

بکارگیری معادلات فضای حالت در تعیین ابعاد دریچه‌ی تخلیه کننده سد دو مخزنی و هوشمند سازی آن

محمدعلی لطف‌اللهی یقین^{۱*}، محمدتقی اعلمی^۲، محمدرحیم افشانی^۳

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

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

۳- دانشجوی دکتری سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

طراحی نامناسب ابعاد هندسی دریچه تخلیه کننده و بازشدگی ناگهانی آن، باعث ایجاد خسارات مالی و جانی در پائین دست سد و عدم استفاده‌ی بهینه از آب درون مخزن می‌شود. برای افزایش تراز آب بر روی توربین‌های مولد برق، کنترل سیلاب‌ها و افزایش کارایی سد، تعیین ابعاد هندسی دریچه‌ی تخلیه کننده و هوشمند سازی آن ضروری است. در این مقاله معادلات غیر خطی دبی عبور از دریچه‌ی تخلیه کننده سد دو مخزنی و ارتفاع آب درون مخازن به معادلات خطی فضای حالت تبدیل شد. براساس معادلات خطی فضای حالت، هیدروگراف سیل طرح ورود و خروج از مخازن سد رسم گردید. با تعیین مقادیر مناسب برای پارامترهای بازشدگی دریچه‌ها، تنظیم نقطه‌ی تعادل هیدروگراف دبی ورود و خروج از مخازن سد، ارتفاع آب، حجم آب ذخیره شده در مخازن، ابعاد دریچه‌ی تخلیه کننده‌ی هر مخزن تعیین شد. با تنظیم و تغییر پارامترهای باز شدگی R نه تنها می‌توان نقطه‌ی تعادل دبی ورود و خروج 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. سیستم‌های هوشمند دریچه‌ی تخلیه کننده با استفاده از المانهای الکترونیکی، میکروپروسور، فاصله سنج، سنسورهای فرستنده و گیرنده آلتراسونیک، پردازشگر، قطعات دیگر و نرم‌افزارهای مناسب، طراحی و ساخته شدند. دریچه‌ی هوشمند تخلیه کننده، مجهز به سیستم‌های هشدار دهنده است و بر اساس برنامه‌ی بهره بردار و نظر طراح، از راه دور و بوسیله امواج ماهواره‌ای باز و بست می‌شود. سیستم‌های هوشمند دریچه، در آزمایشگاه و کانال‌های باز آزمایش شد که از دقت بالایی برخوردار است. با نصب سیستم‌های هوشمند دریچه، نیروی انسانی کاهش، سیلاب‌ها کنترل و کارایی سد افزایش می‌یابد. این روش ساده، قابل اعتماد و انطباق پذیر با شرایط محیط است و در عمل می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های کنترل دستی و غیر اتوماتیک باشد.

کلیدواژه‌ها: کنترل دریچه تخلیه کننده، هیدروگراف سیل طرح، معادلات فضای حالت، خطی سازی معادلات، هوشمند سازی دریچه

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/JSCE.2018.96888.1307	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/JSCE.2018.96888.1307	۱۳۹۸/۰۴/۰۱	۱۳۹۶/۱۰/۱۹	۱۳۹۶/۱۰/۱۹	۱۳۹۶/۰۹/۲۷	۱۳۹۶/۰۷/۱۰
				*نویسنده مسئول:		
				محمد علی لطف‌اللهی یقین		
				lotfollahi@tabrizu.ac.ir		
				پست الکترونیکی:		

Applying State Space Equations in the Designing of the Outlet Gate Dam with Two Reservoirs and Its Smart

Mohammad Ali Lotfollahi Yaghin^{1*}, Mohammad Taghi Aalami², Mohammad Rahim Afshani³

1- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Ph.D Candidate in Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ABSTRACT

Factors such as improper performance of gates, their failure, and inappropriate design of gate dimensions are likely to be followed by dangerous dam overtopping. In this article, the nonlinear equations expressing the flow rate through the dam bottom gate or intake as well as the water head inside the reservoir were converted into linear equations in the state space. Based on these linear equations, the inlet and outlet hydrographs of the dam were plotted and the equilibrium point of the diagrams duly determined. Upon adjusting the equilibrium point between the inlet and outlet hydrographs and the height (head) and volume of the reservoir water, the bottom gate or intake dimensions were calculated. 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. Then, the digital controllers and other electronic devices were built using microcontrollers, sensors, ultrasonic distance meters, and radio wave transmitters and receivers. Different programming languages 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 favourable and of high accuracy. This is a simple, useful, and reliable method, and can be a suitable substitute for previous ones.

ARTICLE INFO

Received:02/10/2017

Revised: 18/12/2017

Accepted:09/01/2018

Keywords:

Outlet gate control,
State-space equations,
Linearizing equations,
Design flood hydrograph,
Smart gate.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.96888.1307

*Corresponding author: Mohammad Ali Lotfollahi Yaghin

Email address: lotfollahi@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

عدم دقت در طراحی ابعاد، عملکرد نامناسب و بازشدگی ناگهانی دریچه‌ی تخلیه کننده، باعث ایجاد خسارات مالی و جانی در پائین دست سد و عدم استفاده‌ی بهینه از آب درون مخزن می‌شود. با توجه به تنظیم تراز مخزن، افزایش فشار آب بر روی توربین‌های مولد برق، مدیریت آب درون مخزن، کنترل سیلاب‌ها، افزایش بهره‌برداری بهینه از آب درون مخزن، تعیین ابعاد دقیق دریچه و هوشمند سازی آن ضرورت می‌یابد. آب در فصل بارش و زمان وقوع سیل، توسط سد ذخیره شده و در فصل کم‌آبی مصرف می‌شود از آنجائی که سدها آب را ذخیره کرده و با تأخیر زمانی آن را رها می‌کنند، سازه‌های مؤثری برای کنترل سیل نیز به شمار می‌روند [۱-۵]. دریچه‌های تخلیه کننده و آبگیرهای تحتانی برای رهاسازی یا تنظیم مقدار آب خروجی ذخیره شده در مخزن یک سد به کار می‌روند. هدف از ساخت این دریچه‌ها، تهیه‌ی حداقل آب موردنیاز پایین دست سد، جلوگیری از آلودگی پایین دست، تأمین جریان زنده برای آبزیان، تأمین آب موردنیاز کشاورزی، انتقال موقت آب در طی آگیری اولیه‌ی مخزن، ایجاد ظرفیت بیشتر برای تخلیه‌ی سیلاب‌ها، انتقال آب پایین دست برای تعمیر تأسیسات زیرآب و بازرسی آن‌ها، انتقال آب به نیروگاه‌های برقایی است که به صورت فردی و یا ترکیبی از آن‌ها، با توجه به نظر طراح و سازنده، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶-۸]. ظرفیت تخلیه‌ی آب این دریچه‌ها بستگی به مقدار نیاز پایین دست، حجم سیلاب و زمان تخلیه‌ی آن، مقدار دبی ورودی به مخزن و زمان لازم برای تخلیه‌ی مخزن، ظرفیت تحمل سازه‌های آرامش و ظرفیت کانال پایین دست دارد که هر کدام بسته به شرایط موجود و هدف از تخلیه کردن آب تعیین می‌شود [۹-۱۱]. طرح اولیه یک دریچه یا آبگیر تحتانی به عواملی مانند نیازهای هیدرولیکی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، سازگاری با شرایط محیط، تجهیزات و سازه‌های مرتبط با تخلیه کننده بستگی دارد [۱۲]. بنابراین کانال انتقال آب پایین دست، تونل و کانال‌های انحراف، نامناسبی زمین و غیره عواملی هستند که در طرح اولیه تخلیه کننده مؤثر هستند [۱۳]. پدیده‌ی تخریب در دریچه و آبگیرهای تحتانی بسیار مهم است. پدیده‌ی کاویتاسیون ناشی از سرعت زیاد آب و ناهمواری سطوح تخلیه کننده است. سرعت زیاد آب و استفاده‌ی طولانی از دریچه‌ها و برخورد ذرات رسوب به جداره‌ها، فرسایش و آب شستگی صورت می‌گیرد. از عوامل مؤثر در تخریب دریچه‌ها و کانال‌های پایین دست می‌توان به جت‌های فورانی و ارتعاشات آب که ناشی از عبور جریان و بروز نیروهای هیدرولیکی است، اشاره کرد [۱۴-۱۸]. تخلیه کننده‌ها در ترازهای مختلف سد بکار می‌روند و ممکن است از تخلیه کننده بجای سرریز اصلی، کمکی و یا اضطراری استفاده شود. گرچه تحقیقات گسترده‌ای برای طراحی تخلیه کننده‌ها، آبگیرها و دریچه‌ها صورت گرفت اما کنترل مقدار بازشدگی دریچه‌ها کاملاً هوشمند و اتوماتیک نیست. در حال حاضر کنترل مقدار بازشدگی دریچه‌ی تخلیه کننده غیر اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک است که به وسیله‌ی نیروی انسانی صورت می‌گیرد که با سعی و خطا همراه است. در این مقاله با استفاده از معادلات فضای حالت، مشخصات هندسی دریچه تخلیه کننده تعیین می‌شود. با تغییر پارامترهای بازشدگی دریچه، نقطه‌ی تعادل هیدروگراف دبی ورود و خروج از مخازن در مکان هندسی مطلوب قرارداد می‌شود سپس بر اساس ارتفاع آب نقطه‌ی تعادل (حداقل ارتفاع دریچه)، ارتفاع آب و حجم آب ذخیره شده در مخازن، طول دریچه معین می‌شود. با استفاده از المان‌های الکترونیکی، ابزار دقیق، میکروپروسسور، پردازشگر و نرم‌افزارهای مناسب، سیستم‌های هوشمند سازی دریچه، طراحی و ساخته می‌شوند. سیستم‌های هوشمند، دریچه‌ی (دریچه‌ها) تخلیه کننده را از راه دور باز و بست می‌کنند؛ پارامترهای سرعت، دبی، حجم آب ورود و خروج از مخزن را روی صفحه‌ی مانیتور، در اتاق کنترل نشان می‌دهند. نصب سیستم‌های هوشمند، باعث صرفه‌جویی در نیروی انسانی و کاهش خطای دید آن‌ها می‌شود. با نصب سیستم‌های هوشمند دریچه‌ی (دریچه‌ها) تخلیه کننده، تراز آب و دبی خروج از مخزن تنظیم می‌شوند و آب سیلاب‌ها کنترل و از آب درون مخازن استفاده‌ی بهینه به عمل می‌آید. این روش از انعطاف‌پذیری زیادی برخوردار است و کارایی سد را افزایش می‌دهد.

۲- مواد و روش‌ها

در مدل فضای حالت غیرخطی، فرض می‌شود که مقادیر u, y, x بردار، حقیقی و $f(x, u)$ و $g(x, u)$ تابع باشند x مجموعه‌ای از متغیرهای دینامیکی و u مجموعه‌ای از ورودی‌ها و y مجموعه‌ای از خروجی‌ها است. x_0 و u_0 مجموعه‌ای از متغیرهای دینامیکی، ورودی‌های

ثابت و مشخصات حالت ماندگار نقطه‌ی کار هستند. T نماد ترانهاده‌ی ماتریس است. فرایند خطی سازی معادلات غیرخطی دبی خروج از مخزن، حجم آب ذخیره شده در مخزن و ارتفاع آب درون مخزن تبیین می‌شود.

$$y = g(x, u) \quad (1)$$

$$f(x, u) = [f_1(x, u) f_2(x, u) \cdots f_n(x, u)]^T$$

$$g(x, u) = [g_1(x, u) g_2(x, u) \cdots g_m(x, u)]^T$$

$$f_i(x, u) \approx f_i(x_0, u_0) + \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \right|_{(x_0, u_0)} \Delta x_1 + \cdots + \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \right|_{(x_0, u_0)} \Delta x_n$$

$$+ \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_1} \right|_{(x_0, u_0)} \Delta u_1 + \cdots + \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_m} \right|_{(x_0, u_0)} \Delta u_m,$$

$$i = 1, \dots, n, m$$

$$F(x, u) \approx f(x_0, u_0) + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{(x_0, u_0)} \Delta x + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{(x_0, u_0)} \Delta u$$

تقریب مرتبه اول خطی سازی شده به صورت ماتریس، در رابطه (۲) نمایش داده می‌شود.

$$f_i(x, u) - f_i(x_0, u_0) = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \right|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \right|_{(x_0, u_0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_{n-1} \\ \Delta x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_1} \right|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_m} \right|_{(x_0, u_0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta u_2 \\ \vdots \\ \Delta u_{m-1} \\ \Delta u_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

اگر متغیرهای دینامیکی متعدد و از توابع مختلف تشکیل شده باشند تغییرات آن‌ها در اطراف نقطه کار به وسیله رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$A = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{(x_0, u_0)} = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_{(x_0, u_0)} \\ \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \right|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \right|_{(x_0, u_0)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B = \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{(x_0, u_0)} = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_1} \right|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_m} \right|_{(x_0, u_0)} \\ \left. \frac{\partial f_n}{\partial u_1} \right|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \left. \frac{\partial f_n}{\partial u_m} \right|_{(x_0, u_0)} \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u$$

$$\Delta \dot{x} = \frac{d \Delta x}{dt} = \frac{d}{dt} (x - x_0) = \dot{x}$$

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

A ماتریس حالت، B ماتریس ورودی است. معادله خروجی و ماتریس انتقال مستقیم، به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود.

$$\Delta y_i = g_i(x, u) - g_i(x_0, u_0) \quad (4)$$

$$= \left[\frac{\partial g_i}{\partial x_1} \Big|_{(x_0, u_0)} \cdots \frac{\partial g_i}{\partial x_n} \Big|_{(x_0, u_0)} \right] \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_{n-1} \\ \Delta x_n \end{bmatrix} + \left[\frac{\partial g_i}{\partial u_1} \Big|_{(x_0, u_0)} \cdots \frac{\partial g_i}{\partial u_m} \Big|_{(x_0, u_0)} \right] \begin{bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta u_2 \\ \vdots \\ \Delta u_{m-1} \\ \Delta u_m \end{bmatrix}$$

$$i = 1, \dots, n, m$$

$$\Delta y = C \Delta x + D \Delta u$$

$$C = \frac{\partial g}{\partial x} \Big|_{(x_0, u_0)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} \Big|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \Big|_{(x_0, u_0)} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial g_i}{\partial x_1} \Big|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \frac{\partial g_i}{\partial x_n} \Big|_{(x_0, u_0)} \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial u_1} \Big|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \frac{\partial g_1}{\partial u_m} \Big|_{(x_0, u_0)} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial g_i}{\partial u_1} \Big|_{(x_0, u_0)} & \cdots & \frac{\partial g_i}{\partial u_m} \Big|_{(x_0, u_0)} \end{bmatrix}$$

C ماتریس خروجی، D ماتریس انتقال مستقیم است. معادلات (۳) و (۴) معادلات فضای حالت نامیده می‌شود که برای حل مسائل با چندین متغیر دینامیکی و مجموعه‌ای از ورودی و خروجی با استفاده از کامپیوتر مفید است [۱۰ و ۱۹-۲۱]. از معادلات (۳) و (۴) در نوشتن معادلات (۹)، (۱۰)، (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) استفاده شد و پایه و اساس معادلات (۱۱) و (۱۲) هستند.

۳- روابط خطی میان پارامترهای مخزن

با توجه به شکل ۱، برای جریانی که از یک مجرای کوتاه واصل بین دو مخزن می‌گذرد مقاومت این مجرا در مقابل عبور سیال به صورت اختلاف سطح (اختلاف سطح در دو مخزن) برای ایجاد یک واحد تغییر در آهنگ جریان تعریف می‌شود. (تغییر آهنگ جریان سیال (مترمکعب)/ تغییر اختلاف سطح (متر) = R)

ظرفیت مخزن C طبق تعریف نسبت تغییر مایع ذخیره‌شده در مخزن به پتانسیل (ارتفاع) است (پتانسیل کمیتی است که سطح انرژی ذخیره‌شده در سیستم را نشان می‌دهد).

(تغییر ارتفاع آب (متر)/ تغییر مایع ذخیره‌شده (مترمکعب) = C)

معادلات فضای حالت سد با دو مخزن و با ارتفاع‌های مختلف H_1 و H_2 و ورودی‌های Q_1 و Q_2 به دست می‌آیند. روابط میان Q و H غیرخطی است که به صورت معادلات فضای حالت خطی سازی شده نوشته می‌شوند.

در معادلات زیر h_1 و h_2 تغییرات ارتفاع آب درون مخازن و q_{i1} و q_{i2} تغییرات دبی ورودی به مخازن از حالت تعادل یا ماندگار C_1 و C_2 سطح مقطع مخازن هستند. q_1 دبی خروج از مخزن ۱، q_0 دبی خروج از مخزن ۲، V_1 حجم آب ذخیره‌شده در مخزن ۱ و V_2 حجم آب ذخیره‌شده در مخزن ۲ است.

$$C_1 dh_1 = (q_{i1} - q_1) dt \quad (5)$$

$$\frac{h_1 - h_r}{R_1} = q_1 \quad (6)$$

$$C_2 dh_2 = (q_1 + q_{i2} - q_0) dt \quad (7)$$

$$\frac{h_2}{R_2} = q_0 \quad (8)$$

از معادله (۵) و (۶) مقدار q_1 حذف می‌شود.

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{C_1} \left(q_{i1} - \frac{h_1 - h_r}{R_1} \right) \quad (9)$$

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{1}{R_1 C_1} h_1 + \frac{1}{R_1 C_1} h_r + \frac{1}{C_1} q_{i1}$$

با استفاده از معادلات (۸) و (۹) مقادیر q_1 و q_0 از معادله (۶) حذف می‌شود.

$$\frac{dh_r}{dt} = \frac{1}{C_r} \left(\frac{h_1 - h_r}{R_1} + q_{i2} - \frac{h_r}{R_r} \right) \quad (10)$$

$$\frac{dh_r}{dt} = \frac{1}{R_1 C_r} h_1 - \left(\frac{1}{R_1 C_r} + \frac{1}{R_r C_r} \right) h_r + \frac{1}{C_r} q_{i2}$$

متغیرهای حالت x_1 و x_2 به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$x_1 = h_1$$

$$x_2 = h_r$$

متغیرهای ورودی هستند u_1 و u_2

$$u_1 = q_{i1}$$

$$u_2 = q_{i2}$$

متغیرهای y_1 و y_2 خروجی هستند.

$$y_1 = h_1 = x_1$$

$$y_2 = h_r = x_2$$

معادلات (۹) و (۱۰) با استفاده از معادلات (۱)، (۲) و (۳) به صورت معادله (۱۱) و به صورت ماتریس نوشته می‌شوند:

$$\dot{x}_1 = -\frac{1}{R_1 C_1} x_1 + \frac{1}{R_1 C_1} x_2 + \frac{1}{C_1} u_1 \quad (11)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{R_1 C_2} x_1 - \left(\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) x_2 + \frac{1}{C_2} u_2$$

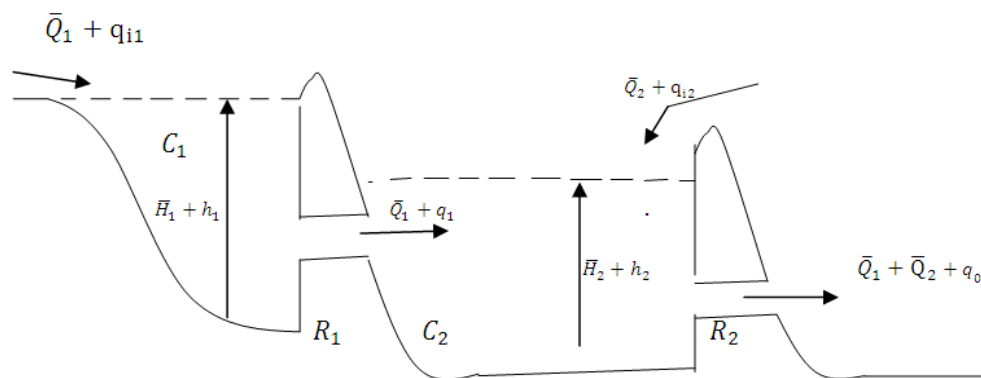
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 C_1} & \frac{1}{R_1 C_1} \\ \frac{1}{R_1 C_2} & -\left(\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$v_1 = c_1 \cdot h_1 \quad (13)$$

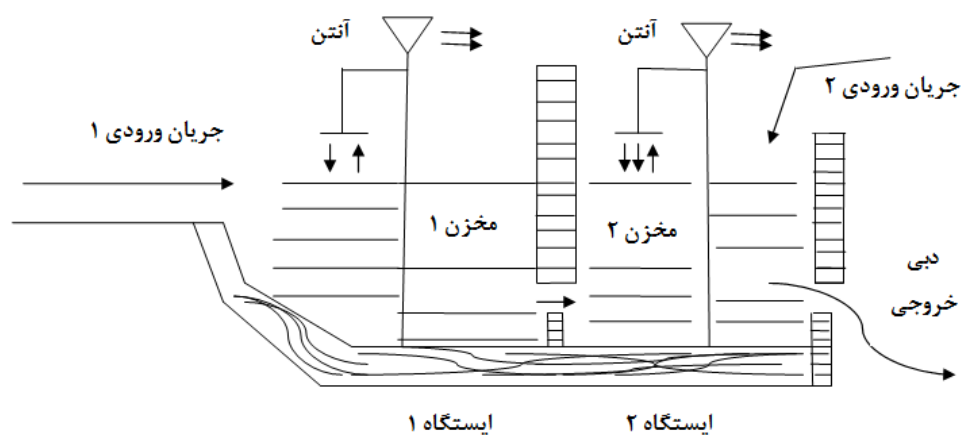
$$v_2 = c_2 \cdot h_2 \quad (14)$$

معادلات (۱۱) و (۱۲) معادلات فضای حالت هستند که از غیرخطی به معادلات خطی تبدیل یافتند [۲۰-۲۲-۲۵]. پارامترهای بازشدگی R_1 و R_2 در محدوده‌ی وسیعی قابل تغییر و تعیین هستند. با توجه به سیل طرح، شرایط محیطی و موقعیت نصب دریچه‌های مخازن، پارامترهای بازشدگی دریچه‌ها، طوری انتخاب می‌شوند که نقاط تعادل هیدرو گراف ورود و خروج از مخازن در مکان هندسی مناسب قرار گیرند. اگر مقداری برای هر کدام از پارامترهای بازشدگی در نظر گرفته شود، از معادله‌ی (۱۱) که با استفاده از معادله‌ی (۳) نوشته شد، تغییرات ارتفاع آب درون مخازن و از معادلات (۶) و (۸) دبی خروج از مخازن به دست می‌آیند. از معادله‌ی (۴) نوشته شد، مقادیر ارتفاع آب درون مخازن، و از معادلات (۱۳) و (۱۴) حجم آب ذخیره‌شده در مخازن به دست می‌آیند. ابعاد دریچه‌ی هر مخزن باید طوری باشد که بتواند دبی و ارتفاع آب خروج از مخزن را از خود عبور دهد و مخزن سد، گنجایش ذخیره‌ی حجم آب و ارتفاع آب درون خود را نیز داشته باشد. با انتخاب سیل طرح، نقطه‌ی تعادل هیدرو گراف ورود و خروج از مخزن تنظیم، سپس مقدار پارامتر بازشدگی دریچه مشخص می‌شود. پس از تعیین مقدار پارامتر بازشدگی، بر اساس معادلات (۶) و (۸)، ارتفاع آب عبور از دریچه‌ی هر مخزن مشخص می‌شود. حداقل ارتفاع دریچه‌ی هر مخزن، برابر ارتفاع آب خروج از مخزن در نظر گرفته می‌شود. طول دریچه نیز بر اساس معادلات (۶) و (۸)، دبی خروجی از مخزن و معادلات (۱۳)، (۱۴) و حجم آب قابل ذخیره در مخزن، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین پس از انتخاب سیل طرح، مکان هندسی نقطه‌ی تعادل و پارامتر بازشدگی تعیین می‌شود. سپس بر اساس معادلات (۶)، (۸) و (۱۳) ارتفاع آب عبور از مخزن، حداقل ارتفاع دریچه مشخص می‌شود. طول دریچه هم طوری انتخاب و تعیین می‌شود که بتواند دبی عبور از مخزن را از خود عبور دهد.

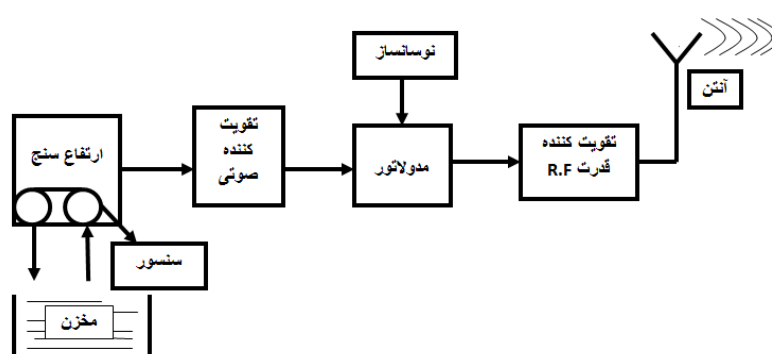


شکل ۱: سد با دو ورودی و دو خروجی و پارامترهای مربوطه

کنترل و هوشمند سازی دریچه‌های تخلیه کننده و آبگیرها برحسب حجم آب سیلاب‌های ورود به مخازن صورت می‌گیرد. در شکل ۲ پروفیل طولی سد با دو ورودی و دو خروجی نشان داده شد. برای هوشمند کردن دریچه‌ها، سیستم‌های نصب‌شده در ایستگاه ۱ و ۲ و اتاق فرمان، پس از طراحی با المان‌های الکترونیک، میکروکنترلر، پردازشگر، سنسورهای فاصله‌سنج، فرستنده، گیرنده‌های رادیویی، میکروپروسسور، نرم‌افزارهای مختلف و مناسب از جمله C، ++C و python و arduino ساخته شدند. دو سیستم نمونه‌بردار از سطح آب مخازن، مستقر در ایستگاه‌های ۱ و ۲ در ارتفاع مشخصی از کف مخازن نصب می‌شوند. سیستم‌های نصب‌شده در ایستگاه‌های ۱ و ۲، امواج آلتراسونیک را به سطح آب فرستاده و امواج برگشتی از سطح آب توسط آن‌ها دریافت می‌شود. مدت‌زمان رفت و برگشت این امواج توسط سیستم‌ها ثبت و مشخص می‌شود و چون سرعت امواج در هوا معلوم است، فاصله نصب سیستم تا سطح آب معلوم می‌شود. با کم کردن فاصله سطح آب تا سیستم از فاصله نصب سیستم تا کف مخزن، ارتفاع آب به دست می‌آید [۲۴-۲۶-۲۷].

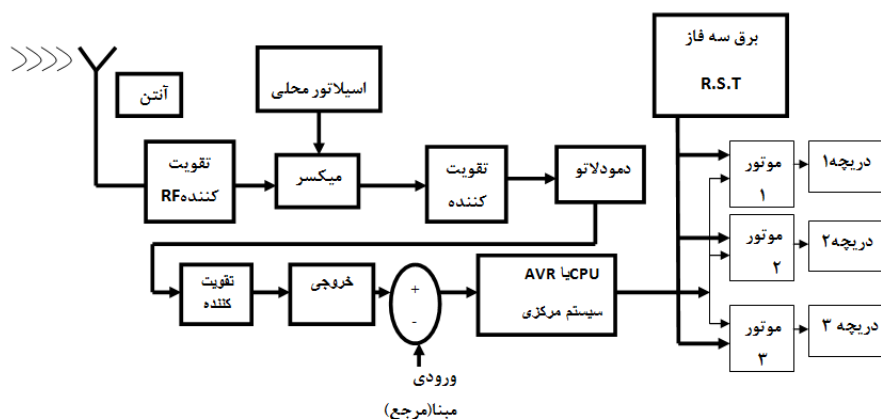


شکل ۲: پروفیل سد با دو ورودی و دو خروجی



شکل ۳: بلوک دیاگرام ایستگاه‌های ا و ۲

از ارتفاع آب در فواصل زمانی مشخص، نمونه‌برداری می‌شود و پس از فرایند آماده‌سازی برای ارسال، توسط فرستنده رادیویی به اتاق فرمان یا کنترل ارسال می‌گردد. بلوک دیاگرام نمونه‌بردار و فرایند آماده‌سازی نمونه‌های ارتفاع آب، در شکل ۳ نشان داده شد. در اتاق کنترل امواج دریافت و پس از فرایند مربوطه، آشکار می‌شوند. بلوک دیاگرام گیرنده، آشکارساز و کنترل مقدار بازشدگی دریچه در شکل ۴ نشان داده شد [۲۰ و ۲۸-۲۹]. با آشکار شدن نمونه‌های ارسالی از ایستگاه‌های ۱ و ۲، هیدرو گراف سیل‌های ورود و خروج از مخزن، پیک یا حداکثر آب عبور از دریچه‌ی تخلیه کننده و حجم آب ذخیره‌شده در مخازن روی صفحه‌ی مانیتور نشان داده می‌شود. اگر ارتفاع آب از عدد مینا (توسط طراح بر اساس سیل طرح مشخص می‌شود) بیشتر باشد، سیستم کنترل، به وسیله موتور الکتریکی دریچه را به طور کامل باز می‌کند و اگر ارتفاع آب از عدد مینا کمتر باشد و مخزن سد گنجایش آن را داشته باشد، سیستم کنترل، دریچه را بسته و یا به اندازه مطلوب باز می‌کند (بر اساس نظر طراح دریچه و بهره‌بردار). این عملیات به صورت مکرر ادامه می‌یابد تا سطح آب در تراز مورد نظر تثبیت شود.



شکل ۴: بلوک دیاگرام گیرنده، آشکارساز و کنترل بازشدگی دریچه در اتاق فرمان

برای کنترل هوشمند دریچه علاوه بر تعیین ابعاد آن باید مشخصات دستگاه بالابر و پایین بر آن را نیز مورد توجه قرار داد. برای بالابردن و پایین آوردن دریچه، از موتور الکتریکی، دستگاه‌های هیدرولیکی و یا پنوماتیکی استفاده می‌شود. توان این دستگاه‌ها مقداری مشخص است. اگر توان لازم برای جابجایی دریچه از توان دستگاه بیشتر باشد، دستگاه توان جابجایی آن را نخواهد داشت بنابراین در تعیین ابعاد و مشخصات دریچه باید توان دستگاه جابجایی آن را نیز مورد توجه قرار داد یا باید دستگاه جابجا کننده دریچه و یا آنگیر را با توان مناسب انتخاب کرد. سیستم‌های هوشمند سازی دریچه (تخلیه کننده، آنگیر، سرریز اصلی، سرریز کمکی، اضطراری) پس از طراحی، ساخته شدند و در آزمایشگاه و کانال‌های باز به صورت مکرر مورد استفاده قرار گرفتند و از عملکرد و دقت خوبی برخوردار بودند. اما به علت گستردگی مطالب، از ارائه مدارات الکترونیک، مخابرات، میکروپروسسور، میکروکنترلرها، ارتباط ماهواره‌ای و رادیویی میان بخش‌های مختلف آن خودداری شد و در حد معمول بیان گردید. با توجه به طراحی دقیق دریچه و نصب سیستم‌های هوشمند و هشداردهنده، کارایی سد افزایش، سیلاب‌ها کنترل و از آب درون مخزن بهره‌برداری مطلوب به عمل می‌آید.

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

چگونگی استفاده از معادلات (۱۱) و (۱۲) فضای حالت در تعیین ابعاد دریچه‌ی تخلیه کننده (قابل تعمیم به دریچه‌ی سرریز اصلی، سرریز کمکی، اضطراری و آنگیر) و هوشمند سازی آن بحث شد. روش، پارها در کانال‌های باز و آزمایشگاه تست گردید و از دقت بالایی برخوردار است. در ادامه به بررسی نتایج، یافته‌ها و انطباق‌پذیری این روش، با روش پالس که در روند یابی سیل ورود به مخزن بکار می‌رود، به یک مثال پرداخته می‌شود. با توجه به شکل ۲ مقدار دبی خروج از سد تحت تأثیر جریان‌های ورود به دو مخزن، ارتفاع آب، حجم ذخیره شده در هر دو مخزن، مقادیر بازشدگی دریچه‌های مخازن و مقادیر سطح مخزن بالادست و پایین دست است. در زمانی که مخازن ۱ و ۲ تا آستانه‌ی تخلیه‌های تخلیه کننده یا آنگیر آن‌ها پر است، سیل طرح وارد دریاچه پایین دست شده که هیدرو گراف آن مثلثی با زمان پایه ۴۸ ساعت و در فاصله‌های زمانی ۳ ساعت اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ یادداشت شد. دبی سیل طرح ورود به مخزن بالادست در فاصله‌های ۳ ساعت اندازه‌گیری شده که در جدول ۲ یادداشت شده است. چگونگی محاسبات و رسم هیدروگراف‌های ورود و خروج از مخازن و تعیین مکان هندسی نقطه‌ی تعادل آن‌ها، مستقل از داده‌های جداول ۱ و ۲ بوده و برای هر سیل ورودی قابل استفاده است. سطح مقطع مخازن $C_1=1980000$ و $C_2=2000000$ متر مربع در نظر گرفته شد [۲۸-۲۹].

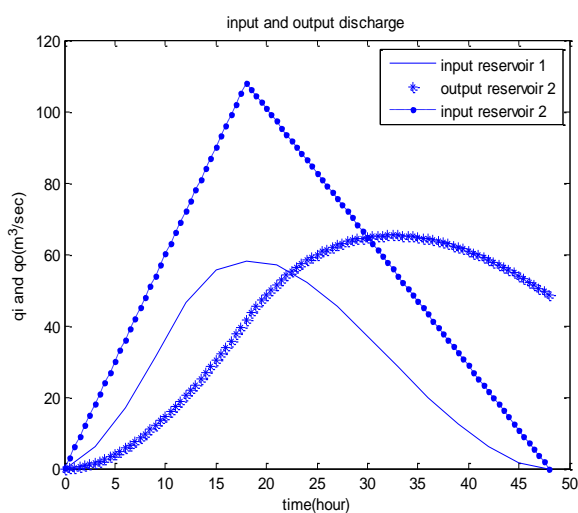
جدول ۱: شدت جریان سیل ورودی به مخزن پایین دست

۲۴	۲۱	۱۸	۱۵	۱۲	۹	۶	۳	۰	زمان پس از شروع (ساعت)
۸۶/۴	۹۷/۲	۱۰۸	۹۰	۷۲	۵۴	۳۶	۱۸	۰	دبی ورودی (متر مکعب بر ثانیه)
	۴۸	۴۵	۴۲	۳۹	۳۶	۳۳	۳۰	۲۷	زمان پس از شروع (ساعت)
۰	۱۰/۸	۲۱/۶	۳۲/۴	۴۳/۲	۵۴	۶۴/۸	۷۵/۶		دبی ورودی (متر مکعب بر ثانیه)

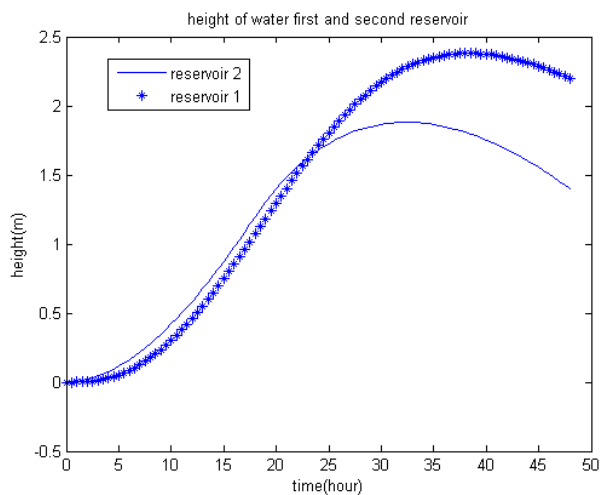
جدول ۲: شدت جریان سیل ورودی به مخزن بالادست

۲۴	۲۱	۱۸	۱۵	۱۲	۹	۶	۳	۰	زمان پس از شروع (ساعت)
۵۲	۵۷	۵۸	۵۵/۵	۴۶/۵	۳۱/۵	۱۷	۶	۰	دبی ورودی (متر مکعب بر ثانیه)
	۴۸	۴۵	۴۲	۳۹	۳۶	۳۳	۳۰	۲۷	زمان پس از شروع (ساعت)
۰	۱/۵	۶	۱۲/۵	۲۰	۲۸/۵	۳۷	۴۵/۵		دبی ورودی (متر مکعب بر ثانیه)

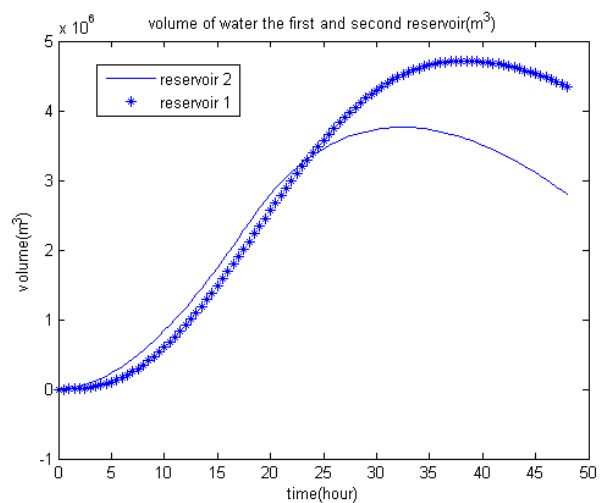
با توجه به معادلات (۱۱) و (۱۲) و داده‌های جداول ۱ و ۲ و با فرض مقادیر پارامتر $R_1 = 1/2 \times 10^{-5}$ و $R_2 = 1/8 \times 10^{-5}$ ، نمودار هیدرو گراف دبی ورود و خروج از مخازن و نقطه‌ی تعادل آن‌ها در شکل ۵ رسم گردید. ارتفاع آب در مخزن ۱ (بالادست) و ۲ (پایین دست) در شکل ۶ نشان داده شد. نمودار حجم آب ذخیره شده در مخازن ۱ و ۲ در شکل ۷ رسم شد. نمودار دبی عبور از مخزن بالادست، در شکل ۸ نشان داده شد.



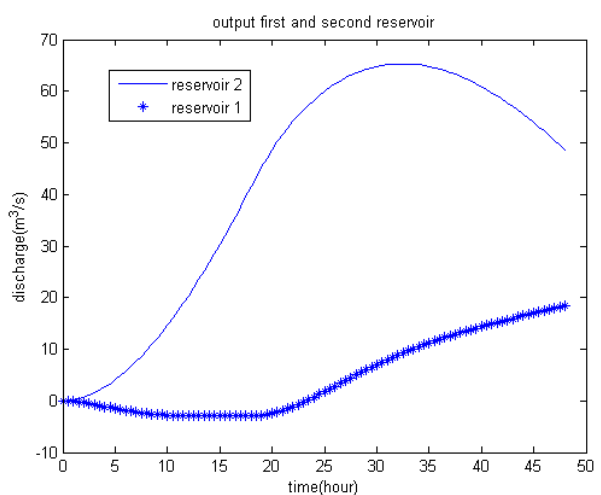
شکل ۵: هیدرو گراف سیل‌های ورود به مخازن و خروج از مخزن پایین دست



شکل ۶: ارتفاع آب درون مخازن ۱ و ۲

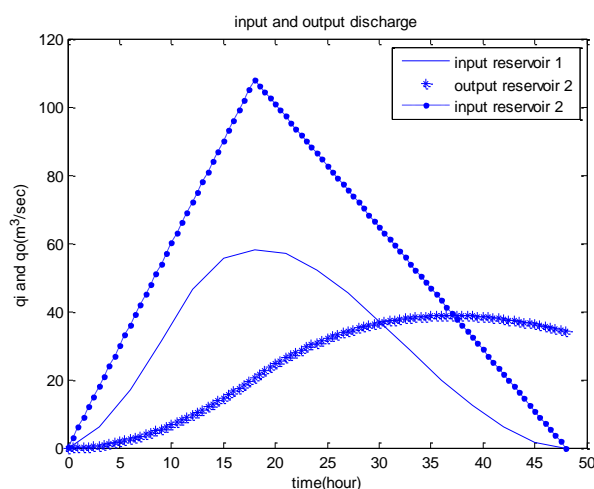


شکل ۷: حجم آب ذخیره شده در مخازن ۱ و ۲

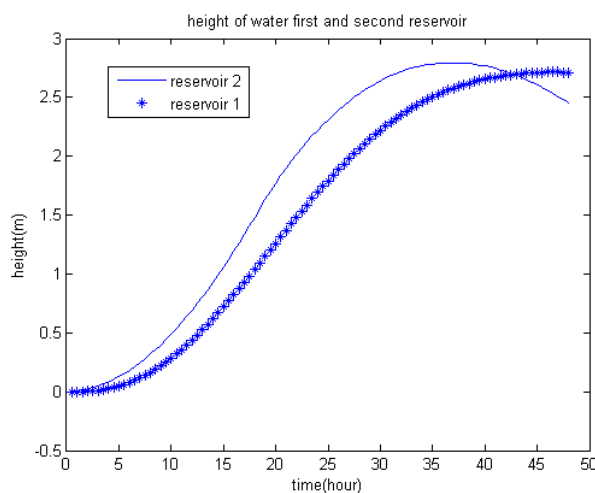


شکل ۸: دبی خروج از مخازن ۱ و ۲

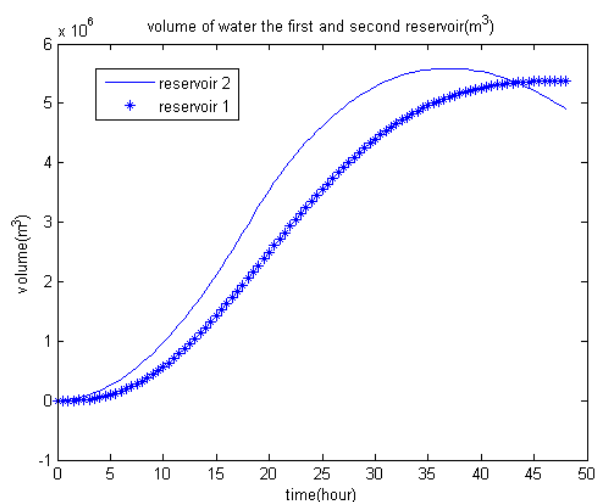
در زمان طراحی و احداث سد، ارتفاع آزاد، ارتفاع موج ناشی از سرعت باد، ارتفاع ذوب یخ، یخچال‌ها و ارتفاع سیل در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین با مقایسه نمودارهای شکل‌های ۶ و ۷ که افزایش ارتفاع آب و حجم آب ذخیره‌شده در مخازن را نشان می‌دهند و ارتفاع آزاد مخازن، می‌توان نسبت به دبی خروج از مخازن ۱ و ۲ قضاوت کرد که آیا سد توان تحمل افزایش ارتفاع آب و حجم آب ذخیره‌شده را دارد یا خیر؟ این توانایی با مقایسه‌ی مقادیر افزایش حجم آب ذخیره‌شده و ارتفاع آب در مخازن با ارتفاع آزاد (در زمان طراحی و احداث سد مشخص می‌شود) معلوم می‌شود. مقادیر پارامترهای بازشدگی R_1 و R_2 در گستره‌ی وسیعی قابل‌تغییر هستند که در انتخاب آن‌ها آزادی عمل وجود دارد. سپس مقادیر $R_1 = 5 \times 10^{-6}$ و $R_2 = 2 \times 10^{-6}$ در نظر گرفته شد و نمودار هیدرو گراف دبی ورود به مخازن و خروج از آن‌ها در شکل ۹ رسم گردید. نمودارهای افزایش ارتفاع آب درون مخازن در شکل ۱۰ و نمودارهای حجم آب ذخیره‌شده در مخازن ۱ و ۲ در شکل ۱۱ رسم شدند. نمودار دبی عبور از مخزن بالادست، در شکل ۱۲ نشان داده شد.



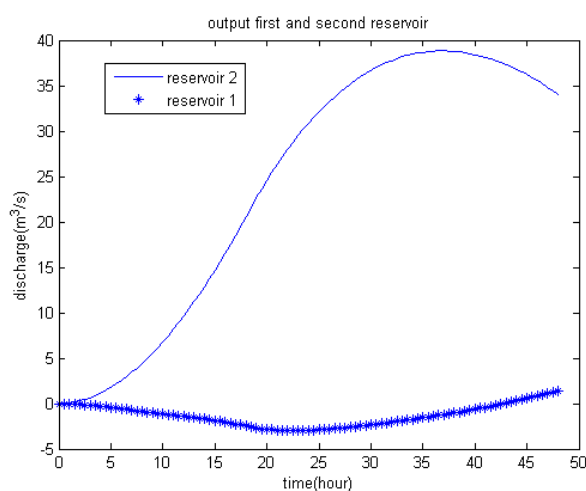
شکل ۹: هیدرو گراف سیل‌های ورود به مخازن و خروج از مخزن پایین‌دست



شکل ۱۰: ارتفاع آب درون مخازن ۱ و ۲



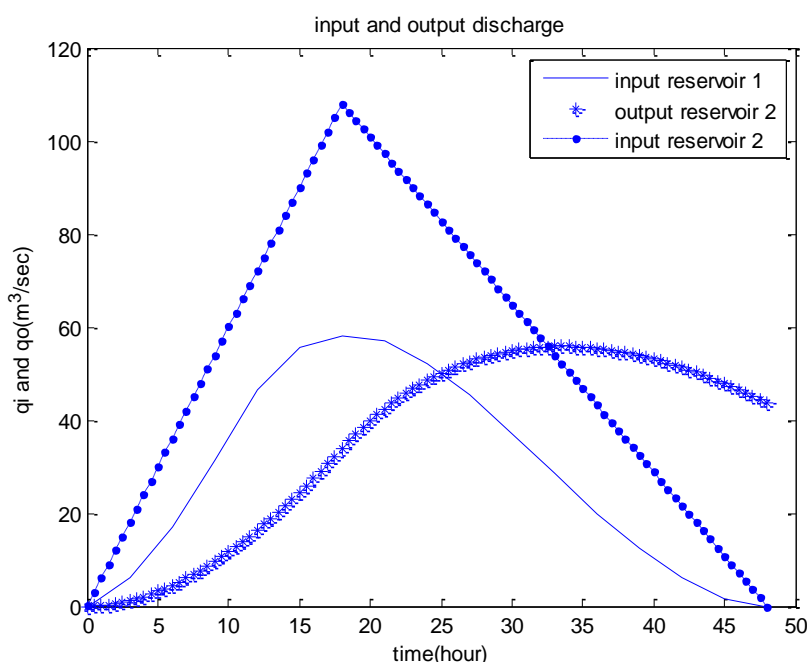
شکل ۱۱: حجم آب ذخیره‌شده در مخازن ۲ و ۱



شکل ۱۲: دبی خروج از مخازن ۲ و ۱

با افزایش مقادیر پارامتر R ، مقاومت در برابر جریان افزایش می‌یابد و باعث افزایش ارتفاع آب و حجم آب ذخیره‌شده در مخازن می‌شود که در نمودار شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نمایان است. بنابراین با افزایش یا کاهش پارامترهای R ، مقادیر حجم آب ذخیره‌شده و ارتفاع آب درون مخازن افزایش یا کاهش می‌یابند. پس با تغییر پارامتر R ، مکان هندسی نقطه‌ی تعادل دبی خروجی با دبی سیل‌های ورود به مخازن ۱ و ۲ تغییر یافته و در مکان مناسب که مورد نظر طراح است، قرارداد می‌شود. با تنظیم نقطه‌ی تعادل و مشخص شدن حداکثر ارتفاع آب خروج از هر مخزن، حداقل ارتفاع دریچه‌ی تخلیه کننده، طول دریچه‌ی تخلیه کننده طوری تعیین می‌شود که بتواند سیل‌های بزرگ (سیل طرح) ورود به مخزن را از خود عبور دهد و به سد و تأسیسات آن خسارت وارد نشود. روش تعیین ابعاد دریچه‌ی تخلیه کننده قابل‌تعمیم به تعیین ابعاد دریچه‌های سرریز اصلی، کمکی و اضطراری مخزن نیز هست. به علت انعطاف‌پذیری زیادی که در انتخاب پارامترهای R_1 و R_2 وجود دارد، طراحی و تعیین ابعاد دریچه از دقت و انعطاف‌پذیری قابل ملاحظه‌ای برخوردار است.

این روش با روش متداول و معمول پالس که در روند یابی سیل ورود به مخزن بکار می‌رود، مقایسه می‌شود تا صحت و دقت این روش در عمل مشخص شود. منحنی هیدرو گراف ورود و خروج از مخازن بر اساس روش پالس و با توجه به داده‌های جداول ۱ و ۲ در شکل ۱۳ نشان داده شد.



شکل ۱۳: هیدرو گراف دبی ورود و خروج و نقطه تعادل آن‌ها با استفاده از روش پالس

اگر $R_1 = 2 \times 10^{-5}$ و $R_2 = 1.07 \times 10^{-5}$ انتخاب شوند و هیدرو گراف ورودی و خروجی با روش معادلات فضای حالت رسم شوند، نمودار آن بر نمودار شکل ۱۳ منطبق می‌شود. دبی نقطه‌ی تعادل هیدرو گراف سیل ورود و خروج از مخزن با استفاده از روش سیستم هوشمند معادلات فضای حالت، 0.2% (دو صدم درصد) از دبی نقطه‌ی تعادل محاسبه شده به روش پالس بیشتر است. خطای 0.2% (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. بنابراین با تنظیم و تغییر پارامترهای R نه تنها می‌توان نقطه‌ی تعادل دبی ورود و خروج سیل را در همان مکان هندسی روش پالس قرارداد، بلکه در گستره‌ی وسیعی از هیدرو گراف ورودی قابل تعیین است که با هر شرایط محیطی و اقتصادی انطباق پذیر است.

۵- نتیجه‌گیری

با داشتن هیدرو گراف بزرگترین سیل ورود به مخازن و تعیین مقادیر مناسب R_1 و R_2 اطلاعات موردنیاز طراحی ابعاد دریچه تخلیه کننده و آگیر تأمین می‌شود. با حل معادلات فضای حالت، دبی عبور از مخزن، حجم آب ذخیره شده در مخزن و ارتفاع آب عبور از آن (حداقل ارتفاع دریچه) مشخص می‌شود سپس با توجه به شرایط محیطی، اقتصادی و شرایط نشیمنگاه دریچه، طول دریچه طوری تعیین می‌شود که بتواند دبی عبور از مخزن را از خود عبور دهد. سیستم هوشمند دریچه‌ی تخلیه کننده، طراحی و ساخته شد و در آزمایشگاه و کانال‌های باز به صورت مکرر تست گردید که نتایج آن دقیق و مورد رضایت بود. سیستم کنترل هوشمند دریچه‌ی تخلیه کننده، مجهز به سیستم هشداردهنده است و هیدرو گراف سیل‌های ورود و خروج از مخازن، دبی و ارتفاع آب عبور از مخازن را روی صفحه مانیتور در اتاق فرمان نشان می‌دهد. در کنترل هوشمند دریچه باید توان دستگاه جابجا کننده دریچه را مورد توجه قرارداد. توان لازم برای جابجایی دریچه باید کمتر از توان دستگاه الکتریکی، هیدرولیکی و پنوماتیکی جابجا کننده دریچه باشد. با تعیین دقیق ابعاد دریچه‌ها و هوشمند سازی آن‌ها، شرایط مطلوب که ایمنی سد، عدم روگذری سیل، عدم ایجاد خسارت ناشی از سیل در سازه سد، تأسیسات آن و جلوگیری از خسارت در پایین دست سد است، بوجود می‌آید. حداکثر آب درون مخزن ذخیره، از اتلاف آب جلوگیری و ارتفاع آب درون مخزن در سطح

قابل قبول نگه داشته می‌شود. مزیت این روش طراحی، انطباق‌پذیری با شرایط محیطی و موقعیت نصب دریچه (تخلیه کننده، آبگیر، سرریز اصلی، سرریز کمکی، اضطراری) می‌باشد.

مراجع

- [1] Zang, S.T., Liu, Y., Li, M.M. and Liang, B. (2016). Distributed hydrological models for addressing effects of spatial variability of roughness on overland flow. *Water Science and Engineering*, 9(3), 249-255.
- [2] Dewals, B. J., Kantoush, S. A., Erpicum, S., Piroton, M. & Schleiss, A.J. (2008). Experimental and numerical analysis of flow instabilities in rectangular shallow basins. *Environmental Fluid Mechanics*, 8(1), 31-54.
- [3] Camnasio, E., Erpicum, S., Orsi, E., Piroton, M., Schleiss, A. J. & Dewals, B. (2013). Coupling between flow and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*, 51(5), 535-547.
- [4] Chen, J., Guo, S., Li, Y., Lui, P. and Zhou, Y. (2013). Joint operation and dynamic control of flood limiting water levels for cascade reservoirs. *Water Resources Management*, 27(3), 749-763.
- [5] Marien, J.L. (1984). Controllability conditions for reservoir flood control systems with applications. *Water Resour. Res.*, 20(11), 1477-1488.
- [6] Wei, C.C. and Hsu, N.S. (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.
- [7] Widom, B. and Rowlinson, J. (1970). New model for the study of liquid-vapor phase transitions. *J. Chem. Phys.*, 52(4), 1670-1684.
- [8] 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, 1868-1877.
- [9] 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), 1045-1064.
- [10] 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, 487-499.
- [11] Windsor, J.S. (1973). Optimization model for the operation of flood control systems. *WaterResour. Res.*, 9(5), 1219-1226.
- [12] 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), 163-172.
- [13] Lumbroso, D. and Gaume, E. (2012). Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *J. Hydrol.*, 414-415, 16-30.
- [14] Medeiros, S.C., Hagen, S.C. and Weishampel, J.F. (2012). Comparison of flood-plain surface roughness parameters derived from land cover data and field measurements. *J. Hydrol.*, 452-453(7), 139-149.
- [15] Mohammadzadeh-Habili, J., Heidarpour, M., Mousavi, S. F. & Haghiabi, A.H. (2009). Derivation of reservoir's area-capacity equations. *ASCE, J. Hydrol. Eng.*, 14(9), 1017-1023.
- [16] Baghlani, A. and Talebbeydokhti, N. (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.
- [17] Bartosiewicz, Z., Kotta, U., Pawłuszewicz, E. and Wyrwas, M. (2011). Control systems on regular time scales and their differential rings. *Math. Control Signals Syst.*, 22, 185-201.
- [18] Mokos, A., Rogers, B.D. and Stansby, P.K. (2017). multi-phase particle shifting algorithm for SPH simulations of violent hydrodynamics with a large number of particles. *Journal of Hydraulic Research*, 55(2), 143-162.
- [19] Chen, W., Anderson, B.D.O., Deistler, M. and Filler, A. (2012). Properties of blocked linear systems. *Automatica.*, 48, 2520-2525.
- [20] Dorf, R.C and Bishap, R.H. (2010). *Introduction Solutions Manual for Modern Control Systems*. Twelfth Edition. New York: Prentice Hall.
- [21] Inoue, M., Wada, T., Ikeda, M. and Uezato, E. (2015). State-space H_{∞} controller design for descriptor systems. *Automatica*, 59, 164-170.
- [22] Liu, X., Qu, H., Zhao, J. and Chen, B. (2017). State space maximum correntropyfilter. *Signal Processing.*, 130, 152-158.
- [23] Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. Fifth Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- [24] Tu, Y.Q. and Shen, Y.L. (2017). Phase correction autocorrelation-based frequency estimation method for sinusoidal signal. *Signal Processing*, 130, 183-189.
- [25] 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 Sys.*, 62, 459-468
- [26] Carusone, T.C., John, D.A. and Martin, K.W. (2012). *Analog Integrated Circuit Design*. Second Edition. Hoboken: John Wiley and Sons, Inc.

- [27] Ahmad Al_Issa, H., Thuneibat, S., Ijjeh, A. and Abdesalam, M. (2016). Sensors application using PIC16F877A Microcontroller. American Journal of Remote Sensing, 4(3), 13-18.
- [28] Alizadeh, A. (2011). Principles of Applied Hydrology. 32th Edition. Mashhad: Astan Quds Razavi Publications.
- [29] Hosseini, S.M., Abrishami, J. (2010). *Hydraulic of Open Channels*. Twenty-Fourth Edition. Mashhad: Astan Quds Razavi.