

EXTENDED ABSTRACT

Prediction of Flood and its Smart Remote Control

M. A. Lotfollahi Yaghin^{1*}, M. Taghi Aalami² and M. R. Afshani³

1* - Corresponding Author, Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (Lotfollahi@tabrizu.ac.ir).

2- PhD, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- PhD Candidate, MSC, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received: 16 September 2017

Revised: 17 December 2017

Accepted: 26 December 2017

Keywords: Design Flood Hydrograph, Flood Forecasting, Flood Control, spillway Gate control, Z- Transformation. **DOI:** 10.22055/jise.2017.23136.1643.

Introduction

Heavy, long-term precipitations can lead to severe floods in most drainage basins, thus causing financial losses and casualties (Fotakis and Sidiropoulos, 2014, Avila-Melgar, et al. 2017). Low precipitation, lack of surface water and groundwater, and increased demand for water calls for optimized use of reservoirs and floods. Inevitably, critical points should be identified and simple non-structural and structural methods or a combination of both, which are environmentally friendly and feasible, should be employed for flood prediction and control. In addition to imposing considerable costs, construction of flood control installations cannot fully eliminate the flood risks and, therefore, more severe floods may still lead to disasters. Construction of large flood control structures such as dykes is not only financially unjustifiable, but also inappropriate as solution both environmentally and socioeconomically. Flood prediction and alarm systems are among the non-structural criteria the importance of which are further realized over time. Installation and implementation of smart flood prediction and alarm systems can lead to reduced casualties and damages from both perspectives of flood risk management and nonstructural management.

Methodology

As shown in Figure (1), the sampling system is installed at a certain height above the water surface at the bottleneck of the river entering the dam reservoir.

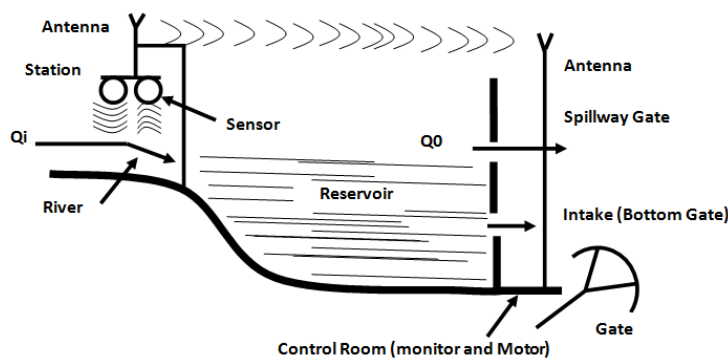


Fig. 1- The longitudinal profile of dam, reservoir and river

The system emits ultrasonic waves of given frequencies. The waves reflected from the water surface are received by the receiver system. The round-trip time is determined by the built-in electronic oscillator of the sampling device. Given the round-trip time of the wave and the speed of ultrasonic waves in air, the height of the sampling system measured from the water surface is obtained. By subtracting this height from the height of the sampling system from the river bed, the height of the water entering the reservoir is calculated. Then, the water volume entering the reservoir can be determined using the river mouth. After modulation, the water height samples are transmitted to the control or command center located at the dam body through telecommunication and radio systems. After reception in the command center, the data are demodulated for detection. The water height samples are then processed and analyzed using computers or microcontrollers.

The hydrograph of the flood entering the reservoir is obtained and plotted by the central system at the command room based on the received data. Therefore, the flood can be observed before it enters the reservoir. The maximum water height and/or the peak of the flood passing through the reservoir can be determined based on the input hydrograph and by plotting the hydrograph for the reservoir outflow. Given the maximum height of the water passing through the reservoir, in case the input water cannot be adjusted or stored, the computer systems and the processor automatically decide to fully open one or more of the dam gates if needed, so that the flood water can be discharged from the reservoir to prevent causing damage to the dam and the downstream installations. The designed systems involved in this procedure included the sampling system, which complements the process of wave transmission from the station, measurement system for the level of river water, wave receiver and detector systems at the control room, smart gate controllers, and alarm systems for emergency situations. Then, the digital controllers and other electronic devices were built using microcontrollers, sensors, ultrasonic distance meters, and radio wave transmitters and receivers (Carusone, *et al.*, 2012, Lin *et al.*, 2004). Different programming languages including C, C++, Python, C#, and Arduino were employed in the design building of systems. The proposed flood prediction and control system is equipped with alarm systems to inform the operators in the case of emergencies. After their design and building, the systems were repeatedly used and tested in the laboratory and open channels. The results were favorable and of high accuracy.

Results and discussion

The maximum level of the water passing through the weir gate was determined and then compared with the base height marked during the design of the dam (design flood hydrograph). In case the maximum water level (i.e. the discharge of the equilibrium point on the inflow and outflow hydrographs) is equal or higher than the maximum design flood height, the smart system fully opens the weir gate(s) to allow discharge of water from the reservoir. The smart weir gate system is also applicable to the bottom gate, intake (outtake) tower, and emergency gate of the dam. The inflow and outflow flood hydrographs fully overlap in case the smart prediction and flood control system along with the pulse method is used for routing of the flood to the reservoir, such that the difference between the two is negligible. Therefore, the proposed smart system offers sufficient accuracy.

Conclusion

By implementing the smart system, the flood hydrograph, the maximum water level, the volume of water entering the reservoir, the opening angle of the weir gate, and the velocity of the water passing through the weir gate and its discharge are displayed on a monitor in the control room, enabling the operators to monitor the status of the dam and take appropriate actions accordingly. Prediction of flood and its real-time control affects utilization of flood control structures, reservoirs, the procedures followed in dealing with floods and reducing damages, water storage for different usages, release of water to the downstream, and the process of notifying people and organizations.

This system resolves the drawbacks of the non- or semi-automatic methods and increases the efficiency of the dam.

Acknowledgement

Dear friends and colleagues who helped in the design, programming and construction of the device and cooperated in performing various experiments, are appreciated.

References

- 1- Avila-Melgar, E.Y., Cruz-Chávez, M.A. and Martinez-Bahena, B., 2017. General methodology for using epanet as an optimization element in evolutionary algorithms in a grid computing environment for water distribution network design. *Water Science & Technology: Water Supply*. 17(1), pp. 39-51.
- 2- Carusone, T.C., John D.A. and Martin, K.W., 2012. *Analog Integrated Circuit Design, Second Edition*. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, pp. 130-295.
- 3- Fotakis, D. and Sidiropoulos, E., 2014. Combined land-use and water allocation planning. *Annals of Operations Research*. 219 (1), pp. 169–185.
- 4- Lin, P.H., Wong, D.S.H., Jang, S.S., Shieh, S.S. and Chu, J.Z., 2004. Controller design and reduction of bullwhip for a model supply chain system using z-transform analysis. *Journal of Process Control*. 14, pp. 487–499.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

پیش بینی سیل و کنترل هوشمند آن از راه دور

محمد علی لطف اللهی یقین^۱، محمد تقی اعلمی^۲ و محمدرحیم افشانی^۳

۱- نویسنده مسئول، استاد دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. a_lotfollahi@tabrizu.ac.ir

۲- استاد دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۵

بازنگری: ۱۳۹۶/۹/۲۶

دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۵

چکیده

برای افزایش نتیجه بهره‌برداری از مخازن و کاهش هزینه‌های تخلیه اضطراری سیلاب‌ها، جلوگیری از خسارات مالی و جانی در پایین دست سد، پیش‌بینی سیل و کنترل آن ضروری است. در این مقاله سیل طرح یا سیل خطرناک پیش‌بینی و از راه دور مدیریت و کنترل شده است. سیستم‌های هوشمند با استفاده از تبدیل Z، میکروکنترلرها، حسگر، ارتفاع سنج آلتراسونیک، مدارهای فرستنده، گیرنده امواج رادیویی و ماهواره‌ای، ریزپردازنده، موتور الکتریکی، قطعات الکترونیکی دیگر و نرم‌افزارهای مناسب، طراحی و ساخته شدند. سیستم در دهانه‌ی رودخانه‌ی ورودی به مخزن و در ارتفاع مناسب نصب می‌شود. با نمونه‌برداری از سطح آب، ارتفاع و حجم آب ورود به مخزن مشخص و نمونه‌ها به وسیله‌ی امواج رادیویی و ماهواره‌ای به سیستم مرکزی در اتاق کنترل ارسال می‌گردند. اطلاعات ارسالی در سیستم مرکزی دریافت و پس از آشکار شدن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در اتاق کنترل، هیدروگراف سیل، حداکثر ارتفاع و حجم آب ورود به مخزن روی صفحه‌ی مانیتور نشان داده می‌شوند. سیستم هوشمند، با توجه به اطلاعات دریافت شده، به وسیله‌ی موتور الکتریکی یا دستگاه‌های هیدرولیکی و پنوماتیکی به صورت اتوماتیک، دریچه و در صورت لزوم دریچه‌های سد را باز می‌کند. با نصب سیستم هوشمند، سیل شناسایی و بهره‌برداری از آب درون مخزن مدیریت می‌شود و ایمنی سد در برابر سیل تحقق می‌یابد. با نصب سیستم هوشمند نیروی انسانی کاهش یافته و خطای دید آن‌ها برطرف می‌شود و از خطرات سیل در پایین‌دست سد جلوگیری به عمل می‌آید.

کلید واژه‌ها: کنترل سیل، کنترل دریچه، هیدروگراف سیل طرح، سرریز دریچه دار، تبدیل Z.

مقدمه

ویژگی‌های زمین شناسی و شرایط متنوع اقلیمی، با بالای طبیعی سیل مواجه شدند که با گذر زمان و دخالت انسان‌ها، تعداد و میزان سیلاب‌ها افزایش یافته است. برای سیل زدایی یا به ذخیره سازی آن در جهت مصارف آبی و یا به تخلیه‌ی آن در کاهش خسارات مالی و جانی پرداخته می‌شود. بهره‌برداری از سازه‌های هیدرولیکی جهت تخلیه سیلاب باعث افزایش سیل طرح و هزینه‌های هنگفت آن می‌شود (Kumar et al, 2010). احداث تأسیسات کنترل سیل علاوه بر هزینه‌های سنگین، ریسک ناشی از سیلاب را نیز نمی‌تواند به طور کامل از بین ببرد و ممکن است در سیلاب‌های مخرب‌تر، سیل حادثه آفرین گردد. احداث سازه‌های عظیم کنترل سیلاب چون سیل‌بندها نه تنها به دلیل هزینه‌ی سنگین توجیه‌پذیر نیستند بلکه به لحاظ زیست‌محیطی و دیگر دلایل اقتصادی-اجتماعی مطلوب نیز

در کشور ما، کمی بارش و نزولات آسمانی، کمبود آب‌های سطحی، زیرزمینی، افزایش نیازهای آبی، استفاده‌ی بهینه از مخازن و سیلاب‌ها افزایش داده است. بنابراین لزوم شناسایی نقاط حساس و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی ساده، غیرسازه‌ای یا ترکیب با سازه، سازگار با محیط‌زیست و کاربردی برای پیش‌بینی سیل و کنترل آن اجتناب‌ناپذیر شده است. بارش‌های شدید و یا طولانی‌مدت در اکثر حوضه‌های آبریز باعث می‌شود تا سیلاب‌های عظیم در این حوضه‌ها جاری شده و خسارات جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورند (Bartosiewicz et al., 'Acanal and Haktanir, 1999)؛ Fotakis and Sidiropoulos, 'Chang et al., 2010؛ 2011؛ Hajibigloo et al., 'Avila-Melgar, 2017؛ 2014؛ 2015). بعضی از کشورها و مناطق، به لحاظ وضعیت توپوگرافی،

مالی در پایین دست سد جلوگیری می‌شود. این روش غیر ساده‌ای، کم هزینه، سازگار با محیط زیست، قابل اعتماد، بوده و باعث کاهش نیروی انسانی و خطای دید آن‌ها می‌شود. در هر زمان وضعیت آب ورودی و خروجی، مقدار بازبودن دریچه‌ها، مقدار آب خواسته شده در پایین دست در اتاق فرمان قابل مشاهده است

مواد و روش‌ها

مبانی سیستم های نمونه بردار، کنترل دیجیتال و تبدیل z

از سیستم کنترل دیجیتال شکل (۱) برای ارسال اطلاعات از ایستگاه و دریافت اطلاعات در اتاق فرمان، استفاده می‌شود که عملکرد آن بیان می‌شود. با توجه به شکل (۱) مبدل‌های سیگنال (Signal)، کامپیوترهای به کار رفته در سیستم‌های کنترل را به محرک‌ها و فرایند متصل می‌کنند. خروجی میکروکنترلر (Microcontroller) یا کامپیوتر دیجیتال به وسیله مبدل دیجیتال به آنالوگ، پردازش می‌شود. فرض می‌شود که اعداد ورود و خروج از میکروکنترلر متناوب با دوره تناوب T باشند. ورودی مرجع، رشته‌ای از مقادیر نمونه‌برداری شده $r(KT)$ است. متغیرهای $r(KT)$ ، $m(KT)$ ، $u(KT)$ سیگنال‌های گسسته و داده‌های نمونه‌برداری شده می‌باشند، $y(t)$ و $p(t)$ می‌توانند توابع پیوسته‌ای از زمان باشند. داده‌های حاصل برای متغیرهای سیستم تنها در فواصل گسسته زمانی با $r(KT)$ نشان داده می‌شود و به آنها داده نمونه‌برداری شده یا سیگنال گسسته می‌گویند (Ahmad Al-Issa et al., 2016)؛ اگر (Medeirs et al., 2012 و Monisha et al., 2015). ورودی $r(t)$ و خروجی $r^*(t)$ باشد $r^*(t) = r(nT)\delta(t - nT)$ خواهد بود که در آن $\delta(t)$ تابع ضربه است. این نمونه‌ها دارای دامنه $r(KT)$ است. مبدل دیجیتال به آنالوگ وسیله‌ای است که سیگنال نمونه‌برداری شده $r^*(t)$ را به سیگنال پیوسته $p(t)$ تبدیل می‌نماید. این مبدل مقدار $r(KT)$ را گرفته و آن را برای زمان $t \leq KT < (k+1)T$ نگه می‌دارد. وقتی که T خیلی کوچک شود سیگنال نمونه‌برداری شده با سیگنال اولیه یکسان است و سیگنال پیوسته‌ای که بطریق فوق ایجاد می‌شود نیز با سیگنال اولیه یکسان است (Tu and Shen, 2017؛ Brandl, 2016؛ Chao, 2011). با کاهش T از سطح آب نمونه‌برداری می‌شود تا ارتفاع و حجم آب ورود به مخزن سد با دقت بیشتری مشخص شوند.

تبدیل z

چون خروجی یک نمونه‌بردار ایده آل $r^*(t)$ با یک سری پالس‌های ضربه با مقادیر $r(KT)$ می‌باشد، برای $t > 0$

$$r^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} r(KT) \delta(t - KT) \quad (1)$$

نیستند. سیستم‌های پیش‌بینی، کنترل و هشدار سیلاب از جمله معیارهای غیرساده‌ای می‌باشند که اهمیت آن روز به روز آشکارتر می‌شود. نصب و پیاده‌سازی سیستم‌های پیش‌بینی، کنترل، تخمین، دبی اوج و هشدار سیلاب هم از دیدگاه مدیریت ریسک سیلاب و هم از دیدگاه مدیریت غیرساده‌ای، منجر به کاهش تلفات و خسارات ناشی از سیلاب می‌گردند (Lumbroso and Gaume, 2012)؛ Sule and Mohammadzadeh-Habili et al., 2009؛ Gholami Camnasio et al., 2013؛ Alabi, 2013؛ (Sowmeé et al., 2011). برای اصلاح اصول طراحی سازه‌ها، بهره‌برداری بهینه از منابع آب، استفاده از فناوری نو، پیشرفته، کامپیوتر و توسعه‌ی نرم‌افزار در شبیه‌سازی حوضه و مخزن ضروری است (Giannakis et al., 2016). پیش‌بینی سیل و کنترل زمان واقعی آن، در نحوه بهره‌برداری از سازه‌های کنترل سیل، مخازن، نحوه مقابله با سیل در کاهش خسارت، ذخیره‌سازی برای مصارف، رها سازی در دره پایین دست، اطلاع‌رسانی به مردم و سازمان‌ها مؤثر بوده و یکی از پیش‌نیازهای طرح‌های توسعه حوضه‌های آبریز به شمار می‌رود (Lumbroso and Gaume, 2010؛ Kumar et al., 2010)؛ (Hajibigloo et al., 2015؛ 2012). سیلاب از جمله سوانحی است که تا حد زیادی قابل پیش‌بینی می‌باشد. پیش‌بینی، کنترل و هشدار سیلاب از روش‌های مدیریت غیرساده‌ای سیلاب و مکمل روش‌های سازه‌ای است که نقش مهمی را در کنترل سیلاب و کاهش خسارات محتمل ایفا می‌کند و می‌تواند تاثیر به‌سزائی در مدیریت ریسک سیلاب داشته باشد. روش مدیریت غیر سازه‌ای در راستای تقویت محیط‌زیست بوده و ضمن تسهیل کردن مدیریت سیلاب، خسارات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی سیلاب را به حداقل می‌رساند (Alonso and Pinyol, 2015؛ Abrari et al., 2016). در این مقاله با استفاده از شیوه‌های نوین، ابزارهای دقیق الکترونیکی، سیستم‌های اندازه‌گیری، پیش‌بینی، کنترل و هشدار دهنده‌ی سیل، طراحی و ساخته می‌شوند. سیستم در گلوگاه رودخانه‌ی ورود سیل به مخزن سد نصب می‌شود. ارتفاع سیل و حجم آن در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود و به وسیله‌ی فرستنده‌های رادیویی و ماهواره‌ای به سیستم مرکزی (در اتاق کنترل) مخابره می‌شوند. در سیستم مرکزی پس از تجزیه و تحلیل، سیل طرح یا خطرناک بودن سیل تشخیص داده می‌شود و با رسم هیدروگراف سیل، بزرگی نقطه‌ی پیک و حجم آب مشخص می‌شود. سپس سیستم هوشمند دریچه یا دریچه‌های سد را به‌طور کامل باز می‌کند به‌طوری‌که بتواند حجم آب مازاد بر ظرفیت مخزن را بدون ایجاد خسارت به سد و تأسیسات آن از خود عبور دهد.

با نصب سیستم پیش‌بینی، کنترل، هشدار دهنده‌ی سیل و هوشمند سازی دریچه، سیلاب‌ها کنترل و نه تنها از آب درون مخزن و سیلاب‌ها استفاده‌ی بهینه به‌عمل می‌آید بلکه از خسارات جانی و

با استفاده از تبدیل لاپلاس

$$Z(e^{-at}f(t)) = F(e^{at}Z) \tag{۷}$$

برای $t > 0$

$$\begin{aligned} Z(\sin \omega t) &= Z\left(\frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j}\right) \\ &= -\frac{1}{2j}\left(\frac{z}{z-e^{j\omega T}} - \frac{z}{z-e^{-j\omega T}}\right) \\ &= \frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1} \end{aligned} \tag{۸}$$

چون هر سیگنال از جمله سیگنال سطح آب برابر با مجموع سیگنال‌های سینوسی و هامونیک‌های (هماهنگ‌های) آن است از معادله (۸) برای ارسال موج نمونه‌برداری سطح آب استفاده می‌شود. از معادله‌های (۱)، (۵)، (۶) و (۷) در ارسال و دریافت سیگنال‌های گسسته و داده‌های نمونه‌برداری شده، تعیین خطای دائمی به ورودی‌های مزاحم، پایداری سیستم‌های بکار رفته در دستگاه پیش‌بینی و کنترل سیل، استفاده می‌شود (Dorf and Bishap, 2010؛ Lin et al., 2010؛ Chen et al., 2012؛ Huschto et al., 2010؛ Lin et al., 2004).

سیستم‌های نمونه‌بردار پسخورد (Feed Back) حلقه بسته
مدل تبدیل Z سیستم‌های نمونه‌بردار پسخورد حلقه بسته همراه سیگنال خروجی نمونه‌برداری شده $y(z)$ در شکل (۲) نشان داده شد.

$$L(r^*(t)) = \sum r(KT) e^{-KST} \tag{۲}$$

$$Z = e^{sT} \tag{۳}$$

اکنون تبدیل Z بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z(r(t)) = Z(r^*(t)) = \sum_{k=0}^{+\infty} r(KT) z^{-k} \tag{۴}$$

به‌طور کلی تبدیل Z یک تابع $f(t)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z(f(n)) = F(z) = \sum_{k=0}^{+\infty} f(KT) z^{-k} \tag{۵}$$

پس تابع تبدیل Z تابع $f(t) = e^{-at}$ به ازای $t > 0$ تعیین می‌شود (Krapf et al., 2015؛ Hu and Jacob, 2012؛ al., 2016).

$$\begin{aligned} Z(e^{-at}) = F(z) &= \sum_{k=0}^{+\infty} e^{-aKT} z^{-K} \\ &= \sum_{k=0}^{+\infty} (e^{-aT} z^{-1})^k \\ &= \frac{1}{1 - e^{-aT} z^{-1}} = \frac{z}{z - e^{-aT}} \end{aligned} \tag{۶}$$

و در حالت کلی

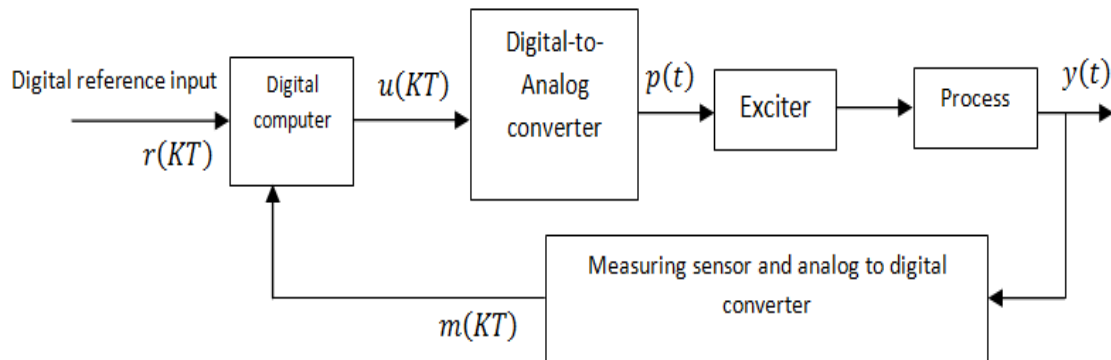


Fig. 1- Digital control system

شکل ۱- سیستم کنترل دیجیتال

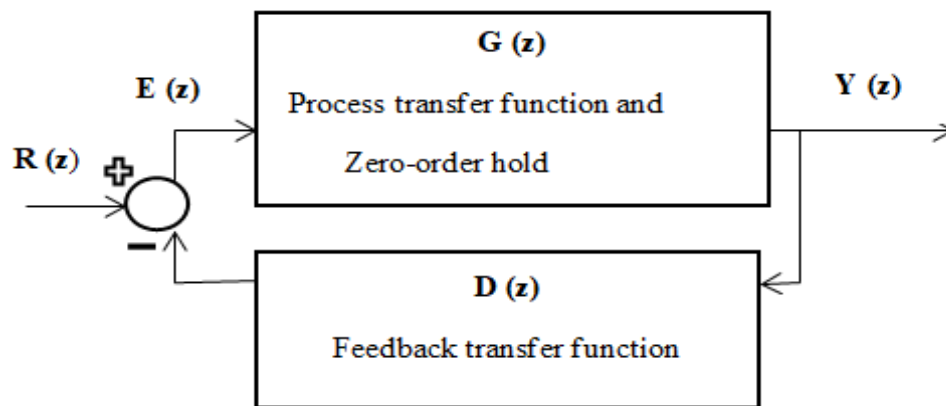


Fig.2- Closed-loop system

شکل ۲- سیستم حلقه بسته

ریشه‌های تابع تبدیل سیستم‌ها، تعیین خطای حالت ماندگار به ورودی مزاحم، فراجپش و زمان نشست، پاسخ گذرای سیستم‌های عمل کنترلی (تناسبی، انتگرالی، مشتقی) PID (Proportional-plus-Integral-plus-Derivative Control) استفاده شد. همان طوری که در شکل (۱) نشان داده شد در یک سیستم کنترل دیجیتال از سیگنال‌های دیجیتال و میکروکنترلر برای کنترل فرایند استفاده می‌شود. مزایای استفاده از اینوع کنترل‌ها، اصلاح اندازه‌گیری حساسیت‌ها، بکارگیری سیگنال‌های کد شده، حسگر، محرک‌های دیجیتالی و کاهش حساسیت به سیگنال مزاحم است (Dorf؛ Chen et al., 2012؛ Tsui and Chan, 2011؛ Karris, 2003؛ and Bishop, 2010).

سیستم‌های هوشمند پی‌بینی سیل و کنترل دریاچه‌ی سرریز و ارتباط میان آن‌ها

پروفیل طولی یک سد، رودخانه ورود به آن در شکل (۳) نشان داده شد. ارتباط میان ایستگاه در محل ورود آب رودخانه به مخزن و اتاق کنترل که در بدنه‌ی سد قرار دارد، بدون سیم و به‌صورت رادیویی و ماهواره‌ای است لذا فاصله‌ی میان آن‌ها می‌تواند چندین کیلومتر باشد. بلوک دیاگرام ایستگاه و ارتباط قسمت‌های مختلف سیستم نمونه‌بردار و اندازه‌گیر ارتفاع آب در شکل (۴) نشان داده شد (Ogata, 2010؛ Medeiros et al., 2012 و Carusone et al., 2012).

تابع تبدیل هر سیستم برابر با نسبت خروجی به ورودی سیستم است. تابع تبدیل سیستم حلقه بسته شکل (۲) برابر است با:

$$\frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{G(z)}{1+G(z).D(z)} \quad (9)$$

$$G_0(s) = \frac{1-e^{-sT}}{s} \quad (10)$$

فرض می‌شود که $G(z)$ تبدیل Z تابع $G(s) = G_o(s)G_p(s)$ باشد و $G_o(s)$ نگاه‌دار مرتبه صفر و $G_p(s)$ تابع تبدیل فرآیند باشد. برای پاسخ $y(KT)$ باید تابع $R(z)$ مشخص و سپس با تقسیم صورت بر مخرج در رابطه (۹) آن را به شکل رابطه (۱۱) نوشته تا به‌دست آید.

$$\begin{aligned} y(z) &= f(0) + f(1)z^{-1} + f(2)z^{-2} + f(3)z^{-3} + \dots \\ y(t) &= \sum_{k=0}^{+\infty} y(KT) \\ &= f(0)\delta(t) + f(1)\delta(t-1) + f(2)\delta(t-2) + \dots \end{aligned} \quad (11)$$

سیستم کامپیوتری یا میکروکنترلرها، داده‌های نمونه‌برداری شده را در فواصل از پیش تعیین شده‌ای بصورت یک سری سیگنال‌های زمانی بکار می‌برد. داده‌های نمونه‌برداری با رابطه $z=e^{sT}$ قابل انتقال به حوزه‌ی Z و شکل‌گیری سیگنال‌های گسسته است. در این مقاله از معادلات (۵)، (۶)، (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) در تجزیه و تحلیل ثبات سیستم، پایداری و پیاده‌سازی آن، تعیین نمودارهای مکان هندسی

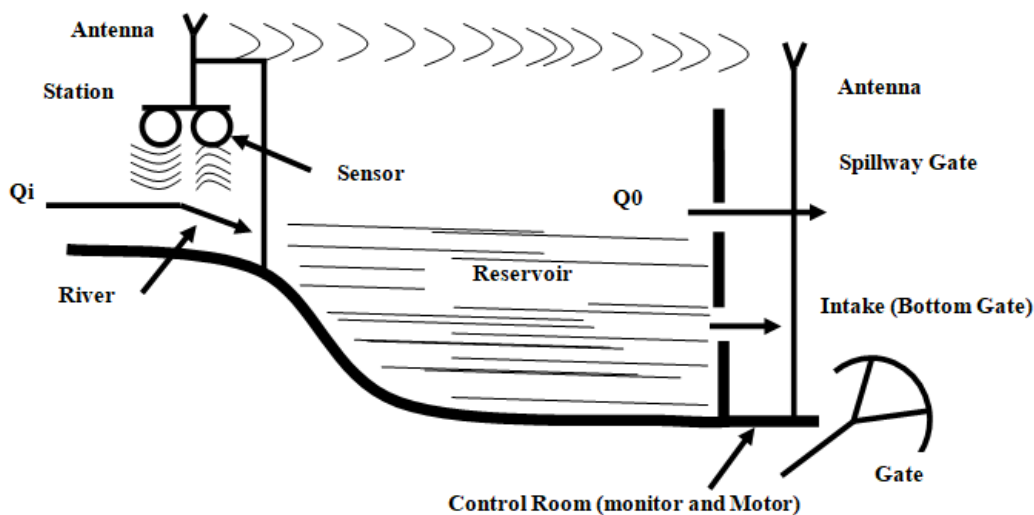


Fig. 3- Dam longitudinal profile, reservoir, river and downstream channel

شکل ۳- پروفیل طولی سد، رودخانه و کانال پایین دست

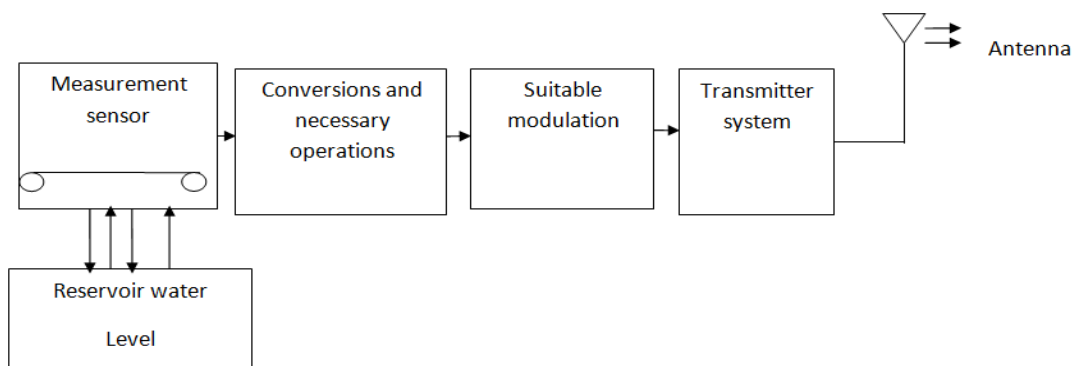


Fig. 4- Block diagram of the water height measuring station and the connection between its different parts

شکل ۴- بلوک دیاگرام ایستگاه اندازه‌گیر ارتفاع آب و ارتباط میان قسمت‌های مختلف آن

محاسبه می‌شود. با استفاده از معادله (۱) نمونه‌برداری از ارتفاع آب در فواصل زمانی مشخص صورت می‌گیرد. با استفاده از معادله‌های (۵) و (۷)، نمونه‌های ارتفاع آب، پس از فرایند مودلاسیون (Modulation)، توسط سیستم‌های مخابراتی و رادیویی به اتاق فرمان یا کنترل که در بدنه‌ی سد نصب است، ارسال می‌شود. در اتاق فرمان، اطلاعات دریافت و پس از فرایند دی‌مودلاسیون (Demodulation)، آشکار می‌شوند. سپس نمونه‌های ارتفاع آب با کامپیوتر یا میکروکنترلر پردازش و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. بلوک دیاگرام گیرنده، تجزیه و تحلیل‌کننده‌ی ارتفاع آب، کنترل‌کننده درجه در شکل (۵) نشان داده شد.

با توجه به شکل (۴)، سیستم نمونه‌گیر در گلوگاه ورود آب رودخانه به مخزن سد، در فاصله‌ی معینی از سطح آب نصب می‌شود. توسط آن سیستم، امواج آلتراسونیک با فرکانس معلوم به سطح آب گسیل می‌شود. سپس امواج انعکاس یافته از سطح آب، توسط سیستم گیرنده دریافت می‌شود. زمان رفت و برگشت این موج به‌وسیله نوسان‌ساز موجود در سیستم نمونه‌گیر، معلوم و مشخص می‌گردد. با مشخص شدن زمان رفت و برگشت موج، سرعت امواج آلتراسونیک در هوا، ارتفاع محل نصب سیستم تا سطح آب محاسبه می‌شود. با کسر ارتفاع محل نصب سیستم تا سطح آب از ارتفاع نصب سیستم نمونه‌بردار تا کف رودخانه، ارتفاع آب ورود به مخزن به‌دست می‌آید. سپس با استفاده از دهانه‌ی دره‌ی رودخانه، حجم آب ورود به مخزن

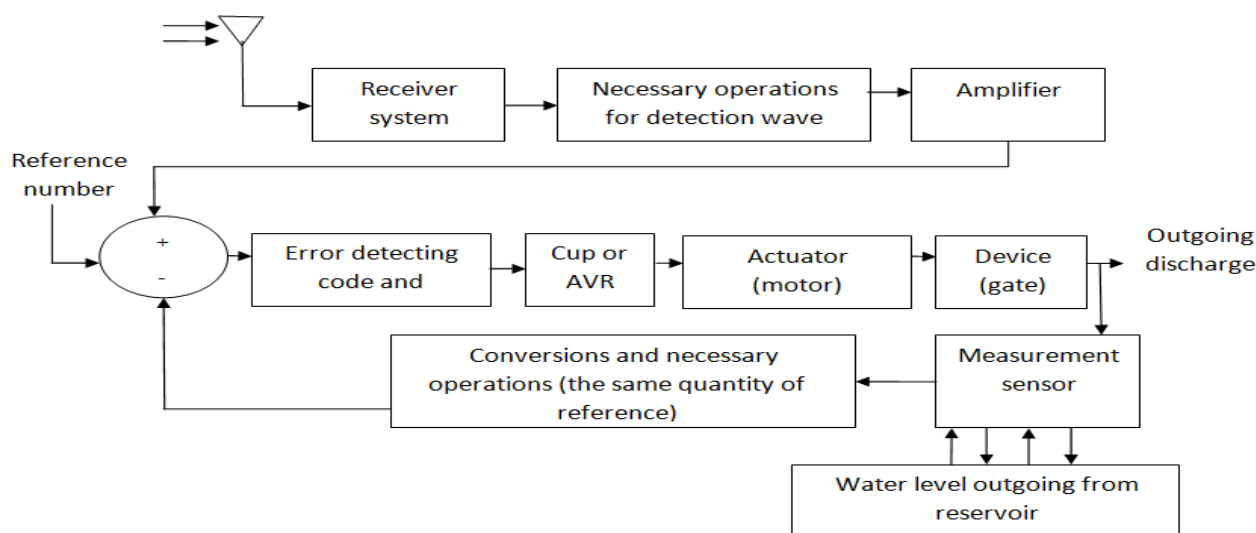


Fig. 5- Receiver, water height analyzer, gate control system

شکل ۵- گیرنده، تجزیه و تحلیل کننده ارتفاع آب، کنترل کننده دریچه

ضروری مسئولین سد را مطلع می‌کند. چگونگی کارکرد المان‌ها، ارتباط میان آن‌ها، و ارسال امواج به سطح آب و دریافت امواج بازتابش، مخابره کردن اطلاعات به اتاق فرمان، دریافت و تجزیه و تحلیل اطلاعات در اتاق فرمان، نحوه کارکرد موتور الکتریکی و یا محرک فرآیند و کنترل آن، باز شدن دریچه و نرم‌افزار فعال کننده المان‌ها مفصل بوده و در حد ضرورت بحث شد. با توجه به گستردگی مدارهای الکترونیکی مربوطه، از رسم آن‌ها در مقاله صرف نظر شد.

نتایج و بحث

تحلیل عددی، بحث، بررسی نتایج و یافته‌ها با یک مثال

چگونگی استفاده از معادله‌های (۱)، (۵)، (۶)، (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰)، (۱۱) و بلوک‌دیگرام‌ها شکل (۴) و (۵)، ارتباط میان قسمت‌های مختلف ایستگاه با اتاق کنترل، کارکرد سیستم، در طراحی و ساخت سیستم پیش‌بینی و کنترل سیل، هوشمندسازی دریچه‌ها و دستگاه‌های هشدار دهنده سیل، بحث شد. سیستم‌ها، بارها در کانال‌های باز و آزمایشگاه آزمایش گردیدند و از دقت بالایی برخوردار هستند. فرآیند عملیات سیستم پیش‌بینی سیل و کنترل آن، برای هر سیلی و به هر اندازه که باشد، انجام می‌گیرد. سیستم، محدوده سیل‌های بسیار کوچک که ارتفاع آب درون مخزن را تا چند میلی‌متر افزایش می‌دهند تا سیل‌های بسیار بزرگ که ارتفاع آب درون مخزن را تا بیشتر از ارتفاع سیل طرح سد افزایش می‌دهند، را شامل می‌شود. کارکرد سیستم بستگی به اندازه سیل ندارد.

در ادامه به بررسی نتایج، یافته‌ها و انطباق‌پذیری روش، به یک مثال پرداخته شده است. در ابتدا، حالت جریان دائمی و آب در تراز

با توجه به شکل (۵)، بر اساس اطلاعات دریافت شده، هیدروگراف سیل ورود به مخزن توسط سیستم مرکزی رسم می‌شود. بر اساس هیدروگراف ورودی و رسم هیدروگراف دبی خروج از مخزن، حداکثر ارتفاع آب و یا پیک سیل عبوری از مخزن سد معین می‌شود. با توجه به حداکثر ارتفاع آب عبوری از مخزن، اگر حجم آب ورود به مخزن قابل تعدیل و ذخیره نباشد سیستم‌های کامپیوتری و پردازشگر به‌طور اتوماتیک و بدون دخالت نیروی انسانی، دریچه و یا در صورت لزوم دریچه‌های دیگری از سد را به‌صورت کامل باز می‌کنند تا آب سیل از مخزن خارج شده و به سد و تأسیسات پایین دست آن خسارت وارد نمایند (Lin et al., 2004; Carusone et al., 2012). بر اساس بلوک دیگرام شکل‌های (۴) و (۵)، سیستم نمونه‌بردار، تکمیل کننده فرآیند ارسال امواج در ایستگاه، سیستم سنجش ارتفاع آب رودخانه، سیستم‌های مدولاسیون، دی‌مدولاسیون، تقویت کننده‌ها، سیستم‌های گیرنده و آشکار ساز امواج در اتاق کنترل، پردازشگر ارتفاع آب، کنترل کننده هوشمند دریچه، سیستم‌های هشدار دهنده در مواقع اضطرار، طراحی شدند. سپس با استفاده از قطعات مختلف از جمله، میکروکنترلر، حسگر، فاصله‌سنج آلتراسونیک، فرستنده و گیرنده امواج رادیویی، کنترل دیجیتال و سایر قطعات الکترونیکی دیگر ساخته شدند. در طراحی و ساخت سیستم‌ها از نرم‌افزارهای مختلف از جمله، c، ++c، python، #c و arduino استفاده شد. سیستم‌ها پس از طراحی و ساخت، در آزمایشگاه و کانال‌های روباز به‌صورت مکرر مورد استفاده قرار گرفتند که نتایج آن‌ها مطلوب و از دقت بالایی برخوردار هستند. سیستم پیش‌بینی و کنترل سیل، کاملاً هوشمند است و در فرآیند عمل، از نیروی انسانی استفاده نمی‌شود. سیستم پیش‌بینی و کنترل سیل، مجهز به دستگاه‌های هشدار دهنده است و در مواقع

یا سیگنال گسسته مشخص می‌شود. با استفاده از معادله (۱) داده‌های نمونه‌برداری شده در شکل (۶) نشان داده شد. ارتفاع آب نمونه برداری شده با استفاده از معادله (۸) به سیگنال پیوسته (پالس) تبدیل شده که در شکل (۷) نشان داده شده است.

دریچه‌ی سرریز قرار دارد. در تاریخ ۲۵، ۲۶ و ۲۷ اسفند ماه سال ۹۶، سیلابی از رودخانه‌ی بشار وارد دریاچه‌ی سد کارون شده که دبی آن در جدول (۱) یادداشت گردیده است. روندیابی سیل در فاصله یک ساعت از همدیگر صورت گرفته است. هیدروگراف خروجی برای زمانی معادل ۶۲ ساعت بعد از شروع سیلاب محاسبه و رسم شد. از سیل ورودی به مخزن سد به طور مرتب توسط سیستم نصب شده در ایستگاه شکل (۳) نمونه‌برداری شده و ارتفاع آب نمونه‌برداری شده

جدول ۱- شدت جریان سیل ورودی در زمان‌های مختلف ایستگاه پاتاوه واقع در مسیر رودخانه‌ی بشار، آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد

Table 1- Input flood flow rates at different times of Pataveh station located in Bashar river, Regional water Kohkilouyeh and Boyerahmad Province

Initiation time (hours)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inlet rate (m^3/s)	0	0.9	1.18	20.3	38.8	55.2	71.5	93	114	140	166
Initiation time (hours)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Inlet rate (m^3/s)	166	209	251	265	279	275	270	248	225	207	188
Initiation time (hours)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Inlet rate (m^3/s)	181	173	156	138	129	120	111	102	96	89	87
Initiation time (hours)	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Inlet rate (m^3/s)	84	81.3	78.7	78.7	76.3	73.9	71.6	6902	66.9	64.7	64.7
Initiation time (hours)	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Inlet rate (m^3/s)	64.7	62.5	60.3	60.3	60.3	56.2	52	52	52	52	52
Initiation time (hours)	55	56	57	58	59	60	61				
Inlet rate (m^3/s)	52	52	50.1	48.1	48.1	48.1	48.1				

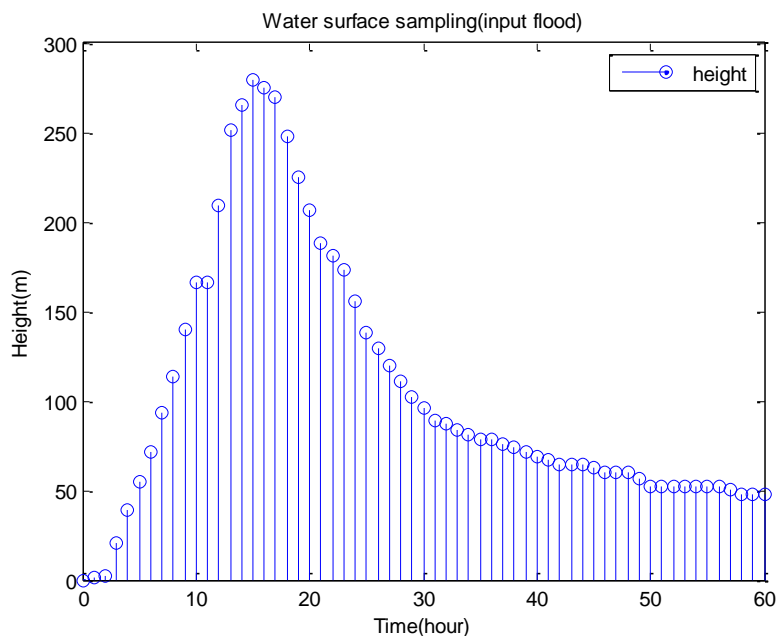


Fig. 6- Height of the sampled water
 شکل ۶- ارتفاع آب نمونه برداری شده

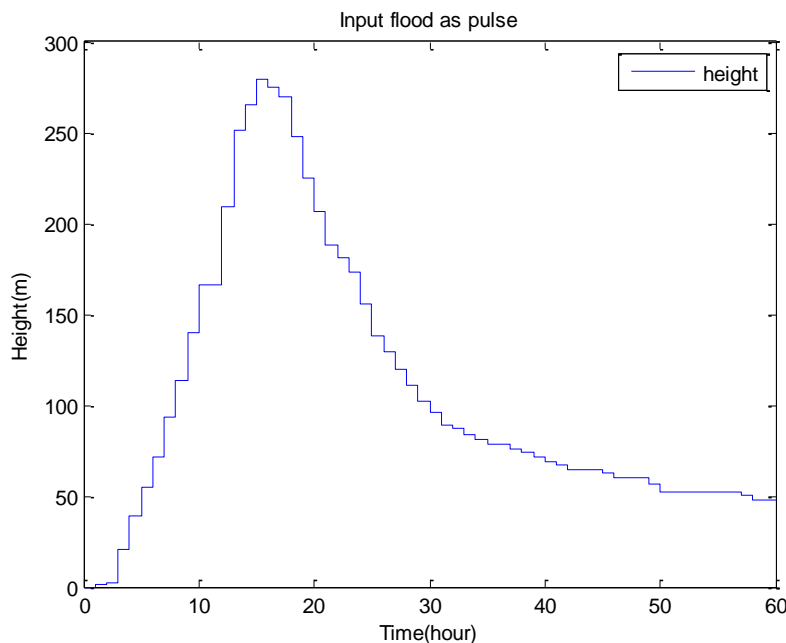


Fig. 7- Input flood as pulse and continuous signal
 شکل ۷- سیل ورودی به صورت پالس و سیگنال پیوسته با زمان

دیجیتال تبدیل شده است. سیگنال‌های دیجیتالی ایجاد شده به وسیله یک موج سینوسی حامل با فرکانس بالا به مدولاسیون (Frequency-Shift Keying) FSK (Shift keying) مدوله شده و سپس توسط فرستنده‌های

سپس سیگنال پالس نشان داده شده در شکل (۷) کدگذاری شد (برای دقت بیشتر از تعداد بیت زیاد استفاده می‌شود). به عبارت دیگر مقدار ارتفاع آب به عدد دودویی تبدیل و سپس به سیگنال

خطای ۰/۰۲٪ (دو صدم درصد) این دو روش قابل اغماض و صرف نظر است. البته روش پالس برای تعیین دبی نقطه‌ی تعادل یک روش تقریبی است و دقیق نیست. حال، کدامیک از این دو روش به واقعیت نزدیکتر است؟ باید بیشتر بررسی شود. در سیستم‌های با ثبات، باید اثر تغییر متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای وابسته، کنترل شوند. چون سیستم‌های پیش بینی سیل، کنترل آن و دریچه‌ی سرریز، به صورت سری و پشت سرهم بسته می‌شوند، خروجی هر کدام برای سیستم بعدی ورودی و متغیر مستقل است در حالی که برای سیستم قبلی خروجی و متغیر وابسته است. علاوه بر آن، درون هر سیستم، پارامترهایی وجود دارد که تحت تأثیر حرارت، نوسانات برق و سیگنال‌های مزاحم، قرار گرفته و مقدار آن‌ها تغییر می‌کند. اگر تغییر پارامترها (متغیرهای مستقل) کنترل نشوند، باعث ناپایداری و بی‌ثباتی سیستم می‌شوند. بنابراین، باید حساسیت متغیرهای مستقل (پارامترها) برای هر سیستم مشخص شود و طوری تنظیم شوند که سیستم‌ها از حالت پایدار و ثبات خارج نشوند. این فرآیند در طراحی و ساخت سیستم‌های بکار رفته اعمال گردید. حساسیت و اثر تغییر پارامترهای سرعت، فشار، حجم آب ذخیره شده در مخزن سد و دبی عبور از دریچه‌ی سرریز، بر روی دریچه‌ی سرریز و دستگاه حرکت دهنده‌ی آن آشکار می‌شود که باید محاسبه و کنترل شوند. چون اثر تغییر این کمیت‌ها قابل حذف نیستند، باید پارامترهای موتور الکتریکی یا دستگاه حرکت دهنده‌ی دریچه سرریز را طوری تعیین و اصلاح کرد که توانایی جابه‌جا کردن آن را بر اساس فرمان‌های سیستم کنترل، داشته باشد. سیستم هوشمند در پیش بینی سیل و کنترل آن از راه دور، مغایر با روش پالس نیست و از دقت، سرعت و اطمینان زیادی نیز برخوردار است و فاقد خطای نیروی انسانی در اندازه‌گیری دبی ورود به مخزن و بازشدگی دریچه‌ی سرریز می‌باشد. سیستم پیش‌بینی سیل و کنترل هوشمند دریچه‌ی سرریز، طراحی و ساخته شد و در آزمایشگاه و کانال‌های باز به صورت مکرر آزمایش گردید که از کارایی و عملکرد خوبی برخوردار است. با نصب این سیستم، اطلاعات سیل ورود به مخزن به اتاق کنترل مخابره و تصمیم‌گیری هوشمندانه و به موقع، برای باز شدن دریچه یا دریچه‌های سد صورت می‌گیرد. این سیستم مجهز به تجهیزات هشدار دهنده نیز می‌باشد.

وجود این سیستم، کاستی‌های روش‌های غیر اتوماتیک و یا نیمه اتوماتیک را بر طرف می‌کند و بهره‌وری سد را افزایش می‌دهد. با نصب این سیستم آب سیلاب‌ها کنترل و از تلفات جانی و مالی در پایین دست سد جلوگیری به عمل خواهد آید.

رادیویی به اتاق فرمان ارسال می‌شوند (et al., 2012 Carusone و Chang et al., 2010). در اتاق کنترل یا فرمان، نمونه‌های ارتفاع آب از سیگنال مدوله شده پیاده و آشکار می‌شوند (از توضیحات چگونگی عمل صرف نظر می‌شود). با استفاده از معادله‌های (۸) و (۹) سیگنال گسسته به وسیله‌ی مبدل دیجیتال به آنالوگ به سیگنال پیوسته (پالس) تبدیل می‌شود. سیگنال ایجاد شده همان هیدروگراف سیل ورودی است که در شکل (۷) نشان داده شده است. بنابراین می‌توان سیل را قبل از ورود به مخزن در اتاق فرمان مشاهده کرد. با استفاده از میکروکنترلر یا پردازشگر موجود در اتاق فرمان و برنامه نوشته شده، هیدروگراف سیل خروجی رسم می‌شود. نقطه‌ی پیک یا حداکثر ارتفاع آب عبوری از دریچه‌ی سرریز معین شده که در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۸)، حداکثر ارتفاع آب عبوری از دریچه‌ی سرریز با ارتفاع مینا که در زمان طراحی سد و طراحی سیل طرح سد مشخص شد، مقایسه گردید. حداکثر ارتفاع آب در هر حالت از ارتفاع مینا کوچکتر، بزرگتر و یا مساوی آن است و سیستم برای هر حالت عکس‌العمل هوشمندانه‌ای را که از قبل در نظر گرفته شده از خود نشان می‌دهد و دریچه‌ی سرریز را به اندازه‌ی مطلوب باز می‌کند. اگر حداکثر ارتفاع آب (دبی نقطه‌ی تعادل هیدروگراف سیل ورود و خروج از سد) به اندازه حداکثر ارتفاع سیل طرح باشد، سیستم هوشمند، دریچه را بطور کامل باز می‌کند تا آب سیل از مخزن خارج شود.

اگر حداکثر ارتفاع آب از اندازه ارتفاع سیل طرح سد بیشتر باشد سیستم علاوه بر دریچه‌های سرریز، دریچه‌های دیگر یا آبگیرهای موجود در بدنه‌ی سد را به صورت هوشمند و اتوماتیک باز می‌کند. با باز شدن این دریچه‌ها یا آبگیرها، ارتفاع حداکثر آب کاهش یافته و به سد خسارتی وارد نمی‌شود. مقدار کاهش حداکثر ارتفاع آب بستگی به سیل طرح و نظر طراح دارد که هیدروگراف مربوطه در شکل (۹) نشان داده شده است. با توجه به داده‌های جدول (۱) و با استفاده از روش پالس که در روندیابی سیل ورود به مخزن به کار می‌رود، نمودار هیدروگراف ورود و خروج از مخزن رسم شد که در شکل (۸) نشان داده شده است

(Fenton, 2009; Hosseini and Abrishami, 2010) ، (Alizadeh, 2011؛ Samani and Heydari, 2007). اگر هیدروگراف ورود و خروج از مخزن سد، بر اساس سیستم هوشمند رسم شود نمودار آن نیز منطبق بر شکل (۸) خواهد بود که تفاوت آنها قابل مشاهده نیست. دبی نقطه‌ی تعادل هیدروگراف سیل ورود و خروج از مخزن با استفاده از روش سیستم هوشمند، ۰/۰۲٪ (دو صدم درصد) از دبی نقطه‌ی تعادل محاسبه شده به روش پالس بیشتر است.

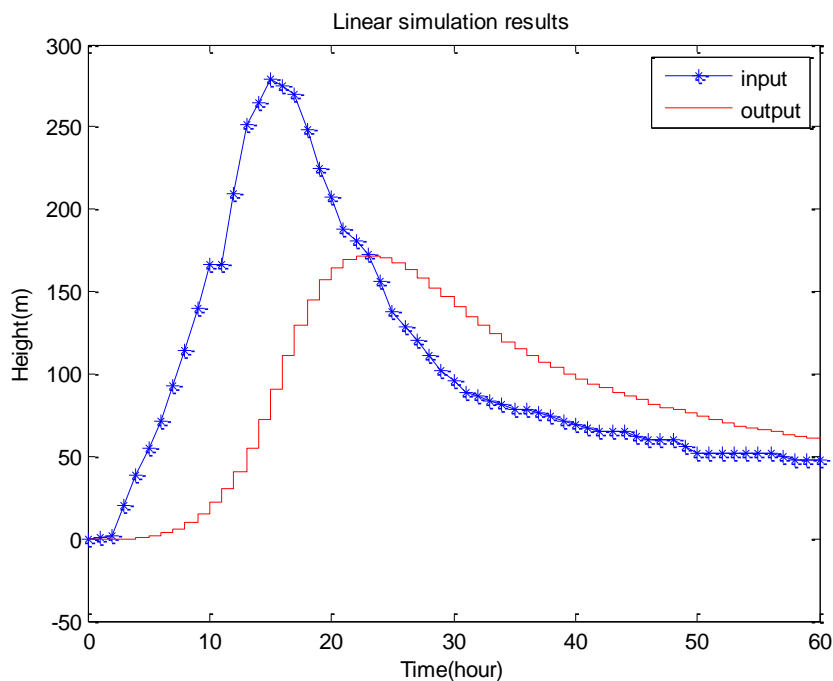


Fig. 8- Input and output hydrographs by pulse method and intelligent system
 شکل ۸- هیدروگراف ورودی و خروجی به روش پالس و سیستم هوشمند

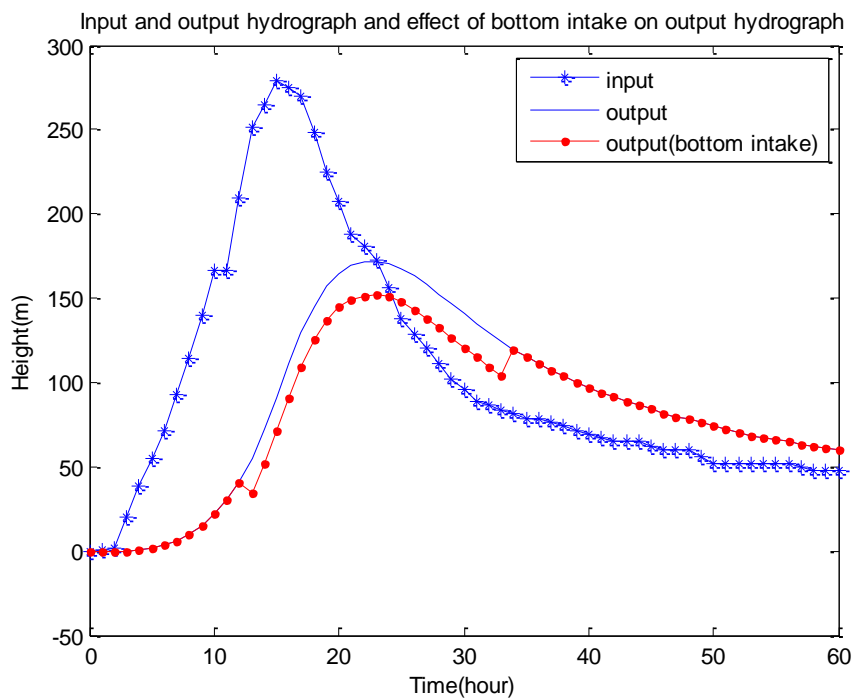


Fig. 9- Effect of lower gate opening or bottom intake on output hydrograph
 شکل ۹- اثر باز شدن دریچه تحتانی یا آبگیر بر هیدروگراف خروجی

نتیجه گیری

دریچه‌ی سرریز، کنترل می‌شوند. با نصب سیستم هوشمند، هیدروگراف سیل، حداکثر ارتفاع آب، حجم آب ورود به مخزن، مقدار بازشدگی دریچه، سرعت آب عبوری از دریچه‌ی سرریز و دبی آن روی صفحه‌ی نمایشگر در اتاق کنترل نمایش داده می‌شوند و کاربران از وضعیت سد مطلع شده و اقدامات لازم را به موقع انجام می‌دهند. روش پیش‌بینی و کنترل هوشمند سیل، بسیاری از کاستی‌های روش‌های دستی و نیمه اتوماتیک را کاهش داده و باعث بهره‌وری بالای سد، استفاده‌ی بهینه از آب و کنار زدن روش‌های سعی و خطای موجود می‌شود. سیستم طراحی شده ساده، قابل نصب، از اعتبار و اطمینان لازم برخوردار است. این سیستم قابل اعتماد بوده و سبب ذخیره‌ی آب بیشتر در مخزن، کاهش خسارات ناشی از سیل به بدنه سد و منابع مالی و جانی پایین دست می‌گردد.

تقدیر و تشکر

از دوستان و همکاران محترم که در طراحی، برنامه نویسی و ساخت دستگاه کمک کردند و در انجام آزمایشات مختلف همکاری کردند، قدر دانی می‌شود.

کمبود آب‌های سطحی و عمقی، افزایش نیازها آبی، استفاده‌ی بهینه از مخازن را افزایش داده است. به‌کارگیری روش‌های مدیریتی ساده و کاربردی برای پیش‌بینی سیل و کنترل آن فزونی یافته است. با استفاده از سیستم‌های الکترونیکی و مخابراتی سیل طرح، پیش‌بینی و روشی عملی و هوشمند برای باز شدن اتوماتیک دریچه‌ی سرریز و در صورت لزوم سایر دریچه‌های سد پیشنهاد می‌شود. برای صحت‌سنجی، عملکرد سیستم هوشمند با عملکرد روش پالس در روندیابی سیل درون مخزن، مقایسه شد. سیستم هوشمند، ارتفاع آب نقطه‌ی تعادل هیدروگراف سیل ورود و خروج از مخزن را 0.02% بیشتر از روش پالس نشان داد. بنابراین هر دو روش هم‌پوشانی دارند. چون در سیستم هوشمند، اندازه‌گیری ارتفاع آب توسط دستگاه‌های الکترونیکی، ابزار دقیق و میکروکنترلر انجام می‌گیرد از دقت بالا و خطای ناچیز برخوردار است. حساسیت پارامترهای موجود در سیستم هوشمند، محاسبه و کنترل شده که باعث پایداری و ثبات سیستم شدند. حساسیت و اثر تغییر کمیت‌های هیدرولیکی آب، ارتفاع آب درون مخزن، حجم آب ذخیره شده، دبی عبور از دریچه و ارتفاع آب عبوری از دریچه، با اصلاح پارامترهای موتور الکتریکی یا دستگاه محرک

References

- 1- Abrari, L., Talebbeydokhti, N. and Sahraei, S., 2015. Investigation of hydraulic performance of piano shaped weirs using three dimensional numerical modeling. *Ijst, Transactions of Civil Engineering*, 39, PP. 539-558. (In Persian).
- 2- Acanal, N. and Haktanir, T., 1999. Five stage flood routing for gated reservoirs by grouping floods into five different categories according to their return periods. *Hydrological Sciences Journal*. 44(2), pp. 163–172.
- 3- Ahmad Al_Issa, H., Thuneibat, S., Ijeh, A. and Abdesalam, M., 2016. Sensors application using PIC16F877A microcontroller. *American Journal of Remote Sensing*. 4(3), pp. 13-18.
- 4- Alizadeh, A., 2011. *Principles of Applied Hydrology*, 32th edition, Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, pp. 00-80. (in Persian).
- 5- Alonso, E.E. and Pinyol, N.M., 2016. Numerical analysis of rapid drawdown: Applications in real cases. *Water Science and Engineering*. 9(3), pp. 175-182.
- 6- Avila-Melgar, E.Y., Cruz-Chávez, M.A. and Martinez-Bahena, B., 2017. General methodology for using epanet as an optimization element in evolutionary algorithms in a grid computing environment for water distribution network design. *Water Science & Technology: Water Supply*. 17(1), pp. 39-51.
- 7- Brandl, M., Posniecek, T. and Kellner, K., 2016. Position estimation of RFID-based sensors using SAW compressive receivers. *Sensors and Actuators*. A 244, pp. 277–284.
- 8- Bartosiewicz, Z., Kotta, U., Pawłuszewicz, E. and Wyrwas, M., 2011. Control systems on regular time scales and their differential rings. *Math. Control Signals System*. 22, pp. 185–201.
- 9- Carusone, T.C., John D.A. and Martin, K.W., 2012. *Analog Integrated Circuit Design, Second Edition*. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, pp. 130-295.

- 10-Camnasio, E., Erpicum, S., Orsi, E., Pirotton, M., Schleiss, A. J., & Dewals, B., 2013. Coupling between flow and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*. 51(5), pp. 535–547.
- 11-Chang, L. C., Chang, F. J. and Hsu, H.C., 2010 Real-time reservoir operation for flood control using artificial intelligent techniques. *International Journal of Nonlinear Sciences & Numerical Simulation*. 11(11), pp. 887-902.
- 12-Chao, P.C.P., 2011. Energy harvesting electronics for vibratory devices in self-Powered sensors. *Institute of Electrical and Electronics Engineers journals (IEEE Sens. J)*, 11, pp. 3106–3121.
- 13-Chen, W., Anderson, B.D.O., Deistler, M. and Filler, A., 2012. Properties of blocked linear systems. *Automatica*. 48, pp. 2520–2525.
- 14-Dorf, R.C. and Bishop, R.H., 2010. *Introduction solutions manual for modern control systems*. Twelfth Edition, Prentice Hall, New York.
- 15-Fenton, J.D., 2009. Reservoir Routing. *Hydrological Sciences Journal*. 37(3), pp. 233-246.
- 16-Fotakis, D. and Sidiropoulos, E., 2014. Combined land-use and water allocation planning. *Annals of Operations Research*. 219 (1), pp. 169–185.
- 17-Gholami Sowmée, F., Fakheri Fard, A., Dinpashoh, Y., 2011. Derivation a Geomorphological Unit Hydrograph Based on Cascade Linear Reservoirs (Case study: Liqvan Catchment)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 34(2), pp. 83-94.
- 18-Hajibigloo, M., Rashidi, M., Sarbazi, M., 2015. Flood Warning Systems Approach to Damage Analysis Indisaster Management (Case Study: Mianeh-City)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(3), pp. 89-103.
- 19-Hosseini, S. M., Abrishami, J., 2010. *Hydraulic of Open Channels*, Twenty-Fourth Edition, *Astan Quds Razavi, Mashhad* (In Persian).
- 20-Giannakis, E., Bruggeman, A., Djuma, H., Kozyra J. and Hamme, J., 2016. Water pricing and irrigation across europe: Opportuneties and constraints for adopting irrigation scheduling decision support systems. *Water Science & Technology: Water Supply*. 16 (1), pp. 245-252.
- 21-Hu, Y. and Jacob, M., 2012. Higher degree total variation (HDTV) regularization for image recovery. *Institute of Electrical and Electronics Engineers journals(IEEE) Trans. Image Processing*. 21, pp. 2559–257.
- 22-Huschto, T., Feichtinger, G., Hart, R.F., Kort, P.M., Sager, S. and Seidl, S.S., 2011. Numerical solution of a conspicuous consumption model with constant control delay. *Automatica*. 47, pp. 1868–1877.
- 23-Inoue, M., Wada, T., Ikeda, M. and Uezato, E., 2015. State-space H_∞ controller design for descriptor systems. *Automatica* 59, pp. 164–170.
- 24-Karris, S.T., 2003. *Signals and System*. Second Edition, California: Orchard Publications, California.
- 25-Krapf, T., Kuhn, R.M., Kauf, P., Gantenbein-Demarchi, C.H. and Fieseler, L., 2016. Quantitative real-time PCR does not reliably detect single fecal indicator bacteria in drinking water. *Water Science & Technology: Water Supply*. 16(6), pp. 1674-1682.
- 26-Kumar, D.N., Baliarsingh, F. and Raju, K.S., 2010. Optimal reservoir operation for flood control using folded dynamic programming. *Water Resource Management*. 24 (6), pp. 1045–1064.

- 27-Lin, P.H., Wong, D.S.H., Jang, S.S., Shieh, S.S. and Chu, J.Z., 2004. Controller design and reduction of bullwhip for a model supply chain system using z-transform analysis. *Journal of Process Control*. 14, pp. 487–499.
- 28-Lumbroso, D. and Gaume, E., 2012. Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *J. Hydrol.* 414-415, pp. 16-30.
- 29-Medeiros, S.C., Hagen, S.C. and Weishampel, J.C., 2012. Comparison of flood-plain surface roughness
- 30-Mohammadzadeh-Habili, J., Heidarpour, M., Mousavi, S.F. and Haghiabi, A.H., 2009. Derivation of reservoir's area-capacity equations. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(9), pp.1017-1023.
- 31-Monisha, S., Ratan, R. and Luthra, S.K., 2015. Design & Development of smart ultrasonic distance measuring device. *International Journal of Innovative Research in Electronics and Communications (IJIREC)*. 2 (3), pp. 19-23.
- 32-Ogata, K., 2010. *Modern control engineering*. Fifth Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- 33-Samani, J.M.V. And Heydari, M., 2007. Reservoir routing through Successive rock fill detention Dams. *J. Agric. Sci. Technol.* 9, pp. 317-326.
- 34-Sule, B.F. and Alabi, S.A., 2013. Application of synthetic unit hydrograph methods to construct storm hydrographs. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*. 5 (11), pp. 639-647.
- 35-Tsui, K.M. & Chan, S.C., 2011. A Versatile iterative framework for the reconstruction of band limited signals from their Non uniform samples. *J Sign Process Syst.* 62, pp. 459–468.
- 36-Tu, Y.Q. and Shen, Y.L., 2017. Phase correction autocorrelation-based frequency estimation method for sinusoidal signal. *Signal Processing*. 130, pp. 183–189.