INTERNATIONAL CONFERENCE ON
SCIENCE AND ENGINEERING
1st December 2015 DUBAI - UAE
کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی
۱۰ آذرماه ۱۳۹۴ دبی - امارات

ساخت و بررسی کارایی دستگاه نمونه‌بردار دیجیتالی رسوب معلق

فاطمه برزگری بنادکوکی
عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور
(fa_barzegar@yahoo.com)

محمد تقی دستورانی
دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
(dastorani@um.ac.ir)

مجید شریفی
دانش آموخته مهندسی نرم‌افزار و رئیس گروه فناوری اطلاعات، وزارت کار، تعاون و رفاه اجتماعی
(magidsharify@yahoo.com)

امید برزگری بنادکوکی
دانشجوی کارشناسی کامپیوتر دانشگاه پیام نور
(omidbarzegari@yahoo.com)

چکیده

لزوم توجه به مقوله رسوب معلق در برنامه‌ریزی‌های کلان و منطقه‌ای و عدم وجود پایگاه داده‌ای مناسب از این پدیده، باعث بروز مشکلات عدیده‌ای گردیده است. انتظار می‌رود با پیشرفت جوامع و فشار شدیدتر بر منابع طبیعی و بالطبع افزایش سیلاب‌ها و رسوبات ناشی از آن‌ها، در آینده نزدیک، الزام بیشتری برای دست‌یابی به ارقام صحیح‌تر رسوب وجود داشته باشد. لذا در تحقیق حاضر سعی شده است دستگاه نمونه‌بردار دیجیتالی رسوب معلق با کارکرد نوری تهیه و واسنجی آن در آزمایشگاه و شرایط طبیعی انجام گیرد، تا بدین‌وسیله امکان تهیه پایگاه داده‌ای مناسب‌تری از رسوب معلق برای آینده کشور و تصمیم‌گیران سطح کلان، فراهم گردد. کالیبراسیون آزمایشگاهی دستگاه در دو مرحله، شامل رسوبات غلیظ و رسوبات کم غلظت انجام شد. منحنی‌های کالیبراسیون ترسیم شده برای این مراحل، بیان‌گر همبستگی بسیار خوب بین عدد نوری ثبت شده توسط دستگاه و غلظت رسوب معلق می‌باشد. مقدار آماره R^2 برای رسوبات کم غلظت و رسوبات غلیظ به ترتیب برابر با ۰/۹۹۵ و ۰/۹۸ می‌باشد. آزمون صحرایی دستگاه مورد نظر نیز در رودخانه مهریز استان یزد انجام شد و نتایج بیان‌گر قابلیت مناسب دستگاه در اندازه‌گیری رسوب معلق می‌باشد.

واژگان کلیدی: نمونه‌برداری، رسوب معلق، سیلاب، عبور نوری.

مقدمه

با پیشرفت روزافزون دنیای کنونی در تمام زمینه‌ها، نیازهای انسان نیز رو به رشد می‌باشد. این توسعه شتاب‌زده باعث گردیده است تا انسان منابع محیطی را به شکلی نامتعادل مورد بهره‌برداری قرار دهد و زمینه‌ساز تخریب محیط باشد. تخریب خاک و کاهش حاصل‌خیزی و آلودگی ناشی از هدررفت خاک، نمونه‌ای بارز و فراگیر از این توسعه ناموزون می‌باشد. کمی‌سازی پدیده فرسایش و رسوب، لازمه محاسبه میزان خسارت ناشی از آن و مدیریت بهینه منابع طبیعی می‌باشد. از آنجا که بخش مهمی از فرسایش آبی در قالب بار رسوبی رودخانه‌ها قابل رویت و رصد کردن است، لذا برآورد بار رسوبی رودخانه می‌تواند پاسخ‌گوی نیازها در زمینه کمی‌سازی فرسایش باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد بخش اعظمی از رسوب رودخانه‌ها به‌صورت بار معلق جابه‌جا می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۸). به‌عبارتی می‌توان گفت، مهمترین حالت انتقال رسوب، به‌صورت رسوب معلق می‌باشد. خسارت‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست محیطی رسوب معلق حاصل از سیلاب روز به روز به ارقام بزرگتری می‌رسد به‌طوری‌که تنها در آمریکای شمالی، این رقم سالانه بالغ بر ۱۶ میلیون دلار برآورد شده است (Osterkamp و همکاران ۱۹۹۸). بنابراین هرگونه تلاشی در راستای اندازه‌گیری رسوب معلق، زمینه‌ساز بهره‌برداری بهتر و مدیریت مناسب‌تر منابع خاکی است.

هم‌اکنون بیش از نیم قرن است که محققان و دانشمندان علم هیدرولوژی به‌طور ویژه به بررسی رسوب معلق رودخانه‌ها پرداخته‌اند و از این رهگذر تکنیک‌های مختلفی ظهور نموده است.

نمونه‌گیری رسوب معلق اولین بار در سال ۱۹۶۳، به‌صورت دستی و توسط بطری‌های مخصوص انجام شد (Edwards and Glysson, 1999). MCHenry و همکاران در سال ۱۹۶۷ تکنیک هسته‌ای را برای اندازه‌گیری بار معلق رودخانه به‌کار بردند که متغیر موثر در این مورد، اشعه X یا گاما بود. امروزه کمتر شاهد به‌کارگیری این روش هستیم و دلیل آن یکی در دسترس نبودن ماده اولیه و دیگری عدم دقت بالا در نمونه‌های سیلابی می‌باشد. نمونه‌گیر ضربه‌ای در سال ۱۹۸۱ توسط Salkield معرفی گردید. در این روش، میزان رسوب عبوری از یک مقطع با ایجاد ضربه به یک سنسور اندازه‌گیری می‌شد. البته در به‌کارگیری این روش مشکلات زیادی وجود داشت. Novo و همکاران ۱۹۸۹ روش انعکاس طیفی را جهت اندازه‌گیری رسوب به‌کار بردند. در این روش از یک اسپکتروفتومتر و یک منبع نوری استفاده گردید. از آنجا که دستگاه محدوده وسیعی را پوشش می‌داد، بیشتر در زمینه بررسی رسوب دریاها به‌کار گرفته شد، بعدها مطالعات بیشتر در مورد این دستگاه انجام گرفت، Blanchard and Leamer 1973 Choubey 1994 Ritchie and Schieb 1986 در مورد بهینه‌سازی رابطه کالیبراسیون دستگاه مورد نظر، فعالیت‌هایی انجام دادند. Skinner در سال ۱۹۸۹ از تیوپ لرزان برای اندازه‌گیری رسوب معلق استفاده نمود، میزان لرزش تیوپ به میزان رسوب و دمای آب بستگی دارد و با داشتن دما و ثبت میزان لرزه، می‌توان میزان رسوب را اندازه‌گیری نمود. Thorne و همکاران در سال ۱۹۹۱ از وسایل صوتی جهت اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به رسوب کمک گرفتند، میزان انعکاس صوت به‌عنوان یک عامل در تعیین اندازه ذرات و میزان غلظت رسوب به‌کار رفت. این روش برای ذرات ۶۲ تا ۲۰۰ میکرون مناسب بود. برجسته‌ترین مشکل دستگاه صوتی، تغییر نتایج با عمق می‌باشد. به این ترتیب که در غلظت‌های بالا باید عمق را کمتر گرفت تا میزان خطا کمتر گردد. در حال حاضر توسعه این روش در حال بررسی می‌باشد، Van Rijn در سال۱۹۹۳ و Schaafsma و Van Rijn در سال ۱۹۸۶ تلاش‌هایی در همین راستا داشته‌اند. Black و Rosenberg سال ۱۹۹۴ روش OBS یا بازتاب نوری را در تعیین میزان رسوب معلق به‌کار گرفتند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد، روش مذکور بهترین نتیجه را برای ذرات ۲۰۰ تا ۴۰۰ میکرون دارد. قبلا Ludwig و Hanes در سال ۱۹۹۰ استفاده از این روش را در جریان‌های گلی و ماسه‌ای فاقد اعتبار دانستند. سپس Green و Boom در سال ۱۹۹۳ با یک سری تغییراتی در سنسور مشکل نمونه‌برداری در جریان‌های گلی و ماسه‌ای را برطرف نمودند. Agrawl و Pottsmith در سال ۱۹۹۴ از روش انکسار نور لیزر استفاده نمودند که اندازه ذرات رسوب را از طریق تغییر زاویه نور برخوردی تعیین می‌کردند. استفاده از این وسیله نسبتا گران می‌باشد. Cliford و همکاران در سال ۱۹۹۵ از روش عبور نور استفاده نمودند. به این ترتیب که نور از

یک منبعی ساطع شده و به نمونه آب رسوب دار برخورد می‌کند و در طرف دیگر یک سنسور حساس، میزان نور عبوری از توده را جذب نموده که این میزان نور وابسته به میزان گل آلودگی آب می‌باشد، در این مدل نیز کالیبراسیون بین نور عبوری و گل‌آلودگی برقرار می‌شود.

متاسفانه در مورد کشور ما داده‌های دقیقی از خسارت‌های مربوط به این پدیده در دسترس نمی‌باشد و بین اندازه‌گیری‌ها و برآوردهای انجام شده نیز اختلافات زیادی مشاهده می‌شود. محققینی نظیر (میرابوالقاسمی و مرید ۱۳۷۴، وروانی و همکاران ۱۳۸۰، مساعدی و محمدی استادکلاته۱۳۸۱ و محمدی استادکلاته و همکاران ۱۳۸۶) در بررسی‌های خود بر این موضوع مهم تاکید دارند.

در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در ایران، برداشت نمونه‌های مربوط به رسوب معلق انجام می‌گیرد و از همین داده‌ها و داده‌های متناظر مربوط به دبی رودخانه، جهت مدل‌سازی و برآورد میزان سالانه بار معلق رودخانه استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد، نمونه‌های برداشت شده به‌نحوی است که معرف جامعه رسوبی نمی‌باشد. به‌طوری‌که بررسی داده‌های ایستگاه هیدرومتری قزاقلی واقع در رودخانه گرگانرود نشان داد، سهم دفعات اندازه‌گیری در دبی‌های بالا و در زمان‌های سیلابی کم می‌باشد و بالغ بر ۸۴٪ نمونه‌های رسوب برداشت شده در این ایستگاه، مربوط به دبی پایه می‌باشند (محمدی استادکلاته و همکاران ۱۳۸۶) و متاسفانه، در ایران این واقعیت بر تمام نمونه‌های رسوب معلق جمع‌آوری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری، حاکم می‌باشد (محمدی استادکلاته ۱۳۸۱، حیدر نژاد و همکاران ۱۳۸۶) و از آنجا که تا کنون کلیه روش‌های به‌کار رفته جهت محاسبه میزان بار معلق رودخانه‌ها به داده‌های متراکم سیلابی نیازمند است، لذا اعداد به‌دست آمده به دلیل سیستم نامناسب نمونه‌گیری از اعتبار کافی برخوردار نمی‌باشند (تلوری ۱۳۸۲، صادقی ۱۳۸۴، عرب خدری و همکاران ۱۳۸۳، پرهمت و دومیری گنجی ۱۳۸۴، برزگری ۱۳۸۴، ذرتی پور و همکاران ۱۳۸۷).

پیشرفته‌ترین ابزار مربوط به ثبت داده‌های رسوب معلق، در ایستگاه قزاقلی مستقر می‌باشد که در بهترین حالت با فواصل زمانی یک ساعته برداشت نمونه را انجام می‌دهد (مرکز تحقیقات منابع طبیعی تهران، ۱۳۹۴) و حال آن‌که قسمت اعظم رسوبات مربوط به سیلاب‌های آنی و زودگذر است که در فاصله زمانی یک ساعت، گاها تغییرات غلظت قابل توجهی دارند.

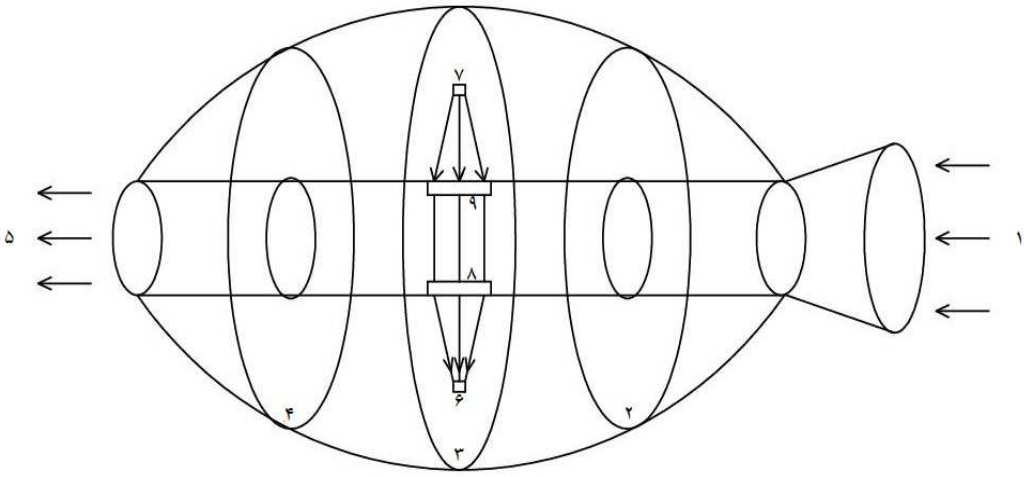
با توجه به مطالب ذکر شده که بیان‌گر اهمیت رسوب معلق از یک طرف و فقدان امکانات لازم جهت اندازه‌گیری آن از طرف دیگر می‌باشد، طراحی دستگاهی به منظور ثبت دیجیتالی میزان رسوب و نمونه‌گیری هوشمند، دارای اهمیت زیادی می‌باشد و می‌تواند زمینه‌ساز جمع‌آوری آمار فشرده و بسترساز مطالعات فرسایش و رسوب باشد و در سال‌های آتی بسیاری از ابهامات موجود در این زمینه را برطرف سازد. لازم به ذکر است که تفاوت دستگاه مورد بحث، با نمونه‌های مشابه موجود در دنیا، قرارگیری مستقیم دستگاه در جریان رودخانه، عدم نیاز به پمپاژ، عدم نیاز به شبکه برق شهری و پوشش دادن محدوده وسیع‌تری از جریان‌های رودخانه‌ای می‌باشد.

روش تحقیق:

به‌دلیل اهمیت مواردی نظیر لزوم اطلاع از میزان رسوب معلق در برنامه‌ریزی‌های کلان و منطقه‌ای، عدم کفایت سیستم نمونه‌برداری رسوب معلق در کشور و نیز در راستای تکمیل کار محققین قبلی، دستگاه نمونه‌بردار دیجیتالی رسوب معلق در مرحله بررسی و تولید نمونه اولیه قرار گرفت.

دستگاه مورد نظر از نوع دستگاه‌های نمونه‌بردار نوری می‌باشد و بر اساس عبور نور از جریان رودخانه طراحی شده است. با این تفاوت که بر خلاف سایر نمونه‌های مشابه موجود در دنیا، دستگاه مذکور در داخل رودخانه قرار می‌گیرد و نیاز به پمپاژ و هدایت جریان به خارج از رودخانه را برطرف می‌سازد. لذا به دلیل عدم نیاز به انرژی برق، در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری نزدیک یا دور از شبکه برق قابل کاربرد است. دستگاه مذکور شامل شامل یک سیستم میکروکنترلر و هسته پردازش می‌باشد.

به‌طوری‌که از طریق ورودی‌هایی که برای سیستم تعبیه شده، داده‌های مورد نیاز را دریافت کرده و اعداد نوری به‌دست آمده را در مقاطع زمانی تعریف شده، بر روی کارت حافظه ذخیره می‌کند (شکل ۱).



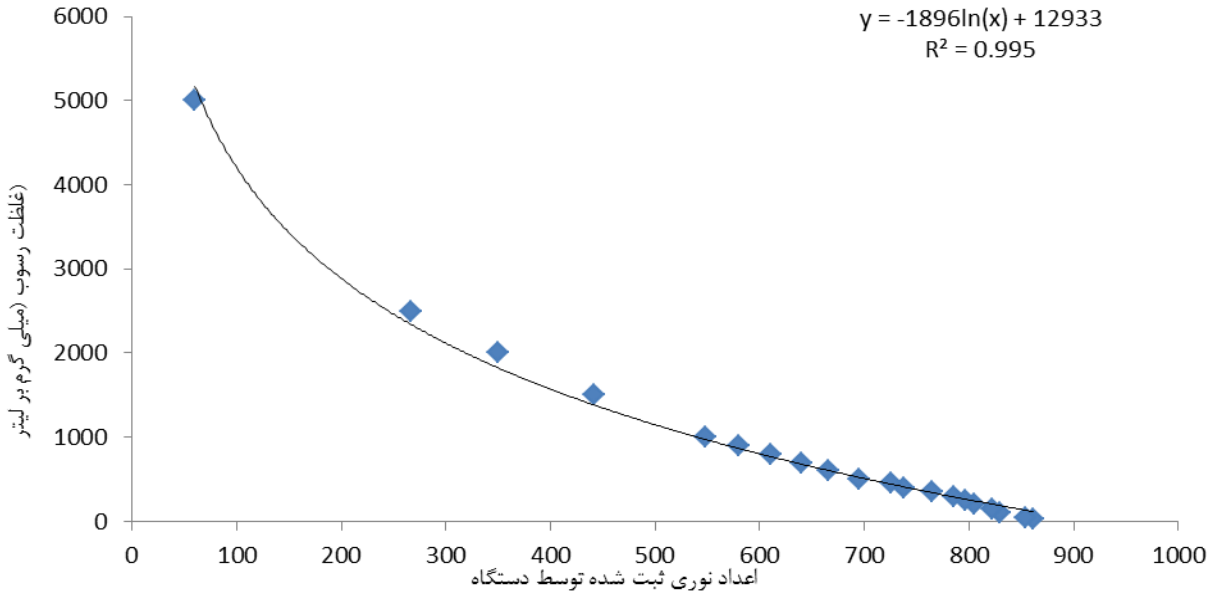
شکل۱- نمونه‌بردار رسوب معلق (۱: ورود جریان، ۲، ۳ ، ۴: بردهای الکتریکی، ۵: محل خروج جریان، ۶: سنسور حساس به نور ، ۷: منبع انتشار نور ، ۸، ۹: شیشه‌های پلی‌اتیلنی).

به‌منظور تبدیل اعداد نوری ثبت شده توسط دستگاه، به معادل‌های مربوط به غلظت رسوب، نیاز به معادله تبدیل یا به عبارتی منحنی کالیبراسیون (غلظت رسوب- نور دریافتی)، می‌باشد. برای دست‌یابی به این معادله، دستگاه نمونه‌بردار در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه یزد، مورد بررسی و کالیبراسیون قرار گرفت. طی این مرحله، رسوب با غلظت‌های مختلف تهیه و به‌صورت جریان در فلوم برقرار گردید. سپس دستگاه در محلی در میانه فلوم مستقر و نمونه‌برداری خودکار آغاز گردید. از طرفی در زمان‌های مختلف، توسط بطری، نمونه‌های دستی از رسوب برداشت و با انتقال به آزمایشگاه مورد اندازه‌گیری و تعیین غلظت قرار گرفت. در مرحله بعد با داشتن غلظت رسوب به‌دست آمده از نمونه‌های آزمایشگاهی و نیز اعداد نوری ثبت شده مرتبط با آن‌ها، نمودار کالیبراسیون در محیط نرم‌افزار اکسل به‌دست آمد. بررسی این مرحله نشان داد، دستگاه قادر به اندازه‌گیری غلظت‌های زیاد رسوبی نمی‌باشد به‌منظور رفع این مشکل و بالا بردن توان دستگاه، این‌بار منبع نوری و سنسور حساس به نور در فاصله کمتر از حالت قبل (یک سوم فاصله در حالت اول) قرار گرفت. بار دیگر آزمایش کالیبراسیون در آزمایشگاه هیدرولیک انجام شد. تفاوت این مرحله با مرحله کالیبراسیون قبلی، علاوه بر تغییرات در ساختمان دستگاه، در غلظت‌های زیادتر رسوب عبوری از فلوم نیز می‌باشد. مشابه مرحله قبل، از نتایج اندازه‌گیری‌ها، منحنی کالیبراسیون ترسیم گردید.

جهت آزمون صحرایی دستگاه نمونه‌بردار، رودخانه طبیعی در محل مهریز استان یزد انتخاب و با نظارت کارشناسان شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، آزمون دستگاه در طبیعت انجام شد. در این مرحله، دستگاه مذکور به مدت سه ساعت و نیم در رودخانه نصب و با گل‌آلود نمودن آب، غلظت‌های متنوعی از رسوب ایجاد گردید و در هر دقیقه یک نمونه رسوب توسط دستگاه ثبت شد. از طرفی، به‌صورت تصادفی نیز، نمونه‌هایی از رسوب در زمان‌های مختلف، به‌صورت دستی جمع‌آوری گردید. در نهایت اعداد ثبت شده از روی حافظه دستگاه به محیط نرم‌افزاری اکسل منتقل و در معادله کالیبراسیون دستگاه قرار داده شد. طی این مرحله، اعداد نوری ثبت شده توسط دستگاه به اعداد غلظت رسوب بر حسب میلی‌گرم در لیتر تبدیل شدند.

یافته‌ها:

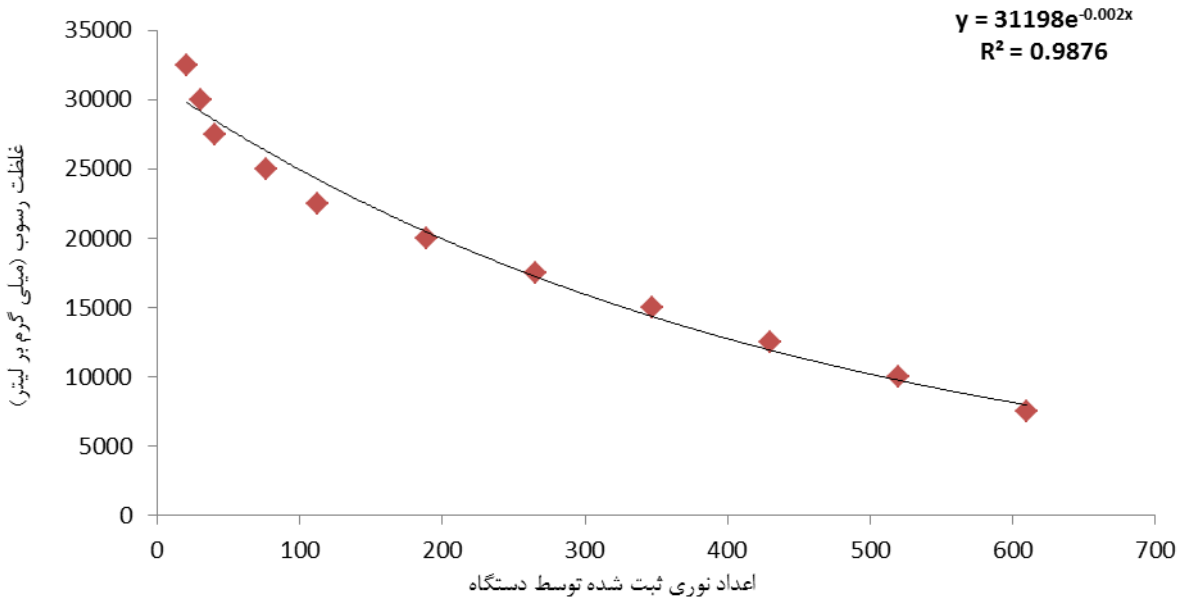
نتایج حاصل از کالیبراسیون دستگاه برای رسوبات کم غلظت (محدوده غلظت بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، در شکل ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۲- منحنی کالیبراسیون دستگاه برای رسوب‌های بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

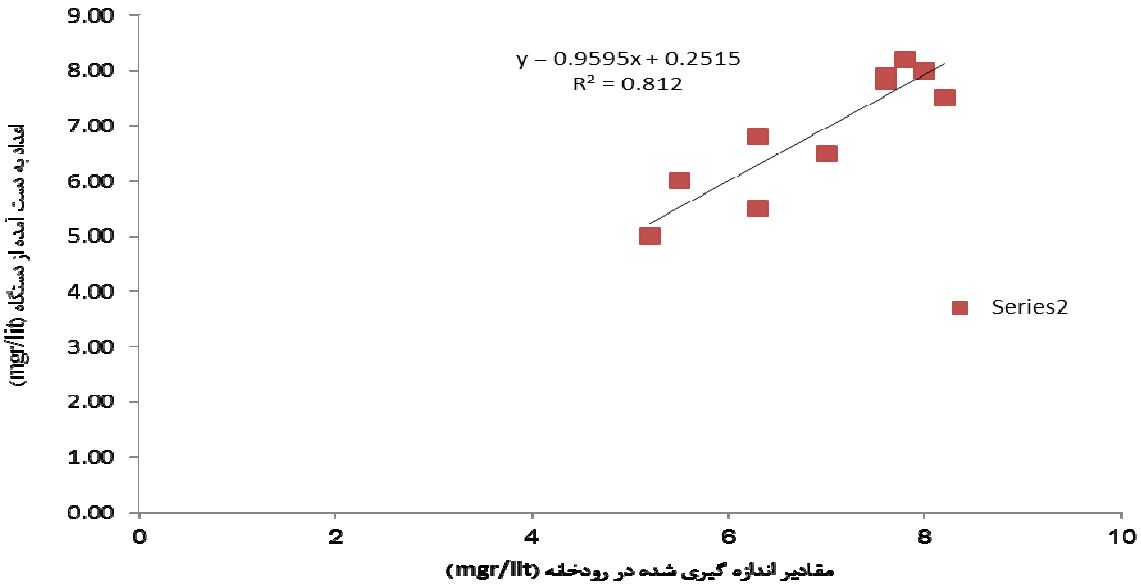
همان‌طور که از شکل۲ پیداست، همبستگی بسیار خوبی بین نور و غلظت رسوب در بازه رسوبی بین ۵۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر وجود دارد. معادله برازش شده از نوع لگاریتمی و مقدار آماره R^2 بیش از ۹۹ درصد می‌باشد که تائید کننده همبستگی مناسب بین نور و غلظت رسوب در این بازه می‌باشد.

نتایج حاصل از کالیبراسیون دستگاه برای رسوبات غلیظ (محدوده غلظت بین ۵۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰میلی‌گرم در لیتر)، در شکل ۳ ارائه گردیده است.



شکل ۳- منحنی کالیبراسیون دستگاه برای رسوب‌های غلیظ (بیش از ۵۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)

شکل ۳ بیان‌گر همبستگی بسیار خوب بین نور و غلظت رسوب در محدوده بین ۵۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. همان‌طور که از شکل پیداست مقدار آماره R^2 برای این محدوده بیش از ۹۸ درصد می‌باشد که معنی‌دار و قابل اعتماد است.
با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ و روابط موجود، می‌توان گفت، دستگاه مذکور توانایی مناسبی برای اندازه‌گیری رسوبات کم تا زیاد دارد و لذا قابلیت کاربرد در محدوده وسیعی از جریان‌های سیلابی را خواهد داشت.
نتایج حاصل از کاربرد دستگاه در طبیعت در شکل ۴ ارائه گردیده است.



شکل ۴- مقایسه نمونه‌های رسوب دستی و مقادیر به‌دست آمده از دستگاه رسوب‌سنج

در شکل ۴، در یک محور، غلظت رسوبات دستی گرفته شده از جریان رودخانه و در محور دیگر غلظت رسوبات قرائت شده توسط دستگاه قرار گرفته‌اند. بر اساس شکل مذکور می‌توان ادعا نمود، همبستگی بسیار خوبی بین نمونه‌های رسوب ثبت شده توسط دستگاه و نمونه‌های رسوب دستی برقرار می‌باشد. بزرگترین تفاوت بین این دو مقدار، حدود ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که در طبیعت مقدار قابل توجهی نیست.

بحث و نتیجه‌گیری:

به‌دلیل اهمیت مواردی نظیر لزوم اطلاع از میزان رسوب معلق در برنامه‌ریزی‌های کلان و منطقه‌ای، عدم کفایت سیستم نمونه‌برداری رسوب معلق در کشور و نیز در راستای تکمیل کار محققین قبلی، دستگاه نمونه‌بردار دیجیتالی رسوب معلق با کارکرد نوری تهیه و واسنجی آن در آزمایشگاه و شرایط طبیعی انجام گردید، تا بدین‌وسیله امکان تهیه پایگاه داده‌ای مناسب‌تری از رسوب معلق برای آینده کشور و تصمیم‌گیران سطح کلان، فراهم گردد. دستگاه مورد نظر از نوع دستگاه‌های نمونه‌بردار نوری می‌باشد و بر اساس عبور نور از جریان رودخانه طراحی شده است. مواردی نظیر قرارگیری مستقیم دستگاه در جریان رودخانه، عدم نیاز به پمپاژ، عدم نیاز به شبکه برق شهری و پوشش دادن محدوده وسیع‌تری از جریان‌های رودخانه‌ای، دستگاه مورد نظر را از مشابه‌های موجود در دنیا متمایز می‌سازد. کالیبراسیون آزمایشگاهی دستگاه در دو مرحله، شامل رسوبات غلیظ و رسوبات کم غلظت انجام شد. منحنی‌های کالیبراسیون ترسیم شده برای این مراحل، بیان‌گر همبستگی بسیار خوب بین عدد نوری ثبت شده توسط دستگاه و غلظت رسوب معلق می‌باشد. این نتایج با تحقیقات Clifford و همکاران در سال ۱۹۹۵ هم‌راستاست. مقدار آماره R^2 حاصل از این مرحله، برای رسوبات کم غلظت و رسوبات غلیظ به ترتیب برابر با ۰/۹۹۵ و ۰/۹۸ می‌باشد. آزمون صحرایی دستگاه مورد نظر نیز در رودخانه مهریز استان یزد انجام شد و نتایج بیان‌گر قابلیت مناسب دستگاه در اندازه‌گیری رسوب معلق می‌باشد. به‌طوری‌که همبستگی بین نمونه‌های رسوب ثبت شده توسط دستگاه و نمونه‌های رسوب دستی آنالیز شده در آزمایشگاه، بیش از ۸۰ درصد می‌باشد که در مطالعات طبیعی عدد قابل اعتمادی است. لازم به ذکر است که نمونه‌های دستی گرفته شده از جریان‌های سیلابی در کشور بسیار ناقص و پراکنده است و در مقابل نمونه‌بردار دیجیتالی طراحی و ساخته شده در این تحقیق، توانایی جمع‌آوری نمونه‌های فشرده‌ای از رسوب معلق را دارا می‌باشد. لذا با توجه به این واقعیت و نیز دقت مناسب دستگاه در اندازه‌گیری رسوب معلق و عدم نیاز به پمپاژ و صرف هزینه‌های جانبی، استفاده از دستگاه حاضر، بسیار مقرون به صرفه بوده و می‌تواند نقص موجود در ثبت داده‌های رسوبی را برطرف سازد.

منابع و مراجع:

۱. برزگری، فا طمه، ۱۳۸۴، مقایسه روشهای برآورد رسوب معلق (مطالعه موردی: حوزه قزل اوزن)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۶۵ص.

۲. پرهمت، جهانگیر و مسعود دومیری گنجی، ۱۳۸۴. تحلیل روابط آورد رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه هندیجان – جراحی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

۳. تلوری، عبدالرسول، ۱۳۸۲، ارتباط بین میزان رسوب معلق و برخی خصوصیات حوضه در زیر حوزه‌های دز و کرخه، پژوهش و سازندگی، ۵۶ و ۵۷: ۵۶-۶۱.

۴. حیدر نژاد، محمد، سید حسن گلمایی، ابوالفضل مساعدی و میر خالق ضیا تبار احمدی. ۱۳۸۳، ارائه مدل بهینه برآورد رسوب در دو ایستگاه هیدرومتری مطالعه موردی : ایستگاه های هیدرومتری ورودی و خروجی سد کرج، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی،۲: ۵۴-۶۷.

۵. ذرتی‌پور، امین، محمد مهدوی، شهرام خلیقی سیگارودی، علی سلاجقه و نگار شمس‌المعالی، ۱۳۸۷، بررسی تاثیر طبقه‌بندی رسوب بر بهبود روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، مجله منابع طبیعی ایران، ۴(۶۱) :۸۰۹-۸۱۹.

۶. رفاهی، حسینقلی، (۱۳۸۸). فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۷۲ص.

۷. صادقی، حمیدرضا و همکاران (۱۳۸۴) .تحلیل منطقه ای رسوب معلق در حوزه اصفهان و سیرجان، تحقیقات منابع آب ایران، سال دوم، شماره ۳، صص ۵۱-۶۵.

۸. عرب‌خدری، محمود، شاهرخ حکیم خانی و جواد وروانی، ۱۳۸۳، اعتبار روش‌های برون‌یابی در برآورد میانگین رسوبدهی معلق سالانه (۱۷ ایستگاه هیدرومتری کشور). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱:۳: ۱۳۱-۱۲۳.

۹. محمدی استادکلاته، امین،۱۳۸۱، بهِینه سازی روابط بین دبی و رسوب معلق در ایستگاه‌های انتخابی رودخانه گرگانرود، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گرگان.۸۳ص.

۱۰. محمدی استادکلاته، امین، ابولفضل مساعدی و علی حشمت‌پور، ۱۳۸۶، تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگانرود، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۴ (۱۴).

۱۱. مساعدی، ابوالفضل و امین محمدی استاد کلاته، ۱۳۸۱، بررسی وضعیت رسوب انتقالی و نحوه تغییرات زمانی آن در حوزه آبخیز. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس دانشجویی منابع آب و خاک. ۱۶۲-۱۵۰

۱۲. میرابوالقاسم، هادی و سعید مرید، ۱۳۷۴ . بررسی روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار رسوب معلق رودخانه‌ها، مجله آب و تکنولوژی، وزارت نیرو، سال سوم، ۳، ص ۵.

۱۳. وروانی، جواد، علی نجفی‌نژاد و آمنه میرمعینی کرهرودی، ۱۳۸۷، اصلاح منحنی سنجه رسوب با استفاده از روش حداقل واریانس نا اریب. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵ (۱): ۱۶۱-۱۵۰.

14. Agrawal, Y.C. and Pottsmith, H.C. (1994). “Laser Diffraction Particle Sizing in STRESS.” Continental Shelf Research. 14(10/11):1101-1121.
15. Black, K. P. and Rosenberg, M. A. (1994). “Suspended Sand Measurements in a Turbulent Environment: Field Comparison of Optical and Pump Sampling Techniques.” Coastal Engineering. 24:137-150.
16. Blanchard, B. J., and Leamer, R. W. (1973). "Spectral Reflectance of Water Containing Suspended Sediment." Remote Sensing and Water Resources Management 17:339-347.
17. Choubey, V. K. (1994). "The Effect of Properties of Sediment Type on the Relationship Between Suspended Sediment Concentration and Radiance." Hydrological Sciences. 39(5):459-471.
18. Clifford, N. J., Richards, K. S., Brown, R. A. and Lane, S. N. (1995). “Laboratory and Field Assessment of an Infrared Turbidity Probe and its Response to Particle Size and Variation in Suspended Sediment Concentration.” Hydrological Sciences. 40(6):771-791.
19. Edwards, T. K. and Glysson, D. (1999). Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations Book 3, Chapter C2, 89 pp.
20. Green, M. O. and Boon, J. D. III. (1993). “The Measurement of Constituent Concentrations in Nonhomogeneous Sediment Suspensions Using Optical Backscatter Sensors.” Marine Geology. 110:73-81.
21. Ludwig, K.A., Hanes, D.M., (1990). A laboratory evaluation of optical backscatterance suspended solids sensors exposed to sand-mud mixtures. Marine Geology 94, 173–179.
22. McHenry, J. R., Coleman, N. L., Willis, A. C., Sansom, O. W., and Carrol, B. R. (1967). "Effect of Concentration Gradients on the Performance of a Nuclear Sediment Concentration Gage." Water Res. Res. 6(2)538-548.
23. Novo, E. M. M., Hansom, J. D., and Curran, P. J. (1989). "The Effect of Viewing Geometry and Wavelength on the Relationship between Reflectance Data and Suspended Sediment Concentration." International Journal of Remote Sensing. 10(8):1357-1372.

24. Osterkamp, W. R., Heilman, P., and Lane, L. J., (1998). Economic considerations of a continental sediment-monitoring program: International Journal of Sediment Research, v. 13, no. 4, p. 12-24.
25. Ritchie, J. C. and Schiebe, F. R. (1986). "Monitoring Suspended Sediments with Remote Sensing Techniques." Proceedings of workshop: “Hydrologic Applications of Space Technology.” IAHS publication no. 160.
26. Salkield, A. P., LeGood, G. P., and Soulsby, R. L. (1981). “Impact Sensor for Measuring Suspended Sand Concentration.” Conference On Electronis for Ocean Technology, Birmingham, England.
27. Skinner, J. V. (1989). “Model-B Sediment-Concentration Gage: Factors Influencing its Readings and a Formula for Correcting its Errors.” From “A Study of Methods Used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams.” U.S. Army Engineer District St. Paul, Minnesota.
28. Thorne, P. D., Vincent, C. E., Hardcastle, P. J., Rehman, S., and Pearson, N. (1991). “Measuring Suspended Sediment Concentrations Using Acoustic Backscatter Devices.” Marine Geology. 98:7-16.
29. Van Rijn, L. C. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Aqua Publications, Amsterdam.
30. Van Rijn, L. C. and Schaafsma, A. S. (1986). "Evaluation of Measuring Instruments for Suspended Sediment.” International Conference on Measuring Techniques of Hydraulics Phenomena in Offshore, Coastal & Inland Waters. London, England: April 9-11:401-423.