

شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن سدها با استفاده از مدل WASA-SED (مطالعه موردی سد باراسونا - اسپانیا)

سید مرتضی سادات هلبی^{۱*}، عاطفه پرورش ریزی^۲ و جواد فرهودی^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۱۸

^۱ دانشجوی دکتری رشته سازه های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

^۲ استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

^۳ استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: mortezasadat@ut.ac.ir

چکیده

در این مقاله الحاقیه جدید مدل WASA-SED که با هدف شبیه‌سازی فرآیند رسوب‌گذاری در مخازن سدها توسعه یافته مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارزیابی الحاقیه جدید مدل واسا، فرآیند رسوب‌گذاری در مخزن سد باراسونا (اسپانیا) که در ناحیه‌ای با فرسایش پذیری بالا قرار دارد مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین پارامتر در شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن سدها تعیین ضخامت لایه فعال است از اینرو برای واسنجی مدل و تعیین ضخامت لایه فعال از آمار و اطلاعات مربوط به دو بازه زمانی که یکی مربوط به دوران بهره‌برداری عادی از مخزن (۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳) و دیگری دوران بهره‌برداری همراه با انجام عملیات فلاشینگ در مخزن بوده (۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷) استفاده گردید. پس از تعیین ضخامت لایه فعال، فرآیند رسوب‌گذاری با استفاده از مدل واسا برای دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ شبیه‌سازی شد و با اطلاعات برداشت شده از مخزن سد مورد مقایسه قرار گرفت نتایج مقایسه نشان می‌دهد الحاقیه جدید مدل واسا در شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن سدهایی که در حوضه های آبخیز با فرسایش پذیری بالا قرار گرفته اند از دقت مناسبی برخوردار است.

واژه های کلیدی: باراسونا، رسوب‌گذاری، شبیه‌سازی، مخزن سد، مدل WASA-SED

Simulation of Sedimentation in Dam Reservoirs Using WASA-SED Model (Case Study: Barasona Dam, Spain)

SM Sadat Helbar^{1*}, A Parvaresh Rizi² and J Farhoudi³

Received: 30 April 2013 Accepted: 9 November 2013

¹Ph.D. Candidate in Water Structures, Irrigation and Reclamation Dept., Univ. of Tehran. Iran

²Assist. Prof. in Water Structures, Irrigation and Reclamation Dept., Univ. of Tehran. Iran

³Prof. in Water Structures, Irrigation and Reclamation Dept., Univ. of Tehran. Iran

*Corresponding Author Email: mortezasadat@yahoo.com

Abstract

In this article the new sediment module of WASA-SED that aims at simulating the process of sedimentation in reservoirs is developed and evaluated. To evaluate this new module of WASA-SED, the process of sedimentation in Barasona dam reservoir (Spain), located in a region with high erosion, was examined. The most important parameter in the simulation of sedimentation in reservoirs is to determine the thickness of the active layer. Hence, for the calibration of the model, the relevant data of two time intervals when one was related to the period of normal operation of the reservoir (1986-1993) and another one to a period of the operation time along with the flushing (1995 to 1997) were used. After determining the active layer thickness, the sedimentation process was simulated for the period 1998-2006. The results of the simulation were compared with the dam reservoir hydrographic information. The results of the comparison showed that the new module of WASA-SED for simulation of sedimentation in dam reservoirs in regions with high erosion had a proper accuracy.

Keywords: Barasona, Dam reservoir, Sedimentation, Simulation, WASA-SED

می‌شود وابسته است. از مدل‌هایی نظیر EROSION-2D (اشمیت ۱۹۹۱) برای مدلسازی یک واقعه خاص بارش رواناب در یک زیرحوضه، تا مدل‌هایی نظیر MEDALUS (کریکبای ۱۹۹۷)، LISEM (دی رو و همکاران، ۱۹۹۶) و EUROEM (مورگان و همکاران، ۱۹۹۸) که برای یک حوضه کوچک با جزئیات بیشتر طراحی شده‌اند. همچنین مدل‌هایی مثل SWRRB (آرنولد و همکاران، ۱۹۸۹)، SWIM (کریسانوا و همکاران، ۲۰۰۰)، LASCAM (سیوپالان و همکاران، ۱۹۹۶)

مقدمه

حوضه‌های آبخیز به لحاظ اقلیمی و کاربری اراضی متفاوتند و از اینرو استفاده از مدل‌های ریاضی در پیش‌بینی میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در برنامه‌های حفاظتی و بهره‌برداری از منابع آب، مفید است. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی در خصوص مدلسازی فرآیند فرسایش و رسوب‌گذاری در سطح حوضه، توسعه یافته‌اند که پیچیدگی هر یک به جزئیاتی که در دقت توزیع زمانی و مکانی پارامترها لحاظ

توپوگرافی را حفظ کرده و همزمان، اجازه می‌دهد تا حوضه به واحدهای کوچک همگن تقسیم شود. به طور خلاصه داده‌های ورودی به مدل WASA که اغلب به صورت لایه‌های GIS بوده و برداری هستند از طریق الگوریتم و برنامه LUMP به صورت رستر درآمده و هر سلول که یک واحد همگن مطالعاتی را نمایندگی می‌کند، یکسری مشخصات خاص توپوگرافی، خاکشناسی و کاربری اراضی دارد. بدین ترتیب این امکان بوجود می‌آید که فایل‌های ورودی به مدل WASA بصورت فایل‌های متنی آماده شوند.

مدل هیدرولوژیکی WASA توسط گانتتر (۲۰۰۲) و سپس توسط گانتتر و برانسترت (۲۰۰۴) شرح داده شده است. این مدل محاسبه تلفات تبخیر و تعرق را با استفاده از روش پنمن-مانتیس، فرآیند نفوذ را با روش گرین-امپت، رواناب سطحی و زیرسطحی و آب زهکشی را با یک روش ذخیره سازی چند لایه برای هر جزء پوشش خاک و پوشش گیاهی در هر یک از واحدهای مطالعاتی انجام می‌دهد. در مبحث فرسایش خاک مدل WASA، از معادله جهانی فرسایش خاک^۳ ارایه شده توسط ویشمیر و اسمیت (۱۹۷۸) که توسط ویلیامز (۱۹۹۵) توسعه داده شد، استفاده شده است. به هر زیر حوضه یک سرشاخه تخصیص داده می‌شود و مقدار آب و رسوب هر زیر حوضه از طریق سرشاخه مرتبط با آن زیر حوضه به پایین دست منتقل می‌شود. روندیابی جریان در هر سرشاخه با استفاده از روش ماسکینگ انجام می‌شود. برای هر سرشاخه یک مقطع دوزنقه‌ای با مشخصات عرض کف، عمق و شیب جدار بعنوان مقطع عرضی در نظر گرفته می‌شود. اگر عمق آب شیب‌سازی شده از رقوم تاج دوزنقه بیشتر شد یا عبارات دیگر اگر جریان از این دوزنقه سرریز شد، مدل مقطع عرضی سرشاخه را به یک دوزنقه مرکب تغییر می‌دهد.

هدف از تحقیق حاضر توسعه مدل واسا برای شبیه سازی پروفیل طولی رسوب‌گذاری در مخازن

SWAT (نیج و همکاران ۲۰۰۲) برای حوضه‌های بزرگ توسعه یافته‌اند که فرایند بارش و رواناب و همچنین فرسایش حوضه را برای بازه‌های زمانی طولانی مدل سازی می‌کنند. در خصوص ویژگی این مدل‌ها باید گفت که مثلا در مدل SWAT از اطلاعات کاربری اراضی، پوشش گیاهی، توپوگرافی و خصوصیات فرسایش‌پذیری خاک برای هر زیر حوضه کوچک میانگین‌گیری می‌شود و از اینرو دقت این مدل در قیاس با مدل‌هایی نظیر LISEM (جیتن ۲۰۰۲) که از شبکه‌بندی زیر حوضه‌ها استفاده می‌کند کمتر است؛ و مدل‌هایی که از شبکه‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده می‌کنند اغلب به دلیل ریز بودن شبکه‌بندی و حجم گسترده اطلاعات ورودی و همچنین طولانی بودن زمان اجرا محدودیت‌هایی دارند. هر دو مدل در مناطق خاص (نظیر مناطق واریزه‌ای و مناطقی که با خاک‌های سست پوشیده شده‌اند) که رسوب‌زایی بیشتری دارند در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب، کم‌دقت هستند. از اینرو توسعه مدلی که توانایی برآورد میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را در مناطق خشک و نیمه خشک داشته باشد ضروری می‌نماید.

مدل WASA برای محاسبه جریان‌های جانبی و جریان زیرسطحی از طرح سلسله مراتبی بالادست به پایین‌دست^۱ استفاده می‌کند؛ هر زیر حوضه را به واحدهای همگن مطالعاتی تقسیم می‌کند که دارای ویژگی‌های مشابه در خصوص فرسایش شیاری، توپوگرافی، سنگشناسی، پروفیل خاک و پوشش گیاهی هستند. در درون و بین هر یک از واحدها، توزیع مجددی از رواناب سطحی و جریان‌های عمودی برای پروفیل خاک که متشکل از چندین افق خاک است در نظر گرفته شده است. برای تقسیم حوضه به واحدهای همگن مطالعاتی، نرم افزار LUMP^۲ مورد استفاده قرار گرفته است. (فرانکوهمکاران ۲۰۰۹).

الگوریتم LUMP، توزیع ویژگی‌های اطلاعات ورودی در رابطه با شبکه رودخانه و موقعیت

^۱ hierarchical top down disaggregation scheme

^۲ Landscape Unit Mapping Program

^۳ USLE

سدها (با استفاده از مدل تخمین سرعت سقوط ذرات با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سد باراسونا در ایالت کاتالونیا^۱ و در شمال شرق کشور اسپانیا واقع شده است و حوضه آبخیز آن به شدت فرسایش پذیر است. حجم مخازن سدهای این حوضه به دلیل رسوبگذاری کاهش یافته و لذا در دهه‌های اخیر مدیریت منابع آبی حوضه را با مشکلاتی روبرو کرده است. تحقیقات نشان می‌دهد در حدود ۱۰ درصد از سدهای اسپانیا بیش از ۵۰ درصد از ظرفیت اولیه خود را از دست داده‌اند. (آوندانو و همکاران ۱۹۹۷). حوضه آبخیز سد باراسونا ۱۲۲۴ کیلومتر مربع است دو رودخانه اصلی این حوضه، رودخانه اسرا^۲ و رودخانه ایسابنا^۳ هستند. مخزن سد باراسونا به شدت تحت تاثیر بار معلق رودخانه‌های اسرا و ایسابنا است و عامل اصلی بوجود آمدن این رسوبات، مناطق فرسایش پذیری است که در حوضه بالادست این دو رودخانه قرار گرفته است (فارگاس و همکاران ۱۹۹۶) اغلب رسوبات در مواقع سیلابی وارد مخزن سد باراسونا می‌شوند. رسوبگذاری در مخازن سدهای ناحیه کاتالونیا مشکل حادی است و این مشکل در سد باراسونا بسیار شدید است. تا اوائل دهه ۱۹۵۰ رسوبات مخزن سد باراسونا هر ساله به روش فلاشینگ و از طریق دریچه تحتانی سد رسوبشویی می‌شد از آن تاریخ به بعد به دلیل رسوبگذاری شدید، دریچه تحتانی سد باز نشد. هیدروگرافی انجام شده در سال ۱۹۹۳ نشان داد حجم مخزن سد ۲۴/۸ میلیون مترمکعب نسبت به حجم اولیه کاهش یافته بود. بنابراین عملیات فلاشینگ در سه دوره در سالهای ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ و هر بار بعد از فصل آبیاری انجام شد (والرو گارسز و

همکاران ۱۹۹۹). بخش اعظمی از آورد سالانه سهم رودخانه اسرا است چرا که این رودخانه زهکش منطقه‌ای به وسعت ۷۸۹ کیلومتر مربع است. رژیم هیدرولوژیک رودخانه‌های اسرا و ایسابنا دائمی است. دبی اوج اصلی آنها مربوط به اواخر بهار و اوایل تابستان است که همراه با ذوب برف و بارش‌های سنگین تابستانی است و اوج دوم مربوط به بارش‌های اواخر پاییز است. (والرو گارسز و همکاران ۱۹۹۹). میانگین بارش سالانه حوضه آبخیز باراسونا ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر آن بین ۵۵۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر است. بازه تغییرات نرخ بارش و تبخیر به دلیل تغییرات شدید ارتفاعی زیاد است (بین ۴۰۰ تا ۲۰۲۰ متر). پوشش گیاهی حوضه نیز اغلب بلوط و کاج است. بخش‌های میانی حوضه آبخیز حتی در بارش‌های کم نیز بسیار فرسایش‌پذیر است و بخش مهمی از فرسایش‌ها مربوط به زمین‌های سنگلاخی است. زمین‌های سنگلاخی در حین بارش و بویژه رگبارها منشأ بار معلق رودخانه‌های اسرا و ایسابنا هستند که مشکلات فراوانی را در زمینه رسوبگذاری در مخزن سد باراسونا پدید آورده‌اند.

سد باراسونا در سال ۱۹۳۲ و با هدف آبیاری و تولید انرژی برق بر روی رودخانه اسرا در اسپانیا ساخته شده است. سطح مخزن سد باراسونا ۷۰۰ هکتار و بیشترین عرض مخزن ۱/۵ کیلومتر و طول آن در حدود ۱۵ کیلومتر است حداکثر عمق مخزن در نزدیکی بدنه سد نیز ۵۰ متر است. در سال ۱۹۷۲ تراز تاج سد افزایش یافت و حجم مخزن سد به ۹۲/۲ میلیون مترمکعب رسید. روند تغییرات حجم مخزن از طریق هیدروگرافی در سال‌ها مختلف اندازه‌گیری و ارائه شده است. سد باراسونا از نوع بتنی وزنی با دریچه‌های قطاعی ۱۰ متری است و ظرفیت سرریز آن ۱۷۳۸ مترمکعب بر ثانیه است این سد دارای ۶ درچه تحتانی

¹ Catalunya

² Esera

³ Isabena

شد. برای بررسی لایه بندی حرارتی در مخزن سد نیز دمای آب در ۱۰ نقطه از سطح تا کف مخزن و در محل بدنه سد اندازه گیری شده است. دما در سطح تقریباً ۲۴ درجه سلسیوس و در عمق ۲۳ متری در حدود ۱۹ درجه سلسیوس ثبت شده است.

نتایج و بحث

واسنجی مدل

برای واسنجی الحاقیه جدید مدل WASA از اطلاعات سد باراسونا در دو دوره زمانی استفاده شد. دوره بین سالهای ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳ میلادی که در این دوره هیچ گونه عملیاتی برای مدیریت رسوب در مخزن سد انجام نشده است مثلاً درجه های تخلیه کننده تحتانی در این دوره کاملاً بسته بودند و دوره دیگر سالهای بین ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ که در این سالها عملیات فلاشینگ آزاد مخزن بطور سالیانه انجام شده است. با استفاده از اطلاعات سالهای ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳ حساسیت مدل به پارامترهای مختلف ورودی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد مدل بیش از همه به پارامتر به ضخامت لایه میانی (لایه فعال در فرسایش و رسوب گذاری f_{act}) حساس است ضخامت لایه فعال را می توان از طریق معادلات پارکر و سوثرلند (۱۹۹۰) برآورد نمود. نتایج حساسیت سنجی برای ضخامت لایه فعال برای ۱/۰، ۱، ۴ و ۱۰ سانتی متر در روز در شکل ۲ نشان داده شده است.

همچنین با استفاده از اطلاعات سالهای ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳ فرآیند رسوب گذاری فرسایش در مخزن سد باراسونا شبیه سازی شد و نتیجه این شبیه سازی با اطلاعات واقعی برداشت شده از مخزن سد در سال ۱۹۹۸ مقایسه گردید در مقاطع شماره ۵۱، ۵۸، ۶۵ و ۷۳ نتایج این مقایسه ها در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است همان گونه که مشاهده می شود دقت مدل در فرایند شبیه سازی مناسب است.

است که جمعاً می تواند ۱۴۷ متر مکعب بر ثانیه تخلیه نمایند.

به منظور ارزیابی میزان رسوب گذاری و الگوی پخش رسوب در مخزن سد، ۵ بار عملیات هیدروگرافی از مخزن سد انجام شده است. علاوه بر این در سالهای ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ که مخزن سد تخلیه شده بود به منظور بررسی مشخصات فیزیکی و شیمیایی رسوبات، از موارد رسوبی مخزن نمونه برداری شد. (والرو گارسز و همکاران ۱۹۹۹). نتایج نشان می دهد که عمده رسوبات ته نشین شده در مخزن سد ناشی از بار معلق است و حجم عمده این رسوبات در زمان سیلاب های بزرگ وارد مخزن سد شده اند. اطلاعات دیگری نیز از طریق نمونه برداری های صحرائی در حوضه آبخیز سد باراسونا ثبت شده است. چندین نمونه از مواد رسوبی دلتای سد باراسونا به منظور ارزیابی و بررسی خصوصیات فیزیکی و نحوه پراکنش شاخص های دانه بندی، وزن مخصوص خشک و تر گرفته شده است که جانمایی محل این نمونه ها در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که ۷۰ درصد ذرات سیلت هستند. میانگین چگالی ویژه تر نمونه ها ۱/۸۹ گرم بر سانتی متر مکعب و میانگین وزن مخصوص خشک آنها ۱/۵۲ گرم بر سانتی متر مکعب است (جدول ۱).

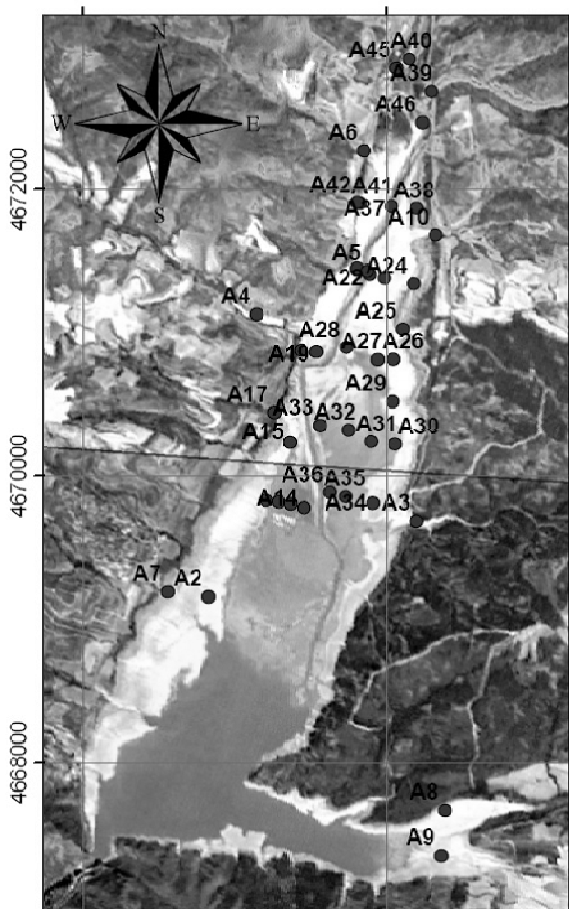
برای بررسی تغییرات غلظت بار معلق در طول دریاچه سد باراسونا، در ۱۱ نقطه به طور همزمان نمونه برداری شده است. در محدوده ابتدایی دریاچه که ۵ کیلومتر از بدنه سد فاصله دارد غلظت بار معلق ۱۴ گرم بر لیتر و در محل بدنه سد ۰/۳۲ گرم بر لیتر است. در بالادست و پایین دست سد باراسونا نمونه های دیگری از آب برداشته شد تا با استفاده از آن میزان تله اندازی رسوبات در مخزن سد بررسی شود. در مواقعی که جریان ورودی بار رسوبی کمی دارد میزان رسوب خروجی بیش از میزان رسوب ورودی خواهد

کند و برعکس در هنگام بسته بودن دریاچه‌ها و شرایط نرمال بهره‌برداری این دماغه به سمت پایین‌دست (به سمت بدنه سد) به آرامی حرکت می‌کند. بنابراین برای مدل‌سازی تغییرات رقوم بستر در مخازن سدها در شرایطی که عملیات فلاشینگ آزاد نیز در مخزن سد انجام شود دو پارامتر را باید لحاظ نمود اول تعیین نقطه تغییر شیب در مخزن سد است این نقطه از طریق شبیه‌سازی رفتار مخزن در سال‌های قبل قابل تعیین است پارامتر دوم، پارامتر f_{act} (حداکثر تغییرات ضخامت لایه میانی در یک گام زمانی مثلا یک روز) است f_{act} در هنگامی که عملیات فلاشینگ انجام می‌شود می‌تواند برای بازه‌های مختلف و بین مقاطع عرضی متفاوت باشد مثلا برای بالادست دماغه فرسایشی کمتر از بازه دماغه فرسایشی و پایین‌دست آن باشد.

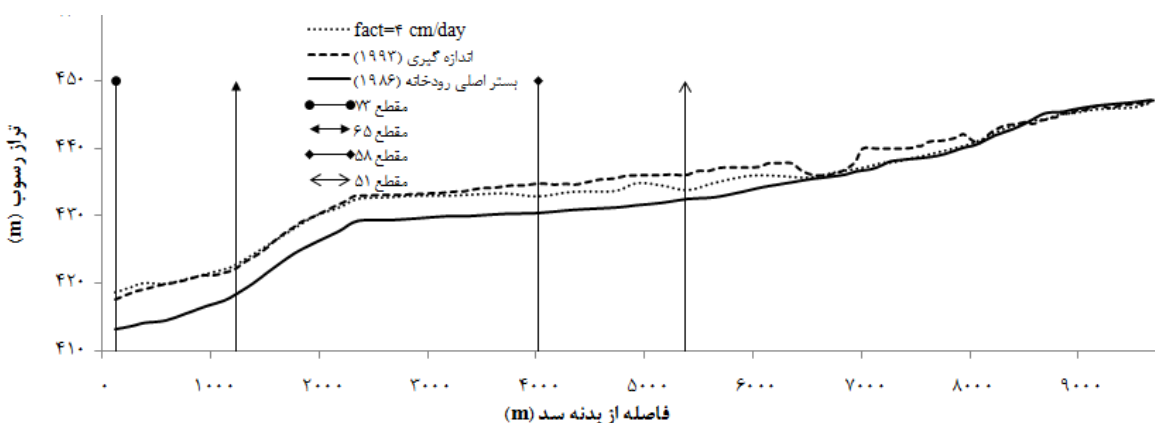
از نتایج واسنجی مدل در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳ (f_{act} حداکثر تغییرات ضخامت لایه میانی ۴ سانتی‌متر در روز) برای مدل‌سازی رفتار سد در دوره زمانی ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ (که در این سال‌ها عملیات فلاشینگ آزاد انجام شده است) استفاده شد شبیه‌سازی مدل در این سال‌ها به علت انجام عملیات فلاشینگ و پیچیدگی این فرآیند چندان دقیق نیست. مطابق با تحقیقات فن و موریس (۱۹۹۲) باز کردن دریاچه‌های تحتانی سد باعث فرسایش شدید و ایجاد کانال فرسایشی در طول مخزن و در راستای دریاچه‌ها خواهد شد این کانال در طول خود در ناحیه‌ای دچار تغییر شیب شدید می‌شود که این بخش را به‌عنوان دماغه جبهه رسوبات معرفی می‌کند. در حین انجام فلاشینگ آزاد این دماغه به سرعت به سمت بالادست حرکت می‌

جدول ۱- مشخصات موارد رسوبی مخزن سد باراسونا (۲۰۰۵ میلادی).

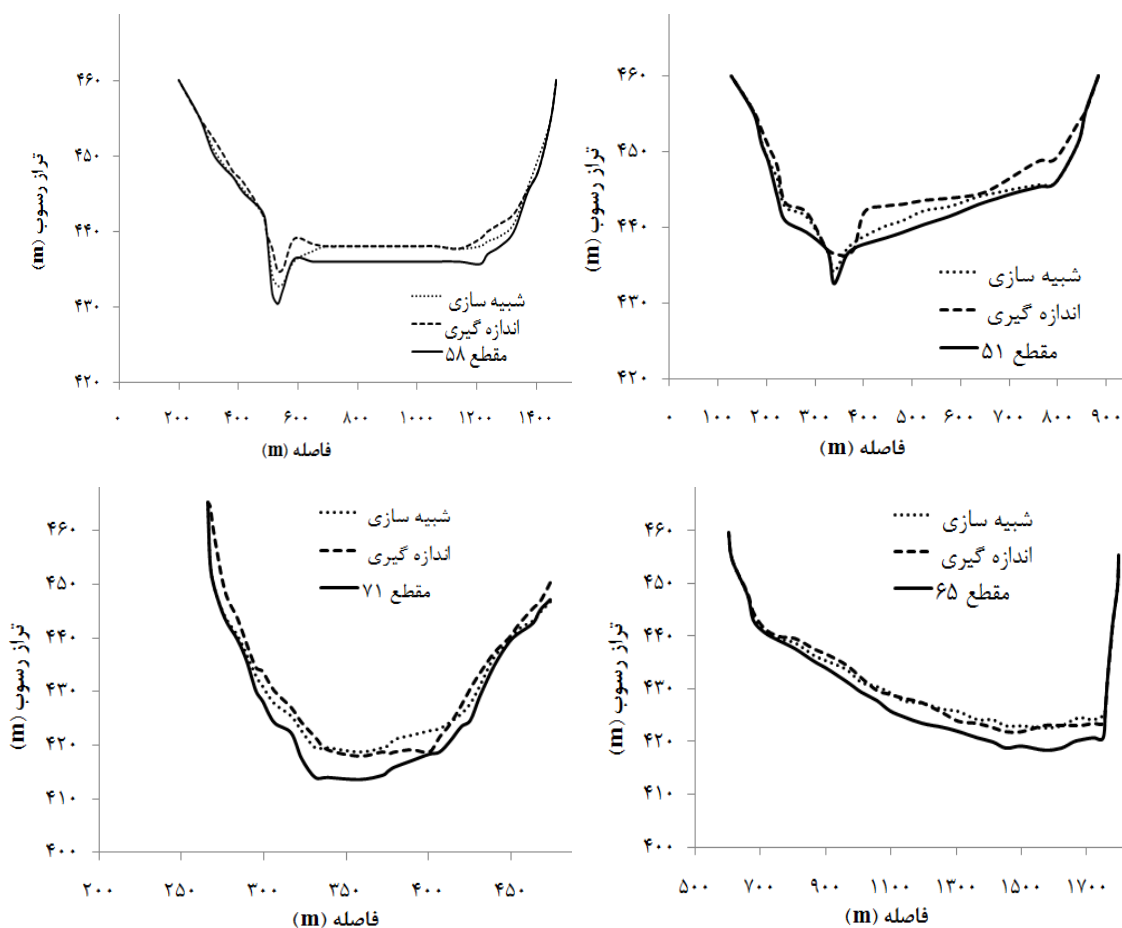
شماره نمونه	تخلخل (%)	چگالی خشک (gr/cm ³)	چگالی تر
A40	۴۲/۰۵	۱/۵۴	۲/۰۶
A45	۴۵/۸۴	۱/۴۴	۱/۹۴
A46	۴۴/۰۸	۱/۴۸	۱/۹۵
A10	۳۷/۳۰	۱/۶۶	۲/۰۴
A41	۴۳/۰۴	۱/۵۱	۱/۹۰
A7	۴۸/۹۸	۱/۳۵	۱/۸۰
A39	۴۰/۲۱	۱/۵۸	۱/۸۵
A6	۴۰/۲۱	۱/۵۸	۱/۸۸
A3	۴۶/۵۷	۱/۴۲	۱/۵۳
A25	۴۳/۲۰	۱/۵۱	۱/۹۱
A2	۴۵/۸۸	۱/۴۸	۱/۸۱
A26	۳۰/۴۰	۱/۸۴	۲/۱۴
A37	۴۸/۳۳	۱/۳۷	۱/۸۹
A34	۳۹/۷۱	۱/۶۰	۱/۹۷
A29	۳۷/۸۳	۱/۶۵	۱/۹۵
A4	۴۴/۷۷	۱/۴۶	۱/۶۲
A9	۴۵/۰۷	۱/۴۶	۱/۸۷
A8	۴۲/۰۹	۱/۵۳	۱/۹۲
میانگین	۴۲/۵۳	۱/۵۲	۱/۸۹
انحراف معیار	۴/۵۰	۰/۱۲	۰/۱۴



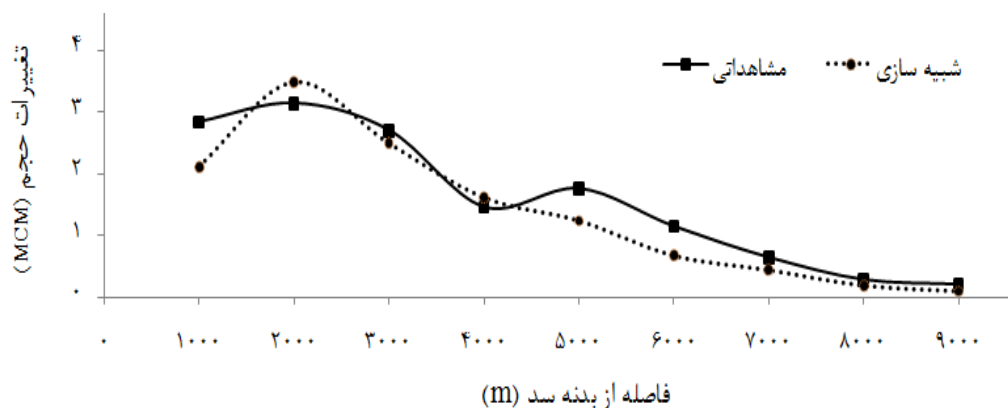
شکل ۱- جانشانی نمونه‌های برداشت شده از مخزن سد باراسونا (۲۰۰۵ میلادی).



شکل ۲- تغییرات رقوم بستر مخزن سد باراسونا از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳ برای مقادیر مختلف ضخامت لایه فعال fact



شکل ۳- تغییرات رقوم بستر ۴ مقطع عرضی در سد باراسونا از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳.



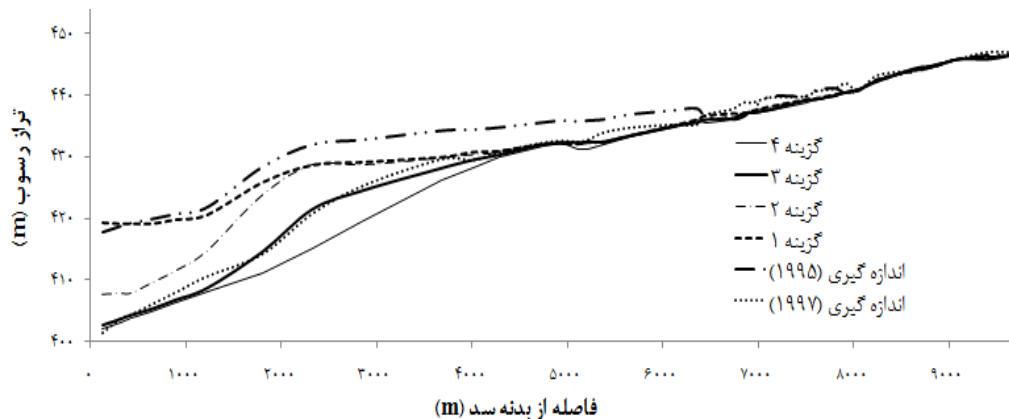
شکل ۴- تغییرات حجم رسوب در سد باراسونا از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۳.

رسوبات انباشته شده در مخزن شبیه‌سازی گردید که در شکل ۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود اگرچه مدل در مقطع عرضی شماره ۵۱ محل عمیق‌ترین نقطه فرسایشی را دقیق پیش‌بینی نمی‌کند اما به لحاظ حجم رسوبات فرسایش یافته برآورد نسبتاً دقیقی دارد در مقاطع ۴۰ و ۵۹ نیز مدل در برخی قسمت‌ها برآورد بیشتری نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده دارد اما در مجموع همانگونه که در شکل ۷ نشان داده شده به لحاظ تغییرات حجم کلی رسوبات نتایج رضایت بخش است.

در این تحقیق به ازای f_{act} مختلف شبیه‌سازی انجام شد لیست گزینه‌های مختلف در جدول ۲ و نتایج آن در شکل ۵ قابل مشاهده است همان‌طور که مشاهده می‌شود در صورتی که f_{act} بالادست دماغه ۴ سانتی‌متر در روز و f_{act} پایین دست دماغه ۲۵ سانتی‌متر در روز در نظر گرفته شود نتایج بهتری حاصل می‌شود. برای برآورد تغییرات حجم رسوبات انباشته شده در دوره سالهای ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ با در نظر گرفتن f_{act} بالادست دماغه ۳ سانتی‌متر در روز و f_{act} پایین دست دماغه ۲۵ سانتی‌متر در روز تغییرات حجم

جدول ۲- گزینه‌های مختلف برای تعیین ضخامت لایه فعال در بالادست و پایین‌دست دماغه پیش‌رونده.

ردیف	ضخامت لایه فعال در بالادست دماغه پیش‌رونده (cm/day)	ضخامت لایه فعال در پایین‌دست دماغه پیش‌رونده (cm/day)
گزینه ۱	۴	۴
گزینه ۲	۴	۱۰
گزینه ۳	۴	۲۰
گزینه ۴	۴	۳۰



شکل ۵- تغییرات رقوم بستر مخزن سد باراسونا از سال ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ با اعمال f_{act} های مختلف.

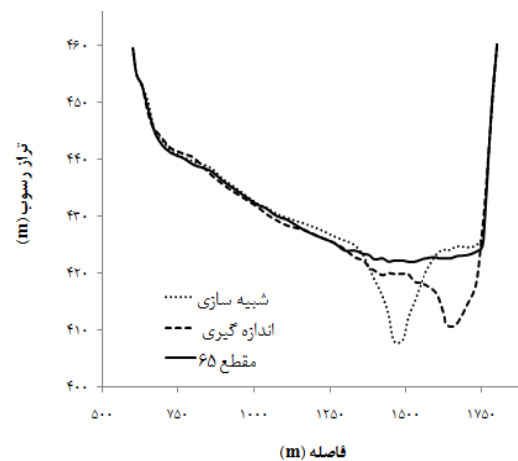
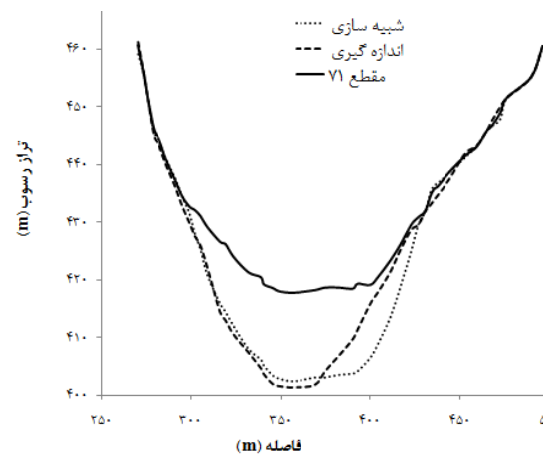
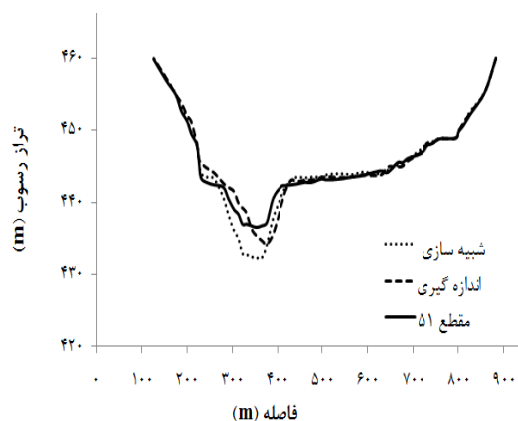
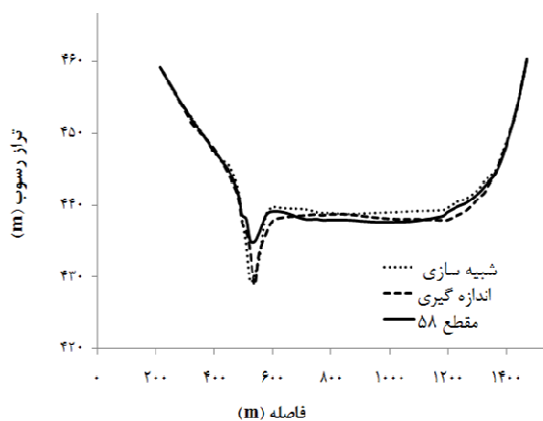
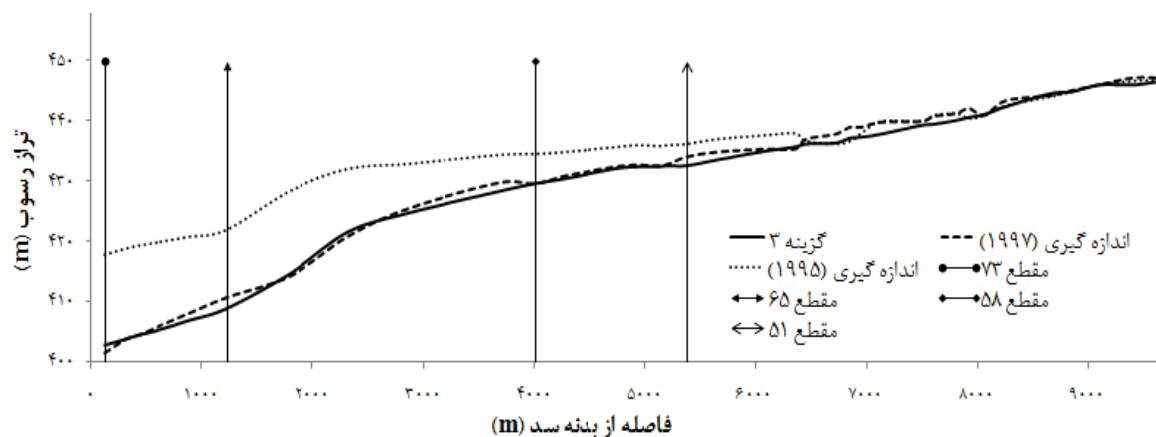
ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل WASA-SED از اطلاعات یک دهه از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ سد باراسونا استفاده گردید از نتایج بخش واسنجی مدل برای شبیه سازی استفاده شد همچنین اطلاعات دقیق هیدروگرافی سال ۲۰۰۷ نیز بعنوان شاهد مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۸ تا ۱۰ نتایج شبیه سازی تغییرات رقوم بستر در طول مخزن سد باراسونا را نشان می دهد. در فاصله بین ۲ تا ۴ کیلومتری از بدنه سد، شبیه سازی بیش از اندازه گیری برآورد نموده است و حداقل فاصله بدنه سد تا ۱ کیلومتر بالادست بدنه نتایج شبیه سازی کمتر از اندازه گیری است شاید این موضوع را بتوان با برآورد بیش از حد مدل در فاصله ۱ تا ۲ کیلومتری توجیه نمود.

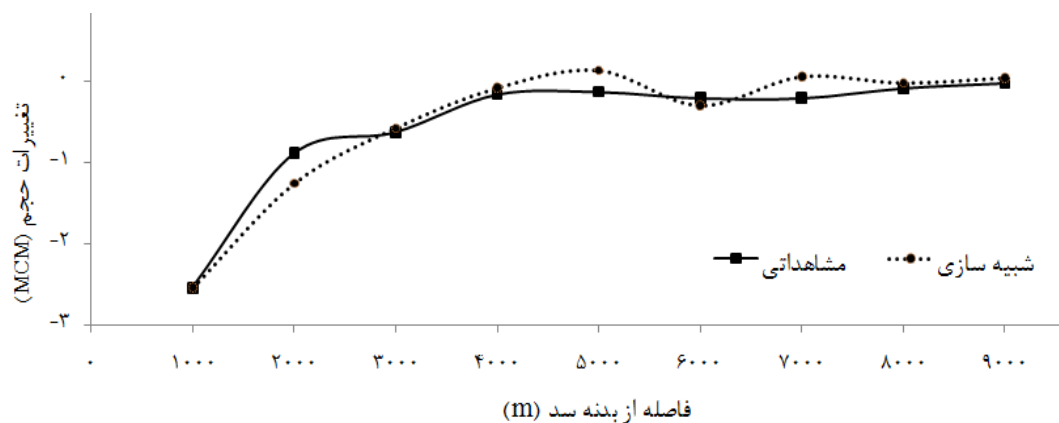
برای بررسی اثر تخمین سرعت سقوط ذرات رسوبی در دقت شبیه سازی رسوب گذاری در مخازن سدها برای دو گزینه شبیه سازی انجام شد. گزینه اول از بهترین برآورد سرعت سقوط ذرات با استفاده از معادلات تجربی (که در اغلب قطر ذرات، معادله وو و وانگ (۲۰۰۶) می باشد) استفاده شد و در گزینه دوم از مدل شبکه عصبی مصنوعی که در این تحقیق بکار گرفته شده است استفاده شد همان گونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نقش موثری در افزایش دقت مدل شبیه ساز خواهد داشت.

نتیجه گیری کلی

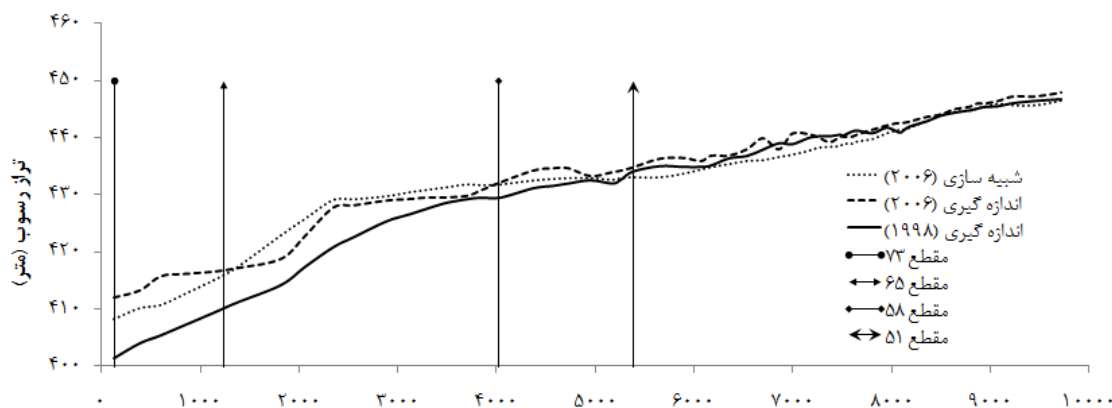
در این تحقیق، سد باراسونا بعنوان یک نمونه از سدهایی که با مشکل رسوب گذاری شدید در مخزن سد مواجه است مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای شبیه سازی فرآیند رسوب گذاری در مخزن سد از الحاقیه جدید مدل WASA-SED استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد مهمترین پارامتر در شبیه سازی فرآیند رسوب گذاری در مخزن ضخامت لایه فعال است. این پارامتر برای هر سد بسته به مشخصات هندسی و مشخصات رسوب و بسیاری از عوامل دیگر متفاوت است و از اینرو برای شبیه سازی فرآیند رسوب گذاری در مخزن، تعیین ضخامت لایه فعال از طریق واسنجی مدل ضروری است. عمق لایه فعال برای سد باراسونا در شرایط معمول بهره برداری برابر ۳ سانتی متر در روز تعیین شد و برای دوره هایی که عملیات فلاشینگ آزاد انجام شده است برای پایین دست دماغه پیش رونده ۲۵ سانتی متر در روز و برای بالادست دماغه ۳ سانتی متر در روز مناسب خواهد بود. مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج حاصله از اطلاعات صحرایی نشان می دهد الحاقیه جدید مدل و اساکه برای تعیین سرعت سقوط از شبکه عصبی مصنوعی استفاده می نماید فرآیند رسوب گذاری در مخزن را با دقت مناسب شبیه سازی می نماید و از اینرو می تواند برای شبیه سازی رسوب گذاری در مخازن سدهایی که در حوضه های آبخیز با فرسایش پذیری بالا واقع شده اند مناسب باشد.



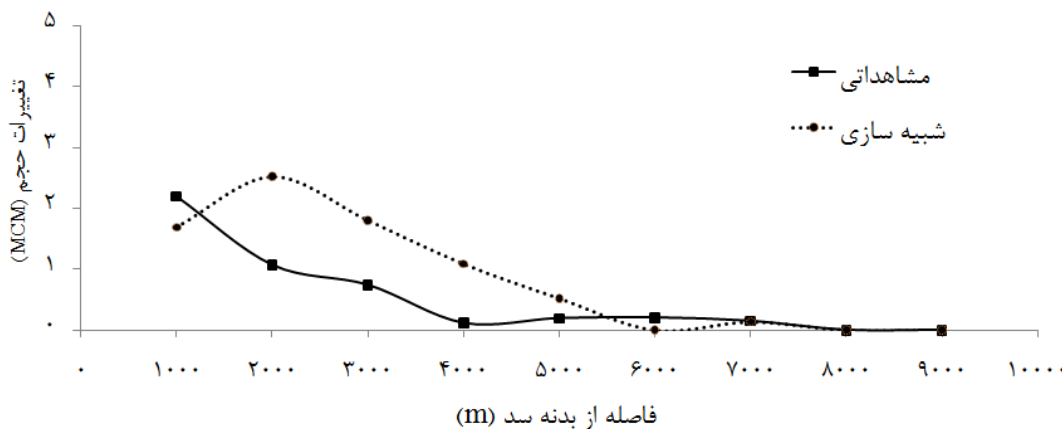
شکل ۶- تغییرات رسوب‌گذاری در مقاطع عرضی سد باراسونا از سال ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ برای شرایط گزینه ۳.



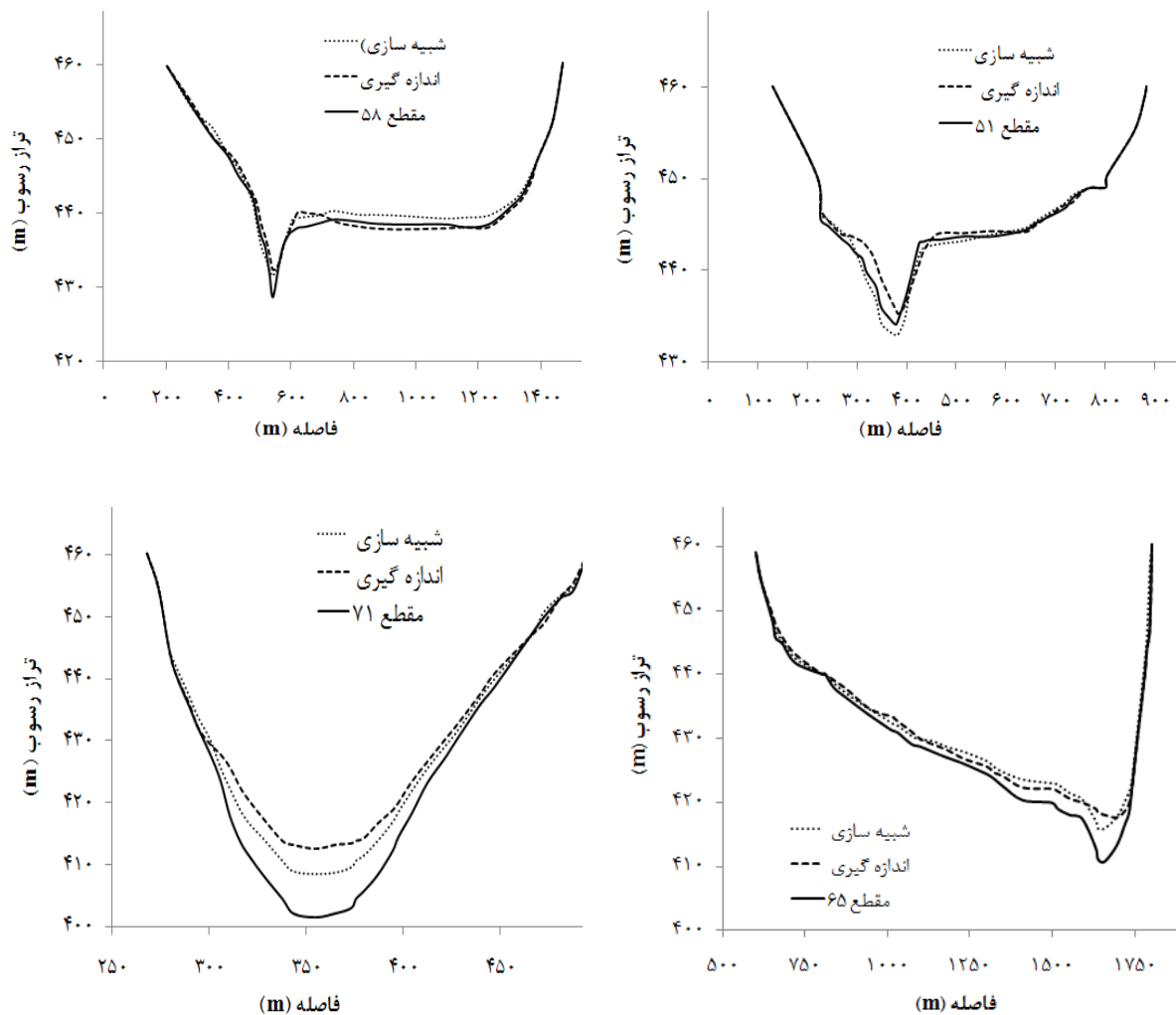
شکل ۷- تغییرات حجم رسوبات برای گزینه سوم از سال ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷.



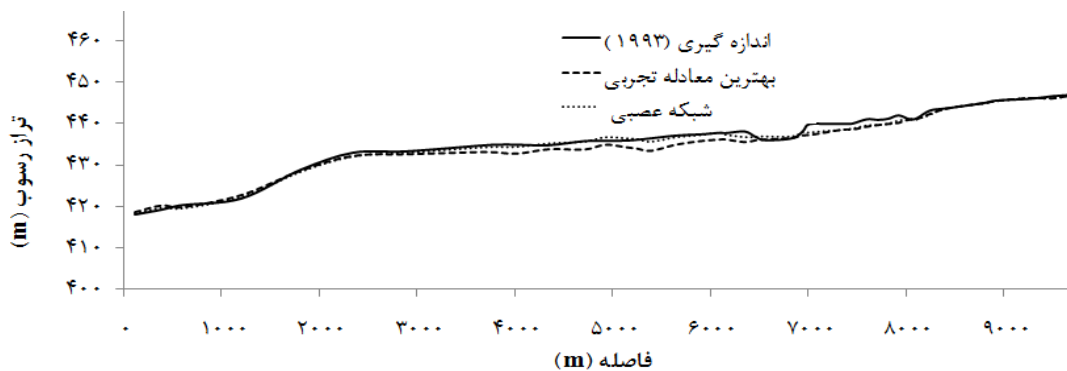
شکل ۸- شبیه سازی تغییرات تراز رسوب در سد باراسونا از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶.



شکل ۹- تغییرات حجم رسوبات سد باراسونا از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶.



شکل ۱۰- تغییرات رقوم بستر مقاطع عرضی سد باراسونا از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶.



شکل ۱۱- اثرگذاری تخمین سرعت سقوط در شبیه سازی رسوب گذاری در مخزن سد باراسونا.

منابع مورد استفاده

- Arnold JG, William JR, Nicks AD and Sammons NB, 1989. SWRRB A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management. Texas A&M University Press. USA.
- Avendano C, Cobo R, Sanz M.E. and Gomez JL. 1997. Capacity situation in Spanish reservoirs. I.C.O.L.D. 19th Congress on Large Dams, 74, R52: 849-862.
- De Roo APJ, Wesseling CG and Ritsema CJ, 1996. A single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins. *Hydrol Processes* 10: 1107-1117.
- Fan J and Morris G, 1992. Reservoir Sedimentation. I: Delta and density current deposits. *J Hyd Engr, ASCE* 118(3): 354-369.
- Fan J and Morris G. 1992. Reservoir Sedimentation. II: Reservoir Desiltation and Long Term Storage Capacity. *J Hyd Engr, ASCE* 118(3): 370-384.
- Fargas D, Martinez JA and Poch RM, 1996. Identification of critical sediment source areas at regional level. *Annales Geo-physical* 14 Sup-plement II, 314, European Geophysical Society C.
- Francke T, 2009. Measurement and modelling of water and sediment fluxes in Meso-Scale Dryland Catchments. Ph.D. thesis, Universit at Potsdam, Potsdam.
- Guntner A, 2002. Large-scale hydrological modelling in the semi-arid North-East of Brazil. Dissertation, Institut fur Geookologie, Universit at Potsdam, PIK-Report, Nr 77.
- Guntner A and Bronstert A, 2004. Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas. *J Hydrol* 297(2): 136-161.
- Jetten V, 2002. LISEM user manual version 2.x. Draft Version January Utrecht Centre for Environment and Landscape Dynamics, Utrecht University, The Netherlands, 48p.
- Kirkby MJ, 1997. Physically based process model for hydrology ecology and land degradation, in: *Mediterranean Desertification and Land Use*. John Wiley, UK. 303-354.
- Krysanova F, Wechsung J, Arnold R, Srinivasan J and Williams A, 2000. Soil and Water Integrated Model. User Manual. PIK Report Nr. 69, 239 p.
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR and King KW, 2002. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version. Published by Texas Water Resources Institute, TWRI Report TR-191,
- Morgan RPC, Quinton JN, Smith RE, Govers G, Poesen JWA, Auerswald K, Chisci G, Torri D and Styczen ME. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM). *Earth Surf Proc Land* 23: 527-544.
- Parker G and Sutherland AJ, 1990. Fluvial Armor. *J Hydraul Res* 28: 529-544.
- Schmidt J. 1991. A mathematical model to simulate rainfall erosion. *Catena Suppl* 19: 101-109.
- Sivapalan M, Viney NR and Jeevaraj CG, 1996. Water and salt balance modelling to predict the effects of land use changes in forested catchments. 3. The large scale model. *Hydrol Processes* 10: 429-446.
- Valero Garces BL, Navas A, Machin J and Walling DE. 1999. Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology* 28: 23-41.
- Williams J. 1995. The EPIC Model, in: *Computer Models of Watershed Hydrology*, edited by: Singh VP, Water Resources Publications, Highlands Ranch CO.
- Wischmeier WH and Smith DD, 1978. Predicting rainfall erosion losses. US department of Agriculture, Agriculture Handbook, No 537.
- Wu W and Wang SSY, 2006. Formulas for sediment porosity and settling velocity. *J Hyd Engr, ASCE* 132(8): 858-862.