

Determination of Sediment Trap Efficiency in Detention Dams Using Physical Model

Japalaghi, A., Samani**, J.M., and Bani-Habib**, M.E.*

** Research Center of Jihad Agriculture, Markazi Province*

*** Tarbiat Moddares University, Tehran*

**** Wastherhed and Soil Conservation Reserch Center, Tehran*

Abstract

Detention dam is one of the major flood controlling structures. For practically encountered sedimentation problems, some extra volume is usually considered in dam design which should be estimated correctly. One of the effective parameters in this regard is sediment trap efficiency. The aim of this research was to determine the sediment trap efficiency of detention dams while the flood outflow synchronizes with flood inflow. The experiments were conducted in a special channel designed in the "Watershed and Soil Conservation Research Center", using two kinds of sediment materials and a channel with gradient of 2.5-6 percent, sediment materials concentration of 4-11.5 percent and the flood volume of 100-300 liters. Undimensioned factors were determined and calculated within the experiment limits using dimension analysis, and their effects on the sediment trap efficiency were studied. The effective undimensioned factors were taken into consideration with the use of multi-regression analysis. Also, some proper relationships were introduced on the basis of undimensioned factors analysis. and flood-reservoir characteristics using multi-variable nonlinear regression in order to determine the sediment trap efficiency.

In order to evaluate each of the relationships obtained from multi-variable nonlinear regression, relative error and determination coefficient in each case were determined and finally, the most suitable relationships were suggested.

Key words : Sedimentation; Detention dams; Sediment trap efficiency; Physical model; Multi-regression

بررسی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری با استفاده از مدل فیزیکی

(دریافت ۸۰/۱۰/۱ پذیرش ۸۱/۲/۳۰)

امیر جاپلغی *

جمال محمد ولی سامانی **

محمد ابراهیم بنی حبیب ***

چکیده

رسوب‌گذاری در مخازن سدها یکی از مشکلات اصلی سدهای کشورمان می‌باشد. سدهای تأخیری نیز که یکی از سازه‌های مهم برای مهار سیلاب می‌باشند در عمل با مشکل رسوب‌گذاری مواجه هستند. به این منظور معمولاً در طراحی سد، حجم مرده‌ای برای رسوب‌گذاری منظور می‌گردد که این حجم بایستی به درستی تخمین زده شود. لذا هدف از انجام این تحقیق، تعیین راندمان (بازده) تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری در شرایط خروج سیلاب همزمان با ورود آن می‌باشد. آزمایش‌ها در فلوم و مخازن ویژه‌ای که برای این منظور در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور ساخته شده بود، انجام گردید. آزمایش‌ها با استفاده از دو نوع ماده رسوبی یکی با $D_{50} = 0.275$ و دیگری با $D_{50} = 0.178$ میلی‌متر، فلومی با شیب ۲/۵ تا ۶ درصد، غلظت مواد رسوبی بین ۴ تا ۱۱/۵ درصد و حجم سیلاب ۲۰۰ تا ۳۰۰ لیتر صورت گرفت. با استفاده از تحلیل ابعادی عوامل بی بعد تعیین و در محدوده آزمایش‌ها مقادیر آنها محاسبه گردید. سپس تأثیر این عوامل در تله‌اندازی بررسی شد و عوامل بی بعد موثر با استفاده از تحلیل همبستگی چندگانه مورد توجه قرار گرفت. هم‌چنین روابط مناسبی بر اساس تحلیل عوامل بی بعد و مشخصه‌های سیلاب و مخزن با استفاده از همبستگی غیر خطی چند متغیره به منظور تعیین راندمان تله‌اندازی ارائه گردید. واژه‌های کلیدی: رسوب‌گذاری، سدهای تأخیری، راندمان تله‌اندازی رسوب، مدل فیزیکی، همبستگی چند گانه.

مقدمه

یکی از پدیده‌هایی که همواره جان انسان‌ها و منابع طبیعی و اقتصادی را مورد تهدید قرار داده است، جریان عظیم آب همراه با مواد رسوبی آبرفتی حوضه آبریز یا به عبارت دیگر سیل همراه با مواد رسوبی است [۱]. به دلیل وقوع جریان زیاد یا رواناب در حوضه آبریز رودخانه‌ها، فرسایش‌های عظیمی در سطح حوضه اتفاق می‌افتد و نهایتاً مشکلات عدیده‌ای را در پایین‌دست به وجود می‌آورد که باعث ته‌نشینی و انباشته شدن رسوب در مخازن سدها و به پایان رسیدن عمر مفید آنها می‌شود [۲]. در سد تأخیری که برای کنترل سیلاب ساخته می‌شود، معمولاً محاسبات و طراحی به گونه‌ای است که طغیان‌های با دبی مشخص بر اساس آمار (فرضاً ۲۰۰ و ۱۰۰۰ ساله) را بتوان مهار نمود. حال هر قدر که رسوب‌گذاری در مخزن افزایش یابد به

* فارغ‌التحصیل دانشگاه تربیت مدرس، کارشناس مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی

استان مرکزی
** استادیار گروه تأسیسات آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس
*** استادیار و عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

از سال ۱۹۴۲ تلاش‌هایی برای به دست آوردن راندمان تله‌اندازی رسوب انجام گرفت. در سال‌های اخیر نیز تحقیقاتی در مورد راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای مخزنی کشورمان توسط محمدزاده در سال ۱۳۷۴، صمدی بروجنی در سال ۱۳۷۵ و قمشی در سال ۱۳۷۶ انجام گرفت [۵، ۶ و ۷]. در مورد راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری کار چندانی صورت نگرفته و از آنجا که سدهای تأخیری صرفاً نقش تأخیر دهنده سیلاب را ایفا می‌نمایند و خروجی تحتانی آنها باز می‌باشد، بنابراین ذخیره آب نخواهند داشت و همزمان با ورود سیلاب تخلیه آن نیز شروع می‌شود. بنابراین باعث می‌شود که مقدار زیادی رسوب از مخزن خارج شود. لذا انتظار می‌رود راندمان تله‌اندازی متفاوتی نسبت به سدهای مخزنی داشته باشد [۱]. در تحقیق حاضر، هدف بررسی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری در شرایط خروج سیلاب همزمان با ورود آن می‌باشد. بدین منظور در فلوم ویژه‌ای که برای این منظور ساخته شده بود مطالعات آزمایشگاهی صورت پذیرفت. با رهاسازی سیلاب همراه با رسوب عملکرد سد تأخیری در مقابل آن بررسی و با روش تحلیل ابعادی عوامل بی بعد تعیین و رابطه مناسبی بر اساس تحلیل عوامل بی بعد و مشخصه‌های سیلاب و مخزن به منظور تعیین راندمان تله‌اندازی رسوب ارائه گردید.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش‌ها ابتدا عوامل موثر بر رسوب‌گذاری در مخازن و ضریب تله‌اندازی رسوب با توجه به پدیده و نیز بررسی مقالات موجود تعیین گردید که تعداد این عوامل یازده پارامتر به صورت تابع زیر است:

$$F(Q_{out}, Q_{in}, V_F, V_S, V_{50}, h_{max}, \gamma_s, \gamma_w, C, S, TE) = 0 \quad (1)$$

که در آن:

$$Q_{in}, Q_{out} = \text{دبی اوج خروجی و ورودی}$$

$$V_S, V_F = \text{حجم سیلاب و حجم مخزن}$$

$$D_{50}, H_{max} = \text{ماکزیمم ارتفاع آب پشت سد و اندازه ذرات رسوب}$$

$$\gamma_s, \gamma_w = \text{به ترتیب جرم حجمی رسوب و آب}$$

$$C, S = \text{غلظت رسوب و شیب فلوم}$$

$$TE = \text{راندمان تله‌اندازی رسوب}$$

سپس با استفاده از تحلیل ابعادی و روش باکینگهام^۱ عوامل بی بعد موثر در پدیده رسوب‌گذاری و راندمان تله‌اندازی محاسبه شدند و تابع (۱) به صورت زیر درآمد:

$$Te = f\left(\frac{Q_{out}}{Q_m}, \frac{V_F}{V_s}, \frac{D_{50}}{\sqrt{V_F}}, \frac{h_{max}}{\sqrt{V_F}}, \frac{\gamma_s}{\gamma_w}\right) = 0 \quad (2)$$

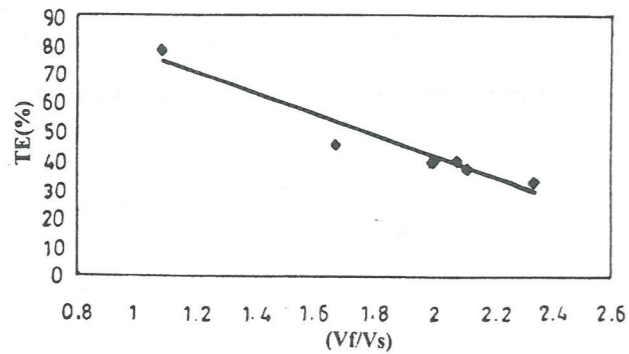
با توجه به عوامل شرکت کننده در هر عامل بی‌بعد، برنامه آزمایش‌ها و تغییرات لازم در هر آزمایش تعیین شد. برای انجام این تحقیق از مدل فیزیکی سد تأخیری که در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ساخته شده بود استفاده گردید (شکل ۱). مدل روی فلومی به طول ۶ متر و عرض و ارتفاع (0.25×0.25) متر ساخته شده بود. شیب فلوم قابل تغییر بود. در ابتدای فلوم ۲ مخزن یکی به حجم ۳۵۰ لیتر و دیگری به حجم ۱۵۰ لیتر برای تولید هیدروگراف ساخته شده بود. در این مدل برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب از ایده مدل مخازن خطی استفاده گردید. مخزن خطی مخزنی است که حجم ذخیره آن به صورت یک رابطه خطی، تابعی است از مقدار خروجی مخزن [۸]. در این آزمایش‌ها از دو نوع ماده رسوبی استفاده شد، یکی خاک اره با $D_{50} = 0.275$ میلی‌متر و دیگری ماسه بادی با $D_{50} = 0.178$ میلی‌متر. توزیع دانه‌بندی ذرات مواد رسوبی به صورت یکنواخت بود. در آزمایش‌ها انجام شده شیب فلوم بین ۲/۵ تا ۶ درصد، غلظت مواد رسوبی بین ۴ تا ۱۲ درصد و حجم سیلاب بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ لیتر متغیر بود. در این آزمایش‌ها برای ایجاد جریان واریزه‌ای غلظت بالا در نظر گرفته شده بود. راندمان تله‌اندازی از تقسیم نمودن وزن خشک رسوبات تله‌اندازی شده در پشت سد تأخیری به وزن کل رسوبات ورودی به مخزن محاسبه می‌شود.

نتایج و بحث

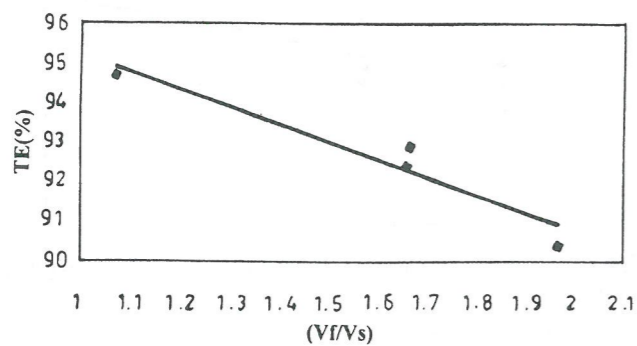
پس از انجام آزمایش‌ها، اعداد بی بعد محاسبه، سپس تأثیر این اعداد در تله‌اندازی بررسی و اعداد بی بعد موثر در تحلیل رگرسیون مورد توجه قرار گرفت. در این آزمایش‌ها غلظت تابعی از شیب بود زیرا سدهای تأخیری در ناحیه کوهستانی ساخته می‌شوند و با افزایش شیب، غلظت

^۱ Buckingham

گرفته برای به دست آوردن این پارامتر بی بعد با دو نوع ماده رسوبی انجام گرفت. با توجه به منحنی شکل های ۲ و ۳ با افزایش پارامتر بی بعد (V_F/V_S) راندمان تله اندازی کاهش یافته است. منحنی شکل ۲ کاهش راندمان تله اندازی با افزایش پارامتر بی بعد (V_F/V_S) را برای ماده رسوبی خاک اره و منحنی شکل ۳ کاهش راندمان تله اندازی با افزایش پارامتر بی بعد (V_F/V_S) را برای ماده رسوبی ماسه بادی نشان می دهد. با توجه به این که V_S و V_F به ترتیب نقش I کل آب سالیانه وارده به مخزن و C ظرفیت مخزن را در پارامتر (C/I) دارند، می توانیم پارامتر (V_F/V_S) را با (C/I) مقایسه کنیم. همان طور که می دانیم با کاهش (C/I) در مخازن یعنی با افزایش آبدهی رودخانه، مواد وارده به سرعت از آن خارج شده و در نتیجه حتی مواد ریزدانه هم فرصت ته نشینی را نخواهند داشت. در نتیجه راندمان تله اندازی رسوب کاهش می یابد. بر عکس یک مخزن بزرگ، یعنی با نسبت (C/I) بالا، می تواند از خروج کلیه رسوبات وارده به مخزن جلوگیری کند و در نتیجه راندمان تله اندازی افزایش می یابد.



شکل ۲- ارتباط بین پارامتر (V_F/V_S) و راندمان تله اندازی رسوب در سد تأخیری (رسوب خاک اره).



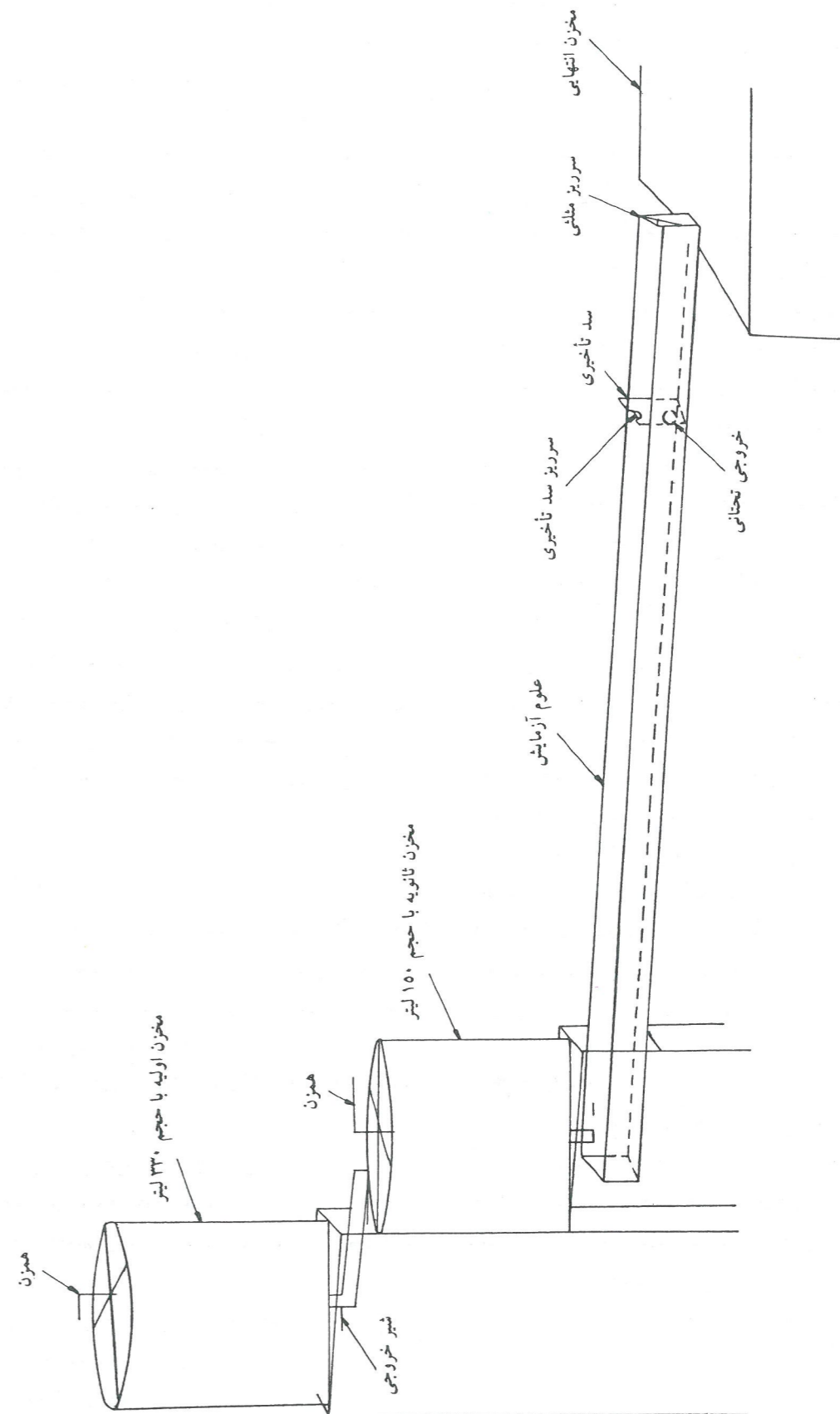
شکل ۳- ارتباط بین پارامتر (V_F/V_S) و راندمان تله اندازی رسوب در سد تأخیری (رسوب ماسه بادی).

رسوب افزایش می یابد و جریان های واریزه ای به وجود می آید. دبی خروجی نیز تابعی از ماکزیمم ارتفاع آب در پشت سد است، که با افزایش آب پشت سد، تیغه آب روی سرریز افزایش می یابد. لذا یکسری از پارامترهای وابسته به یکدیگر بودند که بایستی این پارامترها حذف می شدند. پارامترهای وابسته عبارت بودند از $(C, \frac{H}{\sqrt{V_F}}, \frac{Q_{OU}}{Q_{IN}})$. پس از حذف پارامترهای وابسته، تابع (۲) به صورت زیر در آمد:

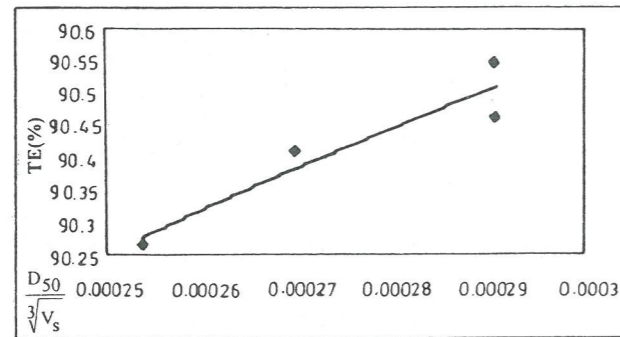
$$F\left(S, \frac{V_F}{V_S}, \frac{D_{50}}{\sqrt{V_F}}, \frac{\gamma_s}{\gamma_w}, Te\right) = 0 \quad (3)$$

برای به دست آوردن رابطه همبستگی بین متغیرهای وابسته و مستقل، پارامترها به صورت تک به تک مورد بررسی قرار گرفتند و رابطه هر یک از آنها با راندمان تله اندازی به صورت نمودارهای زیر ارائه شده است:

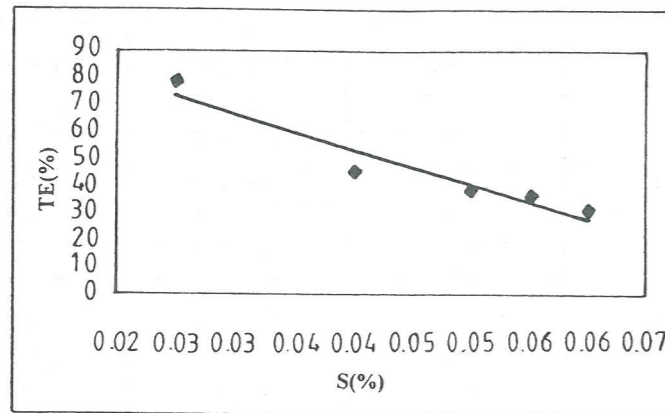
اثر پارامتر (V_F/V_S) بر روی راندمان تله اندازی رسوب در پارامتر بی بعد (V_F/V_S) ، همان حجم سیلاب است و V_S حجم مخزن سد تأخیری. آزمایش ها انجام



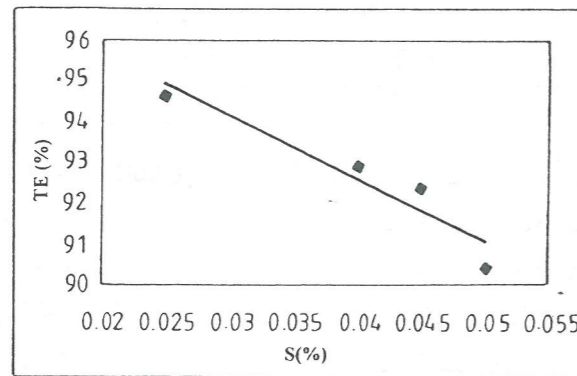
شکل ۱- مدل فیزیکی و اجزای تشکیل دهنده آن.



شکل ۵- ارتباط بین پارامتر $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ و راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری (رسوب ماسه بادی).



شکل ۶- ارتباط بین شیب فلوم و راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری (رسوب خاک اره).



شکل ۷- ارتباط بین شیب فلوم و راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری (رسوب ماسه بادی).

است. منحنی شکل ۷ به آزمایش‌ها انجام گرفته با ماده رسوبی ماسه بادی مربوط می‌شود. ملاحظه می‌شود برای این ماده رسوبی نیز با افزایش شیب فلوم راندمان کاهش پیدا نموده است. می‌توان این طور بیان کرد که وقتی شیب فلوم افزایش می‌یابد سرعت جریان نیز افزایش می‌یابد و باعث کاهش زمان ماندگاری آب و رسوب می‌شود و فرصت ته‌نشینی ذرات کم شده و در نتیجه باعث کاهش تله‌اندازی ذرات می‌شود.

اثر این پارامتر بدون بعد بر روی راندمان تله‌اندازی نیز آزمایش‌ها با دو نوع ماده رسوبی انجام شد و نتایج به صورت نمودارهایی ارائه شده است. با توجه به منحنی شکل‌های ۶ و ۷ با افزایش شیب فلوم راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری کاهش یافته است. منحنی شکل ۶ به آزمایش‌ها انجام گرفته با ماده رسوبی خاک اره مربوط می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود برای این ماده رسوبی با افزایش شیب فلوم راندمان کاهش پیدا کرده

مقدار خروجی کاهش می‌یابد، در نتیجه رسوبات کمتری از مخزن خارج می‌شود و تله‌اندازی افزایش می‌یابد.

اثر پارامتر (γ_S / γ_W) بر روی راندمان تله‌اندازی رسوب

در پارامتر بدون بعد (γ_S / γ_W) ، γ_S وزن مخصوص مواد رسوبی به کار برده شده در آزمایش‌ها و γ_W وزن مخصوص آب است. برای بررسی اثر این پارامتر بی‌بعد روی راندمان تله‌اندازی رسوب در مخزن سد تأخیری نیز آزمایش‌ها با دو نوع ماده رسوبی (ماسه بادی با $\gamma_S = 2/65$) و (خاک اره با $\gamma_S = 1/29$) انجام گرفت. رسوبات درشت دانه و سنگین‌تر به راحتی ته‌نشین می‌شوند، در حالی که رسوبات خیلی ریز و سبک ممکن است مدت‌ها معلق باقی بمانند و یا این که از سد خارج شوند. وزن مخصوص ذرات در سرعت سقوط ذرات نقش قابل توجهی را ایفا می‌کنند. هر چه ذرات سنگین‌تر باشند، سرعت سقوط آن‌ها بیشتر است. از طرفی سرعت سقوط و راندمان تله‌اندازی نیز با هم رابطه مستقیم دارند، یعنی هر چه سرعت سقوط ذرات بیشتر باشد، راندمان تله‌اندازی بیشتر است. آزمایش‌ها انجام گرفته نیز همین موضوع را تأیید می‌کنند، یعنی با افزایش پارامتر (γ_S / γ_W) راندمان تله‌اندازی افزایش می‌یابد.

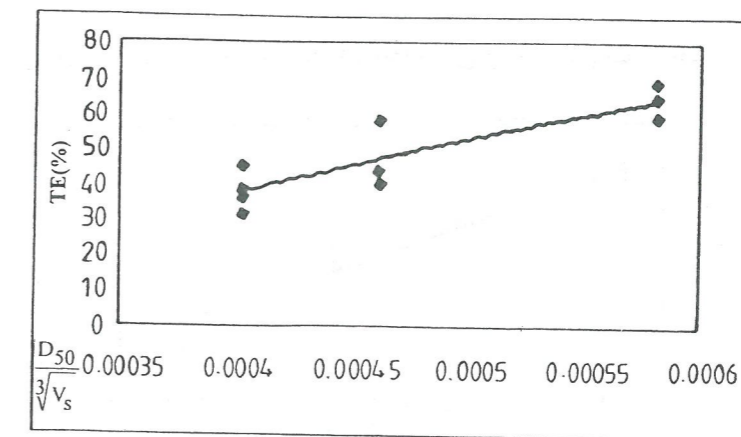
اثر شیب فلوم بر روی راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری

در اینجا شیب فلوم همان شیب مخزن سد تأخیری است که این شیب برای چند آزمایش با کمک تراز یاب به دست آمد و آزمایش‌ها بر روی آن انجام شد. برای بررسی

در واقع (V_F / V_S) همان نقش پارامتر بی‌بعد (C/I) را دارد با این تفاوت که (C/I) برای جریان‌های طولانی مدت می‌باشد ولی (V_F / V_S) برای یک سیلاب است.

اثر پارامتر $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ بر روی راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری

در پارامتر بدون بعد $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ ، D_{50} قطر متوسط ذرات به کار رفته در آزمایش‌ها است و V_F نیز قبلاً تعریف شده است. برای بررسی اثر این پارامتر بی‌بعد نیز آزمایش‌ها با دو نوع ماده رسوبی انجام گرفت. برای هر ماده رسوبی نمودارهای جداگانه‌ای رسم شده است. در این پارامتر بی‌بعد، D_{50} ثابت بوده و فقط V_F تغییر کرده است. با توجه به منحنی شکل‌های ۳ و ۴ همان طور که می‌بینیم با افزایش پارامتر بی‌بعد $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ ، راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری افزایش یافته است. منحنی شکل ۴ به آزمایش‌هایی مربوط می‌شود که برای ماده رسوبی خاک اره انجام گرفته است. همان طور که ملاحظه می‌شود در این منحنی با افزایش پارامتر $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ راندمان تله‌اندازی افزایش یافته است. منحنی شکل ۵ به آزمایش‌ها انجام گرفته برای ماده رسوبی ماسه بادی مربوط می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود باز با افزایش پارامتر $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ راندمان رسوب‌گذاری افزایش یافته است. برای بررسی صحت نتایج آزمایش در ارتباط بین پارامتر بی‌بعد $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ و راندمان تله‌اندازی، می‌توان نتیجه گرفت که با کوچک شدن V_F در واقع حجم سیلاب کاهش یافته است. وقتی که حجم سیلاب کاهش یابد،



شکل ۸- ارتباط بین پارامتر $[D_{50} / \sqrt{V_F}]$ و راندمان تله‌اندازی رسوب در سد تأخیری (رسوب خاک اره).

جدول ۱- پارامترهای مستقل و وابسته محاسبه شده از آزمایش‌ها.

Test.No	S	(γ_S/γ_W)	$[D_{50}/\sqrt{V_F}]$	(V_F/V_S)	TE
۲۷	/۰۶	۱/۲۹	/۰۰۰۴۰۳	۲/۳۴۱	۳۱/۸۴۴
۲۹	/۰۵۵	۱/۲۹	/۰۰۰۴۰۳	۲/۱۱۲	۳۶/۵۹۷
۱	/۰۵	۱/۲۹	/۰۰۰۴۰۳	۱/۹۹۹	۳۸/۷۰۹۶
۴	/۰۵	۱/۲۹	/۰۰۰۴۰۳	۲/۰۸۳۳	۳۸/۷۲۹۶
۲	/۰۵	۱/۲۹	/۰۰۰۴۶۲	۱/۴۴۸	۳۶/۶۹۷۹
۲۸	/۰۶	۱/۲۹	/۰۰۰۴۶۲	۱/۶۶۶۶	۴۳/۵۷۶۵
۱۳	/۰۵۵	۱/۲۹	/۰۰۰۴۶۲	۱/۴۷۸۰	۴۳/۷۸۵۷
۷	/۰۴	۱/۲۹	/۰۰۰۴۰۳	۱/۶۶۶۶	۴۵/۱۸۴۶
۶	/۰۴	۱/۲۹	/۰۰۰۴۶۲	۱/۳۲۲۳	۵۸/۰۹۴۵
۱۴	/۰۵۵	۱/۲۹	/۰۰۰۵۸۲	۱/۴۰۴۴	۵۹/۲۷۵۲
۱۸	/۰۶	۱/۲۹	/۰۰۰۵۸۲	۱/۳۲۹۶	۶۴/۵۴۹۴
۳	/۰۵	۱/۲۹	/۰۰۰۵۸۲	۱/۹۰۲۴۹	۶۸/۹۳۸۸
۸	/۰۲۵	۱/۲۹	/۰۰۰۴۶۲	۱/۱۰۸۰	۷۱/۲۶۲۵
۵	/۰۴	۱/۲۹	/۰۰۰۵۸۲	۱/۳۶۶۹	۷۷/۴۵۹۳
۱۰	/۰۲۵	۱/۲۹	/۰۰۰۴۰۳	۱/۰۸۶۴۶	۷۷/۷۹۴۹۹
۹	/۰۲۵	۱/۲۹	/۰۰۰۵۸۲	/۸۸۸۸۸	۸۰/۵۵۷۷
۱۵	/۰۵	۲/۶۵	/۰۰۰۲۹۱	۱/۴۴۸۶	۸۸/۳۲۵۴
۱۷	/۰۵	۲/۶۵	/۰۰۰۲۷	۱/۷۵۰۶	۹۰/۲۶۴۱
۱۶	/۰۵	۲/۶۵	/۰۰۰۲۵۴	۱/۹۶۶۹	۹۰/۴۰۸۸
۲۲	/۰۴۵	۲/۶۵	/۰۰۰۲۹۱	۱/۳۶۱۰۵	۹۰/۴۱۲۱
۲۵	/۰۴	۲/۶۵	/۰۰۰۲۹۱	۱/۲۶۴۱	۹۰/۵۶۶۰
۲۳	/۰۴۵	۲/۶۵	/۰۰۰۲۷	۱/۵۶۲۵	۹۲/۱۷۱۲
۲۴	/۰۴	۲/۶۵	/۰۰۰۲۷	۱/۵۱۲۲	۹۲/۳۴۵۸
۲۱	/۰۴۵	۲/۶۵	/۰۰۰۲۵۴	۱/۶۶۰۹	۹۲/۳۶۲۹
۲۶	/۰۴	۲/۶۵	/۰۰۰۲۵۴	۱/۶۶۶۶	۹۲/۸۷۲۱۲
۱۱	/۰۲۵	۲/۶۵	/۰۰۰۲۵۴	۱/۰۶۸۲	۹۴/۶۵۴۰۹

رابطه بین پارامترهای بدون بعد و راندمان تله‌اندازی رسوب بدون در نظر گرفتن اهمیت متغیرها

پس از این که تأثیر پارامترهای بی بعد بر تله‌اندازی رسوب در مخازن تأخیری به صورت تک به تک بررسی شد. رابطه بین پارامترهای بی بعد به عنوان متغیر مستقل و ضریب تله‌اندازی رسوب (TE) به عنوان متغیر وابسته با استفاده از همبستگی غیرخطی چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت. در این رابطه سعی شد ضریب تله‌اندازی رسوب در مخزن به صورت تابعی از پارامترهای بی‌بعد باشد. برای بررسی هر کدام از روابط به دست آمده از تحلیل همبستگی، خطای نسبی هر رابطه محاسبه گردید و رابطه بهتر بر اساس معیار خطای نسبی و ضریب تبیین^۱ انتخاب شده است. برای تجزیه و تحلیل معادله (۳) و

^۱ R² adjust

دست آوردن معادلات، خطای نسبی هر معادله از رابطه (۴) به دست آمد.

$$r_{\text{error}} = \frac{1}{n} \sum \frac{|T_{e.o} - T_{e.c}|}{T_{e.o}} \quad (4)$$

سپس ۱۵ معادله با هم مورد مقایسه قرار گرفتند و بهترین آن‌ها که ضریب تبیین بیشتری داشت و خطای نسبی آن نیز کم بود انتخاب شد. این معادله دارای R² adjust = ۰/۹۴۵۲ و خطای نسبی ۰/۶۱۱ است. در نتیجه معادله پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد:

$$TE = a_0 + a_1 \times (V_F/V_S) + a_2 \times (D_{50}/\sqrt{V_F}) + a_3 \times (\gamma_S/\gamma_W)^{1/5} + a_4 \times S^{1/5} \quad (5)$$

که در آن کلیه پارامترها در قسمت‌های قبل توضیح داده شده است. بعد از این که رابطه همبستگی بین ۴ متغیر به دست آمد، متغیرها با استفاده از نرم‌افزار SPSS از روش گام به گام مورد بررسی قرار گرفتند. در روش گام به گام متغیرها به صورت تک تک مورد بررسی قرار می‌گیرند و درجه اهمیت آن‌ها در رابطه همبستگی مشخص می‌شود. میزان اهمیت متغیر در مدل، مقدار سطح معنی‌داری یا آماره F متناظر با آن در جدول آزمون معنی‌داری متغیرهاست. اگر متغیری، F بیشتری از F در نظر گرفته شده داشته باشد، وارد مدل نمی‌شود. در روش گام به گام مشخص شد که متغیرهای (V_F/V_S) و (γ_S/γ_W) بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارند و متغیرهای $[D_{50}/\sqrt{V_F}]$ و S چون F آن‌ها بیش از F در نظر گرفته شده بود، وارد مدل نشدند. لذا مدل‌هایی بر اساس این دو پارامتر به عنوان متغیر مستقل و راندمان تله‌اندازی به عنوان متغیر وابسته، به وسیله نرم‌افزار SPSS از طریق فرمان nonlinear بر داده‌ها برازش داده شد. سپس نرم‌افزار، ضریب تبیین متغیرها و ضرایب مدل‌ها را محاسبه کرد. بعد از به دست آوردن معادلات خطای نسبی هر معادله از

جدول ۲- ضرایب معادله (۵)

a.	a _۱	a _۲	a _۳	a _۴
۵۹/۲۶۸	۰/۸۹۱	۱۴۲۳۱۲۰۸۴/۹۸	۲۰/۰۳۲	-۶۴۵/۵۰۰۴۱

جدول ۳- ضرایب معادله (۶)

R ² adjust	خطای نسبی	a.	a _۱	a _۲
%۸۳۸	%۱	۴۰۷۷/۰۱۲	-۴۰۱۶/۵۶۹	۶/۷۶۰

فرمول (۴) محاسبه شد و بهترین معادله که R² آن بالا و خطای نسبی (r) آن پایین بود، انتخاب و پیشنهاد شد. معادله (۶) که یک معادله غیرخطی است دارای خطای کمتری نسبت به سایر معادلات است. در نتیجه معادله پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد:

$$TE = a. + a_1 \times (V_F/V_S)^{1/5} + a_2 \times (\gamma_S/\gamma_W)^2 \quad (6)$$

در جداول ۲ و ۳ ضرایب معادلات ۵ و ۶ آورده شده است.

مقایسه بین Te محاسباتی و Te مشاهده‌ای

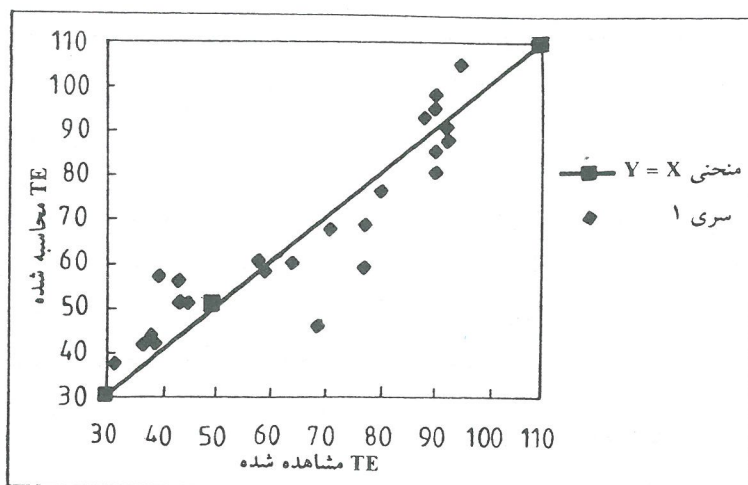
منحنی (P-P) پلات برای آزمون نرمال بودن داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با رسم این منحنی، احتمال تجمععی مشاهدات در برابر احتمالات تجمععی مقادیر محاسبه شده از فرمول‌های به دست آمده رسم گردید. شکل‌های ۸ و ۹ رابطه بین راندمان تله‌اندازی مشاهده‌ای و محاسباتی را برای معادلات (۵) و (۶) نشان می‌دهند. همان طور که مشاهده می‌شود داده‌ها تقریباً روی نیمساز مربع واقع شده‌اند.

نتیجه‌گیری

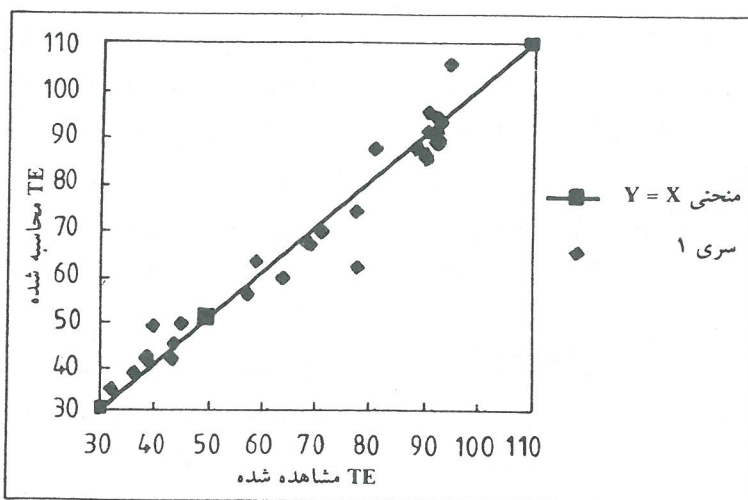
۱- با افزایش پارامتر بدون بعد (V_F/V_S) و S راندمان تله‌اندازی در مخازن سد کاهش می‌یابد.

۲- با افزایش پارامتر بدون بعد (γ_S/γ_W) و $[D_{50}/\sqrt{V_F}]$ راندمان تله‌اندازی در مخازن سدها افزایش می‌یابد.

۳- در زمانی که ۴ پارامتر بدون بعد داشته باشیم، برای محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوب از معادله (۵) استفاده می‌شود. ولی در صورتی که پارامترهای ما کم باشند یا داده‌های آن‌ها در دسترس نیست و فقط دو پارامتر بدون بعد داشته باشیم، در این صورت فرمول (۶) پیشنهاد می‌شود.



شکل ۸- مقایسه بین راندمان تله‌اندازی محاسباتی و مشاهده‌ای (برای چهار متغیر).



شکل ۹- مقایسه بین راندمان تله‌اندازی محاسباتی و مشاهده‌ای (برای دو متغیر).

منابع و مراجع

- ۱- جاپلغی، ا. (۱۳۸۰). "بررسی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای تأخیری با استفاده از مدل فیزیکی"، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تأسیسات آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- پورتویسرکانی، ا. (۱۳۷۶). "بررسی روش‌های ارزیابی اقتصادی طرح‌های کنترل سیلاب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته عمران آب، دانشگاه امیرکبیر.
- ۳- اکرمی، ا. (۱۳۷۵). "وضعیت رسوب‌گذاری در سدهای ایران و مقایسه آن با روش‌های تئوریک"، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تأسیسات آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴- شفاعی بجستانی، م. (۱۳۷۴). "هیدرولیک رسوب"، انتشارات دانشگاه شهید چمران، ص ۳۳۵.
- ۵- محمدزاده، ا. (۱۳۷۴). "ارزیابی راندمان تله‌اندازی رسوب در سدهای کوچک"، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۶- قمشی، م. (۱۳۷۵). "ارائه مدل ریاضی رسوب‌گذاری در مخازن سدها"، رساله دکتری دانشگاه ولونگوگ استرالیا.
- ۷- صمدی بروجنی، ح. و موسوی، س.ف. (۱۳۷۵). "ارزیابی بازده تله‌اندازی رسوب در سدهای خاکی کوچک منطقه چهارمحال بختیاری".
- 8- Chow, V.T. (1988). "Applied Hydrology", McGraw- Hill, pp. 260-63.