

## داده‌نگار کامپیوتری تغییرات سطح آب برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های باز

### یاسین اسروش

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی سینا، [ossroosh@yahoo.com](mailto:ossroosh@yahoo.com)

### عقیل یاری

کارشناس ارشد پژوهشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، [aghilyari@yahoo.com](mailto:aghilyari@yahoo.com)

### محمدابراهیم بنی‌حبیب

عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

### صفر معروفی

عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، [smarofi@yahoo.com](mailto:smarofi@yahoo.com)

### چکیده

تاکنون مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی خصوصیات جریان در کانال‌ها و مجاری روباز ارائه شده است. اما کار روی آنها در مقیاس آزمایشگاهی یا ارائه مدل‌های جدید، نیازمند تجهیزات اندازه‌گیری فوق‌العاده دقیق می‌باشد. دستگاه حاضر، یک سیستم اندازه‌گیری التراسونیک است که تغییرات سطح آب را به صورت غیرتماسی برای کاربردهای آزمایشگاهی با دقتی در حدود 0.2 mm، قدرت تفکیک 0.25 m و فرکانس حداکثر 10 Hz و به صورت همزمان برای 3 ایستگاه ثبت می‌کند. مدار اینترفیس، سه ماژول التراسونیک را توسط پالس کنترل فعال کرده سپس، زمان سیر موج التراسونیک و دمای محیط را جهت محاسبه فاصله از سطح آب به کامپیوتر ارسال می‌کند. سیستم مجهز به یک رابط کاربر گرافیکی است که امکان مانیتورینگ، داده‌برداری و نمایش گرافیکی همزمان همه ایستگاه‌ها را فراهم می‌کند. جهت تعدیل خطا مکانیزم‌هایی نظیر داده‌برداری با فرکانس 50 Hz و میانگین‌گیری به روش متحرک - غلتان، همچنین، امکان کالیبراسون به روش خطی، به صورت نرم‌افزاری پیش‌بینی شده‌اند.

**کلید واژه‌ها:** ماژول التراسونیک، شبیه‌سازی، نرم افزار، کالیبراسیون

### مقدمه

سیستم‌های توزیع آب در بیشتر پروژه‌های آبیاری دنیا، از کانالها و مجاری روباز تشکیل شده‌اند. سادگی ظاهری استفاده از مجاری روباز برای انتقال آب آبیاری موجب شده است که پیچیدگی واقعی فناوری آن نادیده گرفته شود. تنوع

سازه‌های آبی، انواع سیستم‌های کنترل و روش‌های مختلف بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری موجب پیچیدگی رفتار هیدرولیکی جریان در شبکه‌ها می‌شود به طوری که بدون استفاده از مدل‌های ریاضی، پیش‌بینی دقیق وضعیت جریان بسیار مشکل است (منعم و همکاران، 1384). شبیه‌سازی و مدل‌سازی روشی مناسب برای شناخت اصولی ویژگی‌های هیدرولیکی کانال است و با افزایش دقت پیش‌بینی‌ها از اتلاف سرمایه جلوگیری می‌کند (صادقی و همکاران، 1386).

بررسی خصوصیات جریان در کانال‌ها و مجاری روباز شامل عمق، سرعت و تنش برشی در کناره‌ها و کف از نیازهای اساسی در طرح‌های مختلف هیدرولیکی می‌باشد. تاکنون، مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی خصوصیات جریان در یک، دو و یا سه بعد و نیز برای شرایط جریان پایدار و ناپایدار ارائه شده است که مبنای آنها اندازه‌گیری دقیق و هم‌زمان عمق آب و ثبت تغییرات زمانی آن در فواصل مختلف کانال (در ابعاد واقعی یا فلوم‌های آزمایشگاهی) است. اما ارزیابی این مدل‌ها در مقیاس آزمایشگاهی یا ارائه مدل‌های جدید، نیازمند تجهیزات و ابزار اندازه‌گیری فوق‌العاده دقیق می‌باشد.

در زمینه بکارگیری عمق‌سنج‌های التراسونیک دقیق در ایران، تحقیقی توسط فرسادی و همکاران (1385) انجام شده است. آنها جهت شبیه‌سازی جریان غیرماندگار با مدل هیدرودینامیک ICSS در یک کانال آزمایشگاهی، شش دستگاه سنسور اولتراسونیک با دیتالاگر را برای اندازه‌گیری دقیق و هم‌زمان عمق آب و ثبت تغییرات زمانی آن در فواصل مختلف کانال استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل هیدرودینامیک ICSS می‌تواند جریان غیرماندگار تدریجی در کانال‌ها را با دقت خوبی شبیه‌سازی کند. بدیهی است که انجام این شبیه‌سازی و تحقیقات مشابه آن که از اهمیت فوق‌العاده‌ای نیز برخوردارند، بدون بهره‌گیری از سنسورهای ذکر شده غیرممکن است.

در حال حاضر، هزینه بالای واردات تجهیزات الکترونیکی دقیق اندازه‌گیری، یک مانع اساسی بر سر راه تحقیقات در بسیاری از زمینه‌های مهندسی هیدرولیک در ایران می‌باشد. با توجه به قیمت تمام شده پایین و کارایی مناسب دستگاه «داده‌نگار کامپیوتری تغییرات سطح آب» (که در عمل تایید شده است)، این امکان وجود دارد که با صرف هزینه‌ای منطقی، کلیه دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی نیازمند در سرتاسر ایران به این دستگاه مجهز شوند. هم‌اکنون، تعدادی پروژه تحقیقاتی دانشگاهی بر مبنای دستگاه حاضر در قالب پایان‌نامه تعریف شده است که برخی از آنها در حال انجام می‌باشند. این سیستم در قالب اختراع با شماره 47229، در دفتر ثبت اختراعات اداره مالکیت صنعتی ایران به ثبت قانونی رسیده است.

## مواد و روشها

### قاعده کارکرد سیستم سطح‌سنجی التراسونیک

امواج التراسونیک دارای این خاصیت هستند که پس از تماس با جسمی که از هوا چگال‌تر است، به طرف منبعی که از آن منتشر شده‌اند بازتاب می‌کنند (ماسا، 1999b). سیستم سطح‌سنجی التراسونیک به طور کلی شامل دو بخش اساسی است (اسروش و همکاران، 1382):

- 1- یک ماژول، مرکب از فرستنده و گیرنده. انرژی ماورای صوت از هد دستگاه به سطح مایع فرستاده می‌شود. وقتی که موج فراصوتی با سطح مایع برخورد کردند، به سمت گیرنده دستگاه بازتاب می‌شوند.
- 2- بخش الکترونیکی، پالس‌های التراسونیک-که توسط هد دستگاه فرستاده و دریافت می‌شوند- را تولید، کنترل و زمان‌بندی می‌کند. همچنین این بخش سیگنال‌های کنترل را به قسمت مانیتورینگ دستگاه که یک برنامه کامپیوتری است می‌فرستد. اندازه‌گیری با محاسبه زمان تاخیر بین لحظه‌ای که پالس فرستاده شده و متعاقب آن در گیرنده دریافت می‌گردد، کامل می‌شود. این مدت زمان تاخیر، با استفاده از یک فرمول ساده که انتشار موج التراسونیک در هوا را توصیف می‌کند، به فاصله هد سنسور از سطح مایع تبدیل می‌شود (کیرسیس و همکاران،

2004 و تارگت دیوایس، 2004). با داشتن مرجعی برای سرعت صوت در هوا فاصله سطح مایع از سنسور با دقت بالا محاسبه می‌شود [1]:

$$L = V \times t / 2 \quad (1)$$

در معادله (1)،  $D$ : فاصله از اینترفیس ( $m$ )،  $V$ : سرعت صوت در هوا ( $m/s$ )،  $t$ : مدت زمان رفت و برگشت موج ( $s$ ) می‌باشند. از آنجایی که سرعت صوت تحت تاثیر دمای هوا است، لذا دمای هوا به عنوان پارامتر متغیر باید به دستگاه داده شود (ماسا، 1999a و ویکی‌پدیا، 2007):

$$V = 331.3 \sqrt{1 + \frac{T}{273.15}} \quad (2)$$

در معادله (2)،  $V$ : سرعت صوت در هوا ( $m/s$ )،  $T$ : دمای هوا ( $^{\circ}C$ )

### شرح مدارات الکترونیکی

برد الکترونیکی دستگاه، سه ماژول التراسونیک را در مکان‌هایشان بر روی قسمت بالایی فلوم توسط پالس کنترل فعال می‌کند. سپس، زمان سیر موج التراسونیک و دمای محیط پیرامون جهت محاسبه فاصله از سطح آب، از طریق پورت سریال به کامپیوتر فرستاده می‌شوند. داده‌های بدست آمده به صورت به‌هنگام بر روی رایانه و با استفاده از نرم‌افزار (رابط کاربر گرافیکی) اختصاصی دستگاه اندازه‌گیری قابل مشاهده هستند. میکروکنترلر بکار برده شده بدلیل قیمت ارزان، سرعت بالای پروسور (16MHz)، توان مصرفی پایین، توسعه نرم‌افزاری سریع و سادگی ترکیب با مدارات جانبی مورد نظر انتخاب شده است. باید خاطر نشان نمود که سرعت میکروکنترلر در اینجا یک عامل تعیین کننده است. چراکه قدرت تفکیک دستگاه (یعنی 0.25 mm)، با کوچک‌ترین زمان ممکن قابل اندازه‌گیری توسط میکروکنترلر تعیین می‌شود.

### سنسور دماسنج

دمای محیط پارامتر بسیار مهمی در محاسبه فاصله است که با استفاده از یک سنسور دماسنج فوق‌العاده دقیق به صورت بلادرنگ اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. با توجه به خروجی دیجیتالی سنسور، استفاده از یک کابل طولانی بین کنترلر و ماژول، بدون نگرانی از تاثیر عوامل محیطی بر آن امکان پذیر است.

### ماژول‌های التراسونیک

هر کدام از ماژول‌های التراسونیک (شکل 1)، با سر سنسور رو به پایین، بنحوی که نوک آن در فاصله 15 سانتی‌متری از ماکزیمم ارتفاع سطح آب قرار گیرد، بر روی فلوم نصب می‌شود. مسیر بین سنسور و سطح آب باید فاقد هرگونه مانع باشد. سنسور التراسونیک به طور پیوسته پالس‌هایی از انرژی فراصوتی با فرکانس در حدود 40 کیلوهرتز ارسال می‌کند که به سطح مایع برخورد کرده و به سنسور باز می‌گردد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، برای نصب دقیق ماژول‌ها بر روی فلوم، نگهدارنده‌هایی از جنس آهن آبکاری شده طراحی و ساخته شده است. این ماژول‌ها دارای بدنه و سنسور ضد آب می‌باشند، لذا در تماس با آب و محیط مرطوب دچار اشکال نخواهند شد. با توجه به خروجی دیجیتالی ماژول‌های التراسونیک، استفاده از کابل طولانی بین آنها و اینترفیس بدون نگرانی از تاثیر عوامل محیطی امکان‌پذیر است.

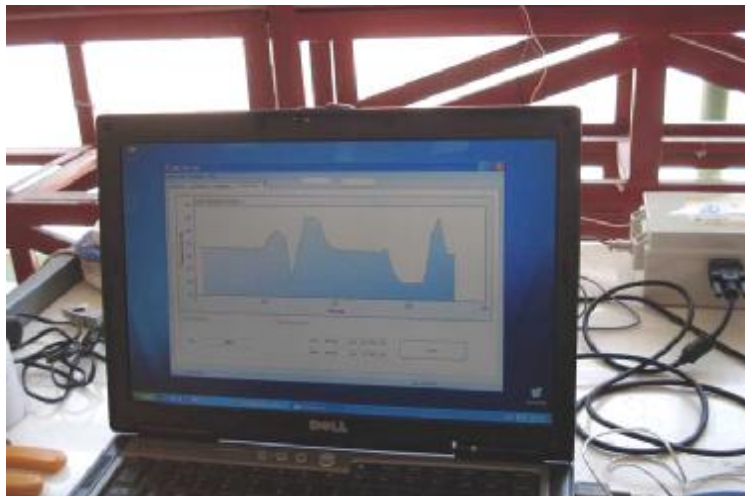
دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، 8 الی 10 بهمن 87

داده‌نگار کامپیوتری تغییرات سطح آب برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های باز



شکل (1): ماژول التراسونیک (نصب شده بر روی فلوم)

نرم افزار (رابط کاربر گرافیکی)



شکل (2): رابط کاربر گرافیکی سیستم

سیستم مجهز به یک رابط کاربر گرافیکی (شکل 2) است که با توجه به 3 کاناله بودن بخش سخت‌افزاری، امکان مانیتورینگ، داده‌برداری و نمایش گرافیکی همزمان همه ایستگاه‌ها را فراهم می‌کند. نرم‌افزار حاضر این قابلیت را دارد که داده‌های برداشت شده را برای تجزیه و تحلیل بیشتر به محیط مایکروسافت اکسل بفرستد. با توجه به ذات سیستم که دقت آن تحت تاثیر انواع عوامل محیطی و شرایط نصب است، مکانیزم‌هایی نظیر داده برداری با فرکانسی چندین برابر مورد نیاز (مثلا 50 Hz در مورد ماژول‌های التراسونیک) و میانگین‌گیری به روش متحرک- غلطان (یا حسابی به انتخاب کاربر) و امکان کالیبراسون به روش خطی، جهت تعدیل خطا به صورت نرم‌افزاری پیش‌بینی شده‌اند. به شرح بخش‌های مختلف نرم‌افزار و نحوه استفاده از آن در کاتالوگ دستگاه آمده است.

## نتایج و بحث

### خطای اندازه‌گیری دما توسط سنسور دماسنج

از آنجاییکه سرعت امواج صوت در هوا تحت تاثیر دمای هوا است، لذا دمای هوا به عنوان پارامتر متغیر باید در محاسبه فاصله اعمال شود. اگر رابطه 1 و 2 را ترکیب نماییم خواهیم داشت:

$$L = \frac{1}{2} [331.4(t) + 0.6(T \times t)] \quad (3)$$

در صورتیکه دما به اندازه  $\Delta T$  تغییر کند خطای ناشی از آن برابر است با:

$$L = \frac{1}{2} [331.4(t) + 0.6[(T \pm \Delta T) \times t]] \quad (4)$$

$$\Delta L = \pm \frac{1}{2} [0.6\Delta T \times t] \quad (5)$$

جاییکه  $\Delta L$  خطای ناشی از تغییر دما به اندازه  $\Delta T$  می‌باشد. به عنوان مثال، در اندازه‌گیری فاصله 200 میلی‌متری از هد سنسور،  $\pm 1$  درجه خطا در اندازه‌گیری دما ( $\Delta T = \pm 1$ )، در حدود 0/1765 میلی‌متر خطا در اندازه‌گیری فاصله را موجب خواهد شد ( $\Delta L = \pm 0.1765 \text{ mm}$ ) که مقدار بسیار کمی است. بر این اساس، خطا در اندازه‌گیری دما عامل تعیین‌کننده به حساب نمی‌آید. جهت به حداقل رساندن خطای ناشی از اندازه‌گیری دما باید موارد زیر رعایت شوند:

1. فاصله سنسور از دستگاه: افزایش فاصله سنسور دماسنج از دستگاه مادر (اینترفیس کامپیوتر) و مازول‌های التراسونیک (گیرنده و فرستنده موج) کاهش نویز را در پی داشته و منجر به افزایش دقت اندازه‌گیری می‌گردد، بنابراین سنسور دماسنج در حداکثر فاصله ممکن از موارد یاد شده نصب می‌شود.
2. تنظیمات نرم افزاری:

- جهت کاهش خطا امکان میانگین‌گیری از تعداد زیادی قرائت دما، در زمان بین ثبت داده‌های دما، فراهم شده است. زمان داده‌برداری به طور معمول 60 ثانیه منظور می‌گردد.
- روش‌های میانگین‌گیری شامل حسابی و متحرک-غلطان<sup>1</sup> می‌باشند. در صورت انتخاب روش میانگین‌گیری متحرک غلطان باید در انتخاب حد آستانه دقت نمود. با در نظر گرفتن تغییرات مقطعی دمای هوا ناشی از باد و ...، آستانه حداقل 5 درصد منظور می‌گردد.
- در اکثر موارد نیازی به تعیین ضرایب کالیبراسیون نیست، بنابراین ضرایب معادله کالیبراسیون تغییر داده نمی‌شوند.

### خطای ناشی از نصب سنسورهای التراسونیک (خطای مثلثاتی)

در صورت عمود نبودن محور سنسور بر کف فلوم، خطای مثلثاتی ایجاد می‌گردد (شکل 3):

$$Err = C - L \quad (6)$$

$$L = C \times \text{Cos}q \quad (7)$$

$$Err = C(1 - \text{Cos}q) \quad (8)$$

از رابطه 8 پیداست که برای دقتی بالاتر از 1 میلی‌متر، در محدوده 200 میلی‌متر، زاویه  $\theta$  باید کمتر از 5/7 درجه باشد. در صورتیکه سنسور در جای خود ثابت بماند (زاویه  $\theta$  ثابت باشد)، رابطه کالیبراسیون خطی خواهد بود.

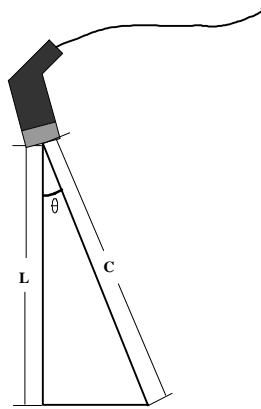
دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، 8 الی 10 بهمن 87

داده‌نگار کامپیوتری تغییرات سطح آب برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های باز

$$\text{Cos } q = \text{Const.} \Rightarrow L = f(c) = mC \quad (9)$$

چنانچه سنسور در جای خود ثابت نمانده و زاویه  $\theta$  تغییر نماید، برقراری رابطه (خطی یا غیر خطی) بین عمق واقعی و عمق اندازه‌گیری شده امکان پذیر نیست، مگر اینکه زاویه  $\theta$  نیز به طریقی اندازه گرفته شود.

$$\text{Cos } q \neq \text{Const.} \Rightarrow L = f(c, q) \quad (10)$$

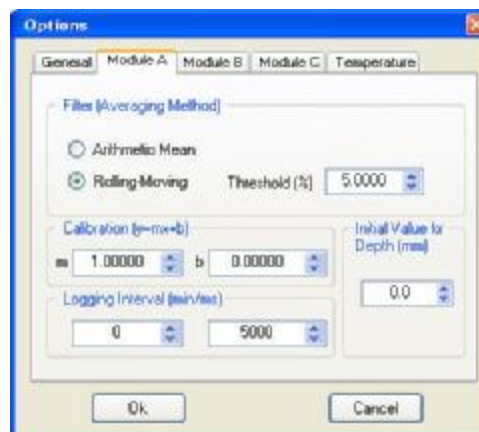


شکل (3): نصب غیر عمودی سنسور التراسونیک

#### کالیبراسیون دستگاه

بر طبق استاندارد VIM (فرهنگ اصطلاحات پایه و عمومی اندازه شناسی) (حریرپوش، 1381)، کالیبراسیون به صورت زیر تعریف شده است:

«مجموعه عملیاتی که تحت شرایط مشخص، میان نشان‌دهی یک دستگاه یا سیستم اندازه‌گیری یا مقدار یک مقیاس مادی یا ماده مرجع و مقدار متناظر آن که از استانداردها حاصل می‌شود، رابطه‌ای برقرار می‌کند». هدف از کالیبراسیون، تعیین رابطه‌ای خطی بین مقدار اندازه‌گیری شده توسط دستگاه و فاصله واقعی است. جهت کالیبره نمودن دستگاه، مراحل ذیل برای هر سنسور اجرا می‌شوند (فلوم باید به خوبی تمیز و کف آن کاملاً صاف باشد):

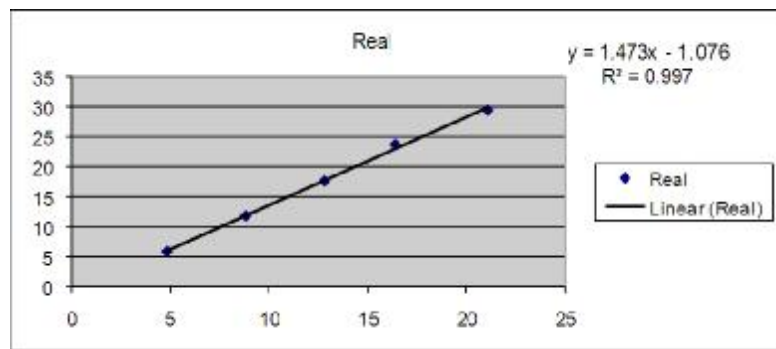


شکل (4): پنجره تنظیمات مربوط به ماژول‌های التراسونیک

دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، 8 الی 10 بهمن 87

داده‌نگار کامپیوتری تغییرات سطح آب برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های باز

1. سنسور در جای خود محکم و بدون انحراف در جهات افقی و عمودی نصب می‌شود.
2. زمان داده‌برداری در تنظیمات نرم‌افزاری سنسور (شکل 4)، بر روی حداقل 5 ثانیه (5000 میلی ثانیه) تنظیم می‌گردد و جهت شروع داده‌برداری، کلید Start سنسور مورد نظر کلیک می‌شود.
3. عدد بدست آمده در مرحله قبل، که از روی گراف رسم شده قابل قرائت است، به جای مقدار اولیه برای عمق منظور می‌شود.
4. با استفاده از صفحات با ضخامت معلوم (مثلاً 50، 100، 150 و 200 میلی متر) و ابعاد حداقل 15×15 سانتی-متر اقدام به اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب که مرکز صفحات در زیر سنسور و در کف فلوم قرار گرفته، سپس با همان زمان داده‌برداری پیشین (5 ثانیه) ضخامت (ارتفاع) صفحات اندازه‌گیری و یادداشت می‌شود.
5. مرحله قبل برای حداقل 5 ضخامت معلوم تکرار می‌گردد.



شکل (5): معادله کالیبراسیون بدست آمده برای یکی از ماژول‌های التراسونیک نصب شده

6. با استفاده از روش رگرسیون خطی، خطی به معادله  $y = mx + b$  بر نقاط بدست آمده برازش داده می‌شود (شکل 5)، سپس مقادیر  $m$  و  $b$  در محل متناظرشان در نرم‌افزار وارد می‌گردند.
7. در صورت تغییر محل نصب سنسور (به عبارت دیگر تغییر زاویه  $\theta$ )، نیاز به کالیبراسیون مجدد می‌باشد.

## نتیجه‌گیری



شکل (6): تغییرات ثبت شده سطح آب فلوم شیب‌پذیر در طول مدت 30 ثانیه

چنانچه کالیبراسیون دستگاه بدرستی انجام شود، قادر خواهد بود با دقت و تفکیک بسیار بالا تغییرات سطح آب در محل نصب ماژول‌های التراسونیک بر روی فلوم را مانیتور و ثبت نماید. منحنی شکل 6، نمونه‌ای از داده‌های برداشته شده توسط دستگاه بر روی یک فلوم شیب‌پذیر می‌باشد. هویداست که ثبت تغییرات سطح آب فلوم، صرفاً از طریق چنین دستگاهی امکان‌پذیر می‌باشد.

### تقدیر و تشکر

بدینوسیله از گروه آب پردیس کشاورزی ابوریحان (پاکدشت)، دانشگاه تهران بخاطر تامین هزینه و امکانات این پروژه سپاسگذاری می‌گردد.

### مراجع

- 1- اسروش ی، مصطفی‌زاده ب. و اسلامیان س.س. 1382. طراحی و ساخت دستگاه ثبات تغییرات سطح آب. هشتمین سمینار ملی آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص 175-181.
- 2- حریر پوش م.ج، محمود زاده م.ت. و ضیایی س.م. 1381. سیستم های اندازه گیری دقیق، انتشارات آذریون، چاپ اول. 400 ص.
- 3- فرسادی زاده د، منعم م.ج. و حسن زاده ی. 1385. بررسی مدل هیدرودینامیک ICSS در کانال آزمایشگاهی برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در سیستم کنترل کانال‌ها. جلد 16، شماره 1، 147-160 ص.
- 4- منعم م.ج، عمادی ع.ر. و قدوسی ح. 1384. بررسی رفتار جریان غیرماندگار کانال‌های آبیاری در شرایط تغییرات نیاز و تعیین دستورالعمل مناسب بهره‌برداری (مطالعه موردی کانال EIR1 شبکه دز). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد 6، شماره 24، 79-94 ص.
- 5- صادقی ح.ر، خالدی درویشان ع. و وفاخواه م. 1386. اثر ویژگی‌های هیدرولیکی کانال بر تغییرات ریخت‌شناسی رسوب‌های بستر. هیدرولیک، جلد 10، شماره 1.
- 6- Massa D.P. 1999a. Choosing an ultrasonic sensor for proximity or distance measurement, Part 1: acoustic considerations. Available online at: <http://sensormag.com:80/sensors/article/articleDetail.jsp?id=321383>
- 7- Massa D.P. 1999b. Choosing an Ultrasonic Sensor for Proximity or Distance Measurement, Part 2: Optimizing Sensor Selection. Available online at: [http://sensormag.com/articles/0399/0399\\_28/main.shtml](http://sensormag.com/articles/0399/0399_28/main.shtml)
- 8- ATmega16 datasheet. Available online at: [www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2466.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf)
- 9- Kiriş C., Besci E., Güçlü E. and Kaymaz P. 2004. Ultrasonic range meter. Available online at: [http://ai-robotlab.ogu.edu.tr/research\\_files/kiris2004.pdf](http://ai-robotlab.ogu.edu.tr/research_files/kiris2004.pdf)
- 10- Target Device. 2004. Ultrasonic range finder with SLP. Available online at: <http://documentation.renesas.com/eng/products/region/ras/mpumcu/apn/ultrange.pdf>
- 11- Wikipedia. 2007. Speed of sound. Available online at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Speed\\_of\\_sound](http://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_sound)