



## بررسی هیدرولیک جریان در رسوبشویی تحت فشار با استفاده از نتایج آزمایشگاهی

صمدامامقلی زاده<sup>۱</sup> حسام جهانی<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- کارشناس سازمان آب و برق خوزستان

[s\\_gholizadeh517@yahoo.com](mailto:s_gholizadeh517@yahoo.com)

### چکیده:

در رسوبشویی تحت فشار زمانیکه تخلیه کننده های تحتانی به منظور انجام رسوبشویی باز می گردند، رسوبات تحت فشار آب از مخزن تخلیه شده و با گذشت زمان در جلوی آن مخروط رسوبشویی تشکیل می گردد. ابعاد مخروط رسوبشویی بستگی به هیدرولیک جریان (سرعت جریان و تنش برشی اعمال شونده بر روی رسوبات نهشته شده) در داخل مخروط رسوبشویی دارد. به منظور بررسی این پدیده و اندازه گیری سرعت جریان، از دستگاه لیزر داپلر (LDV) استفاده گردید. این دستگاه توانایی اندازه گیری سرعت جریان در دو بعد ( در جهت طولی و در جهت عمودی) می باشد. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده بر روی مدل فیزیکی به طول ۷ متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۱/۵ متر، به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از اندازه گیری سرعت جریان پرداخته شد. نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد در رسوبشویی تحت فشار برای تخلیه بیشتر رسوبات لازم است سعی شود تا جاییکه ممکن است سطح آب مخزن را کاهش داد و همچنین تخلیه کننده تحتانی با حداکثر ظرفیت خود مورد بهره برداری قرار داد.

**واژه های کلیدی:** سدهای مخزنی، رسوبشویی، مدل فیزیکی، دستگاه لیزر داپلر، سرعت جریان

### مقدمه

سدسازی از هزاران سال قبل از میلاد فنی شناخته شده بود و انسان همواره با کمک آن سعی در حفظ و بهره برداری از منابع آبهای سطحی داشته است. در چند دهه اخیر هر چند سد سازی از نظر کمی و تعدد روند افزایشی داشته است، بطوریکه طی سالهای ۱۹۰۰ تا ۱۹۵۰ میلادی تعداد سدهای بزرگ<sup>۳</sup> دنیا از ۴۲ سد به ۵۲۶۸ سد افزایش یافت و تعداد این سدها در سال ۱۹۸۶ به ۳۹۰۰۰ مورد بالغ گردید (ICOLD, 1988). ولی معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهمترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پرشدن از رسوب متروکه شده اند. این مشکل به ویژه در مناطق استوایی و نیمه خشک به علت بالا بودن بده جریان رسوب مشهودتر به نظر می رسد (Brandt, 2000). اهمیت افزایش عمر مفید سدها و حفظ حجم ذخیره آنها برای تداوم کنترل و بهره برداری از منابع آب، موضوع مهم در علم مهندسی سدسازی مطرح می باشد چرا که ساخت سدهای جدید به دلایل آیین نامه های سختگیرانه زیست محیطی، هزینه بالای ساخت و عدم وجود سایت های مناسب بسیار مشکل می باشد (Lai and Shen, 1996). بنابراین با توجه به اهمیت مساله مدیریت پایایی<sup>۴</sup> مخزن، ایجاب می نماید که حجم ذخیره مفید مخزن را که بوسیله انباشت رسوبات از دست می رود از طریق روشهای رسوبزدائی حفظ و بازیافت گردد. به این ترتیب می توان با بر طرف نمودن رسوبات نهشته شده، آنها را احیاء و ظرفیت ذخیره جدیدی ایجاد نمود و علاوه بر آن آبگیری را می توان با آب زلال انجام داد (Breusers et al, 1982). در حال حاضر بیشتر کارهای مدیریتی رسوب صرفاً روی کنترل فرسایش متمرکز شده است. گر چه انجام این فعالیتها لازم و ضروری به نظر می رسد، اما این فعالیتها به تنهایی نمی تواند برای نیل به اهدافی همچون حفظ تعادل رسوب و نگهداری دراز مدت حجم ذخیره مخزن کافی باشد. در واقع از میان روشهای مدیریت رسوب، روشی که در برگیرنده تمام استراتژیهای لازم برای حفظ تعادل رسوب در مخزن باشد کارائی داشته و مورد قبول خواهد بود (Morris, 1995).

مدیریت یکبارچه رسوب به مفهوم در نظر گرفتن تمام جوانب مشکل رسوب و به کار بردن استراتژیهای متناسب با شرایط حاکم بر منطقه مورد نظر در جهت حل مشکل رسوب می باشد. به عبارت بهتر استراتژی ماندگار در مدیریت رسوب بایستی در مطالعه خود، همگام با مطالعه فرآیند رسوب گذاری در مخزن اثرات ناشی از رسوب گذاری را در مناطق پایین دست را نیز لحاظ نماید. (Morris and Fan, 1977).

<sup>۱</sup> - استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود

<sup>۲</sup> - کارشناس سازمان آب و برق خوزستان

<sup>۳</sup> - بر اساس معیار ICOLD سدهای با ارتفاع بزرگتر از ۱۵ متر، طول تاج بیش تر از ۵۰۰ متر، حجم بیش از یکصد هزار متر مکعب و دبی سیلاب برای سرریز بیش از ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه، سد بزرگ محسوب می شوند

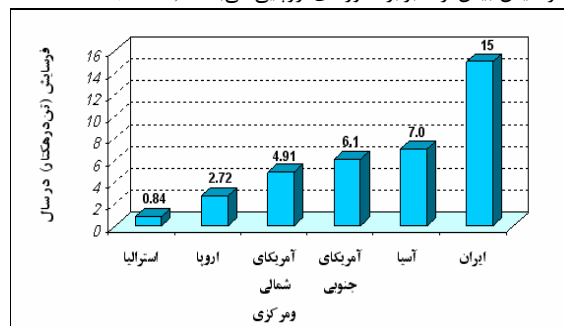
<sup>۴</sup> - Sustainable Management



برای رفع مشکل رسوب گذاری از تکنیک های مختلفی می توان استفاده نمود که بطور خلاصه عبارتند از:

- عملیات آبخیز داری و حفاظت خاک
- عبور دهی جریان غلیظ
- رسوبشویی هیدرولیکی
- استفاده از سیستم کنار گذر برای جریان های غلیظ
- دفع رسوبات مخزن بوسیله ادوات مکانیکی مانند لایروبی و سیفون کردن

بکاربردن این روش ها مستلزم شناخت کامل شان از جهت توانایی و محدودیت شان می باشد. بطوریکه گاهی اوقات ممکن است بکار بردن این روش ها در برخی از مخازن اقتصادی نباشد (Atkinson, 1996). در ایران نیز مساله رسوب گذاری در مخازن سدها حائز اهمیت زیادی می باشد، چرا که حدود ۷۰ درصد از منابع آب ایران را آب های سطحی تشکیل می دهد و عدم تطابق زمانی بین آبدهی حوزه ها و مصارف، وجود مخازن کنترل آب را امری ضروری می کند. از طرفی عدم انجام اقدامات مؤثر آبخیز داری در حد کافی باعث شده که فرسایش از حوزه های آبریز سدها از حد مجاز خیلی بیشتر باشد (بیش از ۱۵ تن در هکتار در سال) و همین امر معضل رسوب گذاری در مخازن سدها را تشدید می کند. شکل (۱) وضعیت فرسایش در ایران را در مقایسه با سایر کشورها نشان می دهد، که شدت فرسایش بیش از ۶ برابر کشورهای اروپایی می باشد (Milliman and Meade, 1983)



شکل ۱- شدت فرسایش در ایران در مقایسه با کشورها

البته این مشکلات کم و بیش در تمامی کشورهای جهان وجود دارد ولی در ایران به علت آب و هوای نیمه خشک، پوشش کم زمینها و فصلی بودن رودخانه ها این مشکلات حادتر می باشد و با در نظر گرفتن اینکه سدهای مخزنی سریعاً در حال گسترش می باشند اهمیت موضوع بیشتر می شود. برای مثال موردی در این زمینه می توان به مشکل تجمع رسوب در سدهای مخزنی سفیدرود و دز اشاره نمود. بنابراین انجام تحقیقات در این زمینه به منظور کاهش رسوبات مخزن و افزایش عمر مفید آنها امری مهم و ضروری می باشد و غفلت از آن به ویژه در کشورهای خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران، تهدیدی جدی برای زندگی نسل آینده به شمار می رود. بنابراین مدیریت پایای<sup>۱</sup> مخزن، ایجاب می نماید

### روش رسوبشویی هیدرولیکی

رسوبشویی به روشی گفته می شود که در آن با باز نمودن تخلیه کننده های تحتانی (در کف یا رقوم پایین تر) برای ایجاد فرسایش رسوبات فرسایش پذیر که از قبل در داخل مخزن نهشته شده اند بکار می رود. فان (FAN, 1985) عمل رسوبشویی را به دو دسته تقسیم نمود که آنها عبارتند از:

- **رسوبشویی آزاد**، که در این روش ارتفاع آب مخزن بوسیله تخلیه کننده های تحتانی پایین آورده شده و مخزن بطور کامل تخلیه می گردد. به عبارت بهتر در مخزن جریان رودخانه ای<sup>۲</sup> اتفاق می افتد، و جریان ورودی به مخزن در این حالت بدون متوقف شدن از مخزن خارج می گردد.

در رسوبشویی تحت فشار در طول مدت انجام رسوبشویی، تخلیه کننده های تحتانی سد برای مدت زمان معینی باز شده و سطح آب مخزن تقریباً ثابت نگه داشته می شود. زمانیکه آب از میان تخلیه کننده های تحتانی خارج می گردد حرکت عمومی جریان آب به طرف تخلیه کننده های تحتانی موجب ایجاد نیروی فرساینده بر روی رسوبات نهشته شده می گردد لذا همراه جریان آب رسوبات نهشته شده از طریق تخلیه کننده های تحتانی از سد خارج می گردد.

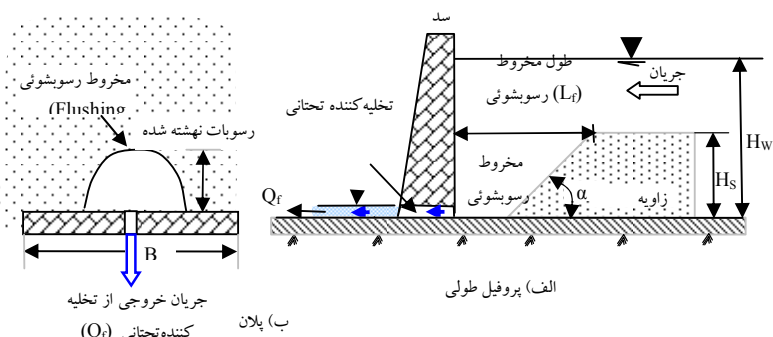
- **رسوبشویی تحت فشار**، در این روش پس از مدتی از انجام رسوبشویی حفره یا چاله ای از آبستگي به شکل مخروطی یا قیفی در جلوی دریچه تحتانی بوجود آمده و توسعه می یابد (شکل ۲). این روش معمولاً زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که بخواهند رسوبات نهشته در اطراف ورودی آبیگر را بر طرف نمایند (Morris and Fan, 1997).

مدت زمان لازم برای تشکیل کامل حفره آبستگي و به پایدار رسیدن ژئومتری آن بسته به نوع رسوبات، تراز آب مخزن و ارتفاع رسوبات تجمع یافته بالایی تخلیه کننده تحتانی دارد و ممکن است از چند ساعت تا چند روز باشد. برای مثال آزمایشات انجام شده بر روی مدل مخزن جیبیدم (Gebidam)

<sup>1</sup> Sustainable Management

<sup>2</sup> - River Rine

در کشور سوئیس نشان داد که حفره آبخستگی پس از مدت زمان ۲ تا ۳ ساعت به حالت تعادل میرسد (Brandt, 2000). برای مثال کاربردی در استفاده از رسوبشویی تحت فشار می‌توان به سد دز اشاره نمود (مامقلی زاده، ۱۳۸۶).



شکل ۲- شماتیکی از مخروط رسوبشویی در سیستم رسوبشویی تحت فشار: الف) پروفیل طولی ب) پلان

### مواد و روشها

#### شرح مدل فیزیکی

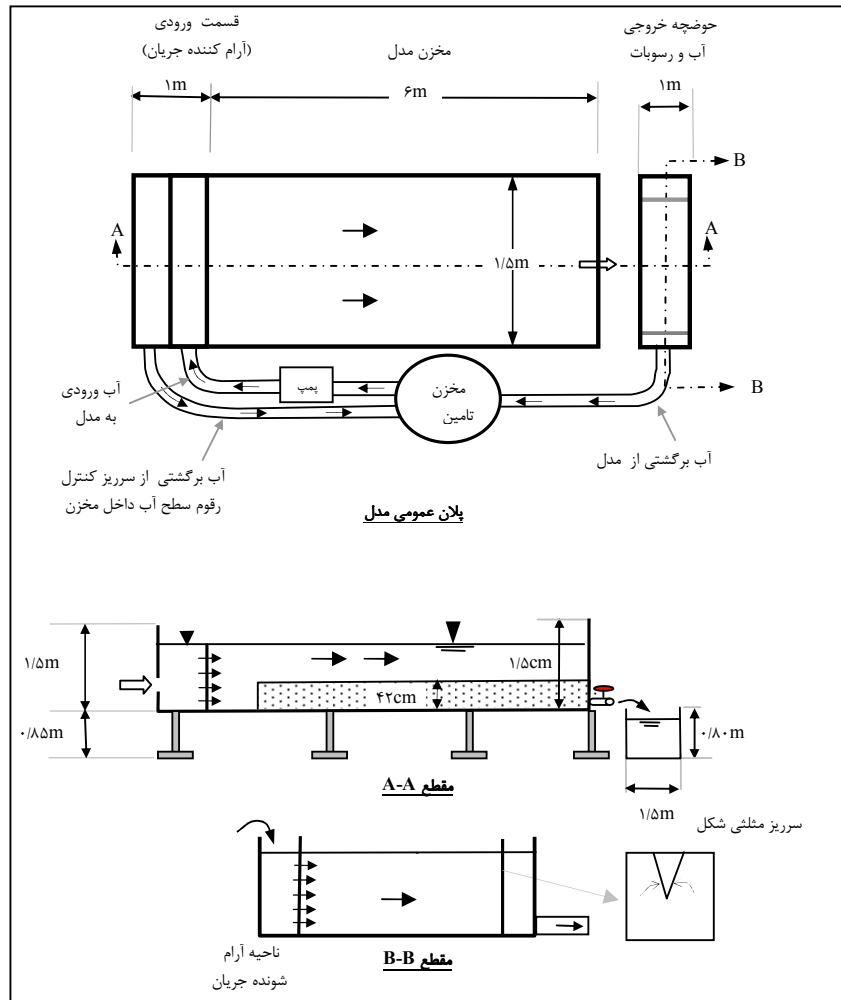
به منظور شناخت پدیده رسوبشویی تحت فشار و رسیدن به اهداف این پژوهش در این تحقیق از مدل فیزیکی استفاده شده است. مدل در نظر گرفته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته شد. مدل به شکل مکعب مستطیل با طول ۷ متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۱/۵ متر ساخته شد. مدل دارای سه قسمت اصلی می‌باشد: ۱- قسمت ورودی مدل (ناحیه آرام کننده جریان) ۲- مخزن مدل ۳- قسمت اندازه گیری جریان خروجی از مدل (حوضچه ته نشینی رسوبات) (شکل ۳). قسمت ورودی مدل دارای ابعادی به طول ۱ متر، عمق ۱/۵ متر و عرض ۱/۵ متر می‌باشد. در این قسمت تلاطم جریان ورودی به مدل گرفته شده و جریان بصورت آرام وارد قسمت اصلی مدل (مخزن) می‌گردد. قسمت مخزن دارای طول ۶ متر، ارتفاع ۱/۵ متر و عرض ۱/۵ متر بود. همچنین به منظور کنترل ارتفاع آب داخل مخزن از یک سرریز استفاده گردید، و آب مازاد ورودی به مدل با استفاده از یک لوله ۳ اینچی به مخزن اصلی تامین آب برگشت داده می‌شد. به منظور رسوبشویی، یک تخلیه کننده با مقطع دایره ای شکل (شیر ۲ اینچ) در خط مرکزی مقطع خروجی با فاصله ۱۰ سانتی متر بالاتر از کف قرار داده شد. رسوبات پس از خروج از تخلیه کننده تحتانی وارد مخزن مکعب مستطیل شکل (حوضچه ته نشینی رسوبات) با ابعادی به طول ۱/۵ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۸۰ متر که در پایین دست مدل قرار داده شد می‌گردید. به منظور اندازه گیری جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی، از یک سرریز ۲۶ درجه استفاده گردید. آب خروجی از مدل پس از اندازه گیری بوسیله یک لوله ۵ اینچ به مخزن اصلی تامین آب آزمایشگاه برگشت داده می‌شد. شکل (۳) پلان مدل، پروفیل طولی و مقاطع عرضی همراه با جزئیات مربوطه را نشان می‌دهد.

### تعداد آزمایشات

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق آزمایشات با رسوبی به قطر ۱/۲ میلی متر انجام گردید. در هر یک از حالت‌ها آزمایشات با سه ارتفاع آب و در هر ارتفاع آب ۴ دبی مورد آزمایش قرار گرفت. سه ارتفاع آب و ۴ دبی در نظر گرفته شده به ترتیب عبارتند از ۸۰، ۴۰، ۱۱۰ و ۳۰، ۶ و ۸ لیتر در ثانیه بودند. در مجموع ۱۲ آزمایش انجام گرفت. جدول (۱) اطاعات مربوط به هر آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تعداد آزمایشات در نظر گرفته شده و دیگر اطلاعات مربوط به هر آزمایش

| تعداد آزمایش | قطر تخلیه کننده تحتانی (سانتی متر) | ارتفاع آب مخزن نسبت به رقوم ارتفاعی خط مرکزی دریچه | دبی های مورد آزمایش (لیتر در ثانیه) |
|--------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|
| ۳            | ۵                                  | ۱۱۰ و ۸۰، ۴۰                                       | ۱                                   |
| ۳            | ۵                                  | ۱۱۰ و ۸۰، ۴۰                                       | ۳                                   |
| ۳            | ۵                                  | ۱۱۰ و ۸۰، ۴۰                                       | ۶                                   |
| ۳            | ۵                                  | ۱۱۰ و ۸۰، ۴۰                                       | ۸                                   |
| ۱۲           | تعداد کل آزمایشات                  |  |                                     |



شکل ۳- پلان مدل، پروفیل طولی و مقاطع عرضی همراه با جزئیات مربوطه

#### دستگاه لیزر داپلر

برای اندازه‌گیری سرعت جریان در محوطه مخروط رسوبشویی از دستگاه لیزر داپلر استفاده گردید. دستگاه مذکور توانائی اندازه‌گیری سرعت جریان در دو بعد را دارا می‌باشد. این دستگاه از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

- ۱- قسمت تولید کننده اشعه لیزر شامل واحد ۱ (Flow Lite 2D) و واحد ۲ (BSA-F60)
- ۲- سیستم جا به جا کننده (Travers System) برای پروب لیزر اندازه‌گیری که شامل واحد کنترل کننده سیستم جا به جایی و واحد مکانیکی سیستم جا به جایی می‌باشد.
- ۳- واحد تجزیه و تحلیل داده ها

#### • قسمت تولید کننده اشعه لیزر

در قسمت تولید اشعه لیزر، دو اشعه (Laser 1 و Laser 2) به رنگ سبز و قرمز در واحد Flow Lite 2D تولید می‌گردد. هر کدام از دو اشعه مذکور بوسیله Barggcell 40 MHz که بر روی واحد BSA-F60 قرار دارد به دو اشعه با مشخصات یکسان ( ۲ اشعه سبز و 2 اشعه قرمز) تبدیل می‌گردد و به واحد Flow Lite 2D منتقل می‌شود. چهار اشعه تولید شده بوسیله کابل فیبر نوری، از واحد Flow Lite 2D برای تاباندن در محل اندازه‌گیری، به پروب لیزر منتقل می‌شود.

#### • قسمت مکانیکی سیستم جا به جا کننده پروب لیزر

قسمت مکانیکی سیستم جا به جا کننده پروب لیزر بوسیله سه کابل (Achse 1، Achse 2 و Achse) به واحد کنترل کننده سیستم جا به جا کننده (Travers System Control) متصل می‌شود. واحد کنترل کننده سیستم جا به جایی، بوسیله کابل RC 232C به کامپیوتر متصل می‌شود. بوسیله



کامپیوتر جابه جا شدن پروب لیزر را می توان برنامه ریزی و کنترل کرد. به عبارت بهتر بوسیله کامپیوتر می توان جابه جایی پروب لیزر در سه جهت طولی، عرضی و عمودی (با قابلیت جابه جایی ۰/۱ میلی متر) را انجام داد.

#### • واحد کامپیوتری

تنظیمات دستگاه از قبیل اندازه گیری سرعت جریان در یک بعد یا دو بعد، مشخصات لیزر<sup>۱</sup> مورد استفاده (مانند تعریف باند سرعت اندازه گیری، مقدار ولتاژ اندازه گیری، نوع طول موج دریافت کننده، تعداد سیگنالهای دریافت کننده)، سیستم نوری<sup>۲</sup> (مانند طول موج لیزر مورد استفاده ( برای اشعه سبز ۵۳۲ nm و اشعه قرمز ۶۳۳ nm)، طول فوکال<sup>۳</sup> دستگاه ( برای این دستگاه ۴۰۰ mm) و قطر بیم و همچنین نحوه اندازه گیری سرعت بر حسب زمان یا تعداد نمونه عبوری، و همچنین تعریف مش بندی میدان اندازه گیری و غیره صورت گیرد. تنظیمات مورد نظر توسط نرم افزار مربوط به دستگاه لیزر داپلر انجام می گردد.



شکل ۴- دستگاه لیزر داپلر برای اندازه گیری سرعت : ۱- واحد کنترل کننده برای جابه جایی سیستم اندازه گیری (Travers System Control)، ۲- واحد تولید اشعه لیزر (Flow Lite 2D)، ۳- واحد (BSA-F60)، ۴- سیستم جا به جا کننده مکانیکی پروب اشعه لیزر، ۵- پروب تابنده اشعه لیزر ( اشعه قرمز و سبز)، ۶- واحد کامپیوتر، ۷- نمایش فرکانس اشعه قرمز و سبز دریافت شده بر روی صفحه نمایش کامپیوتر

#### نحوه انجام آزمایشات

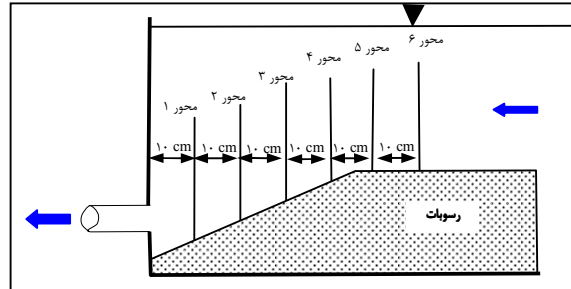
برای انجام آزمایشات در هر مرحله ابتدا رسوبات بصورت یکنواخت در سر تاسر مدل با ارتفاع ۴۲ سانتی متر پهن می گردید. پس از تنظیم ارتفاع آب مورد نظر در مدل، تخلیه کننده انتهایی باز می گردید. در شروع آزمایش زمانی که تخلیه کننده تحتانی باز می گردید، رسوبات تحت فشار آب همراه جریان آب با غلظت خیلی بالا از دریچه ها خارج شده و با گذشت زمان غلظت خروجی کاهش می یافت. تمام آزمایشات تا زمانی که حفره رسوبشویی به تعادل برسد ادامه می یافت، بطوریکه در انتهای آزمایش غلظت خروجی از تخلیه کننده ناچیز بود. مدت زمان لازم برای شکل گیری مخروط رسوبشویی و به تعادل رسیدن آن بستگی به دبی جریان خروجی، ارتفاع آب داخل مخزن و نوع رسوبات دارد. در این تحقیق آزمایشات حدوا به مدت ۱ ساعت انجام می گردید. پس از پایان به تعادل رسیدن مخروط رسوبشویی تشکیل شده در جلوی تخلیه کننده تحتانی، با استفاده از دستگاه لیزر داپلر به اندازه گیری سرعت جریان در داخل مخروط رسوبشویی پرداخته می شد.

بدین منظور اندازه گیری سرعت جریان، در شش محور به فاصله ۱۰ سانتی متری از یکدیگر انجام شد ( شکل ۵). اندازه گیری سرعت جریان برای دبی های مختلف خروجی از تخلیه کننده تحتانی مانند ۱، ۳، ۶ و ۸ لیتر در ثانیه و هر کدام از آنها با ارتفاع آب داخل مخزن به ترتیب ۴۰، ۸۰ و ۱۱۰ سانتیمتر انجام شد. دستگاه مذکور توانایی اندازه گیری سرعت جریان در دو جهت افقی و عمودی می باشد.

<sup>۱</sup> - Properties of Laser

<sup>۲</sup> - Optical System

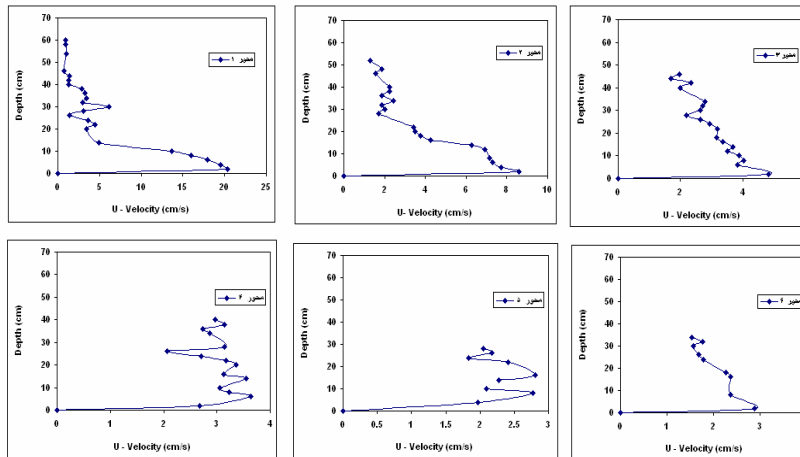
<sup>۳</sup> - Focal Length



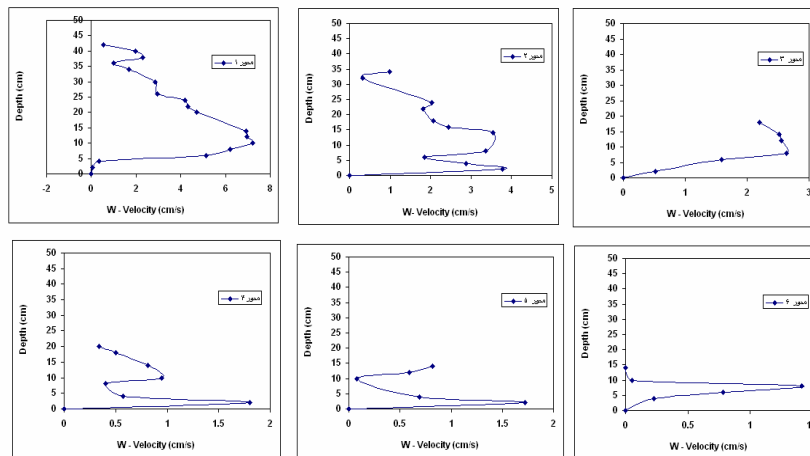
شکل ۵- شماتیکی از محورهای در نظر گرفته شده برای اندازه گیری پروفیل سرعت با استفاده از دستگاه لیزر داپلر

### نتایج

نتایج حاصل از اندازه گیری سرعت جریان با دستگاه لیزر داپلر (LDV) بصورت جداول در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. با استفاده از داده های سرعت نقطه‌ای اندازه گیری شده در ارتفاع های مختلف در دو جهت طولی (U) و عمودی (W) در شش محور اندازه گیری می توان پروفیل سرعت جریان را در هر مقطع ترسیم نمود. برای مثال در شکل های ۶ و ۷ پروفیل سرعت جریان در شش محور اندازه گیری در دو جهت طولی و عمودی در حالتیکه دبی جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی ۶ لیتر در ثانیه و ارتفاع آب داخل مخزن ۸۰ سانتی متر می‌باشد، ترسیم شده است.



شکل ۶- پروفیل سرعت اندازه گیری شده با استفاده از دستگاه لیزر داپلر در جهت عمودی در شش محور اندازه گیری ( دبی ۶ لیتر در ثانیه و ارتفاع آب مخزن ۸۰ سانتی متر)



شکل ۷- نمونه ای از پروفیل سرعت اندازه گیری شده با استفاده از دستگاه لیزر داپلر در جهت عمودی در شش محور اندازه گیری ( دبی ۶ لیتر در ثانیه و ارتفاع آب مخزن ۸۰ سانتی متر)

**محاسبه تنش برشی در بستر**

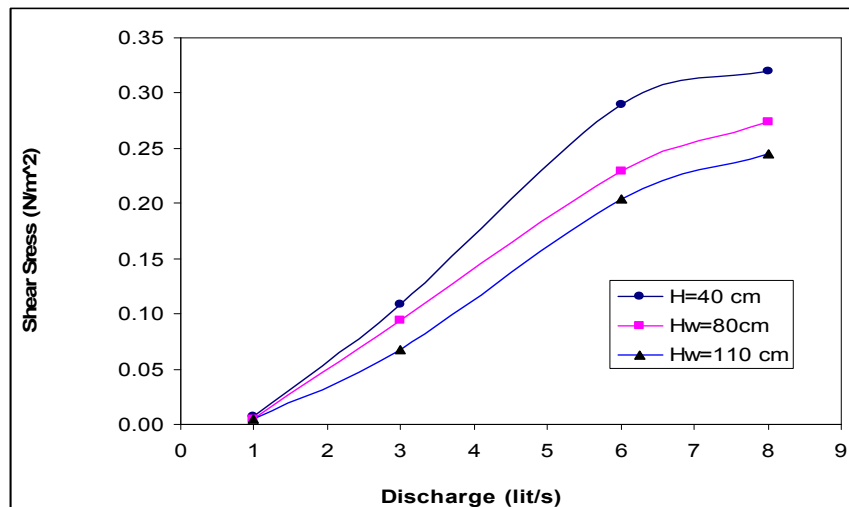
یکی از پارامترهای مهم در حرکت رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن تنش برشی اعمال شده توسط جریان آب بر روی رسوبات می باشد. با استفاده از نتایج حاصل از اندازه گیری سرعت جریان با استفاده از دستگاه لیزر داپلر می توان مقدار تنش برشی جریان را محاسبه نمود. برای محاسبه تنش برشی در بستر می توان از قانون دیوار (Wall laws) استفاده نمود. اینشتین (Einstein, 1950) بر اساس آزمایش های انجام شده رابطه کلی زیر را برای پروفیل عمودی سرعت جریان ارائه کرد (به نقل از شفاعی، ۱۳۷۳).

$$\frac{U_{bed}}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{30.2y}{\Delta = \frac{k_s}{x}} \right) \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $\rho$  چگالی آب،  $U_*$  سرعت برشی،  $U_{bed}$  سرعت در نزدیکی بستر،  $k$  ثابت فان کارمن (برابر ۰/۴)،  $X$  فاکتور تصحیح،  $y$  فاصله از بستر و  $k_s$  اندازه زبری برابر با  $D_{65}$  (قطری که ۶۵٪ ذرات از آن کوچکترند) می باشد. با معلوم بودن سرعت جریان در نزدیکی بستر و زبری، با استفاده از رابطه مذکور می توان سرعت برشی جریان را محاسبه نمود. سپس تنش برشی بستر را می توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\tau_{bed} = \rho U_*^2 \quad (2)$$

در رابطه (۲)  $\rho$  چگالی آب و  $U_*$  سرعت برشی جریان می باشد. با استفاده داده های بدست آمده، در شکل (۸) ارتباط بین تنش برشی بستر و دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی در فاصله ۱۰ سانتیمتری از تخلیه کننده تحتانی در حالتیکه ارتفاع آب مخزن ۴۰، ۸۰ و ۱۱۰ سانتیمتر می باشد، ترسیم شده است.



شکل ۸- ارتباط بین تنش برشی بستر و دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی در فاصله ۱۰ سانتیمتری از تخلیه کننده تحتانی در حالتیکه ارتفاع آب مخزن ۴۰، ۸۰ و ۱۱۰ سانتیمتر می باشد.

**بحث و نتیجه گیری**

در رسوبشویی تحت فشار حجم مخروط رسوبشویی متأثر از پارامترهای زیادی است که می توان به دبی جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی،  $(Q_r)$  و ارتفاع آب داخل مخزن  $(H_w)$  اشاره نمود. با استفاده از نتایج حاصل از اندازه گیری سرعت جریان، تاثیر پارامترهای مذکور را بصورت زیر می توان بیان داشت:

- همانطوریکه انتظار می رود هر چقدر دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی افزایش می یابد، سرعت جریان در داخل مخروط رسوبشویی افزایش یافته و این عمل موجب افزایش تنش برشی اعمال شونده بر روی رسوبات نهشته شده می گردد. برای مثال اندازه گیری سرعت جریان با استفاده از دستگاه لیزر داپلر نشان می دهد، زمانیکه دبی جریان از ۸ به ۱ لیتر در ثانیه کاهش می یابد و ارتفاع آب داخل مخزن ۸۰ سانتی متر باشد، مقدار



حداکثر سرعت جریان از مقدار  $0/64$  به  $0/095$  متر در ثانیه (۸۵ درصد) کاهش می‌یابد. همچنین در این حالت مقدار تنش برشی بر روی بستر به مقدار ۹۸ درصد کاهش می‌یابد.

- نتایج اندازه گیری حجم مخروط رسوبشویی نشان می دهد، کاهش ارتفاع آب مخزن به مانند افزایش دبی جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی تاثیر مثبت در افزایش قدرت جریان آب خروجی از تخلیه کننده تحتانی در تخلیه رسوبات دارد. برای مثال نتایج بدست آمده نشان می دهد زمانیکه دبی جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی ۶ لیتر در ثانیه باشد، کاهش ارتفاع آب مخزن از ۱۱۰ به ۴۰ سانتی‌متر موجب شده است، سرعت جریان ۱۹ درصد و تنش برشی ۴۲ درصد افزایش یابد.
- با توجه به بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری سرعت جریان می توان بیان داشت در رسوبشویی تحت فشار برای تخلیه بیشتر رسوبات لازم است سعی شود تا جائیکه ممکن است سطح آب مخزن را کاهش داد و همچنین تخلیه کننده تحتانی با حداکثر ظرفیت خود مورد بهره برداری قرار داد.

### تشکر و قدر دانی

این تحقیق با حمایت مالی سازمان آب و برق خوزستان «دفتر تحقیقات و استانداردهای معاونت توسعه سد و نیروگاه» به انجام رسیده بدینوسیله از آن سازمان کمال تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

### مراجع

1. ICOLD. (1988) World Register of Dams, Update. *International Commission on Large Dams*, Paris.
2. Brandt, S. A. (2000) A review of reservoir desiltation. *International Journal of Sediment Research*, 15, 321-342.
3. Lai, J.S. and Shen, H.W. (1996) Flushing sediment through reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*, 34(2), 237-255.
4. Breusers, H.N.C., Klaassen, G.J., Brakel J. and Van Roode, F.C.(1982) Environmental impact and control of reservoir sedimentation. *Fourteenth International Congress on Large Dams*, Transactions, Rio de Janeiro, Brazil, 3-7 May,3, 353-372.
5. Morris, G.L. (1995) Reservoir sedimentation and sustainable development in India: problem scope and remedial strategies. *Sixth International Symposium on River Sedimentation, Management of Sediment: Philosophy, Aims, and Techniques*, New Delhi, 7-11 November, Balkema, Rotterdam, 53-61.
6. Morris, L. M. and Fan, J.(1997) *Reservoir Sedimentation Handbook*, design and management of dams, reservoirs and watershed for sustainable use. McGraw Hill, New York.
7. Atkinson, E. (1996) The feasibility of flushing sediment from the reservoir, Report OD 137.
8. Milliman, J. and Meade,R.H.(1983) World- wide delivery of sediment to oceans. *Journal of Geology*,91, 1-21.
9. Fan, J. (1985) Methods of preserving capacity. 65-146. In S. Burk (editor), methods of computing sedimentation in Lakes and Reservoirs. UNESCO, Paris.

۱۰. امامقلی زاده، صمد(۱۳۸۶) بررسی و ارزیابی رسوبشویی تحت فشار در سدهای مخزنی. پایان نامه دکتری رشته سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۱. شفاعی بجستان، محمود(۱۳۷۳) هیدرولیک رسوب . انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز .