مقایسه روشهای التراسونیک اندازه‌گیری دبی در کانال‌های باز انتقال آب (مطالعه موردی: روش داپلری و زمان-گذر در ایستگاه‌های پایلوت)

عباس جنگی مرنی، دفتر بهره‌برداری از تأسیسات انتقال و توزیع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران
سعید عیسی‌پور، دفتر بهره‌برداری از تأسیسات انتقال و توزیع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران
احمدرضا میراب زاده، رئیس گروه توسعه سیستم‌های اندازه‌گیری وبهبود راندمان آبیاری، سازمان آب و برق خوزستان
سعید جعفری میانائی*، شرکت مهندسی تجهیزات آب و انرژی پاسارگاد
علی محمدعلیزاده، شرکت مهندسی تجهیزات آب و انرژی پاسارگاد
پست الکترونیکی:saeedjm@gmail.com

چکیده
امروزه سنجش دبی جریان‌های آب سطحی با استفاده از دبی‌سنج‌های التراسونیک[1]، یکی از این روشهای معمول اندازه-گیری دبی آب در جهان است. روشهای معمول التراسونیک که امروزه به طور وسیعی در صنعت آب جهان استفاده می-گردد شامل دبی سنج‌های داپلری، پروفایلر، همبستگی متقاطع و زمان-گذر است. در ایران نیز از سال ۱۳۸۸ تاکنون در حدود ۲۰۰ ایستگاه اندازه‌گیری اولتراسونیک در شبکه‌های آبیاری توسط وزارت نیرو مطالعه شده و در حال تجهیز، راه‌اندازی و تعدادی نیز در حال بهره‌برداری است. شناخت و مطالعه هرچه بیشتر این ابزار، دید جامع‌تری جهت بکارگیری مناسب‌تر این ابزار در اختیار ما قرار خواهد داد. در این مطالعه، دو روش معمول اندازه‌گیری دبی در شبکه‌های آبیاری کشور شامل روش داپلری موج پیوسته و روش زمان-گذر، مورد مطالعه قرار گرفت. تعداد پنج ایستگاه دبی سنجی داپلری و پنج ایستگاه دبی سنجی زمان-گذر از شبکه‌های آبیاری مختلف کشور انتخاب گردید. با استفاده از ابزار مرجع دبی سنجی، میزان خطای هر ایستگاه مشخص گردید. نتایج نشان دادند که هر دو روش دارای کارایی مناسبی جهت اندازه-گیری دبی در کانالهای آبیاری و زهکشی می‌باشند، لکن روش زمان-گذر دارای همبستگی بیشتر (R^2= ۰/۹۹۹) در مقایسه با روش داپلری (R^2= ۰/۹۷۵) است.
کلید واژه‌ها: *داپلر موج پیوسته- روش زمان گذر- امواج اولتراسونیک، کانال‌های باز، آب سطحی.*

۱- مقدمه

یکی از تنگناهای اساسی مدیریت منابع آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با آن مواجه هستند کافی نبودن آب برای مصارف گوناگون اعم از شرب، صنعت، کشاورزی و محیطهای طبیعی است. بنابراین پیام اصلی این است: "آب یکی از کمیاب‌ترین و ارزشمندترین منابع کره زمین است". بخش کشاورزی با ۹۲ درصد مصرف آب استحصالی در ایران، بزرگترین و مهمترین مصرف کننده آب در کشور به شمار می رود. بیش از ۸۰ درصد اتلاف منابع آب به دلیل عدم مدیریت صحیح در این بخش به هدر می رود. تعدادی از کارشناسان معتقدند که مدیریت منابع آب کشور در شرایط فعلی مدیریت مناسبی نیست و موجب شده تا طی سالهای اخیر شاهد کاهش منابع آب های زیرزمینی و نیز کاهش سطح

1- Ultrasonic

زیرکشت کشاورزی در برخی مناطق باشیم. لذا تنها راه جهت مقابله با بحران کمبود آب در شرایط فعلی، افزایش راندمان در بخش کشاورزی است. افزایش راندمان کشاورزی نیازمند اعمال مدیریت صحیح بر مصرف آب است. جهت اعمال مدیریت بر یک شبکه آبیاری یکی از مهمترین پارامترها اندازه‌گیری دقیق آب است. تحویل حجمی آب به مصرف کنندگان که از ارکان اصلی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی محسوب می‌شود بدون استقرار یک سیستم دقیق در اندازه‌گیری دبی آب در کانال‌های مختلف امکانپذیر نخواهد بود.

امروزه ابزارهای دبی سنجی اولتراسونیک با داشتن مزایایی نظیر دقت بالا و عدم تداخل در جریان آب، در بسیاری از کانال‌های باز انتقال آب در شبکه‌های آبیاری دنیا کاربرد دارند. در کشور ما نیز این ابزار اخیرا به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است. از میان ابزارهای اولتراسونیک دو نوع داپلری و زمان- گذر در کانال‌های باز شبکه‌های آبیاری و زهکشی جهان استفاده می‌گردد. در سال ۱۹۵۹ برای اولین بار به صورت عملی تکنولوژی داپلر توسط ساتومورا[1] فیزیکدان ژاپنی جهت آنالیز حرکت قلب و ضربان دیواره رگها بکار برده شد [1, 2]. روش داپلری از دهه ۱۹۶۰ میلادی به طور تجاری جهت اندازه‌گیری جریان آب رواج یافت. در سال ۱۹۹۷ یک نوع داپلر پروفایلر[2] توسط آزمایشگاه تحقیقات منابع آب وابسته به موسسه اصلاحات اراضی آمریکا معرفی شد که با تخمین پروفیل سرعت جریان آب، دبی را اندازه‌گیری می‌نمود. در سال ۱۹۷۸ دروست و همکاران[3] اصول تئوری اندازه‌گیری حجم جریان با استفاده از روش زمان-گذر را مطرح نمودند[3]. این ابزار توانست به صورت تجاری از سال ۱۹۸۳ مورد استفاده قرار گیرد. مورلوک و همکاران[4] (۲۰۰۲) و استیلس[5] (۲۰۰۵) با انجام ارزیابی میدانی در شبکه‌های آبیاری به این نتیجه رسیدند که جهت عملکرد هرچه بهتر این ابزار، بهتر است که کالیبراسیون در محل نصب نیز صورت پذیرد[4, 5].

۲- مواد و روشها

۲-۱- ابزار مرجع اندازه‌گیری دبی

جهت اندازه‌گیری دقت ابزار اولتراسونیک مورد مطالعه در این تحقیق، نیاز به اندازه‌گیری با تجهیزات قابل اعتماد به عنوان مرجع اندازه‌گیری می‌باشد. لذا در این تحقیق از دو نوع ابزار معمول که دارای دقت بالایی نیز می‌باشد استفاده گردید. ابزارهای مورد استفاده در این مطالعه شامل مولینه (از ابزارهای معمول اندازه‌گیری دبی در کانالهای آبیاری) و قایق ADCP می‌باشد. مولینه مورد استفاده مدل C31 (OTT آلمان) با قطر پروانه ۱۶۰ میلیمتر است که در موسسه تحقیقات آب کالیبره شده بود. جهت اندازه‌گیری دبی آب از روشهای استاندارد یک نقطه (برای اعماق کمتر از ۵۰ سانتیمتر) و دو نقطه استفاده گردید.

قایق ADCP مورد استفاده از نوع Qliner 2 ساخت شرکت OTT آلمان است. سرعت و سطح مقطع جریان با دقت بالا به طور همزمان توسط قایق ADCP اندازه‌گیری می‌گردد. لذا در این روش نیاز به اندازه‌گیری سطح مقطع جریان نمی‌باشد. در این تحقیق از قایق ADCP جهت اندازه‌گیری دبی جریان در کانالهای باز با ابعاد بزرگ و یا در کانالهایی که پل دسترسی وجود نداشت، استفاده گردید[6].

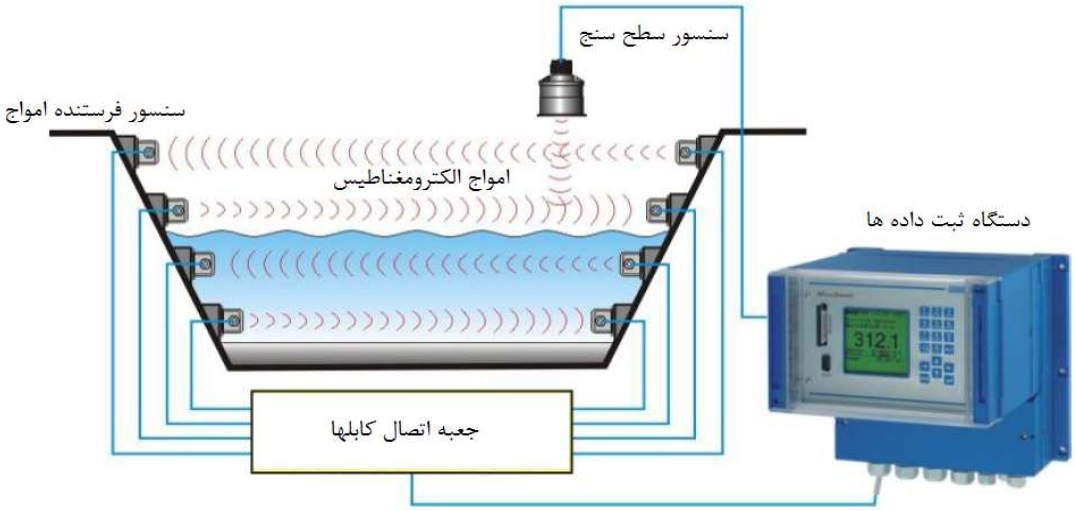
1- Satomura
2 - ADFM
3 - Drost et al.
4 - Morkol et al.
5 - Styles

۲-۲- دبی سنج داپلری موج پیوسته

دبی سنج داپلری موج پیوسته متشکل از سنسور سرعت سنج، سطح سنج و دستگاه ترنسمیتر است. سنسورهای دبی سنج داپلری معمولا دارای یک فرستنده و گیرنده امواج اولتراسونیک می‌باشند. یک موج صوتی اولتراسونیک با فرکانس بالا به جریان آب فرستاده شده و بازتابش آن پس از برخورد با ذرات معلق و حباب‌های موجود در آب دریافت می‌گردد. تفاوت بین فرکانس امواج فرستاده شده و امواج دریافت شده متناسب است با سرعت حرکت ذرات معلق و حباب‌های موجود در آب. یک دبی سنج داپلری تغیر فرکانس امواج ارسالی و دریافتی برای تعداد زیادی از ذرات اندازه‌گیری نموده و سرعت متناظر ذرات معلق، نه سرعت آب اندازه‌گیری می‌شود. با میانگین‌گیری از سرعت ذرات معلق، میانگین سرعت آب را می‌توان تخمین زد. این تخمین با خطا همراه است که میزان خطای آن به نحوه توزیع ذرات بستگی دارد. هرچه توزیع ذرات یکنواخت باشد، نمونه بهتری از سرعت جریان آب بدست می‌آید [8 ,7]. در این روش، اندازه‌گیری سطح مقطع جریان نیز مورد نیاز است که معمولا یک سنسور اندازه‌گیری عمق در کنار سنسور سرعت سنج تعبیه می‌گردد. در نهایت با اندازه‌گیری سطح مقطع و سرعت متوسط جریان، دبی نهایی توسط ترنسمیتر محاسبه، نمایش و ذخیره می‌گردد. دبی سنج‌های داپلری استفاده شده در این مطالعه، داپلر موج پیوسته مدل OCM F ساخته شرکت Nivus آلمان است.

۲-۳- دبی سنج زمان-گذر (Transit Time)

شکل (۱) شمای کلی از یک دبی‌سنج زمان-گذر به همراه یک عمق سنج التراسونیک را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است این سیستم تشکیل شده از سنسورهای فرستنده امواج در جهت عرض کانال، سنسور سطح سنج و دستگاه ثبت داده‌ها.



شکل (۱) *شمای کلی از یک دبی‌سنج زمان گذر*

اندازه‌گیری دبی در روش زمان-گذر مشابه اندازه‌گیری جریان بوسیله مولینه است. در دبی سنجی بوسیله مولینه، سرعت متوسط بر اساس میانگین سرعت در مقاطع عمودی بدست می‌آید ولی در روش زمان گذر، میانگین سرعت در مقاطع

افقی حساب می‌گردد. در روش زمان گذر، امواج التراسونیک به صورت زاویه‌دار با جهت جریان به ساحل مخالف در پایین دست ساطع می‌گردد. سپس یک موج التراسونیک دیگر در خلاف جهت جریان، به صورت اریب به ساحل مخالف در بالادست ارسال می‌گردد. سرعت امواج ارسالی در جهت جریان آب بیشتر از سرعت امواج ارسالی در خلاف جریان آب در کانال است. تفاوت زمان عبور موج در این دو حالت، می‌تواند بیانگر سرعت متوسط جریان در ارتفاعی از جریان که امواج ارسال شده‌اند باشد [9].

دبی سنج‌های زمان-گذر استفاده شده در این مطالعه، سیستم زمان-گذر موج پیوسته مدل Nivuchannel ساخته شرکت Nivus آلمان، Moltisonic 8000 ساخته شرکت Badger Meter آلمان و UF322 ساخته شرکت Ultraflux فرانسه است.

۲-۴- ایستگاههای دبی سنجی مورد مطالعه

در این مطالعه ۱۰ ایستگاه دبی سنجی مورد بررسی قرار گرفت. از ایستگاههای مذکور، پنج ایستگاه مربوط به روش دبی سنجی داپلری و پنج ایستگاه دیگر مربوط به دبی سنجهای زمان-گذر است. در انتخاب کانالها سعی گردیده که انتخاب به نحوی باشد که کانالها هم با ابعاد بزرگ و هم با ابعاد کوچک انتخاب گردند. همچنین کانالهای انتخابی از سراسر کشور انتخاب گردیده‌اند. مشخصات و خصوصیات کانالهای انتخابی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) *مشخصات کانالهای انتخابی*

ردیف	نام کانال	شبکه آبیاری	استان	عرض کف کانال (m)	عرض بالا کانال (m)	ارتفاع کانال (m)	نوع دبی سنجی نصب شده	وضعیت گل آلودی آب
۱	کانال راست صوفی چای	صوفی چای	آذربایجان-شرقی	۱/۵	۶	۱/۵	داپلر	صاف
۲	کانال راست آبشار	آبشار	اصفهان	۴	۱۱/۸	۲/۶	داپلر	صاف
۳	کانال چپ آبشار	آبشار	اصفهان	۴	۱۱/۸	۲/۶	داپلر	صاف
۴	کانال اصلی تجن	تجن	مازندران	۳/۳	۱۰	۲/۲	داپلر	گل آلود
۵	کانال گله رود	سفیدرود	گیلان	۲/۴۵	۱۱/۲	۳	داپلر	گل آلود
۶	ورودی شبکه کلل	کلل	بوشهر	۱/۲	۵	۱/۳	زمان-گذر ۱ مسیره	گل آلود
۷	کانال گلستان- دهمیان	گلستان - دهمیان	بوشهر	۱	۳/۴	۰/۸	زمان-گذر ۱ مسیره	صاف
۸	ورودی شبکه قزوین	قزوین	قزوین	۵	۵	۳	زمان-گذر ۲ مسیره	صاف
۹	کانال هامون	درودزن	فارس	۸	۱۵	۲/۵	زمان-گذر ۲ مسیره	صاف
۱۰	کانال اصلی دشت عباس	دشت عباس	ایلام	۱۰	۲۲	۵	زمان-گذر ۴ مسیره	صاف

۳- نتیجه و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری دبی توسط دبی‌سنج‌های نصب شده و دستگاه دبی سنجی مرجع به همراه میزان خطای آن در جدول (۲) آورده شده است. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد، دبی کانالها بر حسب نیاز آبی پایین دست و ابعاد کانال متفاوت بوده و از ۰/۳۹ تا ۱۳/۹ متر مکعب بر ثانیه متغییر می‌باشد.

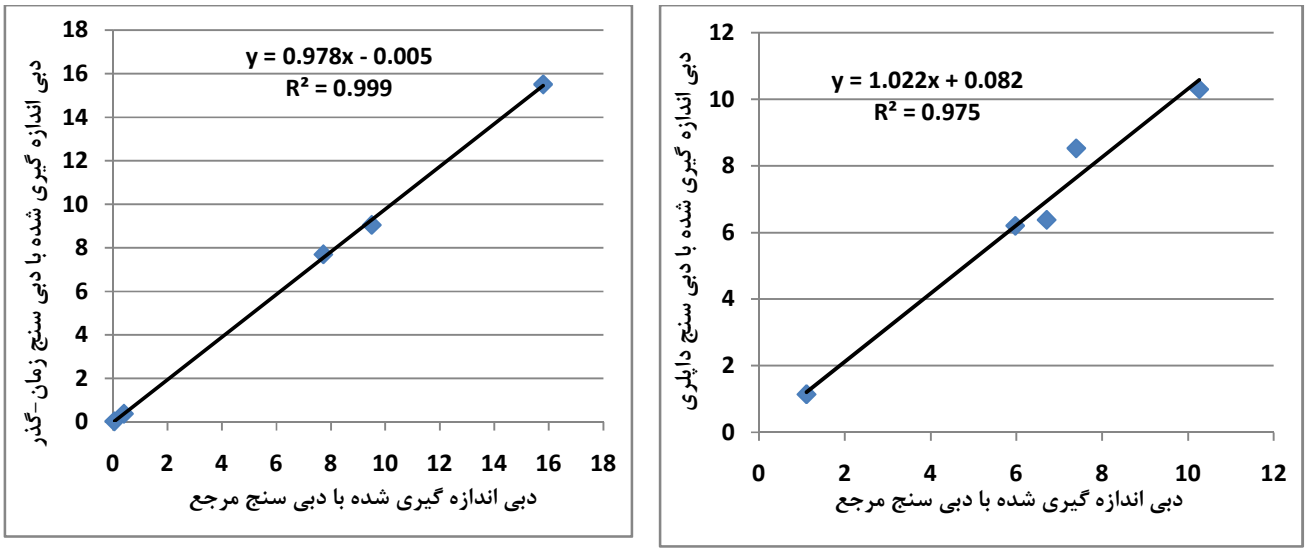
جدول (۲) *نتایج حاصل از اندازه‌گیری دبی توسط دبی‌سنج‌های نصب شده و دستگاه دبی سنجی مرجع*

ردیف	نام کانال	نوع دبی سنج نصب شده	ابزار مرجع دبی-سنجی	دبی دستگاه نصب شده (m^3/s)	دبی دستگاه مرجع (m^3/s)	میزان خطا (٪)
۱	کانال راست صوفی چای	داپلر	قایق ADCP	۱/۱۴	۱/۱	-۳/۶
۲	کانال راست آبشار	داپلر	قایق ADCP	۸/۵۳	۷/۳۹	-۱۵/۴۲
۳	کانال چپ آبشار	داپلر	قایق ADCP	۶/۳۸	۶/۷	۴/۷۸
۴	کانال اصلی تجن	داپلر	مولینه	۶/۲	۵/۹۷	-۳/۸
۵	کانال گله رود	داپلر	مولینه	۱۰/۳	۱۰/۲۶	-۰/۴
۶	ورودی شبکه کلل	زمان-گذر ۱ مسیره	مولینه	۰/۳۹	۰/۳۹۶	۱/۵۲
۷	کانال گلستان- دهمیان	زمان-گذر ۱ مسیره	مولینه	۰/۰۴	۰/۰۴۱۷	۴
۸	ورودی شبکه قزوین	زمان-گذر ۲ مسیره	مولینه	۹/۵	۹/۰۵۸	-۴/۹
۹	کانال هامون	زمان-گذر ۲ مسیره	قایق ADCP	۱۳/۹	۱۳/۶۷	-۱/۶۸
۱۰	کانال اصلی دشت عباس	زمان-گذر ۴ مسیره	قایق ADCP	۷/۷۰۶	۷/۷۲	۰/۰۲

در روش اندازه‌گیری داپلری، حداقل خطای اندازه‌گیری جریان آب مربوط به کانال گله‌رود به میزان ۰/۴ درصد و حداکثر آن مربوط به کانال راست آبشار به میزان ۱۵/۴۲ درصد می‌باشد. در کانال‌های اصلی تجن، راست آبشار و صوفی چای میزان خطا کمتر از ۵ درصد است و به نظر می‌رسد که این دبی سنج داپلری در این کانالها توانسته است دقت قابل قبولی در اندازه‌گیری دبی را تامین نماید. به طور کلی در کانالهای با ابعاد زیاد، به دلیل آنکه باریکه موج التراسونیک سطح کمتری از کل جریان را تحت پوشش قرار می‌دهد، دبی سنج‌های داپلری دقت خوبی نخواهند داشت. اما همانگونه که ملاحظه می‌گردد این مساله در کانالهای گله رود و اصلی تجن صادق نمی‌باشد. علت این امر وجود رسوبات زیاد و یکنواخت و همچنین پروفیل سرعت منظم در کانال است که سبب می‌گردد سطح جریان پوشش داده شده توسط باریکه موج اولتراسونیک، نمونه خوبی از کل جریان باشد. لذا در این حالت سرعت تخمین زده شده توسط دستگاه داپلری بسیار نزدیک به سرعت متوسط جریان در کانال است.

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد در تمامی کانالهایی که روش زمان-گذر در آنها استفاده گردیده است، خطای سیستم کمتر از ۵ درصد می‌باشد و سیستم نصب شده در این کانالها، توانسته است دقت بالایی را تامین نماید. در روش زمان-گذر ابعاد بزرگ کانال ایجاد محدودیت نمی‌نماید چرا که با افزایش عمق جریان می‌توان بر تعداد مسیرهای التراسونیک افزود. بیشترین خطای مشاهده شده در کانالهای مورد مطالعه مربوط به کانال ورودی شبکه آبیاری قزوین است که علت آن نوسان نسبتا زیاد آب در ورودی کانال است.

جهت مقایسه بهتر دو روش داپلری و زمان-گذر، دبی‌های اندازه‌گیری شده با مولینه در مقابل دبی بدست آمده توسط دستگاه دبی سنج برای هر روش به صورت جداگانه در شکل (۲) رسم گردیده است.



شکل (۲) *نمودار دبی‌های مختلف اندازه‌گیری شده با مولینه در مقابل دبی مشاهده شده از دستگاه دبی سنج*

همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد، نمودار رسم شده ب روش زمان-گذر دارای هبستگی بیشتر (R^2= ۰/۹۹۹) در مقایسه با روش داپلری (R^2= ۰/۹۷۵) است. هر دو روش نتایج قابل قبولی را ارائه نمودند لکن در روش زمان-گذر، دبی‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه مرجع و دبی‌های اندازه‌گیری شده توسط دبی سنج زمان-گذر دارای اختلاف ناچیزی بوده و دارای نتایج بهتری در مقایسه با روش داپلری می‌باشد.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هر دو روش داپلری موج پیوسته و زمان-گذر دقت قابل قبولی را در کانالها مورد مطالعه داشتند لکن روش زمان-گذر، دارای کارایی و دقت بالاتری نسبت به روش داپلری موج پیوسته می‌باشد. روش داپلری موج پیوسته در کانالهای دارای رسوبات معلق با ابعاد بزرگ، توانسته است دقت خوبی را تامین نماید. استفاده از این روش دبی سنجی در کانالهای فاقد رسوبات معلق و حباب توصیه نمی‌گردد. از آنجا که سنسور سرعت سنج داپلری موج پیوسته در کف کانال نصب می‌گردد، این روش دارای حساسیت بیشتری نسبت به تجمع رسوبات و آشغال در کف کانال است لکن در روش زمان-گذر به دلیل نصب سنسورهای سرعت سنج در دیواره کانال، این مشکل کمتر ایجاد می‌گردد.

در نهایت باید عنوان نمود که در هر دو روش، جهت کارایی بالا در فصل آبیاری می‌بایست کالیبراسیون دوره‌ای صورت گیرد و تیم متخصص باید حداقل یک یا دو بار در طول فصل آبیاری این دستگاه ها را کالیبره کند. محل نصب دستگاه باید فاقد جلبک و آشغال بوده و رسوبات کف به حدی نباشد که سنسور را بپوشاند.

۵- تقدیر و تشکر

با تشکر و تقدیر فراوان از دفتر بهره‌برداری از تأسیسات انتقال و توزیع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران و مـدیرکل آن دفتر، جناب آقای مهندس مهرزاد احسانی که در انجام این تحقیق، با نویسندگان این مقاله نهایت همکاری را نمودند.

۶- مراجع

1- Satuomura S. (1959). Study of the flow patterns in peripheral arteries by ultrasonics. J. Acoust. Soc. Jpn 15, 151-158.
2- Satuomura S. (1959). Study on the diagnostic application of ultrasonics. Med. J. Osaka Univ. 11, 4747-4757 (in Japanese).
3- Drost, C. J. (1978). Vessel diameter-independent volume flow measurements using ultrasound. In Proc San Diego Biomed Symp. Vol. 17, pp. 299-302.
4- Morlock SE, Nguyen HT, Ross JH. (2002). Feasibility of Acoustic Doppler Velocity Meters for the Production of Discharge Records from US Geological Survey Stream Flow-Gauging Stations. Water-Resources Investigations Report 01-4157, Denver, Colorado.
5- Styles, S. W., Busch, B., Howes, D. J., & Cardenas, M. (2006). Non-standard structure flow measurement evaluation using the flow rate indexing procedure-QIP. Bioresource and Agricultural Engineering, 26.
6- US Bureau of Reclamation. Water Measurement Manual, 3rd edn. US Government Printing Office: Denver, Colo., USA. (1997).
7- ASTM D5389-93. (1997). Standard Test Method for Open Channel Flow Measurement by Acoustic Velocity Meter Systems.
8- ISO 15769 (2010) Hydrometry - Guidelines for the application of acoustic velocity meters using the Doppler and echo correlation methods.
9- ISO 6416 (2004). Hydrometry - Measurement of discharge by the ultrasonic (acoustic) method.