسی تغییرات بستر در محل ایستگاه رودخانه در سد اکباتان مشخص شد که

طی ۱۳ از سال ۸۴ تا ۹۴ رسوبگذاری فرایند غالب در این ایستگاه می‌باشد و کلیه روابط رسوبی مورد استفاده نیز در این پژوهش همین فرآیند را پیش بینی و تایید نموده‌اند نتایج بررسی تغییر ضریب زبری مانینگ نشان دهنده تغییر پروفیل طولی رودخانه به ازای تغییر ضریب زبری بوده و بیانگر این است که با افزایش میزان ضریب زبری در قسمت‌های دارای سرعت پایین جریان، رسوبگذاری بیشتر اتفاق افتاده است. نتایج این قسمت از پژوهش با بررسی‌های بایزیدی و همکاران (۱۳۹۶) ، ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۵)، ظهیری و همکاران (۱۳۹۷) و یانگ (۲۰۰۰) از نظر نتایج، دقت و روش کار مطابقت دارد. بنابر آنچه در این مطالعه انجام شد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل نسبت به یک سری از پارامترها حساسیت داشته و متناسب با مقدار و نوع تغییر تابع انتقال رسوب نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. نتایج حاصله از اجرای مدل نشان دهنده عدم کارایی رابطه توفالتی جهت محاسبه حجم رسوب و بیانگر مطابقت خوب تابع یانگ با مقادیر واقعی برآورد رسوبات حمل شده می‌باشد و مدل GSTARS 2/1 در شبیه‌سازی حجم رسوبات حمل شده به داخل سد و پایین دست رودخانه یلفان نتایج قابل قبولی ارائه داده است و می‌توان از این مدل به عنوان روش مناسب جهت شبیه‌سازی جریان و رسوب رودخانه‌های واقع در مناطق با شرایط مشابه و پیش بینی زمان پر شدن مخازن سدها از رسوب استفاده کرد. البته پیشنهاد می‌شود به منظور اطمینان و کارایی بیشتر نتایج حاصل از اجرای مدل‌های شبه دو بعدی، نتایج حاصل با استفاده از مدل‌های دیگر مانند River intake نیز ارزیابی و اجرا شود.

## منابع

- اسماعیلی، ر.، دلیری، ر.، ۱۳۹۸. تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی مائدرهای رودخانه شلمان رود، استان گیلان، نشریه پژوهش‌های دانش زمین، سال ۱۰، شماره ۳۹، صص ۱۵۳-۱۴۱.
- اسفندیاری، ف.، رحیمی، م.، رحیمی، م.، ۱۳۹۶. تحلیل میزان مهاجرت عرضی مجرای رودخانه ارس با استفاده از روش ترانسکت در طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۸۷ (از سد خدا آفرین تا سد میل مغان)، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۵، شماره ۴، صص ۵۸-۴۱.
- ایلدرمی، ع.، شیخی پور، آ.، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه و نقش آن در فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از مدل HCC-AAS (مطالعه موردی: رودخانه خرم آباد-دوآب ویسان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، جلد ۵، شماره ۳، صص ۱۶۳-۱۴۶.
- بایزیدی، م.، کریمی، ن.، ۱۳۹۶. پیش بینی روند رسوبگذاری در رودخانه قره سو با استفاده از مدل GTISS 3، مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۳، شماره ۱، صص ۸۰-۶۶.
- خیری زاده آروق، م.، رضایی مقده، م.ح.، رجبی، م.، دانشفر، ر.، ۱۳۹۶. تحلیل تغییرات جانبی مجرای رودخانه زرینه رود با استفاده از روش‌های ژئومورفومتریک، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، جلد ۵، شماره ۴، صص ۱۰۲-۷۶.
- شایان، س.، شریفی کیا، م.، ناصری، ن.، ۱۳۹۶. تحلیل عوامل مورفولوژیکی در تغییرات الگوی مکانی، فضایی رودخانه الوند، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۲، شماره ۱، صص ۳۶-۲۴.
- شرفی، س.، سکوند، ح.، کمالی، ز.، ۱۳۹۸. بررسی تغییرات مکانی- زمانی مورفولوژی رودخانه سیلاخور در استان لرستان، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۳، صص ۱۱۵-۱۳۱.
- صلحی، س.، سیف، ع.، ۱۳۹۷. مورفومتری پروفیل طولی دره‌های سه‌پند، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۴، صص ۶۹-۵۳.
- ظهیری، ع.، قلی‌نژاد، ج.، دهقانی، ا.، ۱۳۹۷. محاسبه توزیع عرضی رسوب رودها با استفاده از مدل ریاضی شبه دویعدی (مطالعه نمونه‌ای: رود قره سو)، مجله مهندسی منابع آب، سال ۱۱، شماره ۳۸، صص ۹۳-۸۳.

• کهربائیان، پ، بهنیافر، ا، شاکری زارع، ح، رضایی عارفی، م، ۱۳۹۷. تحولات مورفولوژیکی و الگوی پیچان رودی بستر رودخانه مرزی هریرود با استفاده از SS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۳، شماره ۳، صص ۶۴-۵۳.

- *iii h T,, . (0088.. TTTASS pppp .. rr ddd sss nnd aaaaaaaaaa nnnrrll .. aaaaaa ttt rr ssseen.. nnaaaaad nnnrrreeee ee Wtt rr Ruuursss nnd dddd Errrrnn,, ,,, nng dddd Uii rrryyy*
- *,,, ,, ,, ,, & ooo, .. (0010.. ooow mmmmmmmnnd iii ttt nnnppptt nn ppppuudd aaann... .. rraal of aaaaaacc rrrrrr rr, RRRR 88(1,, 33-22*
- *,,, ,, Wnn,, T,,, Ynn,, ,, & uu,, .. 2011)T Eooo lll nnd pptt lll nnnnnnnm ff tttttt iii gg sssss nn hle ggggg gng( eeeeeeeeee eennnnnd hrrr llll ioooooo aaa aaaa aaaaadll 0 000 00...*
- *qqa,, ,, hh aaaa ,, .. R,, ddddr,, Hhhh,, .. ,, & aaa,, .. 221) . Appliiii ii ff ddd vvv vee DD llll ll r nnnnnnnm tttttt uugggggg a reerrrr. bbbbaa uuuaao oo ccaaaa aa nnii ..... . 4455, 9999-7777*
- *aa,, Y,, ,, & W,, .. 201... A Trree-.. oooooool ooow .. . dddtttt t nnnoott ddd ll or rr ee-uuffee nnnn aa nll oooss nn uuuuuuuud llllll l ee eee.. uuud, 4(1,, 18-...*
- *,,, ,, Y,, ,, eeeeeee, ... , Wnn,, ,, & ,, Y. 221) . ttttt tt n ddd ooooff nnnn ssss ss hle pppddddd ddddtttt tt tee ddddee Trmm rrrrrr oonnnnnnnnnii aa, pppppp ppyyy2 2,, 1 1, -1...*
- *.nnnnnnn,, & Ynn,, TTT (1666). Cppp tt rr rr gmmmeee r's nnn aal fr TTTSSS dddddd ddddt rmmTbbe ddd ll or uuuaad ii rrr ii aaaaoo), U ... uuruuu ff aaaaaaaaaa ee rrrro oooaddo.*
- *nnnnnnn,, & W,, 00 0000 D0 apppr t ff tttttt tt arss s ddd-ddd eeee,, oonnll ff uuuuuuuu uuuihh3 3(), 155-1...*
- *,,,,, SSS, oo aaa, P,,, , ooo ,, .. 2201) . ppooooooooooaaaaaas nn aaannll aaaggss uuuddd yy uuuu aeeeeessss ss a nnnn nnnm eeee: hhe orrr iii xe rrrrrr lllll l mmmpppooyyy3 3333 33-....*
- *ddd ,, .. 221) . pppppppee ddd nnnmff dddtttt t nnnoott nnd ddd rr ooo or hle tt ddy ff Caasad hhhhh hhyaa..... . . . . . oooCC Gssss ssss BBB BBBB*
- *Suuuaaaa,, F,, ,, ,, Y,, aaaaaad,, & hhhhhhh,, .... )1) . Daaacc nnnn nnnm nnroooeee oo rrrmmeebbbbooss nnd lppppaan oa,,,,, pppppp ppyyy, ,, 44-1...*
- *hh,, Z,,, gggg, FFF, W,, F... , Wnn,, ,, Y,,, ,, & W,, .. .. (001... .. ll rrooo rrssss ss nnd tttttt tiii gg ooo dddddd hhhnnnoott ccc aaii sss nn pppppppp. uuuaao y yrrll ggy3 13313) 7 77770000.*
- *oo ggggz -aaaoo, ,, , bbaaaa-sss rr, MMM aarrrrr ,, & Tbaaaa-rrrr rr TTT. 2201) . Toooo lll aaasss nn... dddd tttttt ttt oott nn.. tt aat cchhhhhhhhh ppui ,, pppppp ppyyy( 1((1 -) 8 181-1...*
- *Ynn,, TTT (8888.. TTTRS pppp tt rr ddd sss nnd tttttt tt oai nnnrl nrrraa. ttt er ssee.. nnaaoadl nnnrrreeee ee Wtt rr R... .sss nnd dddd drrronnnn,, nng aann nn nnyyy*
- *Ynn,, TTT, & ii ,, ,, , ..... .0000.. ... r's nnn aal or TTTSSS .. 1. SSS .uuruuu ff aaaaaaaaaa tiiii iii rriie eeeerrD Drrro oooo....*
- *.. uu, ,, ii ,, ,, uu, ,, gggg, .. , & nnn F. 221... .. . gllll ll jnnnnnnna mnnnnnnm r... .. hle dddd. Yntt ee rrrrr ruu... yy rrrrr .. nnn iiiiii iii pppppp ppyyy. . 333 33-....*