

**EXTENDED ABSTRACT**

**Determination of Opening Level, Spillway Gate Dimensions and its Control using Linearization of the Outgoing Discharge Equations and the Water Level of the Dam Reservoir**

M. A. Lotfollahi Yaghin<sup>1\*</sup> and M. Rahim Afshani<sup>2</sup>

1\* - Corresponding Author, professor, PhD, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran. ([a\\_lotfollahi@tabrizu.ac.ir](mailto:a_lotfollahi@tabrizu.ac.ir)).

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

Received: 29 June 2017    Revised: 8 September 2017    Accepted: 11 September 2017

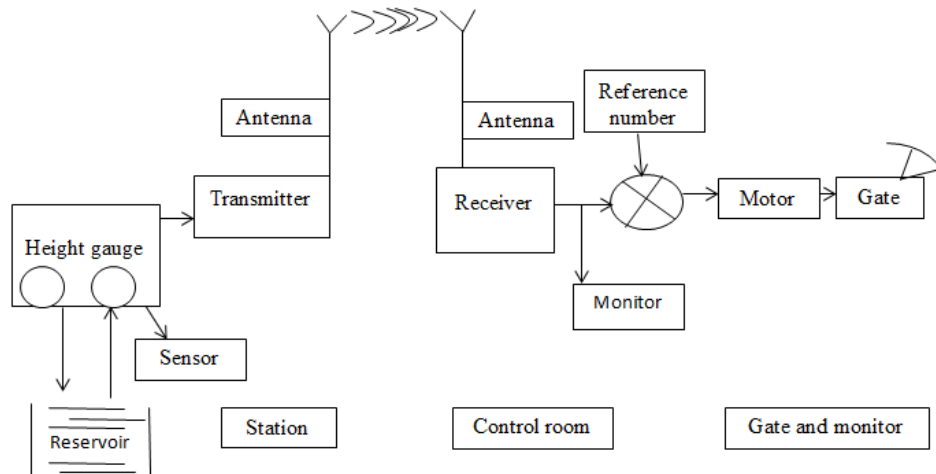
**Keywords:** Smart Spillway Gate, Geometric Properties of Spillway Gate, Gated Spillway, Proper Utilization of Dam Reservoir. **DOI:** 10.22055/jise.2017.22234.1596.

**Introduction**

Spillway gates are used to increase water depths on power generating turbines, regulate the flow passing the spillway and augment the safety of the dam and its installations during flooding. Inappropriate performance, inaccuracy in determining the proper dimensions and sudden opening of the spillway gate(s) causes vibration, overtopping, instability in the dam, and also damages to the dam's body, its installations and even downstream areas. Regarding the rainfall reduction, adjusting reservoir level, increasing water pressure on power generating turbines and proper use of water inside the reservoir, determining the accurate dimensions of the gate and making smart spillway gate(s) are required. Using the technique of linearizing the equations of discharge passing spillway and water level inside the reservoir and the point of equilibrium of the incoming and outgoing discharge hydrograph, the dimensions of the spillway gate are carefully designed and constructed in accordance with the environmental conditions and its installation site. By smarting the spillway gate and determining its precise dimensions, it will be possible to control floods remotely, manage water consumption, save manpower and reduce visual error.

**Material and Methods**

Non-linear equations related to discharge passing the spillway and water level and volume inside the reservoir were first converted to linear equations, and then the equilibrium point of the incoming and outgoing hydrographs and the gate opening parameter were determined. Regarding the water height inside the reservoir or the flood design height, the maximum water height (minimum gate height) was measured. Then, the value of the opening parameter was determined based on the maximum height of the passing water. Because of the wide range of variations in the opening parameter, the geometric location of the equilibrium point of the incoming and outgoing flood hydrograph in the spillway was determined in accordance with environmental and economic condition and also gate's installation site. The geometric dimensions of the gate were determined based on the geometric location of the hydrograph balance point related to the incoming and outgoing flood. The block diagram of Fig. 1 was used for smart automatic control of the spillway gate(s).



**Fig.1- The block diagram of the station and control room**

Sampling of superficial water at specified intervals was carried out by transmitting and receiving devices. To sample the superficial water, the system first sends ultrasonic waves to the water surface and then receives waves from it. Considering the waves sending and receiving time as well as the wave velocity in the air, the distance between the system and the water surface was determined then. By deducting this distance from the distance between the system installation site and the bottom of the reservoir, the water height was obtained. The values obtained for the water height were transmitted via the radio and satellite system to the control system in the control room (located in the dam's body). The control system analyzes these values and then compares them with the base values. If the water height is higher, lower or equal to the base value, the control system then sends the necessary control command to the gate actuator (e.g. electric motor, hydraulic device or pneumatic system) and the gate is opened, closed or stays constant based on the received command. This operation is repeated to keep the water level within the desired range. The smart system was made up of electronic elements, microprocessors, ATMEGA8, water height sensor, ultrasonic and radio transmitter and receiver devices, electric motors and other electronic components. In the design of smart systems, C, C++ and ARDUINO softwares were used. The designed system was tested repeatedly in the lab to confirm the desirability of its results as well as its accuracy.

### Results and Discussion

Following the linearization of the equation of the outgoing discharge and the water height inside the dam's reservoir, there was considerable flexibility in the design of the spillway capacity and the geometric characteristics of the gate(s). The expansion of the variation of the opening parameter increases the scope of the design of the gates dimensions and geometric characteristics, simplicity and adaptability to the environmental conditions and the gate's installation site. The smart system shows the water height, the water volume inside the reservoir, the flow rate and the outgoing water velocity in the gate and the hydrograph of the flood entering the reservoir on the monitor screen. The smart system is equipped with warning units and can detect destructive floods and notify them to the user(s). Thus, the user will be notified instantly of the state of the dam and incoming and outgoing discharge and can make the necessary decisions before the incident.

### Conclusion

Using the linearization method, it is possible to accurately design the geometric dimensions of the spillway gate(s). The extension of the variation of the opening parameters extends the scope of the spillway gate(s) design. The installation of the smart gate and gate openings control will increase the

safety of the dam as well as valleys and downstream areas and the water pressure on the power generating turbines. By installing smart control systems, the possibility of opening and closing the gate(s) will be provided by radio and satellite systems, which will save on cost and manpower, as well as visual error reduction. Increasing the water height and volume inside the reservoir, preventing water loss, flood control, and optimizing water consumption in the downstream areas are the other benefits of the smart control systems.



© 2019 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/>).

## تعیین میزان بازشدگی، ابعاد دریچه سرریز و کنترل آن با استفاده از روش خطی سازی معادلات دبی خروجی و ارتفاع آب درون مخزن سد

محمد علی لطف اللهی یقین<sup>۱\*</sup> و محمدرحیم افشانی<sup>۲</sup>

\*- نویسنده مسئول، استاد دانشکده عمران، دانشگاه تبریز a\_lotfollahi@tabrizu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز.

دریافت: ۱۳۹۶/۴/۸

بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۱۷

پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۰

### چکیده

عملکرد نامناسب و عدم دقت در طراحی و ساخت دریچه‌ها باعث خسارات مالی و جانی در پایین دست سد می‌شود. این مقاله طراحی و ساخت دریچه و هوشمندسازی آن‌ها را دنبال می‌کند. با استفاده از خطی‌سازی معادله‌های غیرخطی دبی خروجی و ارتفاع آب درون مخزن در اطراف نقطه‌ی کار، نقطه‌ی تعادل دبی سیل ورود و خروج از سد تعیین شد. با تغییر پارامتر بازشدگی دریچه، نقطه تعادل در مکان هندسی منطبق با شرایط مطلوب قرار گرفت. با توجه به نقطه‌ی تعادل هیدروگراف دبی ورودی و خروجی و نمودار معادله‌های خطی دبی خروجی، ارتفاع و حجم آب ذخیره شده در مخزن، ابعاد دریچه‌ها طراحی شد که قابل ساخت است. سیستم‌های هوشمند از المان‌های الکترونیکی، میکرو پرسسور، سنسورهای سنجش ارتفاع آب و دستگاه‌های فرستنده و گیرنده امواج آلتراسونیک و موتورهای الکتریکی، پس از طراحی ساخته شدند که باعث هوشمندسازی و خودکار شدن دریچه‌ها می‌گردند. در آزمایشگاه سیستم‌های هوشمند دریچه نصب و به صورت مکرر مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن‌ها مطلوب بود. دریچه‌های خودکار بر اساس شرایط بهره‌برداری، درخواست متقاضیان پایین دست و ارتفاع آب درون مخزن باز و بسته می‌شود که باعث بهره‌برداری بهینه و استفاده مناسب از آب درون مخزن می‌شود. با هوشمندسازی دریچه، سیلاب‌ها کنترل و مصارف آب در پایین دست مدیریت می‌شود و بازده سد افزایش می‌یابد.

**کلید واژه‌ها:** هوشمندسازی دریچه سرریز، مشخصات هندسی دریچه سرریز، سرریز دریچه دار، بهره برداری مناسب از مخزن سد.

### مقدمه

از دریچه‌های سرریز به عنوان تنظیم جریان عبوری از سرریز استفاده می‌شود (Abrari et al., 2015)؛ (Kumar et al., 2010)؛ (Baghlani and Talebbeydokhti, 2013). در زمان وقوع سیل، دریچه‌های سرریز کاملاً باز نگه داشته می‌شوند تا جریان آب را بدون ایجاد خسارت به سد و تأسیسات آن از خود عبور دهد. دریچه‌ها باعث بهره‌برداری انعطاف‌پذیر از سد می‌شوند (Chen et al., 2013)؛ (Dewals et al., 2008). هزینه‌های ساخت دریچه‌ها متناسب با ابعاد و مشخصات هندسی آن‌ها می‌باشد اما عملکرد بد و یا خرابی آن‌ها مهم‌ترین عاملی خواهد بود که روگذری آب خطرآفرین را ایجاد می‌کند (Giannakis et al., 2016)؛ (Huschto et al., 2011). لذا ضروری است که دریچه‌ها براساس دبی سیل باز و بسته شوند (Marien, 1984)؛ (Medeiros et al., 2012). موضوع ارتعاش دریچه‌ها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. تغییر و کنترل تراز مخزن، ایجاد تراز ذخیره بالاتر در مخزن، کنترل سیل از مزایای مهم دریچه‌ها محسوب

می‌شود (Mohammadzadeh-Habili et al., 2009)؛ (Wei and Hsu, 2009) اما ضرورت تعمیر و نگهداری دریچه‌ها، خطر احتمالی ناشی از بهره‌برداری نامناسب یا خرابی آن‌ها را می‌توان به عنوان مضرات آن‌ها برشمرد (Bartosiewicz et al., 2011). استفاده از دریچه‌ها در سدهای بزرگ، جاهایی که سیل‌های بزرگ به وقوع می‌پیوندد و امکان بهره‌برداری راحت‌تر از آن‌ها باشد، اولویت می‌یابد. در سرریزهای دریچه‌دار سطح مخزن را می‌توان در تراز مورد نیاز تنظیم کرد و دبی ناشی از سیل را در مخزن ذخیره و به تدریج رها کرد (Lumbroso and Gaume, 2012). بنابراین از ایجاد خسارت در پایین دست سد جلوگیری می‌شود و بخشی از آب سیل در مخزن برای مصارف بعدی ذخیره شده و عمق آب روی توربین‌های مولد برق افزایش می‌یابد. در مناطق سیل‌خیز استفاده از سرریزهای دریچه‌دار بسیار ضروری است اما دارای مشکلات و معایب احتمالی هستند که می‌توان از جمله به باز نشدن دریچه‌ها در شرایط وقوع سیل‌های زیاد، قطع برق و وقوع سیل غیرمنتظره در پایین دست اشاره کرد (Windsor, 1973). بنابراین دریچه‌ها باید ضمن

حالت تعادل یا ماندگار و  $C$  سطح مقطع مخزن هستند برای این سیستم می توان نوشت:

$$Q = K\sqrt{H} \quad (۱)$$

$$dH = K \frac{dH}{2\sqrt{H}} = \frac{Q}{\sqrt{H}} \frac{dH}{2\sqrt{H}} = \frac{QdH}{2H} \quad (۲)$$

$$\frac{dH}{dQ} = \frac{2H}{Q} \quad (۳)$$

$R$  پارامتری است که مقاومت در برابر جریان را نشان می دهد. در حالت ماندگار

$$R = \frac{2\bar{H}}{\bar{Q}} \quad (۴)$$

و در حالتی که جریان متلاطم و دارای تغییرات است (Chen et al., 2012; Dorf and Bishop, 2010).

$$R = \frac{dH}{dQ} \triangleq \frac{\Delta H}{\Delta Q} = \frac{\bar{H} + h - \bar{H}}{\bar{Q} + q - \bar{Q}} = \frac{h}{q} \quad (۵)$$

با استفاده از معادله پیوستگی جریان

$$C \frac{dH}{dt} = Q_i - Q_o = Q_i - k\sqrt{H} \quad (۶)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{c} (Q_i - k\sqrt{H}) = f(H, Q_i) \quad (۷)$$

$C$  ظرفیت مخزن است و برابر با نسبت تغییر مایع ذخیره شده (متر مکعب) بر تغییر ارتفاع مایع (متر) است و در حالت ماندگار  $\frac{dH}{dt} = 0$  است بنابراین  $f(\bar{H}, \bar{Q}_i) = 0$  است. با توجه به معادله (۴) و (۵):

$$\frac{dH}{dt} - f(\bar{H}, \bar{Q}) = \frac{\partial f}{\partial H} (H - \bar{H}) + \frac{\partial f}{\partial Q_i} (Q_i - \bar{Q}) \quad (۸)$$

$$\left. \frac{\partial f}{\partial H} \right|_{H=\bar{H}, Q_i=\bar{Q}} = -\frac{k}{2c\sqrt{\bar{H}}} = -\frac{Q}{\sqrt{\bar{H}}} \cdot \frac{1}{2c\sqrt{\bar{H}}} = -\frac{\bar{Q}}{2c\bar{H}} = -\frac{1}{RC} \quad (۹)$$

چون مقاومت در برابر جریان  $R = \frac{2\bar{H}}{\bar{Q}}$  است.

سادگی، محکم و مقاوم باشند. بهره برداری از آن ها ساده بوده و نگهداری از آن ها آسان باشد (Chen et al., 2013). مشخصات هندسی دریاچه باید طوری تعیین شود که از تشکیل گردابه در مخزن بالادست و نوسانات تیغی جریان جلوگیری شود (Sule and Alabi, 2013). موقعیت نشیمنگاه دریاچه روی پروفیل و نسبت به محور سرریز، در زیر فشارهای روی پروفیل مؤثر است. بنابراین عدم دقت در طراحی و نصب دریاچه ها باعث ایجاد ارتعاش، روگذری آب، ناپایداری در سد، بروز سیل، ایجاد خسارت به سد و تأسیسات آن می شود (Wei and Hsu, 2009)؛ (Zang et al., 2016)؛ (Acanal and Haktanir, 1999). گرچه تحقیقات گسترده ای برای طراحی سرریز و دریاچه ها صورت گرفت اما با توجه به کاهش نزولات آسمانی، تنظیم تراز مخزن، افزایش فشار آب روی توربین های مولد برق و استفاده ی بهینه از آب درون مخزن، تعیین ابعاد دقیق دریاچه و هوشمندسازی آن ضرورت می یابد. با روش خطی سازی، ابعاد دریاچه منطبق با شرایط محیطی و نشیمنگاه آن با دقت طراحی و ساخته می شود به طوری که بتواند حجم آب مازاد بر ظرفیت مخزن را بدون ایجاد خسارت به سد و تأسیسات آن از خود عبور دهد و با طراحی و ساخت سیستم های هوشمند، هشدار دهنده و نصب آن ها، دریاچه اتوماتیک و هوشمند می شود. با هوشمندسازی دریاچه ها سیلاب ها کنترل، مصرف و ذخیره ی آب مدیریت می شود و کنترل دریاچه از راه دور و به صورت رادیویی و ماهواره ای انجام می گیرد که باعث صرفه جویی در نیروی انسانی و کاهش خطای دید آن ها می شود. روش خطی سازی ساده و قابل تعمیم است.

## مواد و روش ها

### روابط خطی میان پارامترهای مخزن

با توجه به شکل (۱) تبدیل سیستم غیرخطی دبی خروجی و ارتفاع آب درون مخزن به سیستم خطی به صورت زیر انجام می گیرد. فرض می شود که دبی ورود و خروج از مخزن در حالت ماندگار باشد به عبارت دیگر  $Q_i = \bar{Q}$ ،  $Q_o = \bar{Q}$  است و دبی خروجی در حالت ماندگار  $\bar{Q} = k\sqrt{\bar{H}}$  است. اگر جریان ورودی به  $Q = \bar{Q} + q_i$  تغییر یابد، این تغییر سبب تغییر ارتفاع آب به  $H = \bar{H} + h$  می گردد که در نهایت منجر به جریان خروجی به صورت  $Q_o = \bar{Q} + q_o$  می شود. در معادله های زیر  $h$  تغییرات ارتفاع آب درون مخزن و  $q_o$  تغییرات دبی خروج از مخزن و  $q_i$  تغییرات دبی ورود به مخزن از

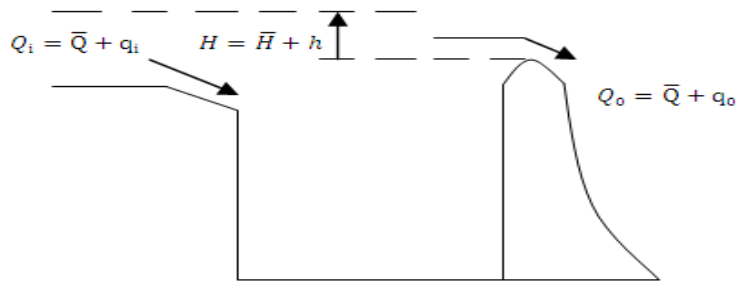


Fig. 1- The dam's reservoir with one input and one output

شکل ۱- مخزن سد با یک ورودی و خروجی

$$V(S) = h(S). C \tag{۱۷}$$

$$V(S) = C. h(S) = C. R. q_0(S) = C. R. \frac{q_i(S)}{RCS+1} \tag{۱۸}$$

دبی ورودی، دبی خروجی، ارتفاع آب و حجم آب ذخیره شده در مخزن سد دبی ورودی، دبی خروجی، ارتفاع آب و حجم آب ذخیره شده در مخزن سد هستند.

$$\frac{\partial f}{\partial Q_i} \Big|_{Q_i=\bar{Q}, H=\bar{H}} = \frac{1}{c} \tag{۱۰}$$

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{1}{Rc} (H - \bar{H}) + \frac{1}{c} (Q_i - \bar{Q}) \tag{۱۱}$$

$$\begin{cases} H = \bar{H} + h \\ Q_i - \bar{Q} = q_i \end{cases} \Rightarrow \frac{dh}{dt} = -\frac{1}{Rc} h + \frac{1}{c} q_i \Rightarrow Rc \frac{dh}{dt} + h = Rq_i \tag{۱۲}$$

**یافته های تحقیق**

دریاچه یک سد با سطح مقطع ۱۹۸۰۰۰۰ متر مربع است. در یک زمان معین سیلابی وارد رودخانه و دریاچه سد شده که دبی آن به صورت زیر برای زمانی معادل ۴۸ ساعت بعد از شروع سیل در جدول (۱) یادداشت گردیده است (Hosseini and Abrishami, 2010). روندیابی سیل در فاصله‌های سه ساعت از همدیگر صورت گرفت. با توجه به معادله‌های دیفرانسیل خطی با ضرایب ثابت (۱۳)، (۱۶) و (۱۸) و با فرض  $R = 2 \times 10^{-5}$  و داده‌های جدول (۱) تحلیل عددی شده و نمودار هیدروگراف ورودی و خروجی از مخزن و نقطه‌ی تعادل آن‌ها در شکل (۲) نشان داده شد.  $C$  سطح مخزن و ثابت است (Dorf and Bishop, 2010). مقدار  $R = 2 \times 10^{-5}$  انتخاب شد (کمتر از حالت قبل)، سپس نمودار هیدروگراف ورودی و خروجی از مخزن و نقطه تعادل آن‌ها در شکل (۳) نشان داده شد.

معادله دیفرانسیل ارتفاع آب درون مخزن بر حسب تبدیل لاپلاس دبی ورودی به دست می‌آید (Inoue et al., 2015)؛ (Chen et al., 2013)

$$\begin{aligned} (RCS+1).h(S) &= Rq_i(S) \\ h(S) &= \frac{1}{RCS+1} Rq_i(S) \end{aligned} \tag{۱۳}$$

لاپلاس معادله دیفرانسیل دبی خروجی از مخزن و حجم آب ذخیره شده در مخزن به صورت زیر به دست می‌آید.

$$h(S) = R. q_0(S) \tag{۱۴}$$

$$\begin{aligned} C \frac{d}{dt} (R. q_0(t)) + q_0(t) &= q_i(t) \\ (RCS + 1)q_0(S) &= q_i(S) \end{aligned} \tag{۱۵}$$

$$q_0(S) = \frac{1}{RCS+1} q_i(S) \tag{۱۶}$$

جدول ۱- شدت جریان سیل ورودی در زمان‌های مختلف (Hosseini and Abrishami, 2010)

Table 1- Flood flow rate into the reservoir at different times (Hosseini and Abrishami, 2010)

Time after the onset of the flood (h)	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Inflow discharge ( $m^3/s$ )	0	18	36	54	72	90	108	97/2	86/4
Time after the onset of the flood (h)	27	30	33	36	39	42	45	48	
Inflow discharge ( $m^3/s$ )	75/6	64/8	54	43/2	32/4	21/6	10/8	0	

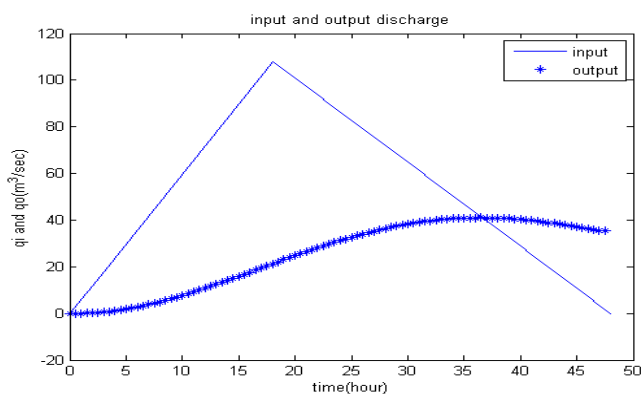


Fig. 2- Inflow and outflow hydrographs of the reservoir and their equilibrium point  
 شکل ۲- هیدروگراف ورودی و خروجی از مخزن و نقطه تعادل آنها

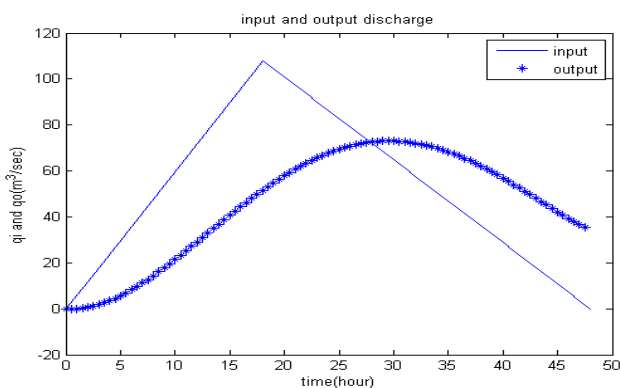


Fig. 3- Inflow and outflow hydrographs of the reservoir and their equilibrium point  
 شکل ۳- هیدروگراف ورودی و خروجی از مخزن و نقطه تعادل آنها

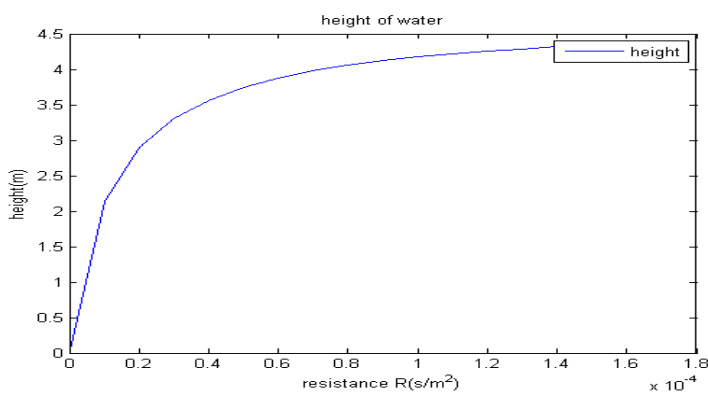


Fig. 4- The maximum water height in terms of the resistance parameter  
 شکل ۴- حداکثر ارتفاع آب بر حسب پارامتر مقاومت

آب، ارتفاع ذوب شدن یخها و یخچالها و ارتفاع سیل طرح سد، حداکثر ارتفاع آب (حداقل ارتفاع دریچه) براساس شرایط محیطی و نشیمنگاه دریچه و ملاحظات دره پایین دست و ساحل آن انتخاب

بنابراین با تغییر پارامتر  $R$  نقطه‌ی تعادل در راستای محورهای مختصات جایجا می‌شود. با توجه به معادله‌های (۴)، (۵)، (۱۳)، (۱۶)، (۱۸) و داده‌های جدول (۱) دامنه‌ی تغییرات پارامتر  $R$   $[10^{-5} \times 16 - 0]$  معین می‌شود. با توجه به مقادیر ارتفاع آزاد، ارتفاع موج سطح

مطلوب پارامتر  $R$  از روی نمودار شکل (۴) تعیین می‌شود.

اگر سیل ورودی طبق جدول (۱)، سیل طرح نباشد، حداکثر دبی آن در محدوده‌ی مجاز بوده که با سیستم اتوماتیک دریچه (در صورت وجود) تصمیم لازم درباره عبور یا ذخیره آن گرفته می‌شود. این روش با روش متداول و معمول پالس که در روندیابی سیل ورودی به مخزن به کار می‌رود، منطبق است. اگر  $R = 1/18 \times 10^{-5}$  انتخاب شود و نمودار هیدروگراف ورودی و خروجی با روش خطی‌سازی و روش پالس رسم شوند. نمودار آن‌ها دقیقاً بر هم منطبق می‌شوند که در شکل (۷) نشان داده شد. بنابراین روش خطی‌سازی تعیین ابعاد دریچه نه تنها با روش‌های قبلی مغایر نیست بلکه با تغییر پارامتر باز شدگی از انعطاف‌پذیری بیشتر و دقت مطلوب برخوردار است.

می‌شود. با انتخاب حداکثر ارتفاع مجاز آب (ارتفاع دریچه)، مقدار

اگر سیل ورودی طبق جدول (۱)، سیل طرح باشد، طراح دریچه با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقتصادی، حداکثر ارتفاع آب عبور از دریچه را تعیین می‌کند سپس از روی نمودار شکل (۴) مقدار پارامتر بازشدگی  $R$  مشخص می‌شود و حداکثر حجم آب ذخیره شده در مخزن از روی نمودار شکل (۵) و حداکثر دبی خروجی از روی نمودار شکل (۶) به دست می‌آیند. طراح دریچه با توجه به ارتفاع آب (حداقل ارتفاع دریچه) طول دریچه را معین می‌کند. ابتدا طول دریچه را تعیین و ارتفاع آب (حداقل ارتفاع دریچه) را به دست می‌آورد. بنابراین ابعاد دریچه (دریچه‌ها) سرریز و تحتانی طوری تعیین می‌شوند که بتواند حداکثر دبی خروج از مخزن را از خود عبور دهد (Camnasio et al., 2013)؛ (Dorf and Bishap, 2010)

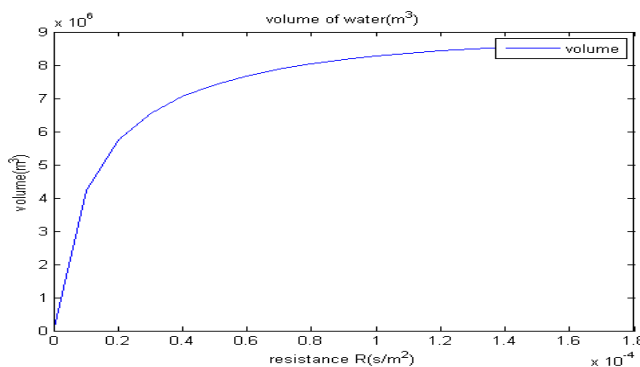


Fig. 5- The maximum volume of water in terms of the resistance parameter

شکل ۵- حداکثر حجم آب ذخیره شده در مخزن بر حسب پارامتر مقاومت

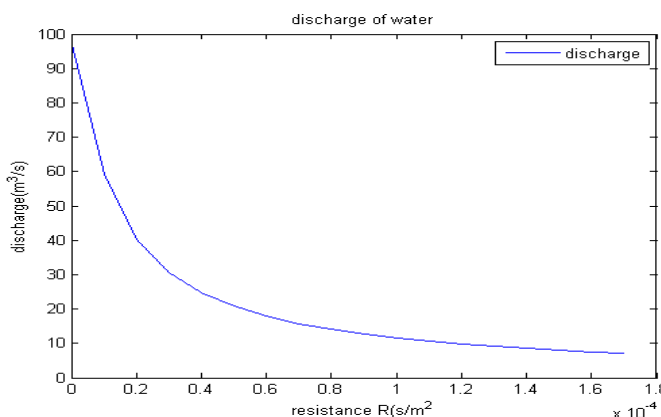


Fig 6- The maximum discharge passing through the reservoir in terms of the resistance parameter

شکل ۶- حداکثر دبی خروج از مخزن بر حسب پارامتر مقاومت



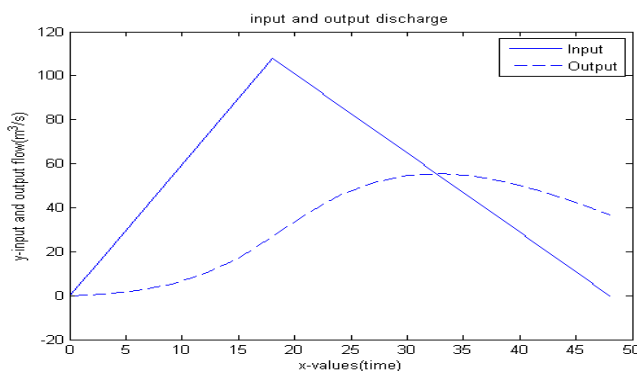


Fig. 7- Input and output hydrograph and the balance point by using linearization and the pulse method

شکل ۷- هیدروگراف دبی ورود و خروج و نقطه تعادل آنها با استفاده از روش خطی سازی و پالس

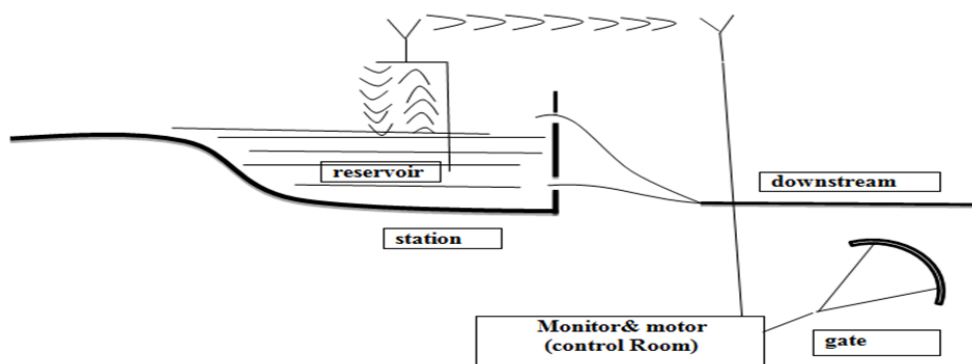


Fig. 8- The longitudinal profile of dam, reservoir, river and downstream channel

شکل ۸- پروفیل طولی سد، مخزن، رودخانه و کانال پایین دست

جابه‌جایی دریاچه از توان دستگاه بیشتر باشد، دستگاه توان جابه‌جایی آن را نخواهد داشت بنابراین در تعیین ابعاد و مشخصات دریاچه باید توان دستگاه جابه‌جا کننده آن را نیز مورد توجه قرار داد یا دستگاه جابه‌جا کننده دریاچه متناسب با ابعاد هندسی دریاچه انتخاب شود. سیستم هوشمندسازی دریاچه‌های سد از امان‌های الکترونیکی، میکروپرسور، سنسور سنجش ارتفاع آب، دستگاه‌های فرستنده و گیرنده امواج آلتراسونیک، موتور الکتریکی و قطعات الکترونیک دیگر ساخته شد. در طراحی سیستم‌ها از نرم‌افزارهای مختلف از جمله نرم افزار C++ و C استفاده شد. برای نمونه برداری از سطح آب، سیستم امواج آلتراسونیک را به سطح آب فرستاده و امواج برگشتی از سطح آب توسط آن دریافت می‌شود. با توجه به زمان رفت و برگشت این امواج و سرعت امواج در هوا، فاصله نصب سیستم تا سطح آب معلوم می‌شود که با کسر کردن آن از فاصله نصب سیستم تا کف مخزن، ارتفاع آب به دست می‌آید (Inoue et al., Carusone et al., 2010; Liu et al., Ahmad Al-Issa et al., 2016; al., 2015; Tu and Shen, 2017).

بنابراین با تنظیم و تغییر پارامتر R نه تنها می‌توان نقطه‌ی تعادل دبی ورودی و خروجی سیل را در همان مکان هندسی روش پالس قرار داد بلکه در گستره‌ی وسیعی از هیدروگراف ورودی قابل تعیین است که با هر شرایط محیطی و اقتصادی انطباق پذیر است. بنابراین با استفاده از معادله‌های خطی (۳) و (۴) و تغییر پارامتر بازشدگی دریاچه، مکان هندسی نقطه تعادل دبی ورودی و خروجی تنظیم می‌شود سپس با توجه به قدرت دستگاه محرک کنترل اتوماتیک دریاچه و نمودارهای حداکثر ارتفاع آب و حداکثر دبی خروجی از مخزن، حداکثر حجم آب ذخیره شده در مخزن، شرایط محیطی و موقعیت نشیمنگاه دریاچه، ابعاد دریاچه (دریاچه‌ها) طراحی و ساخته می‌شوند. اکنون کنترل هوشمند و اتوماتیک دریاچه‌ی (دریاچه‌های) سرریز به صورت خلاصه تشریح می‌شود. در شکل (۸) پروفیل طولی سد با رودخانه ورودی و در شکل (۹) بلوک دیاگرام سیستم‌های ایستگاه و اتاق کنترل نشان داده شد. برای کنترل هوشمند دریاچه علاوه بر تعیین ابعاد آن باید مشخصات دستگاه جابه‌جا کننده آن را مورد توجه قرار داد. توان این دستگاه مقدار مشخصی است. اگر توان لازم برای

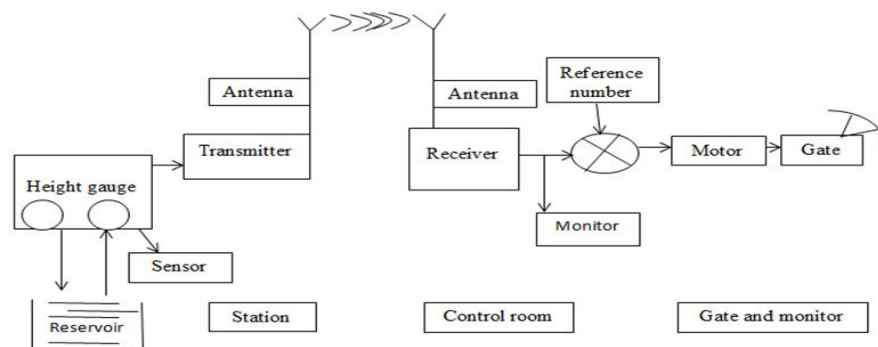


Fig. 9- The block diagram of the station and control room

شکل ۹- بلوک دیاگرام ایستگاه و اتاق فرمان

(Liu., 2017)؛ Ahmad Al\_Issa et al., 2016؛ al., 2015 (Tu and Shen, 2017).

در فواصل زمانی مشخص از سطح آب نمونه برداری می شود و نمونه ها توسط فرستنده رادیویی به اتاق فرمان یا کنترل ارسال می شوند. در اتاق فرمان یا کنترل، امواج دریافت و سپس آشکار می شوند (Tu and Shen, 2017). با توجه به شکل (۹)، ارتفاع آب ارسالی از ایستگاه پس از آشکار شدن، با عدد مبنا (توسط طراح مشخص می شود) در سیستم فرمان و کنترل مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. بر اساس خروجی سیستم فرمان و کنترل، موتور الکتریکی دریچه را به اندازه مطلوب باز، بسته یا ثابت نگه می دارد. این عملیات به طور مرتب تکرار می شود تا سطح آب در تراز مورد نظر تثبیت شود. سیستم طراحی شده نه تنها به صورت هوشمند و بدون دخالت نیروی انسانی دریچه را باز و بست می کند بلکه مقادیر ارتفاع آب، حجم آب ذخیره شده در مخزن، دبی و سرعت آب خروج از دریچه و هیدروگراف سیل ورود به مخزن را روی صفحه مانیتور نمایش می دهد. گاهی این اطلاعات در صورت نیاز به تلفن همراه مدیر یا مسئول مربوطه مخابره می شود. ارتباط میان قسمت های مختلف سیستم هوشمندسازی دریچه به صورت رادیویی و ماهواره ای است. سیستم هوشمندسازی دریچه مجهز به سیستم های هشدار دهنده است که سیل خطرناک ورود به مخزن را تشخیص و به موقع هشدار می دهد. سیستم هوشمند و کنترل اتوماتیک دریچه (دریچه ها) پس از طراحی ساخته شد و در اتاق فرمان نصب گردید. سیستم هوشمند و کنترل دریچه پس از ساخت در آزمایشگاه به صورت مکرر تست گردید که نتایج آن بسیار مطلوب بود. سیستم ساخته شده از دقت بالایی برخوردار است (Ogata، Carusone et al., 2010؛ Oppenheim et al., 1997. Karris, 2003, 2010).

### نتیجه گیری

با خطی سازی معادله های دبی خروج از مخزن و ارتفاع آب درون مخزن سد و رسم نمودارهای مربوطه، انعطاف پذیری قابل توجهی در طراحی ظرفیت سرریز و مشخصات هندسی دریچه (دریچه ها) بوجود

بنابراین با تنظیم و تغییر پارامتر R نه تنها می توان نقطه تعادل دبی ورودی و خروجی سیل را در همان مکان هندسی روش پالس قرار داد بلکه در گستره وسیعی از هیدروگراف ورودی قابل تعیین است که با هر شرایط محیطی و اقتصادی انطباق پذیر است. بنابراین با استفاده از معادله های خطی (۳) و (۴) و تغییر پارامتر بازشدگی دریچه، مکان هندسی نقطه تعادل دبی ورودی و خروجی تنظیم می شود سپس با توجه به قدرت دستگاه محرک کنترل اتوماتیک دریچه و نمودارهای حداکثر ارتفاع آب و حداکثر دبی خروج از مخزن، حداکثر حجم آب ذخیره شده در مخزن، شرایط محیطی و موقعیت نشیمنگاه دریچه، ابعاد دریچه (دریچه ها) طراحی و ساخته می شوند. اکنون کنترل هوشمند و اتوماتیک دریچه ی (دریچه های) سرریز به صورت خلاصه تشریح می شود. در شکل (۸) پروفیل طولی سد با رودخانه ورودی و در شکل (۹) بلوک دیاگرام سیستم های ایستگاه و اتاق کنترل نشان داده شد. برای کنترل هوشمند دریچه علاوه بر تعیین ابعاد آن باید مشخصات دستگاه جابه جا کننده آن را مورد توجه قرار داد. توان این دستگاه مقدار مشخصی است. اگر توان لازم برای جابه جایی دریچه از توان دستگاه بیشتر باشد، دستگاه توان جابه جایی آن را نخواهد داشت بنابراین در تعیین ابعاد و مشخصات دریچه باید توان دستگاه جابه جا کننده آن را نیز مورد توجه قرار داد یا دستگاه جابه جا کننده دریچه متناسب با ابعاد هندسی دریچه انتخاب شود. سیستم هوشمندسازی دریچه های سد از المان های الکترونیکی، میکروپروسور، سنسور سنجش ارتفاع آب، دستگاه های فرستنده و گیرنده امواج آلتراسونیک، موتور الکتریکی و قطعات الکترونیک دیگر ساخته شد. در طراحی سیستم ها از نرم افزارهای مختلف از جمله نرم افزار C و ++C استفاده شد. برای نمونه برداری از سطح آب، سیستم امواج آلتراسونیک را به سطح آب فرستاده و امواج برگشتی از سطح آب توسط آن دریافت می شود. با توجه به زمان رفت و برگشت این امواج و سرعت امواج در هوا، فاصله نصب سیستم تا سطح آب معلوم می شود که با کسر کردن آن از فاصله نصب سیستم تا کف مخزن، ارتفاع آب به دست می آید (Inoue et، Carusone et al., 2010).

مجهد به دستگاه‌های هشدار دهنده است که در صورت بروز هرگونه خطر برای سد، تأسیسات و دره پایین دست آن، هشدار می‌دهد. نصب دریچه هوشمند و کنترل بازشدگی آن نه تنها در ایمنی سد مؤثر است بلکه ایمنی دره و ساحل رودخانه پایین دست سد را نیز تأمین می‌کند. با این روش حداکثر آب درون مخزن ذخیره شده، از اتلاف آب جلوگیری و ارتفاع آب درون مخزن در سطح مورد نظر تثبیت می‌شود. فشار آب بالای توربین‌های مولد برق افزایش می‌یابد. نصب دریچه هوشمند باعث کاهش نیروی انسانی و مصرف بهینه و مدیریت آب درون مخزن سد می‌شود.

می‌آید. گستردگی حوزه‌ی تغییرات پارامتر باز شدگی دریچه باعث گسترش حوزه طراحی ابعاد و مشخصات هندسی دریچه می‌شود. مزیت این روش طراحی دریچه، سادگی، انعطاف‌پذیری، انطباق‌پذیری با شرایط محیطی و موقعیت نصب دریچه می‌باشد. با توجه به ابعاد دریچه، دستگاه محرک آن تعیین و سیستم هوشمند دریچه نصب می‌شود. سیستم هوشمند در هر لحظه پارامترهای متعدد آب درون مخزن سد را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. کاربران در هر لحظه از وضعیت سد و آب ورود و خروج از آن مطلع می‌شوند و می‌توانند اقدامات لازم را به موقع انجام دهند. سیستم هوشمندسازی دریچه

### References

- 1- Abrari, L., Talebbeydokhti, N. and S. Sahraei. 2015. Investigation of Hydraulic Performance of Piano Shaped Weirs Using Three Dimensional Numerical Modeling. *Ijst, Transactions of Civil Engineering*. 39, 539-558, Printed In The Islamic Republic Of Iran.
- 2- Acanal, N. and T. Haktanir. 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): 163-172.
- 3- Ahmad Al\_Issa, H., Thuneibat, S., Ijeh, A. and M. Abdesalam. 2016. Sensors application using PIC16F877A Microcontroller. *American Journal of Remote Sensing*. 4(3): 13-18.
- 4- Bartosiewicz, Z., Kotta, Ü., Pawłuszewicz, E. and Wyrwas, M., 2011. Control systems on regular time scales and their differential rings. *Mathematics of control, signals, and systems*, 22(3), pp.185-201.
- 5- Baghlani, A. and N. Talebbeydokhti. 2013. Hydrodynamics of right-angled channel confluences by a 2D numerical model. *Iranian Journal of Science & Technology Transactions of Civil Engineering*. 37(2): 271-283.
- 6- Camnasio, E., Erpicum, S., Orsi, E., Piroton, M., Schleiss, A. J., & B. Dewals. 2013. Coupling between flow and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*. 51(5): 535-547.
- 7- Carusone, T.C., John, D.A. and K.W. Martin. 2012. *Analog Integrated Circuit Design*. Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken.
- 8 Chen, J., Guo, S., Li, Y., Lui, P. and Y. Zhou. 2013. Joint operation and dynamic control of flood limiting water levels for cascade reservoirs. *Water Resources Management*. 27(3): 749-763.
- 9- Chen, W., Anderson, B.D.O., Deistler, M. and A. Filler. 2012. Properties of blocked linear systems. *Automatica*. 48: 2520-2525.
- 10- Dewals, B. J., Kantoush, S. A., Erpicum, S., Piroton, M. & A.J. Schleiss. 2008. Experimental and numerical analysis of flow instabilities in rectangular shallow basins. *Environmental Fluid Mechanics*. 8(1): 31-54.
- 11- Dorf, R.C and R.H. Bishop. 2010. *Introduction Solutions Manual for Modern Control Systems*. Twelfth Edition, Prentice Hall, New York.
- 12- Giannakis, E., Bruggeman, A., Djuma, H., Kozyra, J. and J. Hamme. 2016. Water pricing and irrigation across Europe: opportunities and constraints for adopting irrigation scheduling decision support systems. *Water Science & Technology: Water Supply*. 16 (1): 245-252.

- 13- Hosseini, S. M. and Abrishami, J. 2010. *Hydraulic of Open Channels*. Twenty-Fourth Edition, Astan Quds Razavi, Mashhad. (in persian).
- 14- Huschto, T., Feichtinger, G., Hart, R.F., Kort, P.M., Sager, S. and S.S. Seidl. 2011. Numerical solution of a conspicuous consumption model with constant control delay. *Automatica* 47: 1868–1877.
- 15- Inoue, M., Wada, T., Ikeda, M. and E. Uezato. 2015. State-space  $H_\infty$  controller design for descriptor systems. *Automatica* 59: 164–170.
- 16- Karris, S.T. 2003. *Signals and System*. Second Edition, California: Orchard Publications, California.
- 17- Kumar, D. N., Baliarsingh, F. and K.S. Raju. 2010. Optimal reservoir operation for flood control using folded dynamic programming. *Water Resource Management*. 24(6): 1045–1064.
- 18- Liu, X., Qu, H., Zhao, J., Chen, B. 2017. “State space maximum correntropy filter.” *Signal Processing*, Vol. 130, PP. 152–158.
- 19- Lumbroso, D. and Gaume, E., 2012. Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *Journal of Hydrology*, 414, pp.16-30.
- 20- Mariën, J.L., 1984. Controllability conditions for reservoir flood control systems with applications. *Water Resources Research*, 20(11), pp.1477-1488.
- 21- Medeiros, S.C., Hagen, S.C. and Weishampel, J.F., 2012. Comparison of floodplain surface roughness parameters derived from land cover data and field measurements. *Journal of Hydrology*, 452, pp.139-149.
- 22- 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.
- 23- Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering*. Fifth Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- 24- Oppenheim, A.R., Willsky, A. and S. Hamid Nawab. 1997. *Signals and Systems*. Second Edition, Original English Language Edition Published By Prentice Hall International, Inc., China.
- 25- Sule, B.F. and S.A. Alabi. 2013. Application of synthetic unit hydrograph methods to construct storm hydrographs. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering* 5(11): 639-647.
- 26- Tsui, K.M. and Chan, S.C., 2011. A versatile iterative framework for the reconstruction of bandlimited signals from their nonuniform samples. *Journal of Signal Processing Systems*, 62(3), pp.459-468.
- 27- Tu, Y.Q. and Y.L. Shen. 2017. Phase correction autocorrelation-based frequency estimation method for sinusoidal signal. *Signal Processing* 130: 183–189.
- 28- Wei, C.C. and N.S. Hsu. 2009. Optimal tree based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multi reservoir system. *Journal of Hydrology* 365(3): 213–224.
- 29- Windsor, J.S., 1973. Optimization model for the operation of flood control systems. *Water Resources Research*, 9(5), pp.1219-1226.
- 30- Zang, S.T., Liu, Y., Li, M.M. and B. Liang. 2016. Distributed hydrological models for addressing effects of spatial variability of roughness on overland flow. *Water Science and Engineering* 9(3): 249-255.