اثر سرریز انتهایی بر نیم‌رخ سطح آب در کانال جانبی غیر منشوری: راهنمای طراحی

صلاح کوچک‌زاده[۱]

چکیده

کانال‌های جانبی کاربردهای گسترده‌ای در شبکه‌های انتقال و توزیع آب، سدهای مخزنی، تأسیسات تصفیه آب و فاضلاب، و در مجاری زه‌کشی سطحی دارند. جریان در این سازه‌ها از نوع متغیر مکانی با افزایش دبی است، و نیم‌رخ سطح آب آن از فاکتورهای مهم طراحی محسوب می‌شود. معمولاً علاوه بر افزودن عرض کف کانال در جهت جریان، در انتهای پایین‌دست کانال، سرریزی نصب می‌شود تا ضمن ایجاد مقطع کنترل، شرایطی فراهم نماید که نیم‌رخ سطح آب هموارتری در کانال به وجود آید. در این مقاله نتایج یک پژوهش آزمایشگاهی گزارش شده که برای تعیین میزان تأثیر نصب سرریز انتهایی با ارتفاع‌های مختلف بر ویژگی‌های سطح آب در یک کانال جانبی با مقطع غیر منشوری انجام شده بود. در هر آزمایش شش نیم‌رخ طولی به طور مشخص و متمایز دیده شد. اختلاف میان اعماق آب نقاط میانی نیم‌رخ‌های حداقل و حداکثر هر برداشت در بررسی اثر نصب سرریز به کار رفت.

نتایج نشان داد که اختلاف اعماق نیم‌رخ‌های یاد شده بین نصف تا یک برابر عمق بحرانی ایجاد شده در انتهای پایین‌دست کانال جانبی می‌باشد. هم‌چنین، به کمک منحنی پوش داده‌ها روشی پیشنهاد گردید که در آن حداکثر میزان محتمل تأثیر یک سرریز انتهایی تعیین می‌گردد تا به عنوان راهنمای طراحی ارتفاع مناسب سرریز به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ***جریان متغیر مکانی، ضریب تصحیح اندازه حرکت، افت جریان گردابی، سرریز جانبی، سرریز انتهایی، نیم‌رخ سطح آب، کانال غیر منشوری***

مقدمه

سرریزهای جانبی معمولاً به عنوان سرریزهای اضطراری در تأسیسات هیدرولیکی بزرگ چون سدها، و در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی به کار می‌روند. از سرریزهای یاد شده برای انشعاب آب از سازه‌های تقسیم هم استفاده می‌شود. آب خروجی از سرریز توسط کانال جانبی جمع‌آوری و منتقل می‌گردد. در شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی سرریز جانبی و کانال آن در بالادست سازه‌های تنظیم و انحراف آب نصب می‌شود، و برای

۱. دانشیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]

خارج کردن آب اضافی، که به هر دلیل در شبکه ظاهر می‌شود، به کار می‌رود.

جریان در کانال جانبی از نوع متغیر مکانی با افزایش دبی است؛ یعنی مقدار دبی جریان در امتداد کانال جانبی و در جهت جریان افزایش می‌یابد. به همین دلیل معمولاً عرض کف کانال در امتداد جریان افزوده می‌شود تا نیم‌رخ سطح آب پایین افتد و جریان ورودی را تحت تأثیر قرار ندهد. افزایش عرض کف، کانال جانبی را از حالت منشوری خارج می‌کند. این پژوهش به منظور بررسی اثر هندسه مقطع و ارتفاع سرریز انتهایی بر مشخصات جریان و وضعیت نیم‌رخ سطح آب در کانال جانبی انجام شد.

روابط حاکم بر جریان

پژوهش‌های هندز (۷) منجر به ارائه معادله حاکم بر جریان متغیر مکانی با افزایش دبی گردید. در این پژوهش‌ها از قانون بقای اندازه حرکت برای برقراری معادله حاکم استفاده شد، و علاوه بر صرف نظر کردن از نقش اصطکاک در معادله پیشنهادی، فرض شده بود که انرژی جریان ورودی پس از ریزش از سرریز به طور کامل از بین می‌رود. هندز در تحلیل خود افت سطح آب در امتداد جریان را به عنوان تنها عاملی که جریان را ایجاد می‌کند، در نظر گرفت (۱، ۵، ٦ و ۸).

برای اصلاح و تکمیل معادله حاکم و اثر دادن ترم‌های حذف شده در تحلیل هندز، پژوهندگان دیگری همچون فیور و میر-پیتر (٤)، فارنی و مارکوس (۳)، ین و وینزل (۱۲) پژوهش‌هایی نمودند که افزون بر ارائه روابط حاکم، به تبیین بهتر پدیده و روشن کردن نقش عوامل مؤثر کمک کرده است. با به کار بردن اصل بقای اندازه حرکت، و پذیرش فرض‌های زیر: ۱. یک بعدی بودن جریان در کانال جانبی، ۲. ناچیز بودن شتاب قائم و برقراری توزیع هیدرواستاتیک فشار، ۳. صلب بودن بستر و کم بودن شیب طولی، ٤. برقراری معادلات مقاومت مانند مانینگ و شزی برای تعیین افت اصطکاک در این نوع جریان، ۵. ناچیز بودن اختلاط هوا با آب و ثابت بودن جرم مخصوص آب، ٦. یک‌نواخت بودن جریان ورودی در طول کانال، ۷. هندسی و منشوری بودن مقطع کانال و ۸. دایمی بودن جریان، معادله شیب سطح در آب جریان متغیر مکانی با افزایش دبی به صورت زیر در می‌آید (۱، ۲، ۵، ٦ و ۸):

$$\frac{dy}{dx}=\frac{S_0-S_f-\frac{2Q}{gA^2}\frac{dQ}{dx}}{1-F^2} \qquad [۱]$$

که در آن S_0 شیب طولی بستر، S_f شیب خط انرژی، Q و F به ترتیب دبی و عدد فرود در مقطعی به فاصله x از انتهای بالادست، g شتاب ثقل، A سطح مقطع جریان و y عمق آب می‌باشد.

معادله ۱ یک معادله دیفرانسیل غیر خطی است، و حل تحلیلی برای آن تاکنون ارائه نشده است. به همین دلیل علاوه بر روشی که هندز ارائه کرده بود، از روش‌های عددی گوناگون، نظیر روش استاندارد درجه چهارم رانگ-کوتا، روش کوتا مرسون و روش ذوزنقه‌ای برای حل آن استفاده شده است (۱۱)، در معادله ۱ توزیع سرعت جریان در مقطع عرضی یک‌نواخت فرض شده است. بنابراین، از دخالت دادن ضریب تصحیح اندازه حرکت (β) صرف نظر شده است. ولی فارنی و مارکوس نشان داده‌اند که فرض واحد بودن ضریب تصحیح اندازه حرکت در این نوع جریان نمی‌تواند واقعی باشد، و برای انطباق نتایج عددی با مشاهدات آزمایشگاهی اعمال مقدار مناسب β ضرورت دارد (۳). ایشان نشان داده‌اند که با اعمال ضریب تصحیح اندازه حرکت مناسب، کانال‌های جانبی دارای مقطع کنترل انتهایی (End sill) را می‌توان دقیق‌تر طراحی نمود (۳). به دلیل غیر یک‌نواخت بودن توزیع سرعت در مقطع عرضی جریان، مک کول و همکاران (۱۰) نیز در پژوهش خود به غیر واقعی بودن فرض واحد بودن ضریب تصحیح اندازه حرکت رسیده‌اند. از این رو، برآورد و اعمال β مناسب برای طراحی ضروری است.

معادله ۱ برای مقاطع منشوری ارائه شده است، و کاربرد آن برای مقاطع غیر منشوری می‌تواند به نتایج غیر قابل قبول منجر شود. همان گونه که گفته شد، در کانال جانبی که جریان متغیر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]

مکانی با افزایش دبی را منتقل می‌کند، معمولاً عرض کف مقطع در امتداد جریان افزایش داده می‌شود تا رقوم سطح آب کاهش یابد. این امر کانال جانبی را از حالت منشوری خارج می‌کند. در چنین حالتی، به دلیل تغییراتی که در سطح مقطع در امتداد جریان وجود دارد، ضریب افت جریان گردابی (k_e) هم نقش مؤثری پیدا می‌کند. با پذیرش فرض‌های هشتگانه، به غیر از فرض هشتم، و دخالت دادن ضرایب تصحیح اندازه حرکت و افت جریان گردابی، و با به کار بردن قانون بقای اندازه حرکت، معادله جامع حاکم بر جریان متغیر مکانی با افزایش دبی برای مقاطع منشوری و غیر منشوری توسط کوچک‌زاده و وطن‌خواه (۹) به صورت زیر ارائه شد:

$$\frac{dy}{dx}=\frac{S_0-S_f-(2\beta+k_e)\frac{Qq^*}{gA^2}+(\beta+k_e)S_b\frac{Q^2y}{gA^3}-\frac{q^*V_x}{gA}}{1-(\beta+k_e)\frac{Q^2T}{gA^3}}$$

[۲]

که در آن S_b تغییرات عرض کف در واحد طول کانال، q^* دبی واحد طول سرریز (dQ/dx)، و V_x مؤلفه سرعت جریان ورودی به کانال در جهت x می‌باشد. T عرض کانال در سطح آب است و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. معمولاً مؤلفهٔ V_x ناچیز است، و یا برابر با صفر فرض می‌شود. بنابراین، از معادله نهایی حذف شده، و فرض شده است که جریان ورودی به کانال باعث تغییر اندازه حرکت در جهت x نمی‌شود. حل معادله ۲ باید از مقطع کنترل آغاز شود، و برای یافتن موقعیت مقطع کنترل، با پذیرش استدلال هندرسن معادله زیر به دست آمد (۹).

$$x=\frac{(2\beta+k_e)^3q^{*2}}{g(\beta+k_e)^2T^2\left(S_0-\frac{gn^2p}{(\beta+k_e)TR^{1/3}}+S_b\frac{y}{T}\right)^3}$$

[۳]

که در آن n ضریب زبری مانینگ، R شعاع هیدرولیکی و p محیط خیس شده است.

مواد و روش‌ها

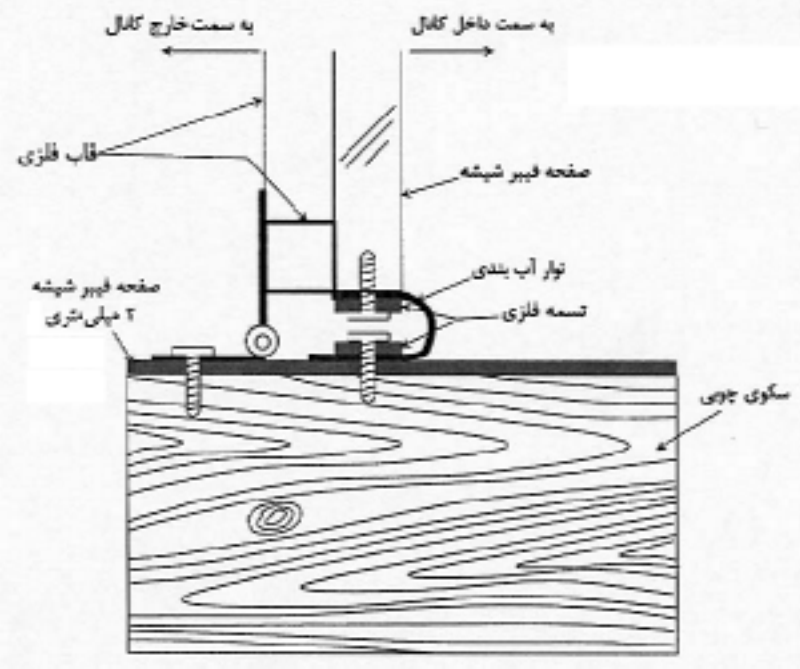
تجهیزات آزمایشگاهی

مدل فیزیکی که در این پژوهش به کار رفت متشکل بود از یک مخزن با سرریز جانبی، کانال جانبی و یک سری سرریز که در انتهای کانال جانبی نصب می‌شدند. به منظور تأمین دبی ورودی به کانال جانبی، یک مخزن با سرریزی به طول ۱/۸ متر مورد استفاده قرار گرفت. این مخزن مجهز به یک چاهک و یک مانومتر بود، که اندازه‌گیری ارتفاع آب روی سرریز مخزن را ممکن می‌ساخت. با در دست داشتن ارتفاع آب روی سرریز، دبی کل قابل محاسبه بود. برای تعیین رابطه دبی با ارتفاع آب روی سرریز، کالیبراسیون سرریز جانبی با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی دو تنی انجام شد. ارتفاع آب در چاهک وسیله یک رقوم‌سنج نقطه‌ای با دقت ۰/۱ میلی‌متر قرائت می‌شود. مخزن و سرریز آن کاملاً افقی نصب شده بود، به طوری که توزیع دبی ورودی به کانال یک‌نواخت صورت می‌گرفت. آب پس از عبور از سرریز به کانال جانبی می‌ریخت. کانال جانبی روی سکوی چوبی به طول ۲/٤٦٠ متر و عرض ۰/۸٦٦ متر احداث شده بود. دیواره‌های جانبی کانال با تعدادی لولا به سکو وصل شده بودند، و با اهرم‌هایی به لبه سکو متکی بودند. پیچی که در هر اهرم قرار داشت قابلیت تغییر شیب دیواره‌ها را فراهم می‌ساخت، و به کمک این پیچ‌ها شیب جانبی کانال تنظیم می‌شد. برای آب‌بندی اتصالات از اسفنج فشرده مخصوصی استفاده شد که در صنعت قایق‌سازی کاربرد دارد. شکل ۱ نحوه نصب دیواره‌های جانبی روی سکو را نشان می‌دهد. طول کانال ۱/۸۳۵ متر و عرض‌های بالادست و پایین‌دست آن به ترتیب ۰/۰۹۰ و ۰/۱۹۰ متر و شیب جانبی آن هم برابر با ۰/۵ (افقی) به ۱ (عمودی) بود.

به منظور بررسی اثر سرریز انتهایی (Sill) به نیم‌رخ سطح آب، در انتهای پایین‌دست کانال جانبی سرریزهایی با ارتفاع‌های مختلف نصب شد. در این پژوهش چهار سرریز به ارتفاع صفر، ۰/۰۵۰، ۰/۱۰۰ و ۰/۱۵۰ متر به کار گرفته شد. مقادیر یاد شده دامنه گسترده‌ای از نسبت ارتفاع سرریز به عمق بحرانی (W/y_c) را ایجاد کرد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]



شکل ۱. نحوه اتصال دیواره‌های جانبی به کف سکو برای تشکیل کانال جانبی

انجام آزمایش‌ها

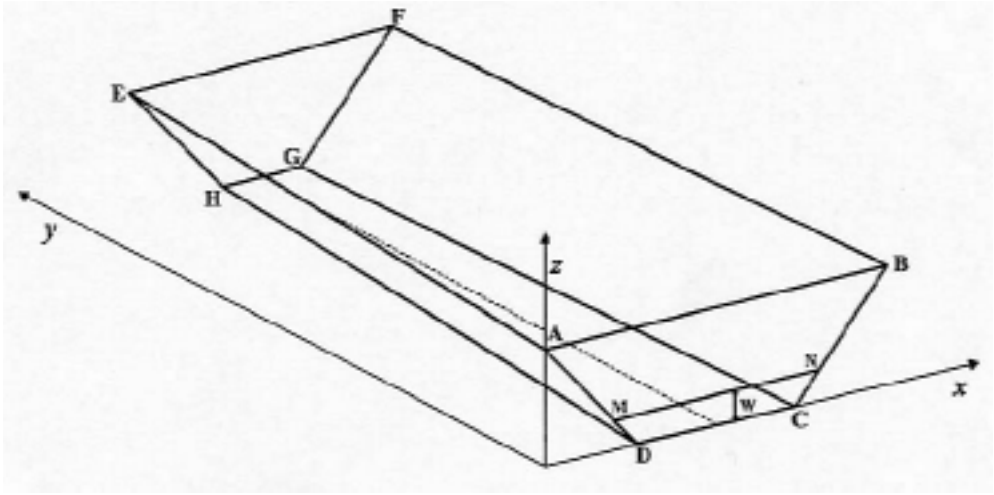
در آغاز، دامنه تغییرات عوامل مؤثر مورد نظر با توجه به محدودیت‌های مدل آزمایشگاهی، از قبیل شیب طولی، شیب جانبی، و میزان دبی، به کمک یک سری برداشت‌های مقدماتی تعیین شد. در طول آزمایش‌ها، برداشت رقوم سطح آب به ازای ۵ مقدار معین دبی، در ٤ شیب طولی مختلف، و با نصب سرریز انتهایی انجام شد. مقادیر شیب در دامنه ۰/۰۰٤ تا ۰/۰۵ قرار داشت، و مقادیر دبی Q_1، Q_2، .... Q_5 به ترتیب ٦/۱، ۱۰/٦، ۱۷/۰۵، ۲٦/۳ و ٤۳/۱ لیتر بر ثانیه بود.

از آن جا که هدف پژوهش بررسی تغییرات نیم‌رخ طولی و عرضی در کانال جانبی با مقطع غیر منشوری بود، این امر نیازمند برداشت رقوم سطح آب در شمار زیادی از نقاط در امتدادهای طولی معین بود. به همین منظور، برای تسهیل برداشت‌ها و افزایش میزان دقت کار، دستگاه مختصات معین و ثابتی تعریف شد، که در سرتاسر آزمایش‌ها استفاده گردید (شکل ۲). ابتدا کانال به نحوی شبکه‌بندی شد که مختصات طول و عرض نقاط قرائت شده در دستگاه مختصات فرضی مشخص باشد. از این رو، ۱۱ مقطع عرضی در طول کانال ایجاد شد، که مقطع ریزش آزاد انتهای پایین‌دست کانال (سرریز) با W، و بقیه مقاطع با شماره‌های ۱ تا ۱۰ مشخص شد. مقطع شماره ۱ در انتهای بالادست مقطع شماره ۱۰ بلافاصله قبل از سرریز پایین‌دست قرار داشت.

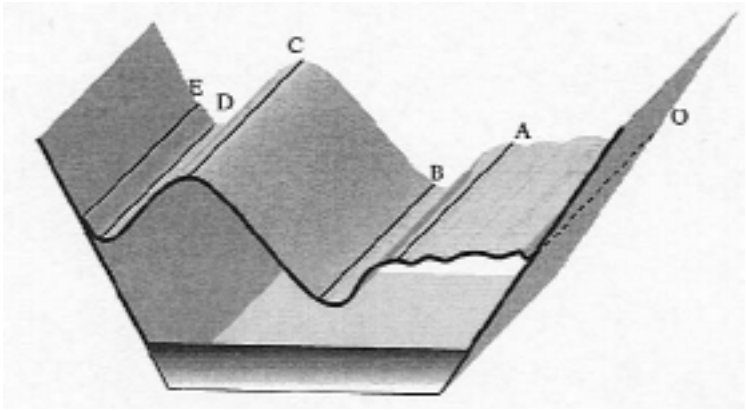
آزمایش‌های نخستین نشان داد که در صورت برداشت شش نقطه از رقوم سطح آب در هر مقطع عرضی، اطلاعات جامعی به دست می‌آید که به کمک آن سطح آب به طور سه بعدی قابل ترسیم می‌شد. هر کدام از این شش نقطه متعلق به یک محور طولی در امتداد کانال بود، و از ساحل چپ به راست با حروف O، A، B، C، D و E نام‌گذاری شد. موقعیت نقاط یاد شده روی نقاط اکسترمم نیم‌رخ عرضی سطح آب قرار می‌گرفت. به عنوان مثال، محور C، که شامل نقاط C_1 تا C_w می‌باشد. همهٔ نقاط مرتفع‌ترین نیم‌رخ طولی سطح آب را، که در ۱۱ مقطع عرضی مشاهده گردید، به هم متصل می‌کند. این محور نیم‌رخ حداکثر هر برداشت را تشکیل می‌داد. محور B هم متعلق به رقوم سطح آب حداقل در مقاطع عرضی، محورهای E و O به ترتیب نقاط واقع روی ساحل راست و ساحل چپ را به هم وصل می‌کرد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]



شکل ۲. کانال جانبی و موقعیت آن نسبت به دستگاه مختصات انتخابی



شکل ۳. نمای شماتیک سطح آب و موقعیت نیم‌رخ‌های طولی روی آن

در تمام آزمایش‌ها ریزش آب روی امتداد مشخص و ثابتی بر دیواره چپ صورت می‌گرفت. شکل ۳ موقعیت مشخص نیم‌رخ‌های طولی سطح آب را در یک نمای شماتیک سه بعدی نشان می‌دهد. اندازه‌گیری رقوم سطح آب در محل تقاطع محورهای طولی با مقاطع عرضی یازده گانه به کمک یک خط‌کش فلزی مخصوص و با دقت ۱± میلی‌متر صورت گرفت.

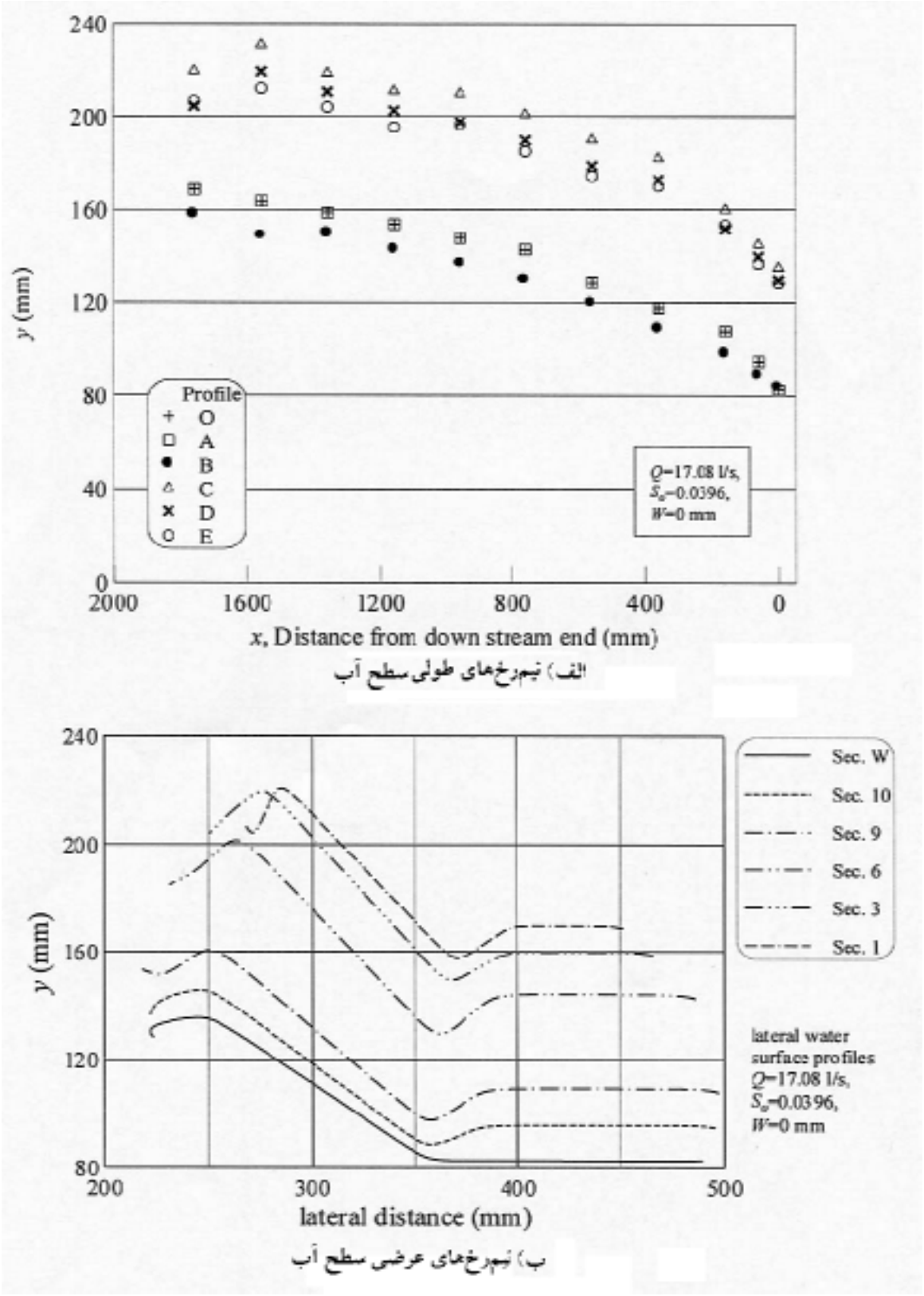
نتایج و بحث

بررسی سطح آب در طول آزمایش‌های مختلف نشان داد که می‌توان شش نیم‌رخ طولی متمایز را در امتداد جریان تشخیص داد. اگرچه موقعیت این نیم‌رخ‌ها در مقطع عرضی ثابت نبوده و عمدتاً تابع میزان دبی و شیب طولی بود، ولی میزان تغییرات آن ناچیز است. شکل ٤ یک نمونه از برداشت‌های انجام شده را نشان می‌دهد. نیم‌رخ‌های طولی در شکل ٤-الف و نیم‌رخ‌های عرضی سطح آب در شکل ٤-ب رسم شده است. رقوم سطح آب در هر آزمایش به کمک ۱۱ نقطه در امتداد هر نیم‌رخ طولی برداشت شد. بنابراین، مجموع داده‌های هر برداشت امکان ترسیم سه بعدی سطح آب هر آزمایش را فراهم نمود.

برای بررسی نقش سرریز انتهایی با ارتفاع‌های مختلف بر نیم‌رخ سطح آب باید به دنبال معیاری مناسب برای مشاهده اثر آن بود. استقرار سرریز در پایین‌دست کانال، ضمن افزایش کلی رقوم سطح آب، باعث هموارتر شدن آن در جهت عرضی می‌گردد. هموار شدن سطح آب به معنای از بین رفتن انرژی آب ورودی در نظر گرفته شد. در این صورت، ارتفاع سرریزی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]



شکل ٤. نیم‌رخ‌های طولی و عرضی سطح آب برای داده‌های معین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]

مطلوب خواهد بود که ضمن ایجاد سطح آب هموارتر، رقوم سطح آب را نسبت به حالتی که سرریز انتهایی نصب نشده باشد، افزایش کمتری بدهد. به این ترتیب، نیم‌رخ سطح آب بدون سرریز مبنای مقایسه نیم‌رخ‌های ایجاد شده با سرریزهای با ارتفاع مختلف قرار گرفت. سطح آب برای شرایط معین، بدون نصب سرریز و با نصب سرریز به ترتیب در شکل‌های ۵-الف و ۵-ب ارائه شده است. مقایسه شکل‌های یاد شده اثر نصب سرریز انتهایی را در هموار کردن سطح آب به خوبی نشان می‌دهد.

برای بررسی اثر سرریزها از داده‌های مربوط به منحنی‌های طولی B و C، که به ترتیب منحنی‌های حداقل و حداکثر هر برداشت را تشکیل می‌داد، استفاده شد. برای این منظور کافی بود که یکی از جفت نقاط نظیر واقع بر نیم‌رخ‌های یاد شده ملاک مقایسه قرار می‌گرفت. در این پژوهش اختلاف اعماق (Δy) نقاط وسط نیم‌رخ‌های B و C برای هر آزمایش محاسبه، و نتایج حاصل تجزیه و تحلیل گردید. برای جامعیت استنباط و وسعت دادن به کاربرد نتایج، ضروری است که داده‌ها به صورت عوامل بدون بعد ارائه شوند. به همین منظور، داده‌ها بر اساس صورت‌های مختلفی از عوامل بدون بعد رسم و بررسی گردید.

نخست تمام داده‌های مربوط به دبی‌های مختلف، ارتفاع سرریزهای انتهایی متفاوت و شیب‌های طولی به کار رفته در آزمایش‌ها در شکل ٦ رسم شد. در این شکل عمق بحرانی نسبی ($y_c^*[= y_c/\Delta y]$) در برابر دبی واحد طول بی‌بعد سرریز ($Q_x^*[= q^*/(g y_c^3)^{0.5}]$) رسم شده است. شکل ٦ آشکارا نشان می‌دهد که برای دامنه نسبتاً وسیع دبی، شیب طولی و ارتفاع سرریز به کار رفته در آزمایش‌ها، تغییرات عمق بحرانی نسبی (y_c^*) در دامنه مقادیر یک و دو محدود شده است. به سخن دیگر، بیشترین اختلافی که نیم‌رخ‌های حداکثر از نیم‌رخ‌های حداقل می‌توانند داشته باشند، برابر عمق بحرانی است، و حداقل این اختلاف برابر با نصف عمق بحرانی برای شرایط حاکم می‌باشد. یادآوری می‌شود که در این جا عمق بحرانی ایجاد شده در انتهای پایین‌دست کانال روی سرریز (یا بدون سرریز) به کار برده شده است. از دیدگاه کاربردی، نتیجه فوق به این معنا است که اگر Δy برابر با عمق بحرانی در نظر گرفته شود ضریب اطمینان بالایی در تعیین حداکثر عمق کانال وجود خواهد داشت. پس دامنه $1 \le y_c^* \le 2$ دارای ارزش کاربردی است.

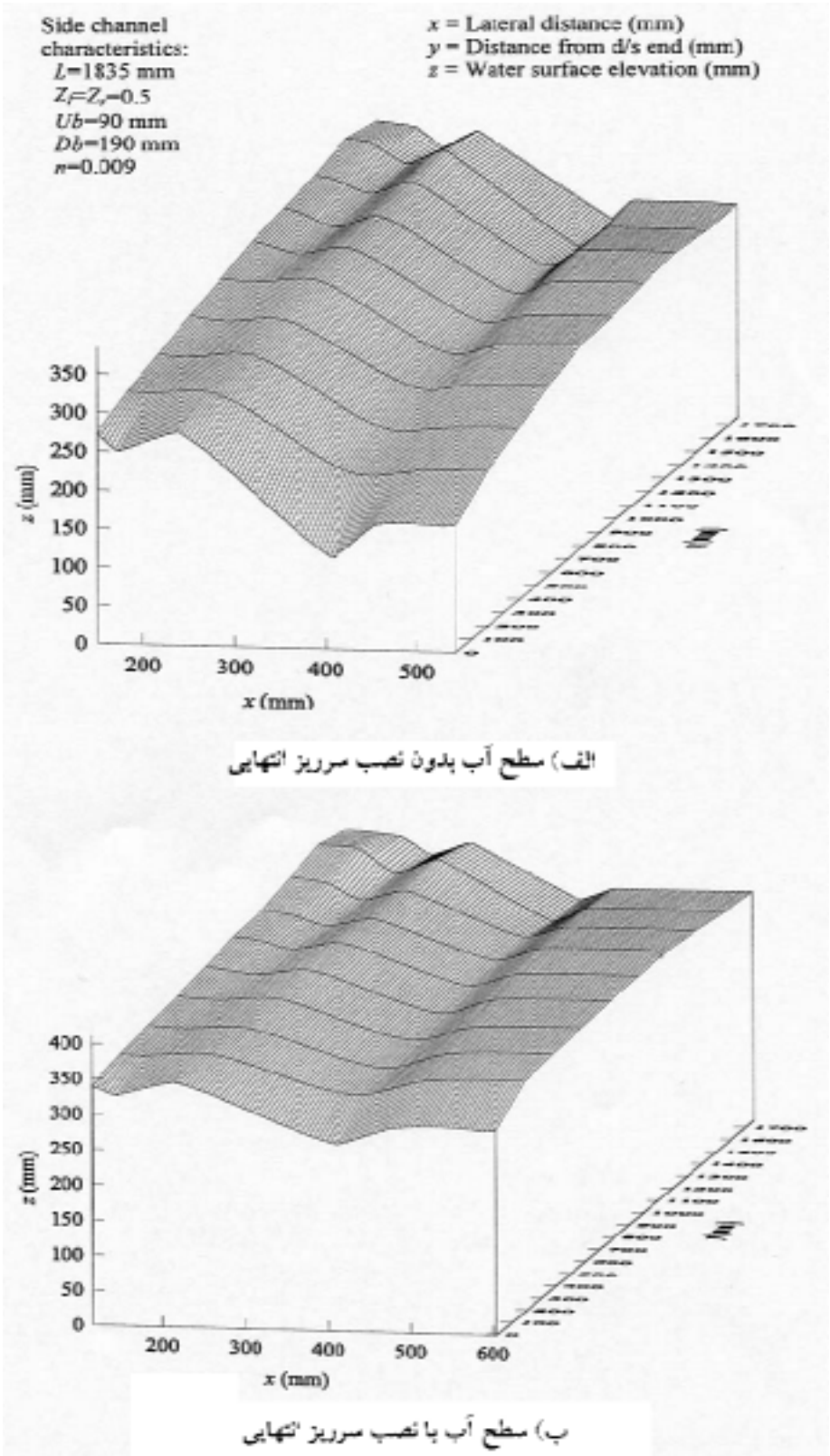
شایان ذکر است که کاهش دادن شیب در حالی که سایر شرایط دیگر ثابت باشد، منجر به افزایش y_c^* می‌شود، زیرا کاهش شیب، عمق جریان را در کانال جانبی افزایش داده و Δy هم به دنبال آن کاهش پیدا می‌کند، در حالی که برای شرایط معین، عمق بحرانی (y_c) در پایین‌دست مقداری معین و ثابت است. از آن جا که معمولاً کانال‌های جانبی با شیب‌های تند طراحی می‌شوند، نقاطی که در بالای خط $y_c^* = 2$ قرار دارند از ارزش کاربردی کمتری برخوردارند. اگرچه انتخاب $y_c^* = 2$ برای نقاط بالای این خط ضریب اطمینان بزرگ‌تری می‌دهد.

ترسیم دبی بی‌بعد (Q_x^*) در برابر اختلاف عمق نسبی ($\Delta y^*[= \Delta y/y]$) نیز اطلاعات جالب ارائه می‌کند. این پارامترها در شکل ۷ ترسیم شده‌اند. محور عرض‌های شکل ۷ نشان دهندهٔ اختلاف عمق نسبی به صورت درصد می‌باشد. در این شکل چهار گروه داده دیده می‌شود، که هر کدام مربوط به یک ارتفاع سرریز می‌باشند. نقاط انتهایی سمت چپ و سمت راست هر گروه به ترتیب مربوط به کمترین و بیشترین دبی آزمایش شده با ارتفاع سرریز مورد نظر می‌باشند. مرتفع‌ترین سرریز با چهار دبی Q_2 تا Q_5، و بقیه سرریزها با هر پنج دبی مورد آزمایش قرار گرفته است. در این شکل برخلاف شکل ٦، نقاط فوقانی و تحتانی هر گروه به ترتیب متعلق به بیشترین و کمترین شیب می‌باشند، زیرا برای ارتفاع سرریز و دبی معین افزایش شیب طولی، عمق جریان را که در مخرج کسر قرار دارد کاهش داده، نتیجتاً Δy^* افزایش می‌یابد.

شکل ۷ به طور کلی نشان می‌دهد که افزایش ارتفاع سرریز علاوه بر جمع کردن داده‌ها حول یک خط مرکزی، Δy^* را به طور متوسط به میزان حدود پانزده درصد کاهش می‌دهد. خط

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

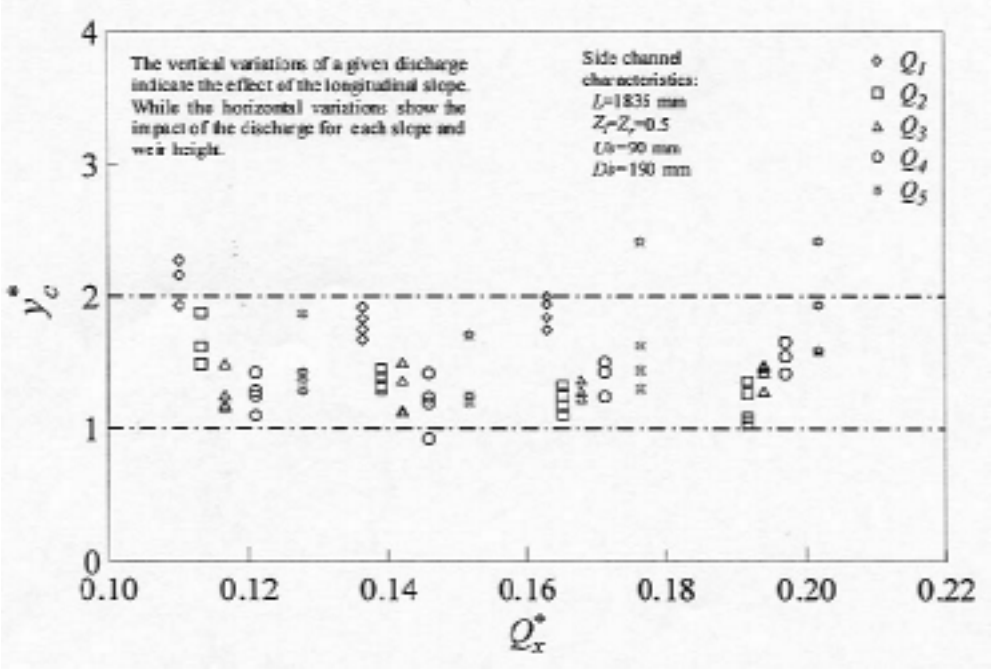
[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]



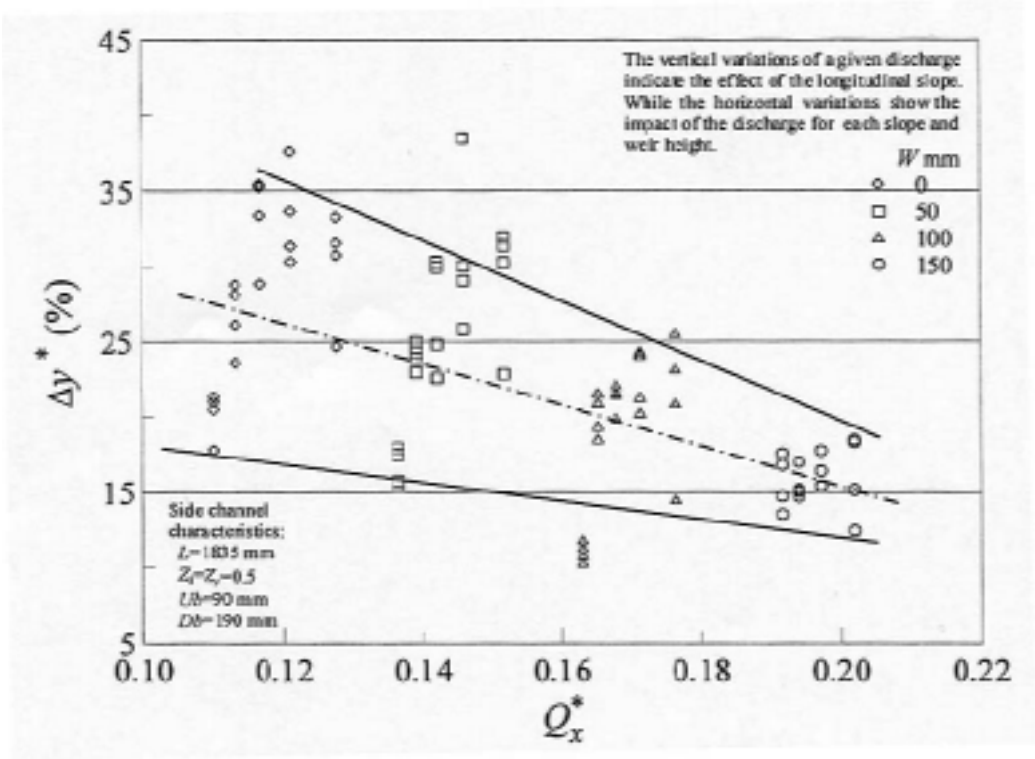
شکل ۵. نمای سه‌بعدی سطح آب: الف) بدون نصب سرریز، ب) با نصب بلندترین سرریز برای دبی ۴۳/۱ لیتر بر ثانیه و شیب ۰/۰۴۸۶

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]



شکل ٦. تغییرات عمق بحرانی نسبی در برابر دبی واحد طول بی‌بعد سرریز



شکل ۷. دبی واحد طول بی‌بعد در برابر اختلاف عمق نسبی

پوش (Envelop) فوقانی داده‌ها که متعلق به داده‌های با شیب طولی بیشتر است، Δy^* را با روند تندتری کاهش می‌دهد تا پوش تحتانی داده‌ها. این موضوع نشان می‌دهد که سرریز انتهایی، در شیب‌های طولی بیشتر می‌تواند نقش مؤثرتری ایفا کند.

بررسی تفصیلی‌تر داده‌ها می‌تواند به ارائه ضابطه ملموس‌تر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

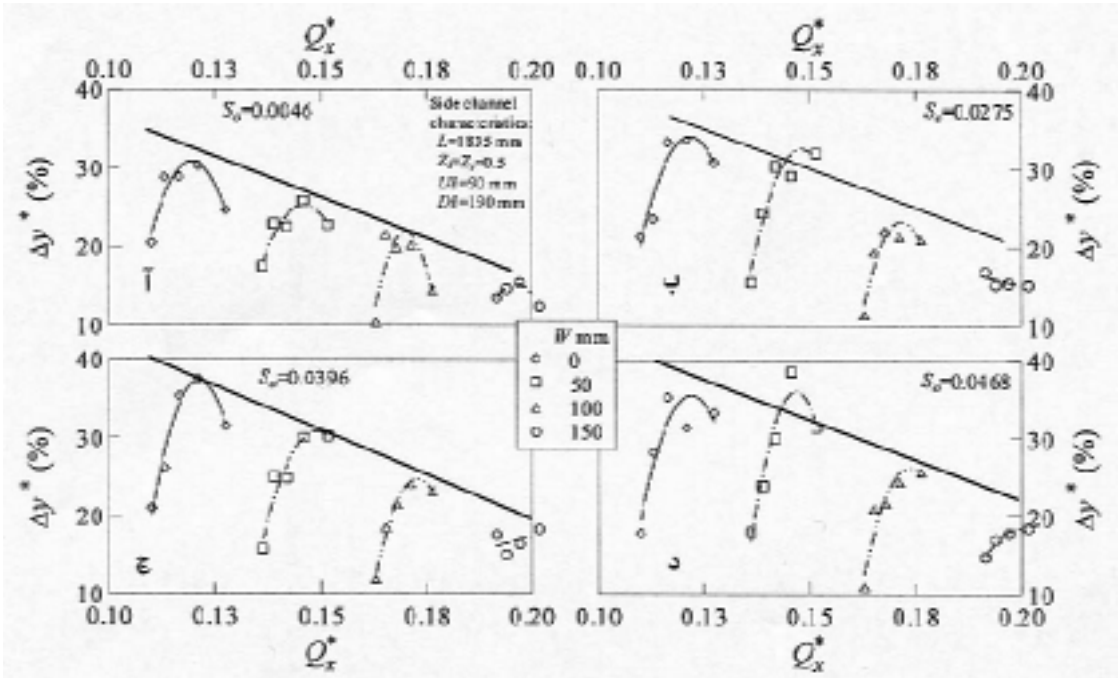
[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]

در تعیین ارتفاع مناسب سرریز انتهایی منجر شود. به همین منظور دبی بی‌بعد (Q_x^*) در برابر عمق نسبی برای شیب‌های مختلف به تفکیک در شکل ۸ رسم شده است. در شکل ۸-الف برای هر ارتفاع معین سرریز، با افزایش Q_x^* اختلاف عمق نسبی (Δy^*) افزایش پیدا می‌کند. این روند تا رسیدن به یک نقطه فراز معین ادامه می‌یابد. از آن پس، افزایش دبی میزان Δy^* را کاهش می‌داد. این روند برای تمام سرریزها و تمام شیب‌ها قابل رؤیت است. این حقیقت ترسیم خط مکان هندسی نقاط فراز را امکان‌پذیر می‌سازد، که همان خط پوش داده‌های هر شیب طولی است. این خطوط در عمل می‌توانند اثر انتخاب سرریز با ارتفاع‌های مختلف را تعیین کنند. به سخن دیگر، با استفاده از معادله ۲، نیم‌رخ سطح آب برای ارتفاع سرریز انتهایی مورد نظر محاسبه می‌شود. سپس به کمک منحنی پوش، مقدار Δy^* برای Q_x^* مربوط به شرایط معین مسئله مورد نظر تعیین می‌گردد. با در دست داشتن y (که از حل معادله ۲ به دست می‌آید) مقدار Δy تعیین می‌شود. از آن جا که Δy^* به کمک منحنی پوش به دست می‌آید، Δy محاسبه شده حداکثر اختلاف عمق است که به ازای شرایط موجود می‌تواند به وجود آید. در عمل به جای استفاده از خطوط پوش شکل ۸ می‌توان از پوش فوقانی شکل ۷، که تمامی داده‌ها را در بر می‌گیرد، بهره جست.

رسم Δy^* در برابر دبی نسبی یا Q_i/Q_{min} (Q_{min} = حداقل دبی به کار رفته در آزمایش‌ها)، که در شکل ۹ ارائه شده است، نیز اطلاعات بسیاری می‌دهد. در این شکل اثر ارتفاع سرریزهای مختلف برای دبی‌های به کار رفته در شیب معین رسم شده است. تمام شکل‌های ۹-الف تا ۹-د نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع سرریز، Δy^* کاهش می‌یابد، و ارتفاع بلندترین سرریز در تمام شیب‌ها میزان تأثیر تقریباً ثابتی برابر با $\Delta y=0.15y$ دارد. به همین ترتیب، با افزایس دبی، Δy^* کاهش می‌یابد. مقدار نقطه فراز دبی نسبی مؤثر در دامنه چهار تا پنج برابر دبی حداقل است.

نتیجه کلی

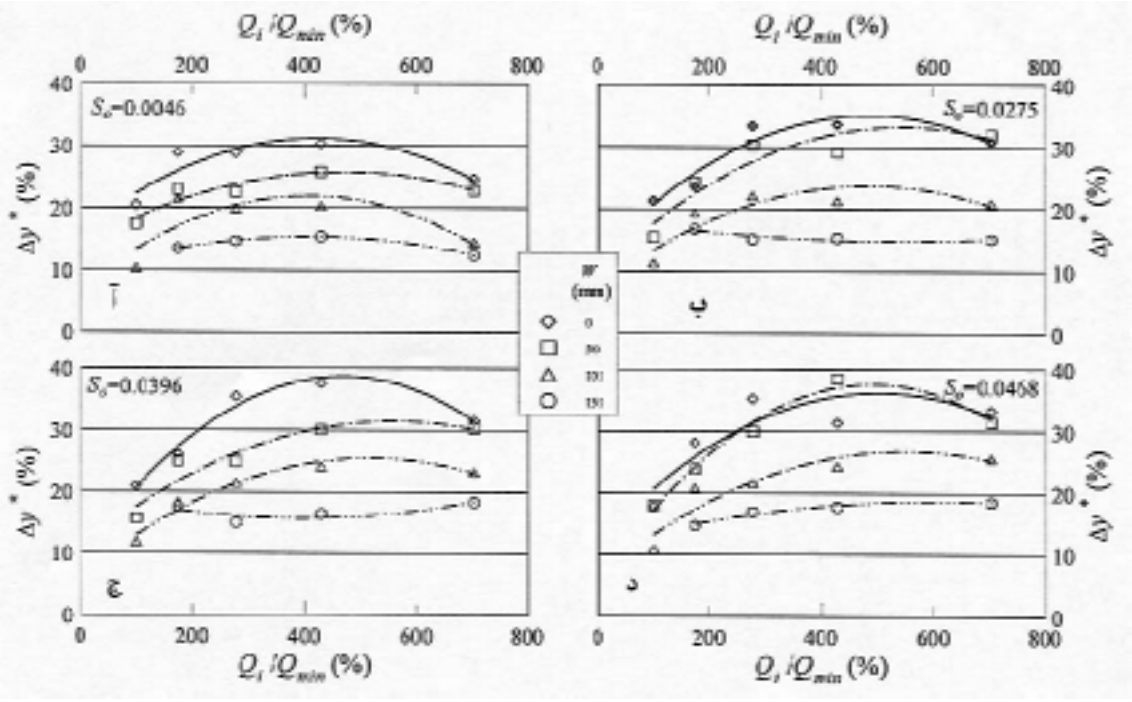
در این پژوهش اثر نصب سرریز انتهایی در کانال جانبی به کمک مدل فیزیکی بررسی گردید. آزمایش‌های اولیه نشان داد



شکل ۸ . پوش داده‌های دبی واحد طول بی‌بعد در برابر اختلاف عمق نسبی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]



شکل ۹. اثر سرریز انتهایی بر اختلاف عمق آب نسبی در شیب‌های مختلف

که در طول کانال جانبی چند نیم‌رخ متمایز قابل رؤیت است. اختلاف میان عمق آب نقاط وسط نیم‌رخ‌های حداکثر و حداقل به عنوان معیاری برای بررسی اثر سرریز به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که مقدار اختلاف یاد شده در محدوده‌ای برابر با نصف تا یک برابر عمق بحرانی انتهای پایین‌دست کانال قرار می‌گیرد. سنجش معیار فوق نسبت به عمق حداکثر نشان داد که افزایش ارتفاع سرریز باعث کاهش محدوده تغییرات نسبت اختلاف اعماق و عمق حداکثر است. خط پوش داده‌ها برای تعیین حداکثر محتمل اثر یک سرریز انتخابی به کار رفت. این موضوع نشان می‌دهد که نصب سرریز انتهایی با ابعاد مناسب، بدون تأثیر زیاد بر ابعاد هندسی سازه و نهایتاً بر هزینه احداث آن، می‌تواند به از بین رفتن انرژی جریان ورودی کمک کرده، شرایط جریان مطلوب‌تری را تولید نماید. ولی توصیه ابعاد طراحی و ارائه نتیجه جامع، مستلزم انجام پژوهش‌های گسترده‌تری، به ویژه در مورد نقش تغییر ارتفاع سقوط و نیز تغییرات عرض کف کانال می‌باشد. از این رو، توصیه می‌شود که اثر ارتفاع سقوط و انرژی جریان ورودی بر نیم‌رخ‌های جریان و نقش مؤلفه اندازه حرکت جریان ورودی در امتداد جریان، به خصوص در شیب‌های طولی تند، و با حضور سرریز انتهایی و بدون آن بررسی گردد. هم‌چنین، بررسی نحوه آمیختن هوا در جریان و اثر میزان آن بر عمق آب در کانال جانبی به تبیین هیدرولیک جریان کمک شایانی خواهد کرد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران برای ایجاد فضای مناسب تحقیق و تأمین هزینه پژوهش در قالب طرح شماره ۷۱۱/۱/۳۴۹ صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود. هم‌چنین از سرکار خانم مهندس آوا مرعشی که در کار آزمایشگاهی یاری کرده‌اند تشکر می‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]

منابع مورد استفاده

1. Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.
2. Chow, V. T. 1969. Spatially varied flow equations. Water Resour. Res. 5: 1124-1128.
3. Farney, H. S. and A. Markus. 1962. Side channel spillway design. J. Hyd. Div., Proc. ASCE 88(3): 131-154.
4. Favre, H. and E. Meyer-Peter. 1934. Analysis of boulder dam spillway made by Swiss Laboratory. Eng. News-Record 25: 520-522.
5. French, R. H. 1986. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.
6. Henderson, F. M. 1966. Open Channel Flow. Mac Millan Pub. Co., New York.
7. Hinds, J. 1926. Side Channel spillway. Trans., ASCE 89: 881-927.
8. Jain, S. C. 2001. Open Channel Flow. John Wiley & Sons, New York.
9. Kouchakzadeh, S. and A. R. Vatankhah Mohammad Abadi. 2001. Spatially varied flow in non-prismatic channels: dynamic equation. Theme D, proceedings of the 29th international congress of the IAHR. September, 2001. Beijing, China.
10. Mc Cool, D. K., W. R. Gwinn, W. G. Ree and J. E. Garton. 1966. Spatially varied Flow in vegetated channel. Trans., ASAE 9(3): 440-444.
11. Subramanya, K. 1989. Flow in Open Channel. 1st revised ed., Tata McGraw-Hill, New Delhi.
12. Yen, B. C. and H. G. Wenzel. Jr. 1970. Dynamic equations for steady spatially varied flow. J. Hyd. Div., ASCE 96(3): 801-814.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.3.4]