

تأثیر اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی بر پروفیل سطح آب در شبکه‌های آبیاری

محمد مهدی حیدری^{*}، سارا محمدپور^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۰

۱- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mm.heidari@razi.ac.ir

چکیده

کاهش منابع آب و پایین بودن راندمان شبکه‌های آبیاری، توجه به روش‌های مدیریتی و بهره‌برداری مناسب از کانال‌های آبیاری را ضروری می‌سازد. در هر شبکه آبیاری تعداد متنوعی سازه آبرگیر و تنظیم‌کننده وجود دارد که تغییر در شرایط کار هر یک از آنها (اختلالات هیدرولیکی و سازه‌ای) بر عملکرد و رفتار سازه‌های دیگر تأثیر گذاشته و منجر به کاهش عملکرد هیدرولیکی شبکه می‌شود. اختلالات سازه‌ای به علت تغییرات جزئی در میزان بازشدگی سازه‌های آبرگیر و تنظیم‌کننده ایجاد می‌شود که این امر باعث تغییر عمق طراحی و پروفیل سطح آب می‌گردد. تغییرات جزئی دبی ورودی به کانال موجب اختلالات هیدرولیکی و تغییر پروفیل سطح آب در بازه‌های شبکه می‌شود. در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی بر عمق جریان، با استفاده از بسط تیلور رابطه حاکم بر پروفیل سطح آب در جریان متغیر تدریجی خطی شد و یک رابطه تحلیلی برای محاسبه تغییرات عمق آب ارائه گردید. سپس برای شرایط مختلف هیدرولیکی، نتایج حاصل از حل عددی رابطه حاکم بر جریان متغیر تدریجی با رابطه تحلیلی ارائه شده، مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که خطای رابطه تحلیلی ارائه شده برای محاسبه تغییرات پروفیل سطح آب در شرایط اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی به ترتیب کمتر از ۴٪ و ۳/۸٪ است.

واژه‌های کلیدی: اختلالات سازه‌ای هیدرولیکی، پروفیل سطح آب، شاخص حساسیت هیدرولیکی، شبکه‌های آبیاری

The Effect of Structural and Hydraulic Perturbation on Water Surface Profile in Irrigation Networks

MM Heidari^{1*}, S Mohammad Pour²

Received: 24 April 2014

Accepted: 12 October 2014

¹ Assist. Prof., Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Iran

² M.Sc. Student, Water Engineering Department, University of Shahid Chamran, Iran

*Corresponding Author, Email: mm.heidari@razi.ac.ir

Abstract

Reduction of water resources and low efficiency of irrigation networks makes it necessary to pay attention to the management methods and the proper operation of the irrigation canals. In each irrigation network, there is a large number of offtake and cross-regulators that any change in their operating situation affects the behavior of other structures and lead to decrease in the hydraulic performance of canals. The structural perturbation is formed under partial changes in the setting of offtake and cross-regulator, which causes variations of the design depth and water surface profile. Partial changes in the inflow of a canal discharge lead to hydraulic perturbation and variation in water surface profile. In this research, in order to investigate the influence of structural and hydraulic perturbation on the flow depth, the governing Gradually Varied Flow (GVF) equation was linearized by Taylor's expansion and an analytical equation was developed to calculate the water depth changes. Then, for various hydraulic conditions, the results of the numerical solution of the governing GVF equation and the developed analytical formula were compared. The results showed that the errors of the presented formula to calculate the water surface profile changes under structural and hydraulic disturbances were less than 4% and 3.8%, respectively.

Keywords: Hydraulic sensitivity index, Irrigation networks, Structural and hydraulic perturbation, Water surface profile

تغذیه‌شده یا واحد مزرعه و تنظیم‌کننده‌ها نیز به‌منظور کنترل سطح آب موردنیاز آبیگرها در کانال تغذیه‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شبکه‌های آبیاری ساخته‌شده در کشور عمدتاً دریچه‌های کشویی، روزنه با بار آبی ثابت و مدول‌های نیرپیک به‌عنوان سازه‌های آبیگیر و سرریزهای ثابت، دریچه‌های قطاعی، کشویی و دریچه‌های اتوماتیک مانند آمیل به‌عنوان تنظیم‌کننده به‌صورت وسیع استفاده می‌شود. رفتار هیدرولیکی

مقدمه

پایین بودن عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری، توجه به روش‌های مدیریت و بهره‌برداری از مجاری روباز را ضروری می‌سازد. شبکه‌های آبیاری از سازه‌های متنوعی تشکیل‌شده که آبیگرها و تنظیم‌کننده‌ها نمونه‌هایی از آنها می‌باشند. آبیگرها به‌منظور تحویل دبی برنامه‌ریزی‌شده به یک کانال

تنظیم‌کننده است. تغییرات جزئی در تنظیم دریچه‌های کشویی و یا قطعی در بازه‌ای که دریچه‌ی مزبور در آن واقع است از نوع اختلالات سازه‌ای و برای بازه‌های پایین‌دست از نوع اختلالات هیدرولیکی است، چون اختلالات سازه‌ای باعث تغییر در دبی ورودی به بازه‌های پایین‌دست می‌شود.

در صورتی‌که کنترل سطح آب توسط دریچه‌های قطعی و کشویی صورت گیرد، بهره‌بردار شبکه باید بازشدگی دریچه‌ها را مطابق با برنامه‌های تحویل و توزیع آب تنظیم نماید. با توجه به اینکه بازشدگی دریچه‌ها به صورت دستی با خطا همراه است، بنابراین رقوم سطح آب بالادست دریچه‌های تنظیم‌کننده همواره با مقادیر برنامه‌ریزی شده متفاوت بوده و در نتیجه بر دبی آبیگرها تأثیر می‌گذارد، در این شرایط اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی قابل بررسی است. اما در صورتی‌که سازه‌های کنترل‌کننده از نوع سرریزهای ثابت و یا دریچه آمیل باشد، نیاز به بهره‌برداری از سازه نیست و به صورت اتوماتیک تراز سطح آب متناسب با دبی تنظیم می‌شود. در این حالت اختلالات سازه‌ای وجود ندارد اما اختلالات هیدرولیکی باعث تغییر پروفیل سطح آب و در نتیجه تغییر دبی ورودی به آبیگرها می‌شود. منتظر و همکاران (۱۳۸۵) تعدادی از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی را توسعه دادند و با استفاده از آن‌ها به مطالعه و بررسی اختلالات هیدرولیکی و سازه‌ای در شبکه وادودار در کشور هند پرداختند. آن‌ها سازه‌های حساس را با استفاده از شاخص‌های ارائه شده، شناسایی و دستورات بهره‌برداری را برای آن ارائه دادند.

تعیین رابطه تغییر عمق آب در طول بازه کانال و تغییر عمق آب در بالادست سازه تنظیم‌کننده در بررسی عملکرد هیدرولیکی شبکه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این زمینه استرلکف و همکاران (۱۹۹۸) با مطالعه فرم بدون بعد منحنی‌های پس‌زدگی آب بر وجود یک رابطه خطی بین تغییرات عمق آب بالادست سازه

سازه‌ها در کانال‌های آبیاری به یکدیگر وابسته است. به‌عنوان مثال، کاهش مقدار دبی عبوری از یک آبیگر باعث افزایش عمق آب در بالادست سازه تنظیم‌کننده شده و این افزایش عمق آب سبب تغییر در پروفیل سطح آب و افزایش دبی آبیگرهای دیگر این بازه و همچنین افزایش دبی ورودی به بازه پایین‌دست می‌شود. محاسبه پروفیل سطح آب در شبکه و بررسی عوامل مؤثر بر آن به دلیل تأثیر بر دبی آبیگرها و شناسایی سازه‌های حساس مورد توجه محققان است. وطن‌خواه (۲۰۱۱a) یک رابطه شبه‌تحلیلی برای محاسبه پروفیل سطح آب در کانال سهمی شکل ارائه داد. با استفاده از رابطه ایشان می‌توان طول پس‌زدگی آب را در کانال سهمی محاسبه نمود. شاهرخ نیا و جوان (۲۰۰۷) به بررسی تأثیر تغییرات ضریب مانینگ بر دبی آبیگرها پرداختند و شاخص حساسیت تغییرات دبی آبیگر به زبری کانال را ارائه و آن را برای شبکه درودزن مورداستفاده قراردادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که تغییرات ضریب زبری مانینگ در شبکه آبیاری درودزن بر پروفیل سطح آب در کانال و بر دبی تعدادی از آبیگرها تأثیر دارد. شاهرخ نیا و همکاران (۲۰۰۹) شاخص حساسیت تغییرات دبی آبیگر و کانال اصلی به عمق آب در کانال فرعی را ارائه دادند و آن را برای شبکه آبیاری درودزن به کار گرفتند. تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که عمق آب در کانال فرعی شبکه درودزن بر دبی تعدادی از آبیگرها بیشتر تأثیر دارد، با شناسایی این آبیگرها می‌توان کنترل بیشتری بر تراز سطح آب در کانال‌های فرعی پایین‌دست داشت.

مطالعه جریان در بازه‌های شبکه آبیاری با مطالعه اختلالات هیدرولیکی و سازه‌ای امکان‌پذیر است. تغییرات جزئی در دبی ورودی به کانال به صورت برنامه‌ریزی شده (اجرای برنامه‌های آبیاری) و یا بدون برنامه‌ریزی (خطای بهره‌برداری) باعث ایجاد اختلالات هیدرولیکی می‌شود. اختلالات سازه‌ای مربوط به تغییرات جزئی در میزان بازشدگی سازه‌های آبیگر و یا

محاسبه و سازه‌های حساس در شبکه را شناسایی نمود. تشخیص سازه‌های حساس به مدیران بهره‌بردار کمک می‌کند تا کنترل و بازرسی بیشتری بر آنها داشته باشند. ارائه روابطی تحلیلی برای محاسبه تغییرات عمق آب در کانال به دلیل اختلالات هیدرولیکی و سازه‌ای اولین گام در روش تحلیل حساسیت سازه‌ها و بازه‌ها است که هدف اصلی در این پژوهش هست.

مواد و روش‌ها

پروفیل سطح آب به دلیل اختلالات هیدرولیکی و سازه‌ای در شبکه‌های آبیاری بندرت ثابت و پایدار است. منظور از کنترل در شبکه‌های آبیاری تثبیت عمق آب در بالادست سازه تنظیم‌کننده در یک محدوده مجاز اطراف عمق طراحی (معمولاً عمق نرمال در دبی طراحی) و به تبع آن تحویل دبی در محدوده‌ی تغییرات مجاز به آبیگرها هست (رنالت ۲۰۰۰). کارآیی سیستم تنظیم‌کننده سطح آب در شبکه‌های آبیاری، به دقت در کنترل سطحی آب و میزان محدوده‌ی پروفیل پس‌زدگی آب بستگی دارد. میزان بیشینه نوسانات عمق آب در بالادست سازه‌های تنظیم‌کننده که بیان‌کننده دقت در کنترل سطح آب است با استفاده از شاخص‌های عملکرد هیدرولیکی مورد انتظار تعیین می‌شود و همچنین میزان محدوده پروفیل پس‌زدگی آب در شبکه آبیاری به تعداد سازه‌های کنترل‌کننده و خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی شبکه بستگی دارد (رنالت ۱۹۹۹).

وضعیت جریان در آبیگرها با توجه به شرایط فیزیکی و هیدرولیکی بازه، در دو حالت قابل بررسی است (شکل ۱).

- ۱- آبیگرهایی که در محدوده منحنی پس‌زدگی آب قرار دارند و توزیع آب در آنها متأثر از عمق طراحی است.
- ۲- آبیگرهایی که تحت تأثیر جریان یکنواخت هستند و سازه تنظیم‌کننده تأثیری بر دبی آنها ندارد.

تنظیم‌کننده و تغییرات عمق آب در طول بازه کانال تأکید کرده‌اند. رنالت (۱۹۹۹) فرض کرد بین تغییرات عمق آب در محل تنظیم‌کننده و در محل آبیگر یک رابطه خطی وجود دارد. ایشان شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل را به صورت نسبت بین تغییرات عمق آب در محل آبیگر به تغییرات عمق آب در محل تنظیم‌کننده در نظر گرفت و رابطه ۱ را ارائه داد:

$$m_i = \frac{\Delta H_{us(o)i}}{\Delta H_{us(R)}} \quad [1]$$

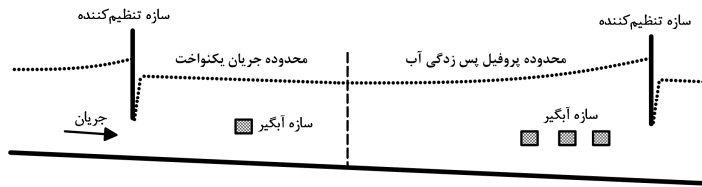
در رابطه فوق، $\Delta H_{us(o)i}$ تغییرات عمق آب در محل آبیگر نام و $\Delta H_{us(R)}$ تغییرات عمق آب در بالادست تنظیم‌کننده و m_i شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل است.

شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل مقداری بین یک برای آبیگرهای مجاور تنظیم‌کننده تا صفر برای آبیگرهای تحت تأثیر جریان یکنواخت خواهد داشت. وطن‌خواه (۲۰۱۱ب) با استفاده از معادله حاکم بر جریان متغیر تدریجی رابطه ۲ را برای شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل ارائه داد:

$$m_i = \left(\frac{1 - Fr_R^2}{1 - Fr_{o(i)}^2} \right) \left(\frac{S_0 - S_{fR}}{S_0 - S_{fo(i)}} \right) \quad [2]$$

در رابطه فوق، $S_{fo(i)}$ شیب خط انرژی در مقطع آبیگری نام، S_{fR} شیب خط انرژی در بالادست تنظیم‌کننده، Fr_R عدد فرود در مقطع تنظیم‌کننده و $Fr_{o(i)}$ عدد فرود در مقطع آبیگری است.

اختلالات هیدرولیکی و سازه‌ای سبب تغییر پروفیل سطح آب در کانال و همچنین باعث تغییر دبی ورودی به آبیگرها می‌شود، بنابراین این اختلالات بر عملکرد هیدرولیکی شبکه تأثیر می‌گذارد. با محاسبه تغییرات عمق آب در جلوی دهانه آبیگر می‌توان شاخص حساسیت تغییرات دبی آبیگر به عمق آب را



شکل ۱- وضعیت کنترل جریان در یک بازه از شبکه آبیاری.

تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل تغییر عمق طراحی است. عمق آب بعد از اختلالات سازه‌ای از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$Y = Y_0 + y \quad [5]$$

در رابطه فوق، Y_0 و Y به ترتیب عمق آب در نقاط مختلف قبل و بعد از اختلالات سازه‌ای در بالادست دریچه و y تغییرات عمق آب در نقاط مختلف بازه کانال است. به منظور تعیین اثر تغییرات عمق طراحی بر پروفیل سطح آب، رابطه‌ی حاکم بر جریان متغیر تدریجی در اطراف عمق آب قبل از اختلالات سازه‌ای با استفاده از بسط تیلور خطی می‌شود:

$$M(Y_0 + y, Q) = M(Y_0, Q) + \frac{\partial M}{\partial Y} \Big|_{Y_0} y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 M}{\partial Y^2} \Big|_{Y_0} y^2 + \dots \quad [6]$$

از جمله دوم به بعد رابطه ۶ صرف‌نظر کرده و با جای‌گذاری رابطه ۳ در آن خواهیم داشت:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\partial M}{\partial Y} \Big|_{Y_0} y = Ky \quad [7]$$

مشتق تابع M نسبت به Y مطابق رابطه ۸ ارائه می‌شود:

$$\frac{\partial M}{\partial Y} = \frac{2Fr(S_0 - S_f)(\partial Fr / \partial Y)}{(1 - Fr^2)^2} - \frac{(\partial S_f / \partial Y)(1 - Fr^2)}{(1 - Fr^2)^2} \quad [8]$$

محدوده اثر منحنی پس‌زدگی آب در بازه‌های مختلف، متفاوت است. این محدوده که همان طول منحنی پس‌زدگی آب است تابعی از شیب، دبی، ضریب مانینگ و عمق طراحی در بالادست سازه تنظیم‌کننده می‌باشد. با استفاده از معادله حاکم بر جریان متغیر تدریجی در کانال‌های روباز می‌توان پروفیل سطح آب و طول منحنی پس‌زدگی آب را محاسبه نمود (چاو ۱۹۵۹):

$$\frac{dY}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} = M(Y, Q) \quad [3]$$

در معادله فوق، Q دبی کانال، Y عمق جریان، x فاصله در امتداد کف کانال از سازه تنظیم‌کننده، S_0 شیب کف کانال، S_f شیب‌خط انرژی و Fr عدد فرود جریان است. در این تحقیق معادله حاکم بر جریان متغیر تدریجی با استفاده از روش عددی اولر اصلاح‌شده مطابق رابطه ۴ جداسازی و حل شد:

$$Y_{i+1}^p = Y_i + \Delta x [M(Y_i, Q_i)] \quad [4]$$

$$Y_{i+1} = Y_i + 0.5\Delta x [M(Y_i, Q_i) + M(Y_{i+1}^p, Q_{i+1})]$$

که در آن، Δx فاصله نقاط محاسباتی، Y_{i+1}^p عمق جریان پیش‌بینی‌شده برای نقطه محاسباتی $i+1$ و Y_{i+1} عمق آب اصلاح‌شده است.

تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل اختلالات سازه‌ای خطا در میزان بازشدگی دریچه‌های کشویی و قطاعی باعث تغییر عمق طراحی (شرایط مرزی) در بالادست سازه‌های تنظیم‌کننده و تغییر پروفیل سطح آب در بازه می‌شود. در این شرایط دبی ورودی به بازه ثابت و

مشتق شیب خط انرژی و عدد فرود نسبت به عمق آب مطابق روابط ۹ و ۱۰ هست:

$$\frac{\partial Fr}{\partial Y} = 0.5 Fr \left(\frac{2ZA - 3T^2}{AT} \right) \quad [9]$$

$$\frac{\partial S_f}{\partial Y} = \frac{2}{3} S_f \left(\frac{4\sqrt{1+Z^2}}{P} - 5 \frac{T}{A} \right) \quad [10]$$

با قرار دادن روابط ۹ و ۱۰ در رابطه ۸ و ساده‌سازی خواهیم داشت:

$$K = \frac{1}{A(1-Fr^2)} \left[\frac{Fr^2(S_0 - S_f)(2ZD - 3T)}{(1-Fr^2)} - \frac{2S_f(4R\sqrt{1+Z^2} - 5T)}{3} \right] \quad [11]$$

در روابط فوق Z شیب جداره کانال، D عمق هیدرولیکی، A مساحت جریان، R شعاع هیدرولیکی و T عرض سطح آب است. تابع K بستگی به عمق جریان داشته و با توجه به اینکه در جریان متغیر تدریجی، عمق جریان در طول کانال تغییر می‌کند، بنابراین مقدار K وابسته به مقدار فاصله از سازه تنظیم‌کننده X ، است. رابطه خطی ۱۲ برای محاسبه K در نظر گرفته می‌شود:

$$K = AX + B \quad [12]$$

برای تعیین ضرایب A و B به دو نقطه با مقادیر معلوم X و K ، نیاز است. در نقطه‌ای به فاصله L از دریچه که قرار است تغییرات پروفیل سطح آب محاسبه شود، عمق آب قبل از اختلالات مشخص بوده و مقدار تابع K برابر K_1 است. همچنین در محل سازه تنظیم‌کننده عمق آب بعد و قبل از اختلالات مشخص بوده و مقدار متوسط برای K در این نقطه در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مقدار ضرایب A و B به صورت روابط

۱۳ و ۱۴ ارائه می‌شود:

$$A = 0.5(K_1 - K_{R1})/L \quad [13]$$

$$B = 0.5(K_{R1} + K_{R2}) \quad [14]$$

در روابط فوق مقدار K_{R1} و K_{R2} با استفاده از رابطه ۱۱ برای عمق آب در بالادست دریچه و برای شرایط قبل و بعد از اختلالات محاسبه می‌شود. با جای‌گذاری رابطه ۱۲ در رابطه ۷ و دیفرانسیل‌گیری، برای محاسبه تغییرات عمق آب در طول کانال رابطه ۱۵ ارائه می‌شود:

$$y = y_R e^{0.5AX^2 + BX} \quad [15]$$

در رابطه فوق y_R تغییرات عمق آب طراحی در بالادست دریچه تنظیم‌کننده به دلیل اختلالات سازه‌ای هست.

تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل اختلالات هیدرولیکی

تغییرات جزئی در دبی ورودی به کانال به صورت برنامه‌ریزی شده (اجرای برنامه‌های آبیاری) و یا بدون برنامه‌ریزی (خطای بهره‌برداری) باعث تغییر پروفیل سطح آب در بازه می‌شود. در صورتی که سازه تنظیم‌کننده از نوع آمیل باشد این تغییر دبی تأثیری بر عمق طراحی نداشته و به عبارت دیگر شرایط مرزی ثابت و دبی عبوری تغییر می‌کند. اما در صورتی که از سرریزهای ثابت به عنوان سازه تنظیم‌کننده استفاده شود، اختلالات هیدرولیکی باعث تغییر در عمق طراحی نیز می‌شود. در این پژوهش به بررسی اختلالات هیدرولیکی در حالتی که دریچه آمیل سازه‌ی تنظیم‌کننده است، پرداخته می‌شود. به منظور تعیین اثر تغییرات دبی بر پروفیل سطح آب، رابطه حاکم بر جریان متغیر تدریجی در اطراف دبی و عمق آب قبل از اختلالات با استفاده از بسط تیلور خطی می‌شود:

$$C = 0.5(C_I + C_R) \quad [20]$$

در روابط فوق، زیرنویس ۱ مربوط به مشخصات هیدرولیکی قبل از اختلالات در محلی که قرار است تغییرات پروفیل سطح آب محاسبه شود و زیرنویس R مربوط به بالادست سازه تنظیم‌کننده است.

با دیفرانسیل‌گیری از رابطه ۱۷ و اعمال شرایط مرزی، رابطه ۲۱ برای محاسبه تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل اختلالات هیدرولیکی ارائه می‌شود:

$$y = \frac{Cq}{K} (e^{Kx} - 1) \quad [21]$$

نتایج و بحث

تأثیر اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی بر پروفیل سطح آب برای ۱۵۰ مورد و در دامنه وسیعی از پارامترهای هیدرولیکی و هندسی کانال مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از رابطه ۱۵ و ۲۱ با حل عددی معادله‌ی حاکم بر جریان متغیر تدریجی مقایسه گردید. با در نظر گرفتن ضوابط طراحی کانال‌های آبیاری و دستورالعمل بهره‌برداری از شبکه‌ها، مشخصات هیدرولیکی و هندسی کانال‌های آبیاری تعیین شد، محدوده‌ی آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

$$M(Y_0 + y, Q_0 + q) = M(Y_0, Q_0) + \frac{\partial M}{\partial Y} \Big|_{Y_0, Q_0} y + \frac{\partial M}{\partial Q} \Big|_{Y_0, Q_0} q + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 M}{\partial Y^2} \Big|_{Y_0, Q_0} y^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 M}{\partial Q^2} \Big|_{Y_0, Q_0} q^2 + \dots \quad [16]$$

در رابطه فوق Q_0 دبی ورودی به کانال قبل از اختلالات و q میزان تغییرات دبی است. از جمله سوم به بعد رابطه ۱۶ صرف‌نظر کرده و با جای‌گذاری رابطه ۳ در آن خواهیم داشت:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\partial M}{\partial Y} \Big|_{Y_0, Q_0} y + \frac{\partial M}{\partial Q} \Big|_{Y_0, Q_0} q = Ky + Cq \quad [17]$$

با مشتق‌گیری از تابع M نسبت به Q و جایگزینی Y_0 و Q_0 در آن، خواهیم داشت:

$$C = \frac{2(S_0 Fr^2 - S_f)}{Q(1 - Fr^2)^2} \quad [18]$$

با توجه به اینکه متغیرهای K و C بستگی به عمق جریان دارد، به‌طور متوسط برای این متغیرها روابط ۱۹ و ۲۰ در نظر گرفته می‌شود:

$$K = 0.5(K_I + K_R) \quad [19]$$

جدول ۱- محدوده مشخصات هیدرولیکی و هندسی کانال‌های شبیه‌سازی شده.

عرض کف (m)	عمق آب (m)	شیب دیواره	شیب کف	ضریب مانینگ	بده جریان (CMS)	عدد فرود	درصد پس‌زدگی	درصد تغییرات عمق طراحی	درصد تغییرات دبی
۳	۳	۱/۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۲۵	۳۰	۰/۸	۵٪	۲۰٪+	۲۵٪+
۰/۶	۰/۷	۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۹	۰/۱	۶۰٪	۲۰٪-	۲۵٪-

توسط رابطه ۴ و ۱۵ را برای تعدادی از شبیه‌سازی‌ها

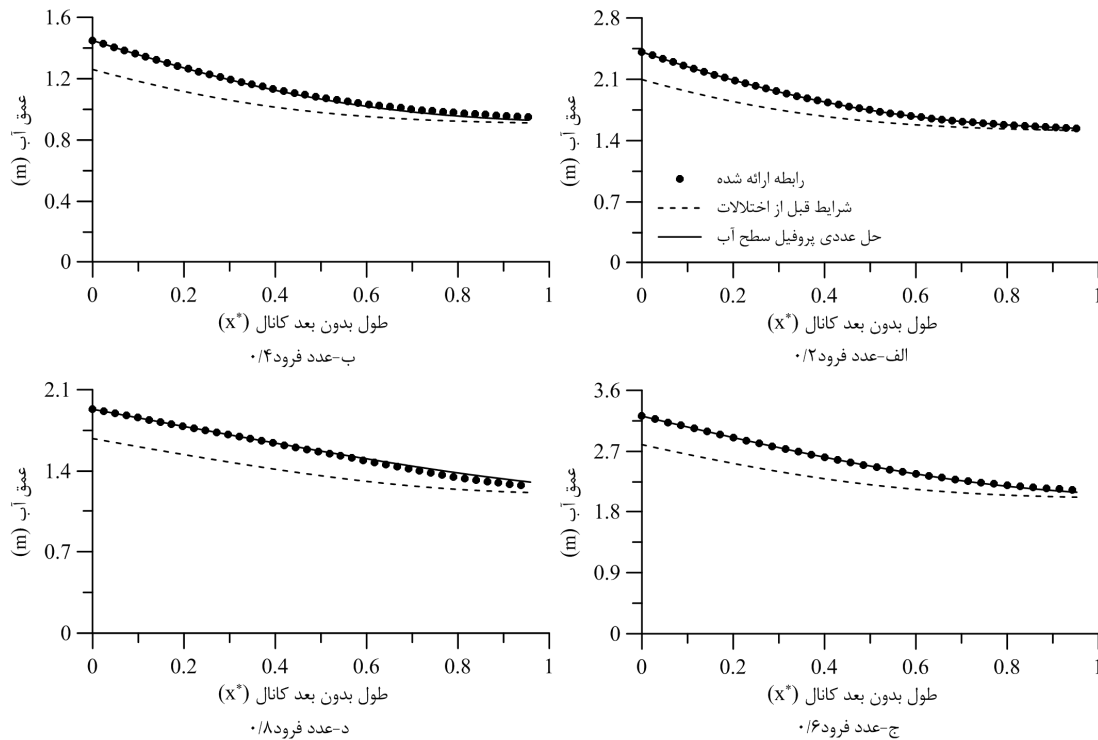
شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات پروفیل سطح آب محاسبه شده

مقدار خطای رابطه ارائه‌شده در اطراف سازه تنظیم‌کننده کم بوده و با افزایش فاصله و نزدیک شدن به محدوده جریان یکنواخت خطای محاسباتی مقداری افزایش می‌یابد. همچنین به‌منظور تعیین تأثیر میزان پس‌زدگی آب بر درستی رابطه ارائه‌شده، برای نسبت‌های مختلف y_2/y_n (نسبت عمق آب در بالادست سازه تنظیم‌کننده به عمق نرمال) بیشینه خطا محاسبه و ارائه‌شده است (شکل ۴ ب).

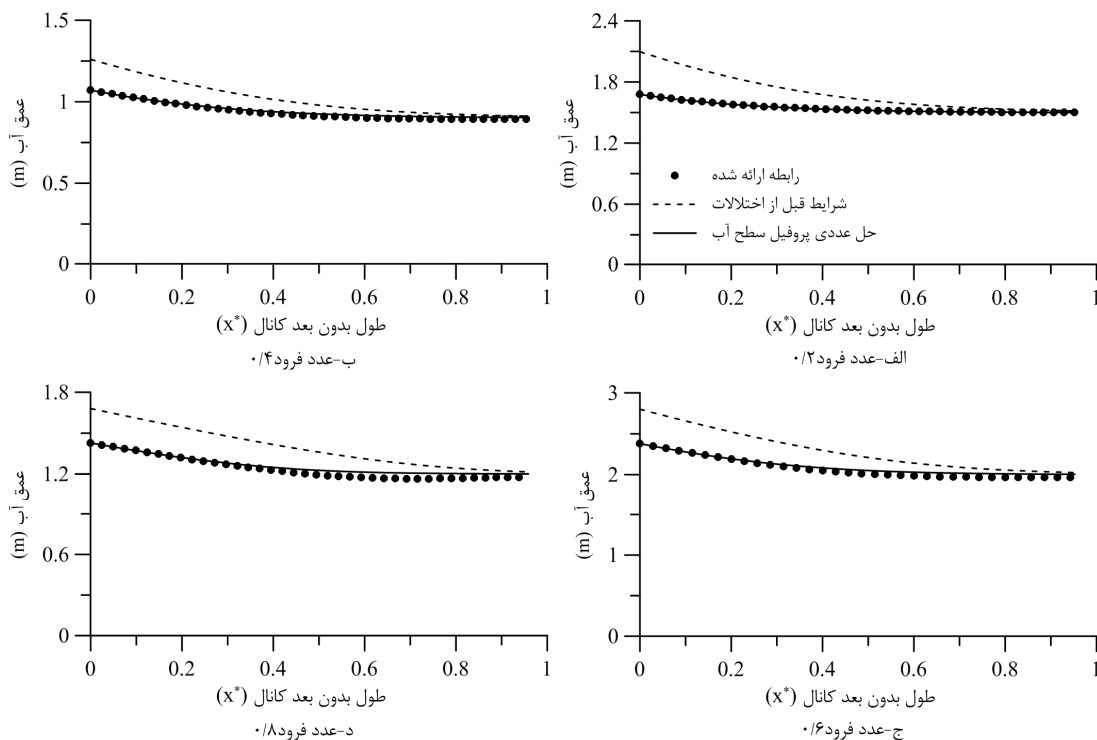
در شرایط افزایش و کاهش عمق طراحی نشان می‌دهد. به‌منظور ارزیابی دقت روابط ۱۵ و ۲۱، درصد خطا با استفاده از رابطه ۲۲ محاسبه و برای طول بدون بعد کانال، $X^* = [x/l]$ آورده شده است (شکل ۴ الف):

$$ME = 100 \frac{|M_i - S_i|}{M_i} \quad [22]$$

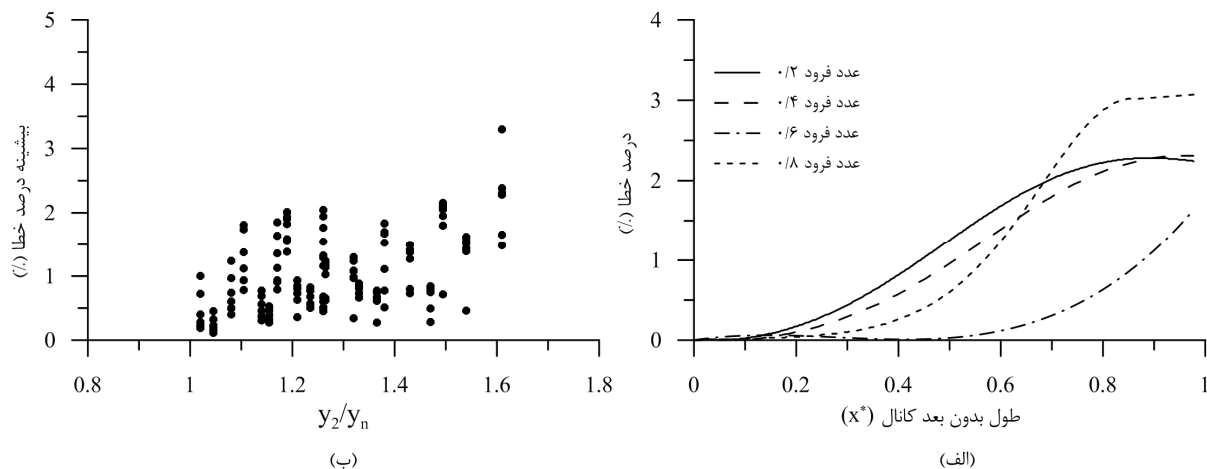
در رابطه فوق ME درصد خطا، M_i مقدار عمق آب محاسبه‌شده توسط حل عددی، S_i مقدار عمق آب محاسبه‌شده توسط روابط ارائه‌شده، l طول کانال و x فاصله از سازه تنظیم‌کننده است.



شکل ۲- نمونه‌ای از تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل افزایش عمق طراحی.



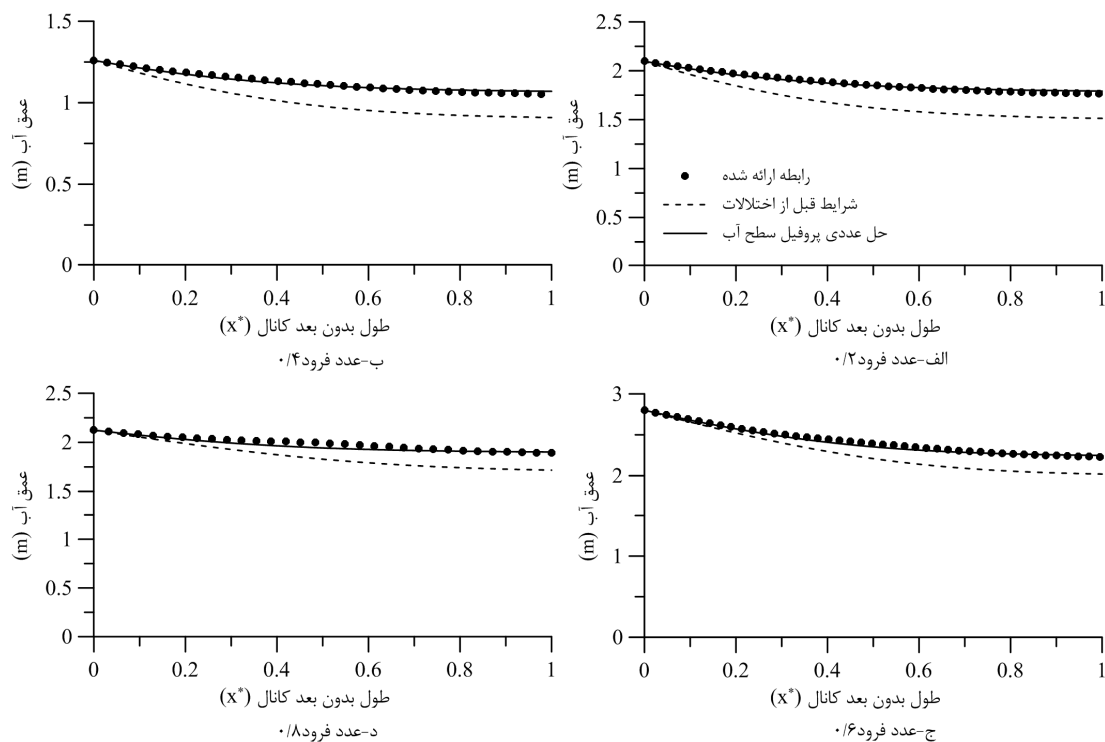
شکل ۳- نمونه‌ای از تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل کاهش عمق طراحی.



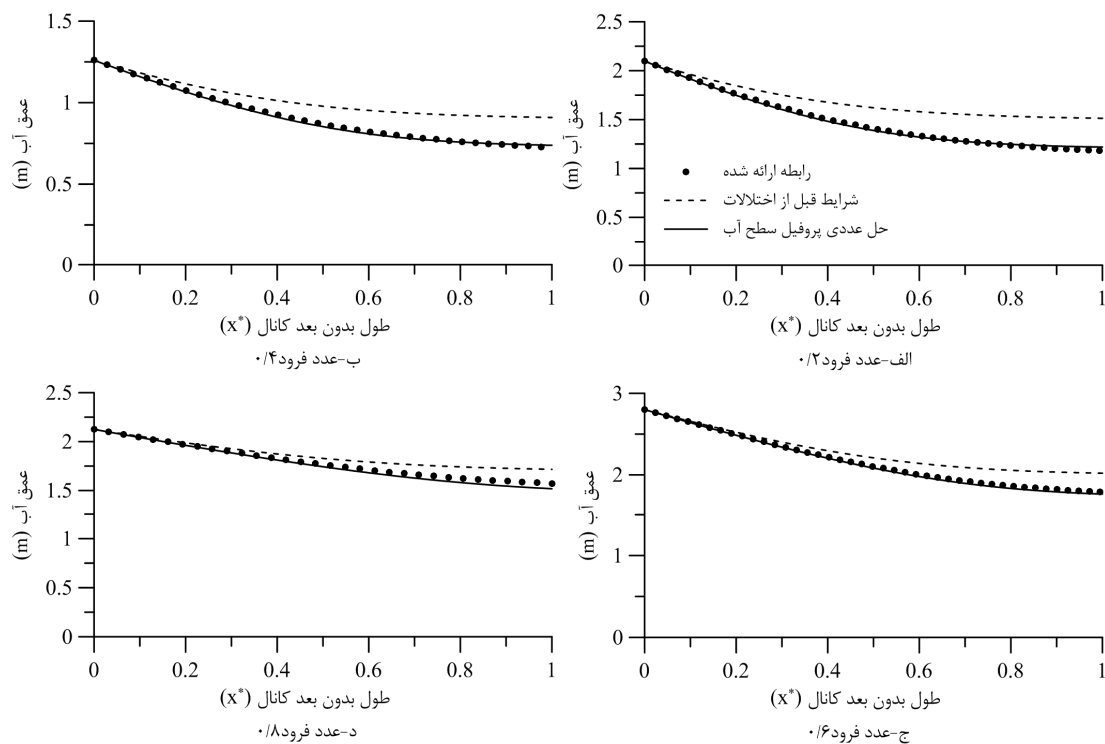
شکل ۴- الف) نمونه توزیع خطا در طول کانال برای اعداد فرود مختلف و ب) تأثیر میزان پس‌زدگی آب بر درستی روابط ارائه‌شده.

پروفیل سطح آب محاسباتی توسط رابطه ۲۱ و حل عددی رابطه ۳ را برای تعدادی از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد.

میزان پس‌زدگی آب تأثیری چندانی بر درستی رابطه ارائه‌شده ندارد و بیشینه خطا که در نزدیکی محدوده جریان یکنواخت اتفاق می‌افتد کمتر از ۴ درصد است. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب تأثیر افزایش و کاهش دبی بر



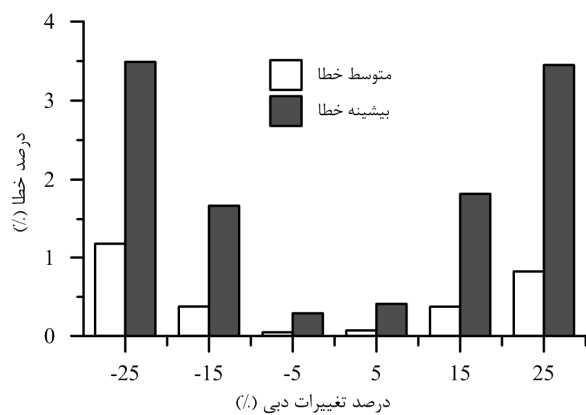
شکل ۵- نمونه‌ای از تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل افزایش ۲۵٪ دبی ورودی به کانال.



شکل ۶- نمونه‌ای از تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل کاهش ۲۵٪ دبی ورودی به کانال.

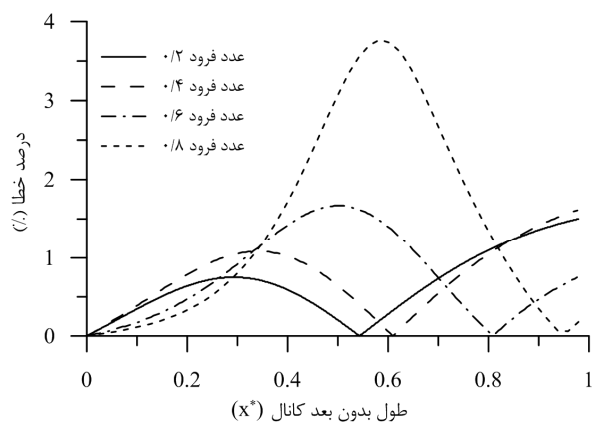
به‌منظور ارزیابی دقت رابطه ۲۱، برای اعداد فرود مختلف درصد خطا محاسبه و برای طول بدون بعد

جمله $\frac{\partial^2 M}{\partial Q^2}$ که بیشترین خطا را دارد رابطه مستقیم با عدد فرود دارد. به طور کلی بیشینه خطای رابطه ارائه شده کمتر از ۳/۸٪ است. شکل ۷ ب تأثیر تغییرات دبی بر بیشینه خطای رابطه ارائه شده را نشان می‌دهد.



(ب)

کانال آورده شده است (شکل ۷ الف). همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش عدد فرود مقدار خطا افزایش می‌یابد، علت افزایش خطا با عدد فرود آن است که در رابطه ۱۶ از جمله سوم به بعد صرف‌نظر شده است،



(الف)

شکل ۷- الف) نمونه توزیع خطای محاسبه پروفیل سطح آب و ب) خطای محاسبه پروفیل سطح آب توسط رابطه ارائه شده نسبت به درصد تغییرات دبی.

تحقیق حاضر تأثیر تغییرات دبی ورودی و عمق طراحی بر پروفیل سطح آب مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تغییرات عمق آب به دلیل اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی، رابطه حاکم بر پروفیل سطح آب با استفاده از بسط تیلور در اطراف عمق و دبی قبل از اختلالات خطی و سپس به صورت تحلیلی حل شد. روابط تحلیلی ارائه شده برای شرایط مختلف هیدرولیکی با حل عددی رابطه حاکم بر جریان متغیر تدریجی مقایسه گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد رابطه تحلیلی ارائه شده برای محاسبه تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی به ترتیب کمتر از ۴ و ۳/۸ درصد خطا دارند.

با افزایش تغییرات دبی ورودی به کانال مقدار خطای محاسبه پروفیل سطح آب توسط رابطه ۲۱ افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه بیشینه تغییرات دبی در هر برنامه آبیاری حدود ۲۵٪ دبی اولیه در نظر گرفته می‌شود، بیشینه خطا برای رابطه ارائه شده در این شرایط ۳/۸ درصد است.

نتیجه‌گیری کلی

خطا در بازشدگی دریاچه‌ها به دلیل بهره‌برداری دستی و همچنین خطا در میزان دبی ورودی به کانال باعث ایجاد اختلالات سازه‌ای و هیدرولیکی می‌شود. این اختلالات سبب تغییر پروفیل سطح آب در کانال شده و در نتیجه بر دبی آبیگرها تأثیر می‌گذارد. اختلاف دبی واقعی ورودی به آبیگرها با مقادیر برنامه‌ریزی شده سبب کاهش عملکرد هیدرولیکی شبکه می‌شود. در

منابع مورد استفاده

منتظر ع، کوچک زاده ص و امید مح، ۱۳۸۵. توسعه تعدادی از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ای و

کاربرد آن‌ها در تحلیل فرآیند بهره‌برداری کانال‌های آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۰، شماره ۳ (الف)، صفحه‌های ۲۹ تا ۳۴.

Chow V, 1959. Open channel hydraulics. McGraw-Hill, New York.

Renault D, 1999. Offtake sensitivity, operation effectiveness, and performance of irrigation system. J Irrig & Drain Eng 125(3):137-147.

Renault D, 2000. Operational sensitivity of irrigation structures. J Irrig & Drain Eng 126(3):157-162.

Shahrokhnia MA, Javan M, 2007. Influence of roughness changes on offtaking discharge in irrigation canals. Water Resour Manage. 21: 635-647.

Shahrokhnia MA, Javan M, Shahrokhnia MH, 2009. Influence of lateral canal water depth on offtake and cross-regulator discharge. J Irrig & Drain. 58: 561-568.

Strelkoff TS, Deltour JL, Burt CM, Clemmens AJ, Baume JP, 1998. Influence of canal geometry and dynamics on controllability. J Irrig & Drain Eng 124(1): 16-22.

Vatankhah A, 2011a. Direct integration of gradually varied flow equation in parabolic channels. Flow Measurement and Instrumentation 22 (3): 235-241.

Vatankhah A, 2011b. Influence of regulators in controlling upstream water depth. J Irrig & Drain Eng. 137(9): 620-623.