

مقایسه نرم افزارهای HEC-6 و GSTARS-3 در برآورد رسوبگذاری در مخزن سد کرخه

محمد هوشمندزاده ، محمد محمودیان شوشتری ، محمود کاشفی پور ، مهدی قمشی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر
استاد دانشکده مهندسی و عضو هیات علمی دانشگاه شهید چمران اهواز
اعضای هیات علمی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
پست الکترونیک : hooshmandzadeh_civil@yahoo.com

چکیده

فرسایش عامل تولید رسوب است. رسوبات از طریق جریان های سطحی وارد مخازن سدها شده و پس از مدتی حجم مفید مخزن از رسوبات انباشته شده ، سد کارایی خود را از دست داده و عمر مفید آن پایان می یابد. برای بررسی حجم رسوبات وارد شده به مخازن سدها و با توجه به ماهیت پیچیده انتقال رسوب، مدل های رایانه ای متعددی از جمله HEC-6 و GSTARS-3 ارائه شده اند . در این مقاله کوشش می شود تا بهترین مدل از میان دو نرم افزار مزبور و همچنین بهترین معادله انتقال رسوب برای محاسبه حجم رسوبات وارد شده به مخازن سدها انتخاب شود. نتایج بیانگر برتری مدل GSTARS-3 و تابع انتقال رسوب یانگ (۱۹۹۶) به دلیل لحاظ نمودن بار شسته در محاسبات دارد.
کلید واژه ها: کرخه، بار کل، یانگ، GSTARS-3، HEC-6

۱- مقدمه

و نوع هدف از ایجاد سد متفاوت است و حداقل خطر آن از میان رفتن سرمایه های ملی است. مطالعه رسوب در سطح حوزه آبریز در شرایطی اهمیت پیدا می کند که احداث مخازن سطحی برای ذخیره آب جهت مصارف مختلف مورد توجه واقع شود. مدل های ریاضی کامپیوتری همزمان با توسعه رایانه ها، تعمیم یافته اند. از جمله این مدل ها که جهت پیش بینی فرسایش و رسوبگذاری ارائه شده اند می توان به مدل های FLUVIAL-12، HEC-6 و GSTARS-3 اشاره نمود.

انتقال و انباشت رسوبات در سدهای مخزنی باعث تقلیل حجم و عمر مفید مخازن ذخیره آب می شود. با توجه به اهمیت موضوع کمبود آب در کشور و معضلات جدی در تأمین نیازهای آبی به ویژه از لحاظ توزیع زمانی و مکانی، حفظ و حراست از منابع آب موجود یک مساله حیاتی به حساب می آید. با ورود رسوبات به مخزن سد ، پس از مدتی حجم مخزن از رسوبات پر شده ، عمر مفید سد به اتمام رسیده و سد کارایی خود را از دست می دهد. معضلاتی که پر شدن یک سد از رسوب ایجاد می نماید بسته به وضع منطقه، اهمیت آب

۲- مواد و روش ها

۱-۲- روش تحقیق

در این مقاله کوشش می شود تا با مقایسه مدل های HEC-6 و GSTARS-3 که از مهمترین و پرکاربردترین نرم افزارهای انتقال رسوب در مخازن سدها هستند، بهترین مدل گزینش شود. روش کار بدین ترتیب است که ابتدا داده های ورودی به هر دو مدل وارد می شوند. سپس یک معادله انتقال رسوب مشترک میان هر دو مدل انتخاب می شود تا بتوان در شرایط مساوی بهترین مدل را انتخاب نمود که در این راستا فرمول انتقال رسوب یانگ (۱۹۷۳) انتخاب می شود. بعد از اجرای مدلها با استفاده از این تابع، هر دو مدل واسنجی می شوند تا بهترین نرم افزار شناسایی گردد. در مرحله بعد، بهترین مدل با استفاده از توابع معروف و پرکاربرد انتقال رسوب اجرا شده تا بهترین معادله انتقال رسوب با کمک تحلیل های آماری و رگرسیونی گزینش شود.

۲-۲- آشنایی با نرم افزارهای HEC-6 و GSTARS-3

۲-۲-۱- نرم افزار HEC-6

نرم افزار HEC-6 در سال ۱۹۹۱ توسط شاخه مهندسی ارتش امریکا تهیه و تدوین شده است. نسخه های جدید این مدل قابلیت در نظر گرفتن هر دو حالت فرسایش و رسوب گذاری و همچنین ابعاد مختلف ذرات رسوب از رس تا درشت دانه ها را دارا می باشد. مدل ریاضی HEC-6 جهت برآورد رسوب گذاری و فرسایش در رودخانه ها و مخازن سدها تدوین شده و بطور کلی توانایی انجام بررسی های همچون تجزیه و تحلیل حجم و وضعیت رسوب گذاری در مخازن سدها، محاسبه مقدار کف کنی و فرسایش در پائین دست سدها، بررسی و محاسبه تغییرات بستر رودخانه در دوره زمانی معین و تأثیر لایروبی بر رسوبگذاری در رودخانه ها را داراست. از جمله مزایای این مدل عبارتند از:

- الف- مواد تشکیل دهنده رسوبات بستر و همچنین مواد معلق ورودی به مسیر مورد مطالعه در مدل HEC-6 بصورت دانه بندی ذرات تشکیل دهنده، به مدل معرفی می گردد.
- ب- پدیده زرهی شدن را در طی محاسبات خود در نظر می گیرد. پ- لزجت سینماتیکی مایع به عنوان تابعی از درجه حرارت در مدل HEC-6 در هر دوره زمانی و متناسب با تغییر درجه حرارت محاسبه می شود.
- ت- امکان انتخاب روش های مختلف (دوازده روش) محاسبه توان حمل رسوبات از جمله روش یانگ مبتنی بر

نظریه انرژی جریان وجود دارد.

۲-۲-۲- نرم افزار GSTARS-3

GSTARS-3 نسخه جدید مدل GSTARS بوده که برای شبیه سازی رودخانه های رسوبی که توسط گروه هیدرولیک رودخانه و رسوبگذاری مرکز خدمات فنی USBR تهیه و تدوین شده است. این مدل به دلیل نیاز به یک مدل رایانه ای تعمیم یافته روندیابی آب و رسوب که قادر باشد در حل مساله پیچیده مهندسی رودخانه استفاده شود، تهیه گردیده است. نسخه های قبلی مدل (2.1 و GSTARS 2.0) برای شبیه سازی رودخانه های رسوبی وسیع (عریض) به وجود آمده بودند اما نسخه جدید آن (GSTARS 3.0) علاوه بر توانایی شبیه سازی شرایط جریان به روش نیمه دو بعدی و شبیه سازی تغییرات هندسی کانال به روش نیمه سه بعدی، قابلیت مدل سازی رسوب گذاری در مخازن را دارد. محاسبات هیدرولیکی برای تعیین نیمرخ سطح آب در این نرم افزار بر اساس مدل جریان متغیر تدریجی بوده و از روش مرحله ای استاندارد برای محاسبات فراآب استفاده می کند. از معادله انرژی وقتی هیچ تغییری در رژیم های جریان وجود ندارد استفاده می کند و از معادله اندازه حرکت وقتی که یک تغییر از جریان زیر بحرانی به فوق بحرانی یا بالعکس وجود دارد، استفاده می کند. محاسبات فراآب در جهت بالادست برای جریان زیر بحرانی و در جهت پایین دست برای جریان فوق بحرانی دنبال می شود. استفاده اختصاصی از دو معادله، اجازه استفاده از محاسبات فراآب برای شرایط زیر بحرانی، فوق بحرانی یا تلفیق این دو را می دهد؛ حتی وقتی شامل پرش هیدرولیکی می شوند. در جریان شبه دائمی، هیدروگراف جریان با قطعاتی تقریبی با دبی ثابت جایگزین گردیده و در طی هد ثابت، معادلات جریان دائمی برای محاسبات نیمرخ سطح آب مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۳- دلایل انتخاب مدل های HEC-6 و GSTARS-3

از جمله گزینش های بسیار مهم که تأثیر زیادی در چگونگی اجرا و صحت محاسبات و نتایج آنها دارد، انتخاب مدل ریاضی مناسب و متناسب با شرایط طرح می باشد. مدل های هیدرولیکی یک بعدی از لحاظ دقت در سطحی به مراتب پایین تر از مدل های دو بعدی و سه بعدی قرار دارند. به همین ترتیب مقدار اطلاعات صحرائی مورد نیاز برای کالیبراسیون این مدلها نیز، حداقل مقدار

ممکن برای مدل‌سازی است. مدت زمان اجرای این مدل‌ها نیز کمتر بوده و از پایداری بیشتری برخوردار هستند. مدل HEC-6 از جمله این نرم افزارها می باشد. یک مدل یک بعدی قادر به ثبت تغییرات عرضی شرایط هیدرولیکی جریان و یا نحوه رسوبگذاری در عرض رودخانه نیست. این در حالی است که مهندسين در عمل، اغلب با پدیده هایی رو به رو هستند که تغییرات آنها در جهت عرض رودخانه به صورت یکنواخت نیست. مسئله رسوب گذاری و فرسایش در رودخانه ها از جمله این موارد است. به همین دلیل برای اینکه هم از مزایای سادگی مدل‌های یک بعدی استفاده شود و هم تغییرات عرضی پدیده های هیدرولیکی تعیین می شود از مدل های شبه دو بعدی استفاده می شود. مدل GSTARS-3 از جمله این مدل ها است. برای انجام مطالعات رسوب در مخزن سد در مطالعات سدسازی معمولاً از مدل‌های ۱ بعدی و یا شبه ۲ بعدی استفاده شده است. معیارهای اصلی که در انتخاب مدل ریاضی مورد توجه قرار گرفت به شرح زیر می باشند:

- ۱- فرضیات روابط ریاضی مورد استفاده که اصول مدل بر پایه آن قرار گرفته است بر شرایط رودخانه مورد مطالعه منطبق باشد. ۲- علاوه بر جداره فرسایش پذیر، در کانال های باز با جداره ثابت نیز قابل اعمال باشد. ۳- بتوان آن رادر جریان های هیدرولیکی زیربحرانی، فوق بحرانی، بحرانی و یا رژیم مرکب به کار برد. ۴- قابلیت شبیه سازی شرایط هیدرولیکی و رسوب، هم در حالت طولی و هم در حالت عرضی در آن موجود باشد. ۵- روندیابی رسوب در آن، براساس کل منحنی دانه بندی انجام شود تا قابلیت شبیه سازی پدیده های زرهی شدن و تثبیت شکل بستر و شبیه سازی دیگر اثرات طولانی مدت وجود داشته باشد. ۶- توانایی شبیه سازی و پیش بینی شکل کانال و تغییرات مقطع از نظر عمق و عرض. ۷- توانایی شبیه سازی و پیش بینی انتقال رسوب در حالت تعادل و عدم تعادل. ۸- بتواند شرایط خاص جنس مصالح بستر از قبیل پایداری دیواره های کناری کانال و حدود فرسایش را در محاسبات اعمال کند. ۹- مدل به اطلاعات وسیع و گسترده - که تهیه آن در عمل ممکن نباشد- نیاز نداشته باشد. به عبارت دیگر انجام محاسبات دقیق با حداقل داده مورد نیاز. ۱۰- قابلیت شبیه سازی تغییرات در سطح مقطع عرضی و طولی مخزن. ۱۱- قابلیت شبیه سازی انتقال و ته نشینی رسوب در پیچ و خم مسیر جریان. ۱۲- قابلیت های گرافیکی مدل در بخش ورود و خروج داده ها و نتایج. ۱۳- امکان دسترسی آسان و هزینه اندک مدل. ۱۴- تایید قابلیت مدل بوسیله

اشخاص، مراکز تحقیقاتی و سازمان های مختلف مرتبط با مطالعات.

۲-۴ - معرفی منطقه مورد مطالعه

سد کرخه از جمله سدهای بزرگ جهان و بزرگترین سد ایران از لحاظ حجم دریاچه و طول تاج سد می باشد. مکان احداث این سد مخزنی در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال غربی اندیمشک و بر روی رودخانه کرخه می باشد. عملیات اجرایی بدنه و سرریز نیز در نیمه سال ۱۳۷۳ آغاز گردید. در بهمن ماه سال ۱۳۷۸ آبگیری سد شروع شد و بدین ترتیب سد کرخه در زمینه کنترل سیلاب و تنظیم آب پائین دست به بهره برداری نائل گردیده است. آمار و اطلاعات از ایستگاه آبنجی جلوگیر که بالادست سد مخزنی کرخه قرار دارد اخذ شده است.

۳- اجرای مدل ها

هر دو نرم افزار جهت مدل‌سازی نیاز به اطلاعات پایه از قبیل مقاطع عرضی، ضریب زبری، دانه بندی رسوبات، مشخصات ذرات ریزدانه، رژیم آبدهی و... دارد. داده های ورودی مورد نیاز به سه دسته داده های هندسی، رسوب و هیدرولوژی دسته بندی می شوند. اطلاعات هندسی شامل مقاطع عرضی، فاصله طولی و مقادیر n می باشد. به اضافه اینکه قسمت متحرک بستر هر مقطع و عمق ماده رسوبی در آن مورد نیاز است. برای ساخت مدل هندسی مخزن اولین گام تعیین اطلاعات مربوط به هندسه مقاطع می باشد که برای تهیه آن از نقشه های توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰ مخزن استفاده شده است. مقاطع مورد استفاده، در واقع همان مقطعی هستند که توسط مشاور طرح مورد استفاده قرار گرفته اند. به دلیل اینکه زمان اجرای مدل بستگی به تعداد کل مقاطع دارد. لذا بایستی تعداد مقاطع عرضی تا آنجا که امکان دارد، کاهش یابد. در نهایت بهترین مقاطع که شامل ۷۰ مقطع می باشند مورد استفاده قرار گرفت. مسئله مهم دیگری که می بایست بدان اشاره کنیم، پایداری مدل‌های ریاضی انتقال رسوبی که به روش تفاوت محدود صریح کار می کنند. پایداری این مدل‌ها تحت تأثیر عوامل عمده ای است که شاید مهمترین عامل فاصله مقاطع هندسی از یکدیگر باشد. به طور کلی ظرفیت حمل رسوب به شدت تحت تأثیر هیدرولیک جریان می باشد. لذا کالیبره کردن نیمرخ سطح آب بسیار مهم است. برای تعیین ضرایب مانینگ در مدل ریاضی مخزن سد کرخه از نشریه راهنمای مؤسسه USBR استفاده شده است که به صورت مصور

برای حالت‌های مختلف مقادیر ضرایب مایننگ را ارائه کرده است. البته لازم به ذکر است که استفاده از این راهنما در شرایطی که اطلاعات لازم برای کالیبره کردن مدل وجود نداشته باشد امکانپذیر است. به همین دلیل برای تدقیق مقادیر ارائه شده برای ضرایب مایننگ از کالیبراسیون پروفیل سطح آب در حالت بستر ثابت استفاده شده است. با توجه به طبیعت رسوبی حوضه کرخه که دارای آورد رسوب بالایی می باشد و علاوه بر آن به دلیل مدلسازی رسوبگذاری مخزن و اینکه در هنگام رسوبگذاری در مخزن عدم تعادل رسوب وجود دارد در حال حاضر بهترین فرمولی که بتواند غلظت بالای رسوب و عدم تعادل را در مدلسازی مد نظر قرار دهد فرمول یانگ ۱۹۹۶ می باشد. اطلاعات رسوب شامل دانه بندی بار کل رسوبی، طبقه بندی انواع رسوبات وارد شده بر حسب دبی آب و ... می باشد که این اطلاعات از ایستگاه آبنسجی پای پل برداشت گردید.

۱-۳- داده های مورد نیاز برای کالیبره کردن و تأیید مدل

معمولاً پنج نیمرخ طولی سطح آب مورد نیاز است که بطور خلاصه عبارتند از:

الف- حداقل سه نیمرخ طولی معادل با جریان حداقل، لریز و ماکزیمم برای کالیبره کردن مورد استفاده قرار می گیرد.

ب- حتی الامکان، دو نیمرخ دیگر برای کالیبره کردن تهیه می شود.

جزئیات روش کالیبره کردن بصورت زیر می باشد:

۱- انتخاب دبی برای کالیبره کردن

برای این کار حداقل سه دبی مورد نیاز است. دبی بیشینه یعنی ۳۰۰۰ متر مکعب در ثانیه، دبی میانگین در فصل سیلابی یعنی ۴۸۵/۱ متر مکعب در ثانیه

۲- فاصله طولی برای کالیبره کردن

چون تراز سطح آب در محل سد بین ۳۱۰ تا ۳۵۰ متر متغیر است، برگشت آب تا حدود فاصله ۵۰ کیلومتری بالادست سد امتداد می یابد. این فاصله به عنوان فاصله

طولی رودخانه برای کالیبره کردن در نظر گرفته می شود.

۳- رفع ناهنجاری های داده های هندسی نخست داده های هندسی کنترل شده و رفع ناهنجاری در فاکتورهای زیرین صورت می گیرد:

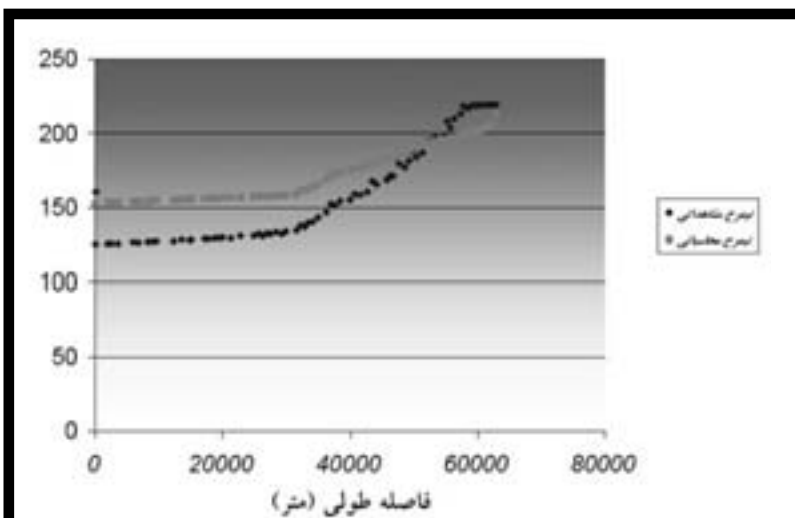
حدود رودخانه اصلی، سطح جریان موثر و.....

۴- رفع ناهنجاری های ضریب زبری محاسباتی n به دلیل کمبود داده های مشاهداتی نیمرخ های سطح آب، مقدار n مقطع عرضی برای رودخانه اصلی و سطح سیلابی به ترتیب برای دبی های مختلف انتخاب می گردد. این ضریب زبری محاسباتی بوده و با ضریب زبری هیدرولیکی متفاوت است.

۲-۳- واسنجی مدل ها و تجزیه و تحلیل نتایج

۲-۳-۱- مدل HEC-6

در این تحقیق برای ارائه بهترین مدل رسوبگذاری در مخزن سد کرخه و واسنجی آن از نتایج هیدروگرافی سال ۱۳۸۴ استفاده گردید. به منظور رسیدن به مدلی مناسب که نتایج آن بیشترین تطابق را با نتایج هیدروگرافی مخزن داشته باشد، اقدام به اجرای مدل با استفاده از توابع معروف و پر کاربرد گردید که در ادامه به بررسی نتایج حاصل از آن پرداخته می شود. برای واسنجی بطور کلی دو روش مورد استفاده قرار می گیرد. یکی روش مشاهداتی است که در آن نیمرخ حاصل از عملیات هیدروگرافی و نیمرخ بدست آمده از نرم افزار در یک نمودار ترسیم می شوند. در صورتی که بر هم تطابق داشته باشند آن نیمرخ و در نتیجه معادله مربوط به آن انتخاب می شود. نحوه کار بدین



نمودار ۱- واسنجی مدل HEC-6 با استفاده از تابع یانگ (۱۹۷۳) با نیمرخ مشاهداتی

هیدروگرافی با هم ترسیم شده اند تا بتوان آنها را با هم مقایسه نمود. همانطور که مشاهده می شود، نیمرخ بدست آمده هیچگونه تطابقی با نیمرخ مشاهداتی ندارد. برای روشن تر شدن موضوع معادلات مربوط به هر یک از آنها در جدول (۱) آمده است.

صورت است که تراز بستر بدست آمده در هر مقطع حاصل از عملیات هیدروگرافی و اجرای مدل بصورت نقطه ترسیم می شود. با استفاده از نرم افزار Microsoft Excel این نقاط در مقابل هم ترسیم می شوند. مدل با استفاده از تابع انتقال رسوب یانگ (۱۹۷۳) اجرا گردید. در نمودار (۱) نیمرخ بدست آمده از مدل با نیمرخ حاصل از عملیات

نوع نیمرخ	رابطه ریاضی	ضریب همبستگی
مشاهداتی	$y = -2 \times 10^{-17} X^4 + 2 \times 10^{-12} X^3 - 4 \times 10^{-8} X^2 - 0.0003X + 133.17$	۰/۹۸۲۲
محاسباتی	$y = -2 \times 10^{-17} X^4 + 2 \times 10^{-12} X^3 - 5 \times 10^{-8} X^2 + 0.0005X + 52.89$	۰/۹۹۱۷

جدول ۱ - مقایسه ریاضی نیمرخ های طولی حاصل از مدل HEC-6 و عملیات هیدروگرافی

اکنون برای بررسی دقیق تر نتایج تابع یانگ (۱۹۷۳) از روش تحلیل آماری، خوشه ای و رگرسیونی استفاده می کنیم. پس از تحلیل آماری نقاط حاصل از نیمرخ محاسباتی و مشاهداتی، متوسط هر یک از این پارامترها در جدول (۲) آمده است.

R ²	RRMS	RAE	RMSE	SSE	χ^2	R
0.9991	2.749	-0.107	0.0095	0.00009025	10.705	1.107

جدول ۲ - تحلیل آماری نتیجه اجرای مدل HEC-6 با استفاده از تابع یانگ (۱۹۷۳)

در روش تحلیل رگرسیونی مقادیر تراز بستر مشاهداتی که از عملیات هیدروگرافی بدست آمده اند را همراه با مقادیر بدست آمده از مدل HEC-6 با کمک نرم افزار Excel در یک نمودار ترسیم کرده و خط مستقیم از میان آنها برآزش می دهیم. نتیجه حاصل از معادله انتقال رسوب یانگ (۱۹۷۳) در جدول (۳) آمده است.

R ²	β	α
0.9785	87.92	0.5367

جدول ۳ - نتایج تحلیل رگرسیونی داده های حاصل از معادله انتقال رسوب یانگ (۱۹۷۳)

همچنین داده های مشاهداتی و محاسباتی را با استفاده از روش آماری چند متغیره (تحلیل خوشه ای) مورد بررسی قرار داده ایم که متوسط نتایج حاصله در تمامی ۷۰ مقطع مخزن در جدول (۴) آمده است.

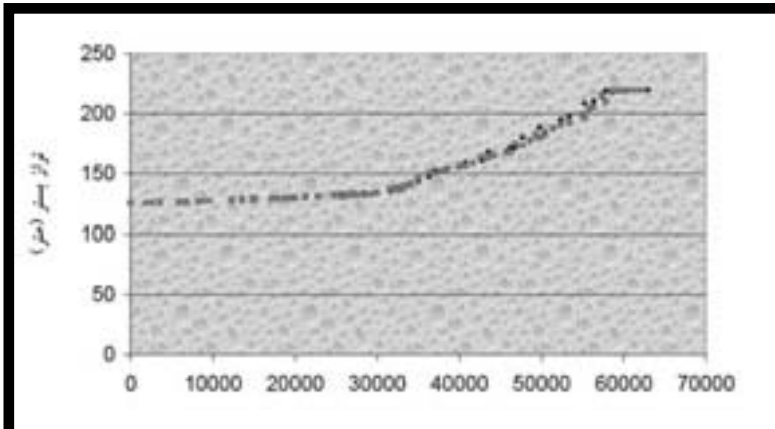
b, a	e
0.0625	-13.49

جدول ۴ - تحلیل خوشه ای نتایج اجرای مدل HEC-6 با استفاده از تابع یانگ (۱۹۷۳)

نکته مهم اینکه برآوردهای نرم افزار HEC-6 در فاصله مقاطع ۱ تا ۱۶ کمتر از مقدار واقعی و از مقطع ۱۶ تا دیواره مخزن بیشتر از مقدار مشاهداتی می باشد.

۲-۲-۳ - واسنجی نرم افزار GSTARS-3

در نمودار (۲) واسنجی نتیجه اجرای نرم افزار با استفاده از تابع یانگ (۱۹۹۶) نشان داده شده است.



نمودار ۲- نتیجه واسنجی مدل GSTARS-3 با استفاده از تابع یانگ (۱۹۹۶)
 و داده های مشاهداتی از عملیات هیدروگرافی سال ۱۳۸۴

با استفاده از نرم افزار EXCEL روابط ریاضی برای هر یک از نیمرخ های مشاهداتی و محاسباتی بدست آمد که نتایج در جدول (۵) ارائه شده است. که در آن و بترتیب فاصله طولی و تراز بستر می باشند. همچنین نتایج مقایسه میان ضرایب همبستگی فوق در جدول (۶) آمده است.

نوع نیمرخ	رابطه ریاضی	ضریب همبستگی
مشاهداتی	$y = 2 \times 10^{-13} X^3 + 2 \times 10^{-8} X^2 - 0.0005X + 127.75$	۰/۹۸۲۲
محاسباتی	$y = 1 \times 10^{-14} X^3 + 4 \times 10^{-8} X^2 - 0.0009X + 130.14$	۰/۹۹۱۷

جدول ۵- روابط ریاضی نیمرخ های محاسباتی و مشاهداتی

RRMS	RAE	RMSE	SSE	$\%e$	R
0.00372	0.00372	0.0037	0.00001369	0.372	0.9962

جدول ۶- نتایج مقایسه آماری میان ضرایب همبستگی نیمرخ های محاسباتی و مشاهداتی

همانطور که ملاحظه می شود، فقط نیمرخ بدست آمده از تابع یانگ (۱۹۹۶) با نیمرخ مشاهداتی تطابق کامل دارد و نیمرخ حاصل از بقیه توابع هیچگونه تطابقی ندارند. بنابراین با استفاده از روش مشاهداتی، تابع انتقال رسوب یانگ (۱۹۹۶) بهترین فرمول تشخیص داده می شود. نتایج واسنجی مدل با استفاده از فرمول های مختلف در جدول (۷) ارائه گردیده است.

روش آماری								
MSE	R ²	RRMS	RAE	RMSE	SSE	$\%e$	R	نام فرمول
۵۷/۶۳۳	۰/۹۵۷۹	۰/۲۶۸۱	-۰/۰۳۵۳	۷/۵۹۱۰۹۸	۴۰۳۴/۳۱۸	۳۵/۳۱	۱/۰۳۵	یانگ (۱۹۷۳)
۵۷/۶۲	۰/۹۵۷۰۵۶	۰/۲۶۸۰۸	-۰/۰۳۵۳	۷/۵۹۰۴۹۷	۴۰۳۳/۶۷	۳۵/۳۱	۱/۰۳۵۳	یانگ (۱۹۷۹)
۱۰/۲۷	۰/۹۹۹۷	۰/۰۶۴۶	-۰/۰۱۲۳	۲/۱۲۷	۷۱۸/۹	۱۲/۳۱	۱/۰۱۲	یانگ (۱۹۹۶)
۵۷/۶۳۴۶۸	۰/۹۵۷۵۸۵	۰/۲۶۸۱۲۴	-۰/۰۳۵۳۲	۷/۵۹۱۲۰۱	۴۰۳۴/۴۲۷	۳۵/۳۱۵۲۶	۱/۰۳۵۳۱۵	مییر
۵۷/۶۴۱۲۳	۰/۹۵۸۱۵۳	۰/۲۶۸۱۴	-۰/۰۳۵۳۲	۷/۵۹۱۶۲۵	۴۰۳۴/۸۶۶	۳۵/۳۱۵۲۶	۱/۰۳۵۳۱۵	پارکر
۵۷/۶۲۹۰۶	۰/۹۵۸۱	۰/۲۶۸	-۰/۳۵۳۲	۷/۵۹۰۸۳۵	۴۰۳۴/۰۳۴	۳۵/۳۱۵۲۶	۱/۰۳۵۳۱۵	ایکرز- وایت

جدول ۷- واسنجی نتایج توابع مختلف انتقال رسوب مدل GSTARS-3 با استفاده از نیمرخ های طولی

واسنجی فوق، بر اساس مقایسه نیمرخ های مشاهداتی و محاسباتی بوده است. در جدول (۸) نتایج واسنجی معادلات مختلف با استفاده از حجم تجمعی رسوب آمده است.

پارامتر آماری					معادله
RMSE	SSE	RAE	$\%e$	R	
۲۸۰/۵۷۵	۷۸۷۲۲/۸۹۱	۰/۰۵۳۶	۲۲/۳۵	۰/۷۷۶	توفالتی
۲۰۵/۱۵	۴۲۰۸۶/۹۳۲	-۰/۰۱۹۶	۱۶/۳۴	۱/۴۴۶	یانگ (۱۹۹۶)
۲۷۲/۸۵۳	۷۴۴۴۹/۳۰۵	۰/۰۴۶۱	۲۱/۷۳	۰/۷۸۲	سایر فرمول ها

جدول ۸ - واسنجی و اسنجی نتایج توابع مختلف انتقال رسوب مدل GSTARS-3 با استفاده از حجم تجمعی رسوب

نتایج تحلیل خوشه ای توابع انتقال رسوب بر حسب حجم تجمعی رسوب در جدول (۹) آمده اند.

پارامتر تحلیل خوشه ای			معادله
a	b	e	
۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۷۵	۵۵/۲۳۶	توفالتی
۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۹۷	-۲۰/۱۸۹	یانگ (۱۹۹۶)
۰/۰۲۳۶	۰/۰۲۳۶	۴۷/۵۱۴	سایر فرمول ها

جدول ۹ - تحلیل خوشه ای نتایج اجرای نرم افزار GSTARS-3 بر اساس حجم تجمعی رسوب

از دیگر پارامترهای روش های آماری معمولی، انحراف از معیار داده ها می باشد که نتایج حاصل از آن در جدول (۱۰) ارائه شده است. به دلیل یکسان بودن مقدار انحراف از معیار سایر فرمول ها، فقط مقدار آنها تحت عنوان "سایر فرمول ها" در جدول آمده است.

انحراف از معیار	نام فرمول
۱۶۳/۴۸	یانگ (۱۹۹۶)
۲۲۲/۴۹۴	سایر فرمول ها

جدول ۱۰ - نتایج انحراف از معیار داده های حاصل از معادلات مختلف انتقال رسوب نرم افزار GSTARS-3

در این روش مقادیر تراز بستر مشاهداتی که از عملیات هیدروگرافی بدست آمده اند را همراه با مقادیر بدست آمده از مدل GSTARS-3 با کمک نرم افزار Excel در یک نمودار ترسیم کرده و خط مستقیم از میان آنها برازش می دهیم. پارامترهای تحلیل رگرسیونی را در دو حالت زیر مورد بررسی قرار می دهیم:

۱- عرض از مبدا نمودار مخالف صفر

در این حالت مقادیر تراز بستر محاسباتی و مشاهداتی را در یک دستگاه مختصات ترسیم نموده و بهترین خط را از میان این نقاط برازش می دهیم. در جدول (۱۱) پارامترهای خطوط بدست آمده برای توابع مختلف آمده است.

پارامتر			نام معادله
R^2	β	α	
۰/۹۹۶۲	-۳/۳۲۶۴	۱/۰۳۴۲	یانگ (۱۹۹۶)
۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۱/۰۳۵۳	سایر فرمول ها

جدول ۱۱ - پارامترهای تحلیل رگرسیونی

R ²	α	رابطه
۰/۹۹۵۸	۱/۰۱۴۱	یانگ (۱۹۹۶)
۱	۱/۰۳۵۳	سایر فرمول ها

جدول ۱۲ - پارامترهای تحلیل رگرسیونی معادلات مختلف انتقال رسوب نرم افزار GSTARS-3 در حالت عرض از مبدا برابر صفر

مخزن کرخه ارائه نموده است. همچنین اجرای نرم افزار GSTARS-3 با استفاده از تابع یانگ (۱۹۷۳) پاسخ های منطقی تری در قیاس با اجرای نرم افزار HEC-6 با استفاده از این تابع داده است.

در جداول (۸) الی (۱۲) به دلیل تشابه بسیار زیاد نتایج، از ارائه نتایج همه فرمول ها خودداری شده و نتایج همه آنها تحت عنوان "سایر فرمول ها" آمده است. نتایج اجرای نرم افزار GSTARS-3 با استفاده از تابع یانگ (۱۹۷۳) در تمامی مقاطع مخزن سد کرخه ۳/۵۳٪ بیشتر از مقادیر مشاهداتی می باشد.

۴- نتیجه گیری

بهترین مدل برای بررسی وضعیت رسوبگذاری در مخزن سد کرخه، نرم افزار GSTARS-3 بوده و تابع انتقال رسوب یانگ (۱۹۹۶) مطلوبترین پاسخ ها را در

منابع و مراجع

- 1- Chih Ted Yang¹ and Francisco J. M. Simões(2002) GSTARS 3.0: A Numerical Model for Reservoir Sedimentation, وزارت نیرو ، سازمان مدیریت منابع آب (۱۳۶۲) رسوب گذاری در مخازن سدها ، کتاب شماره یک
- ۲- شرکت مهندسی مشاور دریا ترسیم (۱۳۸۴) گزارش فنی عملیات هیدروگرافی و نقشه برداری سد کرخه
- ۳- شاکری داریان ، ع ؛ نجمایی ، م (۱۳۸۴) نحوه برآورد رسوبگذاری مخازن با استفاده از مدل ریاضی GSTARS2.1 و نرم افزار ILWIS ، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران ، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- 5 - Yang ,C.T. and Simones ,F.J.M,2002, User Manual for GSTARS 3-Generalized Sediment Transport Model for Alluvial River Simulation Version 3, U.S.Bureau of Reclamation Technical Service Center , Denver ,Colorado,USA
- ۶- اعلمی ، م ؛ مرسولی ، ر ؛ اسدیانی یکتا ، ا (۱۳۸۷) کاربرد و ارزیابی مدل GSTARS-3 در شبیه سازی نحوه رسوبگذاری در مخازن - مطالعه موردی مخزن سد کارده ، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران ، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- ۷- فرشاد فر ، ع (۱۳۸۰) اصول و روش های آماری چند متغیره ، انتشارات طاق بستان ، چاپ اول
- ۸- آریا نژاد ، ب ؛ ذهبیون ، م (۱۳۸۱) مقدمه ای بر احتمالات و آمار کاربردی ، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
- 9 - Garde, R.J. and Ranga Raju ,K.G, (1985),Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems" John Wiley and Sons Publisher,India