

Experimental Study of the Effect of Trapezoidal Labyrinth Weir Geometry on Increasing Dissolved Oxygen

REIHANEH MANSOURI¹, MAHDI ESMAEILI VARAKI^{2*}, MARYAM NAVABIAN³

1. M.Sc. Student, Department of water engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.
 2. Associate Professor, Department of water Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.
 3. Associate Professor, Department of water Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.
- (Received: Apr. 16, 2017- Revised: March. 17, 2018- Accepted: Apr. 3, 2018)

ABSTRACT

The amount of dissolved oxygen (DO) in water is an important parameter of rivers water quality. Installation of weirs in channels is one of the methods entering air babbles into the falling water and increase DO. In this research, the performance of trapezoidal labyrinth weirs was investigated as compared with the linear weirs under various geometries and hydraulic conditions in terms of DO. Experimental observations and result analysis showed that the length of cycle in the flow direction, thickness of weirs and nappe patterns are three effective parameters on DO amount in trapezoidal labyrinth weirs. The results of this study indicated that the three cycles-labyrinth weirs had better performance compared to two cycles-labyrinth weirs. Also, the results showed that the three cycles-trapezoidal labyrinth weirs with the lower length in the flow direction at low relative head and with the longer length in the flow direction at high relative head had the best performance in terms of DO that increased 58 and 44 percent, respectively. The results of this study indicated that, by increasing the ratio of falling height to weir height (h_d/P) from 0.4 to 0.8, the DO efficiency increases (13%) by labyrinth weirs.

Keywords: Dissolved Oxygen, Labyrinth weir, Water quality, Tail water depth, Height drop.

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر هندسه سرریزهای کنگره‌ای-دوزنقه‌ای بر افزایش مقدار اکسیژن محلول آب

ریحانه منصوری^۱، مهدی اسمعیلی ورکی*^۲ و مریم نوابیان^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب و وابسته پژوهشی پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب و وابسته پژوهشی پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱/۱۴)

چکیده

یکی از پارامترهای مهم کیفی آب رودخانه‌ها، مقدار اکسیژن محلول (Dissolved Oxygen) در آن می‌باشد. یکی از روش‌های افزایش سطح اکسیژن محلول، استفاده از سازه‌هایی نظیر سرریز می‌باشد که منجر به ورود حباب‌های کوچک هوا به آب می‌گردد. در این پژوهش عملکرد سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای در مقایسه با سرریز خطی بر مقدار DO آب تحت شرایط مختلف هندسی و هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که طول سیکل در جهت جریان سرریزها، ضخامت تیغه‌های ریزشی و الگوی جریان ریزشی از تاج سرریزها سه پارامتر مؤثر بر مقدار اکسیژن محلول در سرریزهای پلان کنگره‌ای می‌باشند. مقایسه نتایج حاکی از آن است که سرریزهای کنگره‌ای با هندسه سه سیکل، عملکرد بهتری در مقایسه با سرریزهای هندسه دو سیکل داشتند. در هدهای نسبی پایین، سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با هندسه سه سیکل و طول در جهت جریان کمتر با متوسط راندمان افزایش اکسیژن محلول ۵۸ درصد و در هدهای نسبی بالا سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با هندسه سه سیکل با طول در جهت جریان بیشتر با متوسط راندمان افزایش اکسیژن محلول ۴۴ درصد بهترین عملکرد را در افزایش اکسیژن محلول در جریان داشتند. مقایسه نتایج حاکی از آن است که در سرریزهای مورد مطالعه، با افزایش نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) از ۰/۴ به ۰/۸، مقدار متوسط راندمان افزایش اکسیژن محلول در سرریزهای کنگره‌ای بطور متوسط ۱۳ درصد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع ریزش، اکسیژن محلول، سرریز کنگره‌ای، عمق پایاب، کیفیت آب

مقدمه

اهمیت حفظ محیط‌زیست و بروز بحران‌های گوناگون در این زمینه سبب شده است تا جامعه جهانی به صورت جدی برای نگهداری و حفظ منابع طبیعی تلاش و کوشش کند. در این راستا حفاظت از منابع آبی اهمیت فراوانی دارد. غلظت اکسیژن حل شده در آب رودخانه‌ها و همه‌ی جریان‌های طبیعی هم از نظر کیفی و هم از نظر زندگی آبزیان بسیار مهم است. اهمیت موضوع تا حدی است که میزان پاک‌ی آب را بر مبنای میزان اکسیژن محلول در آن می‌سنجند (<http://ozonecenter.ir>). وجود اکسیژن محلول (DO) نقش مهمی در افزایش توان خودپالایی رودخانه‌ها دارد. به همین منظور محققین تلاش‌های زیادی برای اتخاذ راه‌حل‌های مناسب برای این موضوع داشته‌اند. روش‌های مختلفی برای افزایش اکسیژن محلول آب وجود دارد که آنها را می‌توان در چهار گروه هوادهی ثقلی-ریزشی، هوادهی

پاششی (اسپری)، پخش‌گرهای (دیفیوزر) حباب هوا و هوادهی مکانیکی دسته‌بندی نمود. از میان آن‌ها هوادهی ثقلی-ریزشی نظیر سرریزها دارای کاربرد زیادی در احیاء رودخانه‌ها می‌باشند. فرآیند ریزش جریان از روی سرریز منجر به ورود حباب‌های هوا به آب شده و در نتیجه آن مقدار اکسیژن محلول افزایش می‌یابد (Nakason, 1987).

به نقل از (Nakason, 1987)، جامسون (Gameson, 1957) از اولین محققانی بود که هوادهی در سرریزها را مورد بررسی قرار داد. پس از آن شماری از محققان، هوادهی سرریزهای خطی را مورد مطالعه قرار دادند و به روابطی بین راندمان هوادهی با دبی و هندسه سرریز دست یافتند (Van der Avery Apted & Novak, 1973; Kroon and Schram, 1969; Nakason, 1987; & Novak, 1978).

Gulliver *et al.* (1990) بیان داشتند که مساحت سطح حباب‌های ایجاد شده از یک سرریز با ارتفاع ۰/۳ متر می‌تواند ۵۰۰ برابر مساحت سطح مشترک هوا و آب در یک سطح آزاد باشد. Gameson *et al.* (1990) به اهمیت دمای آب در انتقال

منگنز و نیز حیات آبیان دارد. یکی از راه‌کارهای اقتصادی و کم‌هزینه برای بهبود مقدار اکسیژن محلول در آب، کاربرد روش‌های ریزشی نظیر استفاده از سرریزها می‌باشد. علی‌رغم اینکه تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص موضوع هوادهی در سرریزها به‌ویژه سرریزهای پلکانی صورت گرفته است ولی از نظر شاخص‌های کیفی آب، حضور حباب هوا الزاماً به معنی تبدیل آن به اکسیژن محلول نیست. نظر به این‌که هر چه ضخامت تیغه ریزشی کمتر باشد، مقدار راندمان افزایش اکسیژن محلول توسط جریان ریزشی از سرریزها بیشتر می‌گردد، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هندسه و تعداد سیکل‌های سرریزهای پلان کنگره‌ای-ذوزنقه‌ای و نیز ارتفاع ریزش جریان بر افزایش میزان اکسیژن محلول آب تحت شرایط هیدرولیکی مختلف انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

الف) تحلیل ابعادی

پارامترهای تأثیرگذار بر مقدار افزایش اکسیژن محلول در سرریزهای کنگره‌ای شامل ارتفاع سرریز (P)، طول سیکل‌ها در جهت جریان (B)، تعداد آن‌ها (N)، عرض رأس سیکل (A)، زاویه رأس سیکل‌ها (α)، عرض هر سیکل (w)، طول مؤثر سرریز (L_e)، فاصله دیواره‌های جانبی سرریز از دیواره‌های کانال (L_s)، ضخامت دیواره (t_w)، شکل تاج (لبه تیز، مسطح، ربع و نیم‌دایره‌ای، CS)، شکل ریزش تیغه آب (آزاد، تداخلی، هوادهی‌شده و هوادهی مستغرق، NA)، هد کل بالادست ($H_T = H_0 + V^2/2g$)، عمق پایاب (d_p)، اختلاف رقوم سطح آب در دو طرف سرریز (h_d)، عرض مجرا (W)، سرعت متوسط جریان در کانال (V)، عمق جریان (y)، کشش سطحی سیال (σ)، شتاب ثقل (g)، جرم مخصوص سیال (ρ) و لزجت دینامیکی سیال (μ)، غلظت اکسیژن محلول اشباع (C_s)، غلظت اکسیژن محلول بالادست (C_u)، غلظت اکسیژن محلول پایین-دست (C_d)، دبی (Q) و دما (T) می‌باشد (Crookston, 2010 and Shafaattalab Dehghani et al., 2017).

با توجه به آن‌که w و (L_e) پارامترهای وابسته می‌باشند، می‌توان آن‌ها را بر اساس پارامترهای مستقل به صورت $w = A + 2B \tan \alpha$ و $L_e = N(w) + 2L_s$ بیان نمود. بنابراین مقدار اکسیژن حل شده در سرریزهای کنگره‌ای-ذوزنقه‌ای را می‌توان به صورت رابطه تابعی زیر بیان نمود:

(رابطه ۱)

$$f(P, L_e, t_w, CS, NA, H_T, d_p, h_d, V, y, \sigma, g, \mu, C_s, C_d, C_u, T) = 0$$

با به‌کارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، رابطه

(۱) به صورت رابطه زیر تبدیل می‌گردد:

اکسیژن در جریان آب پرداخته و اظهار داشتند که با افزایش دما میزان انتقال اکسیژن کاهش می‌یابد.

نتایج تحقیقات انجام شده در رابطه با سرریزهای کنگره‌ای حاکی از آن است که به علت طول ریزش بیشتر این سرریزها در یک عرض مشخص از کانال، راندمان بالاتری در مقایسه با سرریزهای خطی دارند. Wormleaton and Soufiani (1998) با مطالعه بر روی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی (با تعداد یک سیکل) دریافتند که این سرریزها دارای راندمان هوادهی بیشتر نسبت به سرریزهای خطی می‌باشند. مقایسه‌های صورت گرفته در رابطه با اثر ارتفاع ریزش‌های مختلف حاکی از آن بود که با افزایش ارتفاع ریزش، عمق نفوذ حباب در داخل حوضچه‌ی پایین‌دست سرریز و زمان تماس حباب در حوضچه افزایش می‌یابد و در نتیجه راندمان هوادهی بیشتر می‌گردد. آن‌ها دریافتند که عمق مناسب برای حوضچه پایین‌دست سرریزها باید از عمق نفوذ حباب بزرگتر باشد. همچنین با بررسی زاویه داخلی دیواره‌های سرریز و نیز شیب‌دار بودن این دیواره‌ها دریافتند که برای همه‌ی ارتفاع‌های ریزشی، با کوچک‌تر شدن زاویه داخلی دیواره‌های سرریز در دبی‌های بالا، راندمان هوادهی افزایش می‌یابد. علاوه بر آن مشاهده گردید که شیب‌دار بودن دیواره‌ها نیز تأثیر چندانی بر راندمان هوادهی ندارد.

Baylar and Bagatur (2000) عملکرد هوادهی را در انواع سرریزهای خطی لبه تیز مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که بالاترین راندمان انتقال اکسیژن در سرریز لبه تیز مثلثی و کمترین راندمان مربوط به سرریز لبه تیز مستطیلی می‌باشد. Wormleaton and Tsang (2000) عملکرد هوادهی سرریز پلان کنگره‌ای-مستطیلی دارای یک سیکل را در مقایسه با سرریز خطی و پلان کنگره‌ای مثلثی دارای یک سیکل بررسی کرده و دریافتند که سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی در مقایسه با سرریز خطی و کنگره‌ای مثلثی عملکرد بهتری دارند.

Emirogale and Baylar (2005) با بررسی تأثیر زاویه داخلی دیواره‌های سرریز و همچنین شیب‌دار بودن دیواره‌ها بر راندمان هوادهی سرریزهای کنگره‌ای با پلان مثلثی دریافتند که این دو عامل تأثیر بسزایی در ورود هوا به داخل جریان دارند. همچنین شکل سفره‌ی ریزشی را که در میزان ورود هوا بسیار مؤثر می‌باشد، تحت تأثیر قرار می‌دهند. آن‌ها بیان نمودند که برای همه‌ی زوایای داخلی با افزایش شیب دیواره سرریز، ورود هوا به داخل آب افزایش یافته به‌گونه‌ای که مقدار ورود هوا برای زاویه داخلی سرریز ۱۳۵ درجه و شیب دیواره‌ی ۴۵ درجه بیش‌ترین مقدار می‌گردد.

ایجاد سطح مناسب از اکسیژن محلول در آب تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت آب از نظر افزایش راندمان حذف آهن و

$$E = f\left(\frac{H_T}{P}, \frac{L_e}{W}, \frac{h_d}{P}, \frac{d_p}{P}, \frac{C_s}{C_u}, \frac{C_d}{C_u}, Fr, NA', T\right) = 0$$

(رابطه ۲)

در این تحقیق رابطه (۳) به عنوان یک رابطه پایه‌ای برای انجام آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

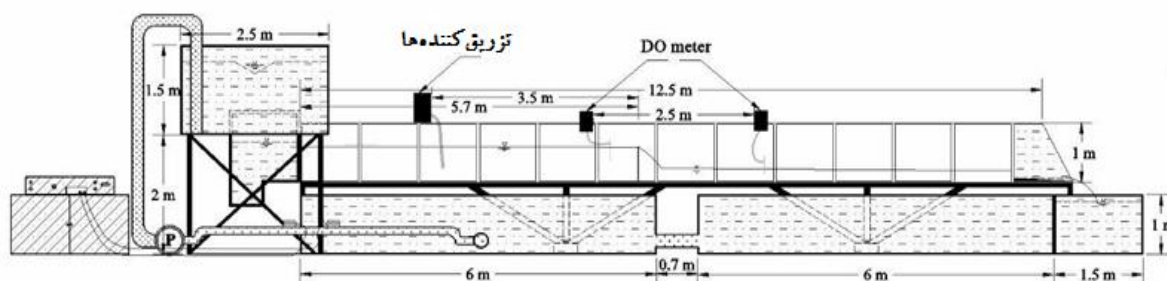
ب) تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک و مدل‌های فیزیکی- هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و در فلومی شیب‌پذیر با سیستم بازچرخانی به طول ۱۵ متر، عرض ۱/۵ و عمق ۱ متر که دارای دیواره‌های از جنس شیشه و کف فلزی بود، انجام گرفت. برای تأمین دبی، از پمپ سانتریفیوژ که قادر به تأمین دبی تا ۹۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد، استفاده شد. جریان ورودی توسط پمپ وارد مخزن بالادست و سپس وارد مخزن آرام‌کننده ورودی شده و در ادامه وارد کانال می‌گردید. به‌منظور اندازه‌گیری و تنظیم دبی جریان از دبی‌سنج اولتراسونیک با دقت $\pm 0.1\%$ لیتر بر ثانیه استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲).

$$E = f\left(\frac{H_T}{P}, \frac{L_e}{W}, \frac{t_w}{P}, \frac{h_d}{P}, \frac{d_p}{P}, \frac{C_s}{C_u}, \frac{C_d}{C_u}, Fr, Re, We, CS', NA', T\right)$$

که در آن (Re) ، (Fr) و (We) به ترتیب عدد رینولدز، عدد فرود جریان نزدیک شونده به سرریز و عدد وبر و CS' و NA' به ترتیب شکل تاج و شکل ریزش تیغه آب به صورت بی- بعد می‌باشند. همچنین پارامتر (E) راندمان افزایش اکسیژن محلول می‌باشد که به صورت $E = (C_d - C_u)/(C_s - C_d)$ تعریف می‌گردد. باتوجه به آن که در تحقیق حاضر هد جریان روی لبه سرریزها از ۳ سانتی‌متر بیش‌تر و جریان در کانال فلوم آزمایشگاهی آشفته بود، نیروهای کشش سطحی و لزجت قابل صرف‌نظر کردن می‌باشند (Subramanya, 1986). بنابراین در رابطه (۲) می‌توان از اعداد رینولدز (Re) و وبر (We) صرف‌نظر کرد. از آنجا که در تمامی سرریزهای مورد بررسی، ضخامت اندک و تاج آن‌ها به شکل لبه‌تیز بود، می‌توان از اثر ضخامت دیواره‌های سرریز صرف‌نظر نمود (Crookston, 2010). در نتیجه در رابطه (۲) می‌توان پارامترهای بی‌بعد $\frac{t_w}{P}$ و CS' را حذف نمود. بنابراین رابطه (۲) به‌صورت رابطه زیر ساده می‌گردد:

(رابطه ۳)



شکل ۱. طرح کلی از کانال آزمایشگاهی



شکل ۲. تصاویری از کانال آزمایشگاهی

سرریز خطی نیز مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۱) و شکل (۳) به ترتیب مشخصات هندسی و تصاویری از پلان سرریزهای مورد آزمایش آورده شده است. برای اندازه‌گیری مقدار اکسیژن محلول در آب (DO) از

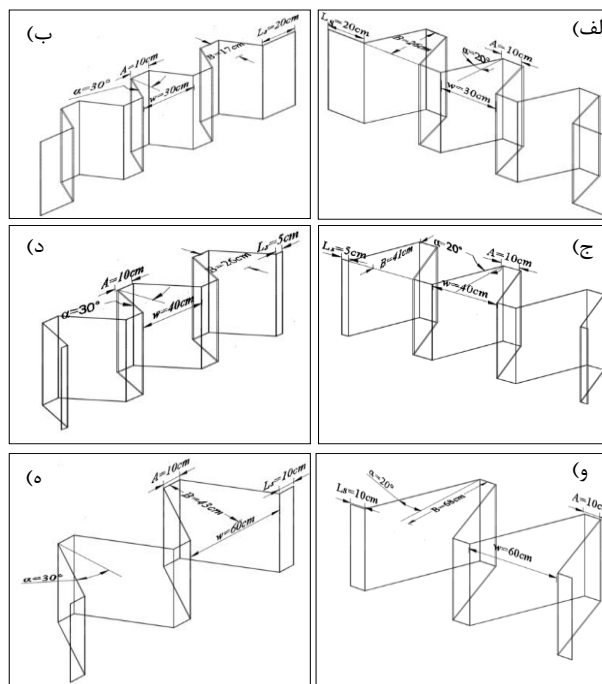
سرریزهای مورد بررسی در این تحقیق شامل ۶ هندسه‌ی پلان کنگره‌ای-دوزنقه‌ای به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بودند که از ورقه‌های آهنی به ضخامت ۳ میلی‌متر ساخته شدند. لازم به ذکر است که به منظور درک بهتر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای،

میزان اکسیژن قبل از سرریز و نیز در پایین دست آن در مکانی که حباب‌های هوا تقریباً در دامنه دبی‌های حداقل و حداکثر از بین رفته باشد، انتخاب شد. سپس با قطع محلول سدیم سولفیت و غلظت اکسیژن محلول در بالادست، قرائت مقدار اکسیژن محلول در بالادست و پایین دست تا جایی ادامه می‌یافت که مقدار اکسیژن محلول در پایین دست به سطح اشباع اولیه خود قبل از تزریق ماده شیمیایی برسد. لازم به ذکر است که معیاری برای انتخاب هد جریان در بالادست سرریزها برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته نشد و سعی گردید عملکرد سرریزها در دامنه کامل دبی‌های قابل تأمین در فلوم بررسی گردد. چراکه سرریزهای کنگره‌ای در دامنه‌های کم تا زیاد رفتارهای متفاوتی به دلیل استغراق موضعی از خود نشان می‌دهند.

دو دستگاه اکسیژن‌سنج (DOmeter) مدل AL200xi ساخت شرکت Aqualytic به ترتیب در فاصله ۰/۵ متری بالادست و ۲/۵ متری پایین دست سرریز استفاده شد. به منظور کاهش میزان اکسیژن محلول قبل از عبور از سرریز و بررسی عملکرد آن‌ها در افزایش مقدار اکسیژن محلول در آب، از ماده شیمیایی اکسیژن‌زدای سدیم سولفیت استفاده شد. برای این منظور، مجموعه مخازن تزریق محلول مذکور در فاصله ۳/۵ متری از سرریز به منظور اطمینان از اختلاط کامل محلول و یکنواختی غلظت اکسیژن محلول در بالادست سرریز، ساخته و نصب گردید. در هر آزمایش بعد از نصب سرریز، با برقراری دبی مورد نظر و تنظیم عمق پایاب، محلول سدیم سولفیت با غلظت ۷۰ گرم بر لیتر تزریق گردید تا میزان اکسیژن محلول بالادست سرریز به محدوده یک میلی گرم بر لیتر برسد. در طی این زمان

جدول ۱. مشخصات هندسی سرریزهای مورد بررسی

شماره سرریز	عرض هر سیکل (w, cm)	طول سیکل در جهت جریان (B, cm)	تعداد سیکل در جهت جریان (N)	زاویه راس (درجه، α)	طول مؤثر سرریز (L_e, cm)	تغییرات عمق پایاب (cm)	تغییرات دبی (L/S)
LBTW ₁	۳۰	۲۶	۳	۲۰	۲۶۰	۱۶/۵-۳۳	۲۰-۷۴
LBTW ₂	۲۰	۱۷	۳	۳۰	۲۱۰	۱۶/۵-۳۳	۲۰-۷۴
LBTW ₃	۴۰	۴۱	۳	۲۰	۳۲۲	۱۶/۵-۳۳	۲۰-۷۴
LBTW ₄	۴۰	۲۶	۳	۳۰	۲۴۰	۱۶/۵-۳۳	۲۰-۷۴
LBTW ₅	۶۰	۶۸	۲	۲۰	۳۴۲	۱۶/۵-۳۳	۲۰-۷۴
LBTW ₆	۶۰	۴۳	۲	۳۰	۲۵۰	۱۶/۵-۳۳	۲۰-۷۴
LNW	*	*	*	*	۱۵۰	۱۶/۵-۳۳	۲۰-۷۴



شکل ۳. تصاویری از سرریزهای پلان کنگره‌ای - دوزنقه‌ای مورد مطالعه.

(الف) LBTW₁، (ب) LBTW₂، (ج) LBTW₃، (د) LBTW₄، (ه) LBTW₅، (و) LBTW₆

شده از معادله پیشنهادی در دمای ۲۰ درجه، E_{20Exp} راندمان افزایش اکسیژن محلول حاصل از داده‌های آزمایشگاهی در دمای ۲۰ درجه و n تعداد داده‌ها می‌باشند.

نتایج و بحث

الف) تأثیر نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) بر مقدار اکسیژن محلول

در شکل (۴) تأثیر نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) بر مقدار اکسیژن محلول در سرریزهای پلان کنگره‌ای-دوزنقه‌ای در هدهای نسبی (H_T/P) مختلف نشان داده شده است. نرخ انتقال اکسیژن به زمان ماندگاری حباب اکسیژن در آب بستگی دارد. مشاهده‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که با افزایش نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P)، عمق نفوذ حباب در داخل حوضچه‌ی پایین‌دست سرریز و زمان تماس حباب در حوضچه افزایش می‌یابد و در نتیجه راندمان افزایش اکسیژن محلول بیشتر می‌گردد. مقایسه نتایج حاکی از آن است که در سرریزهای مورد مطالعه، در غلظت $C_u=2\text{mg/l}$ با افزایش نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) از ۰/۴ به ۰/۶، متوسط راندمان عملکرد سرریزهای کنگره‌ای $LBTW_1, LBTW_2, LBTW_3, LBTW_4, LBTW_5$ و $LBTW_6$ در افزایش DO به ترتیب به مقدار متوسط ۹/۸، ۶، ۷/۳، ۹/۵، ۴/۱ و ۶/۲ درصد و در سرریز خطی به مقدار متوسط ۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با تغییر نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) از ۰/۴ به ۰/۸، مقدار متوسط راندمان افزایش DO در سرریزهای کنگره‌ای $LBTW_1, LBTW_2, LBTW_3, LBTW_4, LBTW_5$ و $LBTW_6$ به میزان ۱۶/۳، ۱۰/۸، ۱۵/۳، ۱۴/۵، ۸/۴ و ۱۲ درصد و در سرریز خطی به میزان ۹ درصد افزایش یافت.

نتایج آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P)، در محل برخورد جت ریزشی با سطح آب حوضچه پایین‌دست سرریز، آشفتگی بالایی به وجود آمده و در سطح آب حباب‌های زیادی تشکیل می‌شود. در این حالت اندازه حباب‌ها کوچک بوده و به صورت متراکم و گروهی انتقال می‌یابند. نتایج آزمایشگاهی حاکی از آن است که هر چه نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) کاهش یابد، از شدت آشفتگی و تراکم حباب در سطح جریان کاسته شده ولی اندازه‌ی حباب‌ها بزرگ‌تر و حرکت آن‌ها از حالت گروهی به حالت منفرد تغییر می‌یابد (شکل ۵).

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای-دوزنقه‌ای بر افزایش اکسیژن محلول در آب در مجموع ۲۷۰ آزمایش برای هندسه‌های مختلف، دبی‌ها و عمق‌های پایاب متفاوت و غلظت‌های مختلف اکسیژن محلول ورودی صورت گرفت.

مقایسه‌های صورت گرفته حاکی از آن بود که با کاهش مقدار اکسیژن محلول در بالادست سرریز و افزایش اختلاف آن نسبت به غلظت اکسیژن محلول اشباع، عملکرد سرریزهای کنگره‌ای مورد مطالعه مشهودتر می‌گردد. از این رو، از میان دامنه غلظت‌های بالادست ۱ میلی‌گرم بر لیتر تا سطح اکسیژن اشباع (۸- ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر)، راندمان سرریزهای مورد بررسی در غلظت‌های اکسیژن بالادست (C_u) ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق برای محاسبه راندمان افزایش اکسیژن محلول از روابط (۴ تا ۶) که به ترتیب توسط Gameson, 1957) و Gameson, 1958) ارائه شده استفاده گردید:

$$r_T = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$E_T = 1 - \frac{1}{r_T} = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_d} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\ln r_T = \ln r_{20} [1 + 0.0168(T - 20)] \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن r_T نسبت کمبود اکسیژن محلول در دمای مورد نظر، C_d غلظت اکسیژن محلول پایین‌دست سرریز (mg/l)، C_u غلظت اکسیژن محلول بالادست سرریز (mg/l)، C_s غلظت اشباع اکسیژن محلول (mg/l)، E_T راندمان افزایش اکسیژن محلول در دمای موردنظر و r_{20} نسبت کمبود اکسیژن محلول در دمای ۲۰° و T دما می‌باشد. در ادامه نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های انجام شده ارائه شده است.

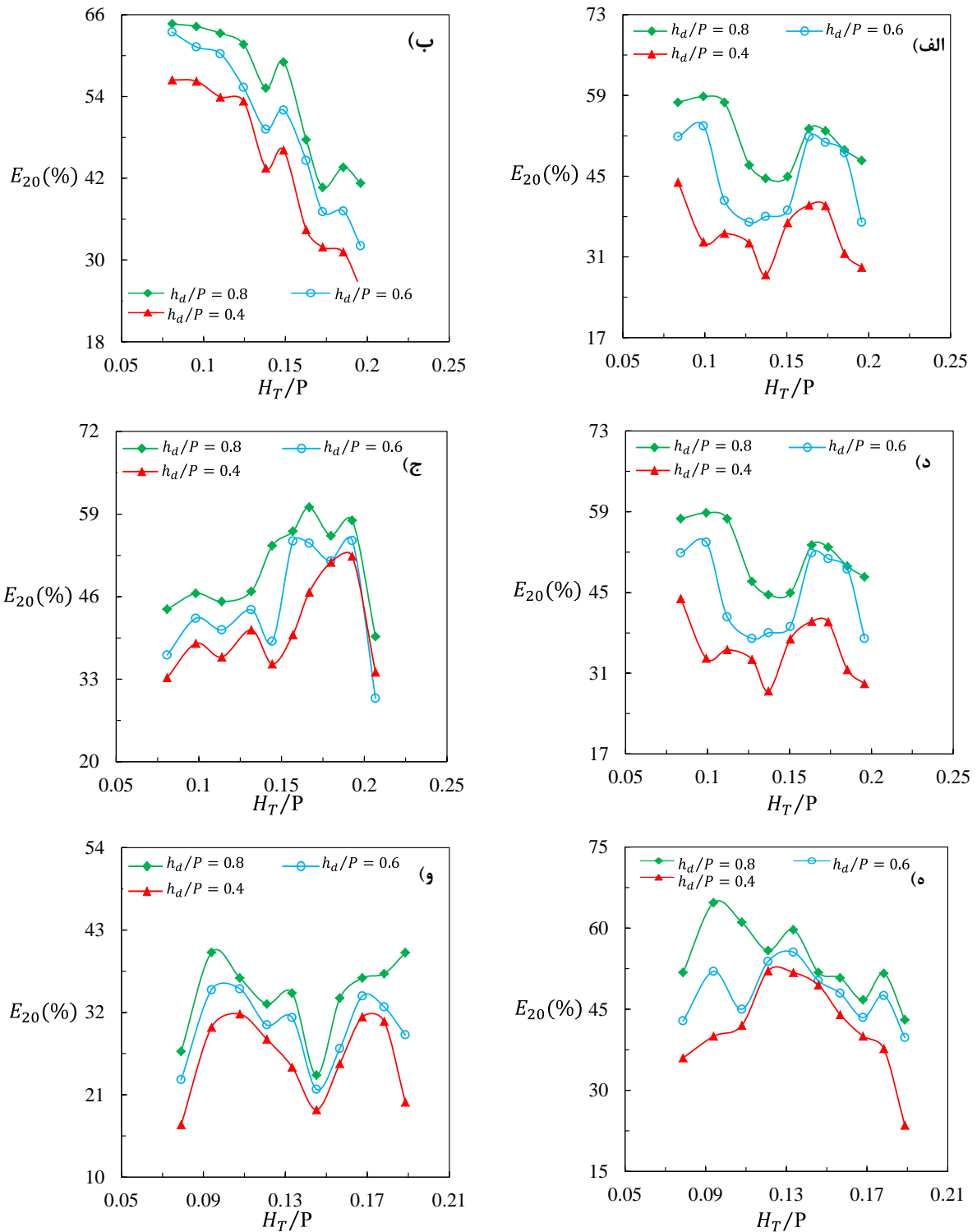
برای ارزیابی مدل رگرسیونی به منظور برآورد E_{20} ، از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، راندمان مدل (EF) و میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |E_{20Est} - E_{20Exp}|^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{20Est} - \bar{E}_{20Exp})^2 - \sum_{i=1}^n (E_{20Est} - E_{20Exp})^2}{\sum_{i=1}^n (E_{20Est} - \bar{E}_{20Exp})^2} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |E_{20Est} - E_{20Exp}|}{n} \quad (\text{رابطه ۹})$$

که در آن E_{20Est} راندمان افزایش اکسیژن محلول برآورد



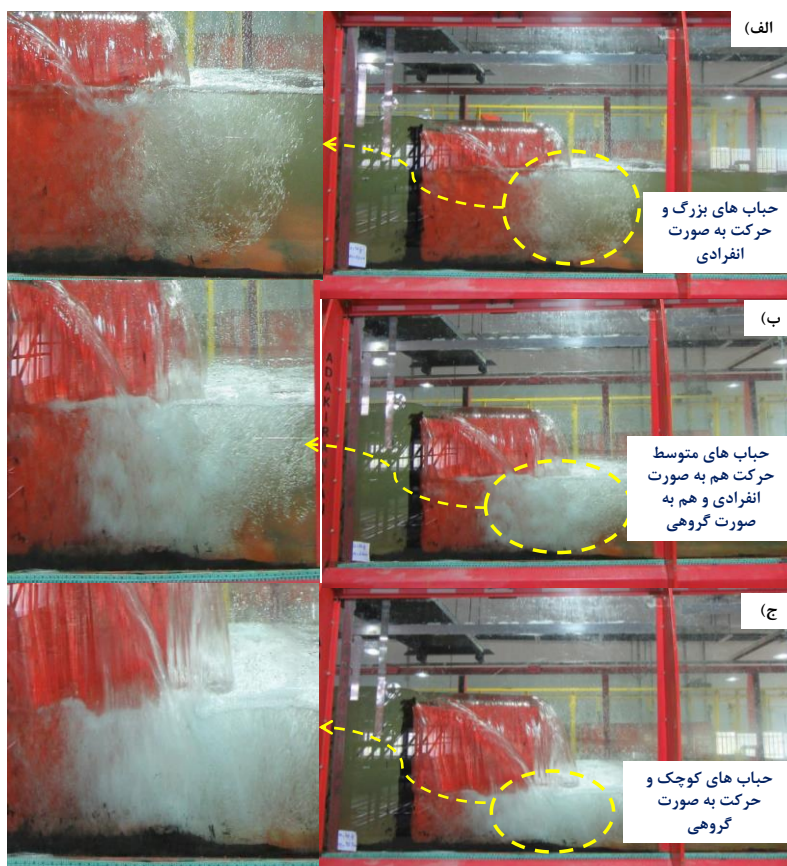
شکل ۴. تأثیر نسبت بی بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) بر مقدار اکسیژن محلول (غلظت اکسیژن بالادست (C_{ii}) ۲ میلی گرم بر لیتر)
 (الف) $LBTW_1$ ، (ب) $LBTW_2$ ، (ج) $LBTW_3$ ، (د) $LBTW_4$ ، (ه) $LBTW_5$ و (و) $LBTW_6$

سرریز مسافت بیشتری را طی می‌نمایند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که در این سرریزها تداخل بین سفره‌های ریزشی در داخل سیکل‌ها بیشتر می‌باشد. در نتیجه جریان‌های چرخشی در سیکل‌ها، مومنتوم بیشتری به حباب‌ها وارد نموده و مسافت

مقایسه‌های صورت گرفته از تصاویر تهیه شده از ناحیه‌ی حباب‌دار در پایین‌دست سرریزها و نیز طول این ناحیه حاکی از آن است که هر چه طول سیکل در جهت جریان (B) سرریزهای کنگره‌ای کوچک‌تر باشد، حباب‌های ایجاد شده در پایین‌دست

مشاهده گردید (شکل ۶). همان‌طور که در نمودارهای شکل (۴) مشاهده می‌گردد، با افزایش هد نسبی در نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) مختلف، راندمان اکسیژن محلول کاهش می‌یابد. افزایش هد نسبی، موجب استغراق موضعی سیکل‌های سرریز شده و سهم هوادهی در سیکل‌ها کاهش می‌یابد.

طولانی‌تری را طی می‌نماید. از طرف دیگر هر چه میزان حضور حباب‌ها در جریان بیشتری باشد، راندمان تبدیل آن‌ها به اکسیژن محلول در آب نیز افزایش خواهد یافت. در مقایسه بین سرریزهای با تعداد سیکل (N) و عرض سیکل (W) یکسان، طول ناحیه حباب‌دار در سرریزهای $LBTW_2$ ، $LBTW_4$ و $LBTW_6$ بیشتر از سرریزهای $LBTW_1$ ، $LBTW_3$ و $LBTW_5$



شکل ۵. تصاویری از نمای نیم‌رخ جت‌های ریزشی در پایین‌دست سرریز $LBTW_5$ در دبی ۵۶ لیتر بر ثانیه در نسبت‌های بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز مختلف: (الف) $h_d/P = 0.4$ ، (ب) $h_d/P = 0.6$ و (ج) $h_d/P = 0.8$

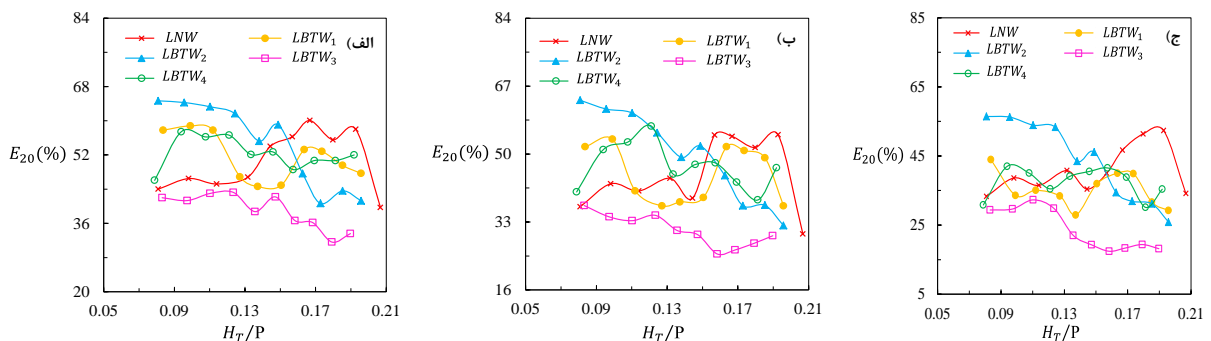
الگوی جریان ریزشی از تاج سرریزها، سه پارامتر مؤثر بر مقدار اکسیژن محلول در سرریزهای پلان کنگره‌ای می‌باشند. Shafaattalab Dehghani *et al.* (2017) بیان داشتند که طول سیکل‌ها در جهت جریان (B) نقش مؤثری در ضریب دبی سرریزها دارد. در هد نسبی‌های کم، هرچه طول سیکل در جهت جریان کمتر باشد، به دلیل تداخل سفره‌های ریزشی در طول یال سیکل‌ها، ضریب دبی سرریز بیشتر کاهش می‌یابد. این امر باعث افزایش هد آب روی سرریز شده و ضخامت سفره ریزشی عبوری از تاج سرریز افزایش می‌یابد. با افزایش ضخامت سفره ریزشی، تداخل بین سفره‌ها افزایش یافته و با ایجاد آشفته‌گی موجب افزایش اکسیژن محلول آب می‌گردد. در بین سرریزها با

(ب) بررسی تأثیر هندسه‌های سرریز کنگره‌ای بر راندمان افزایش اکسیژن محلول در شکل‌های (۶) تا (۸)، عملکرد سرریزهای کنگره‌ای با هندسه سه سیکل بر مقدار اکسیژن محلول برای نسبت‌های مختلف بی‌بعد (h_d/P) و غلظت‌های مختلف اکسیژن محلول در بالادست نشان داده شده است. مقایسه نتایج نشان داد که راندمان افزایش اکسیژن محلول در هندسه‌های مختلف سرریزهای کنگره‌ای در همه‌ی نسبت‌های بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P)، مشابه می‌باشد. نتایج آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل آنها نشان داد که طول سیکل‌ها در جهت جریان (B)، ضخامت تیغه‌های ریزشی و

افزایش هد نسبی، ناحیه تداخلی سفره‌های ریزشی در فضای بین سیکل‌ها افزایش می‌یابد. هرچه طول سیکل در جهت جریان (B) کم‌تر باشد، جریان سریع‌تر می‌تواند از فضای سیکل‌ها خارج شود در نتیجه، تداخل سفره‌های ریزشی در فضای بین سیکل‌ها در مقایسه با سیکل‌های با طول بیش‌تر رخ نمی‌دهد. به همین جهت با افزایش هد نسبی، میزان افزایش اکسیژن محلول در سرریز $LBTW_2$ در مقایسه با سرریز $LBTW_1$ کاهش می‌یابد (شکل ۹). در مقایسه بین سرریزهای $LBTW_3$ و $LBTW_4$ ، افزایش بیش از حد طول در جهت جریان (B) در سرریز $LBTW_3$ ، موجب می‌شود که در نسبت‌های بالای هد، الگوی جریان سفره‌ی ریزشی همواره چسبیده باقی‌مانده و تداخلی بین سفره‌های ریزشی رخ ندهد. این در حالی است که سرریز $LBTW_4$ نیز به علت طول مناسب در جهت جریان با افزایش هد نسبی به طور کامل مستغرق نشود. در نتیجه در نسبت‌های مختلف هد، سرریز $LBTW_4$ عملکرد بهتری دارد (شکل ۱۰). مقایسه نتایج سرریزهای کنگره‌ای با هندسه سه سیکل نشان داد که در نسبت‌های پایین هد، سرریز $LBTW_2$ با راندمان ۵۸ درصد و در نسبت‌های بالای هد، سرریزهای $LBTW_1$ و $LBTW_4$ به ترتیب برابر با $۴۳/۶$ و ۵۰ درصد، بیشترین راندمان افزایش میزان اکسیژن محلول را دارا بودند.

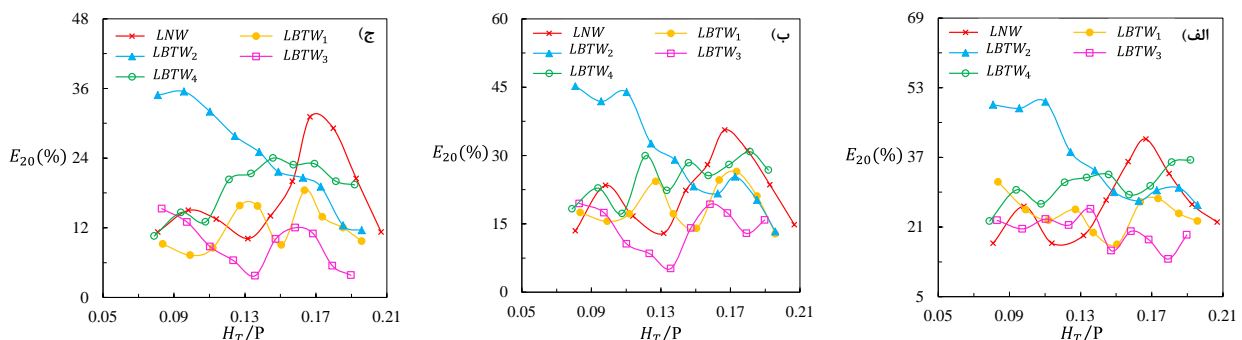
هندسه سه سیکل، سرریز $LBTW_2$ دارای طول در جهت جریان کمتر نسبت به سایر سرریزها می‌باشد در نتیجه، راندمان افزایش اکسیژن محلول در آن بیشتر از سایر سرریزهای سه سیکل می‌باشد. اما در هد نسبی‌های بالا طول در جهت جریان کم در سرریز $LBTW_2$ باعث استغراق تمام طول در جهت جریان سرریز و عدم تداخل سفره‌های ریزشی و کاهش راندمان افزایش اکسیژن محلول در پایین‌دست سرریز می‌گردد. در هد‌های نسبی بالا، هندسه‌های دارای طول سیکل در جریان بیشتر یا زاویه رأس بزرگتر دارای عملکرد بهتری در افزایش میزان اکسیژن محلول داشتند.

مقایسه‌ی بین سرریزهای $LBTW_1$ و $LBTW_2$ (با تعداد و عرض سیکل ثابت) در نسبت‌های پایین هد حاکی از آن است که با کاهش طول سیکل در جهت جریان از ۲۶ (در سرریز $LBTW_2$) به ۱۷ سانتی‌متر (در سرریز $LBTW_1$)، الگوی ریزشی جریان از روی سرریز $LBTW_2$ به صورت جهنده (تیغه آب از لبه و دیواره‌های پایین‌دست سرریز جدا می‌گردد) و در سرریز $LBTW_1$ به صورت چسبیده (تیغه آب به لبه و دیواره‌های پایین‌دست سرریز می‌چسبد) می‌باشد. الگوی ریزشی جهنده موجب تداخل سفره‌های ریزشی در طول بخش عمده‌ای از سرریز می‌گردد. در نتیجه آشفته‌گی در سفره‌ها افزایش یافته و باعث ورود حجم بالایی از حباب‌های هوا به آب می‌شود. با



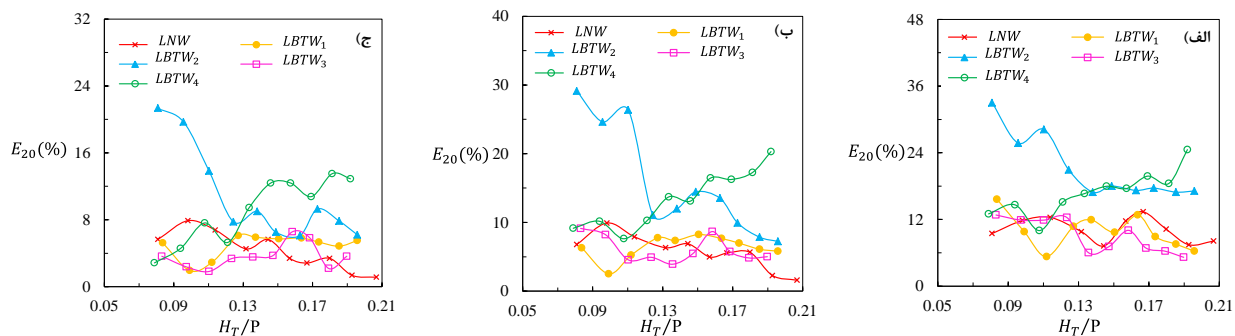
شکل ۶. مقایسه عملکرد سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با هندسه سه سیکل در غلظت اکسیژن بالادست (C_u) ۲ میلی‌گرم بر لیتر

(الف) $h_d/P = 0.8$ ، (ب) $h_d/P = 0.6$ و (ج) $h_d/P = 0.4$

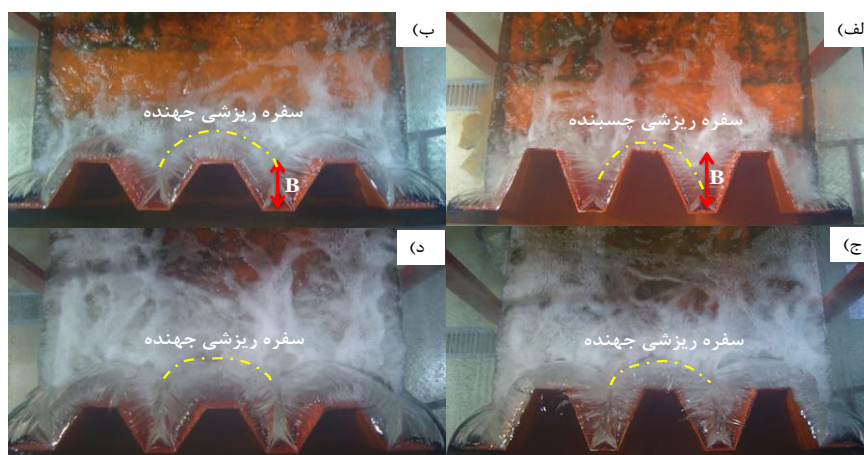


شکل ۷. مقایسه عملکرد سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با هندسه سه سیکل در غلظت اکسیژن بالادست (C_u) ۴ میلی‌گرم بر لیتر

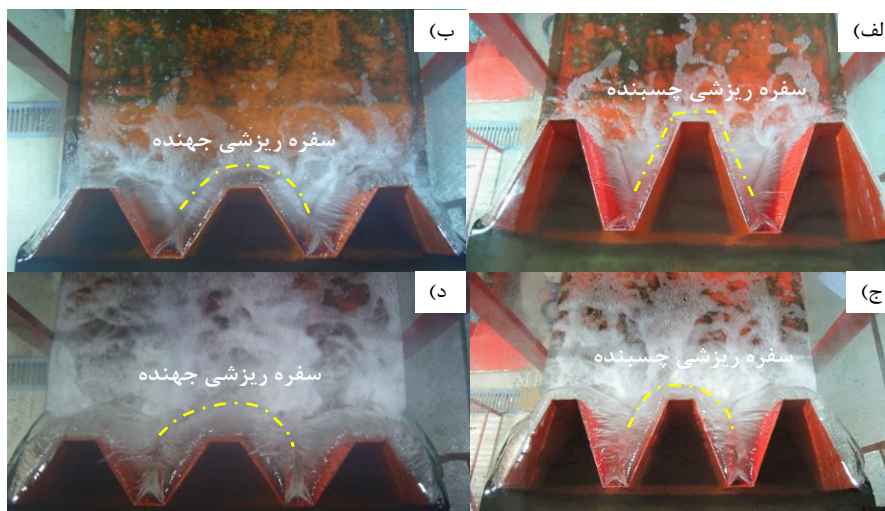
(الف) $h_d/P = 0.8$ ، (ب) $h_d/P = 0.6$ و (ج) $h_d/P = 0.4$



شکل ۸. مقایسه عملکرد سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با هندسه سه سیکل در غلظت اکسیژن بالادست (C_n) ۶ میلی گرم بر لیتر
 (الف) $h_d/P = 0.8$ ، (ب) $h_d/P = 0.6$ و (ج) $h_d/P = 0.4$



شکل ۹. مقایسه سفره‌های ریزشی جریان از روی تاج سرریزهای پلان کنگره‌ای دوزنقه‌ای LBTW₁ و LBTW₂
 (الف) LBTW₁ و LBTW₂، Q=20 L/S، (ب) LBTW₁ و LBTW₂، Q=20 L/S، (ج) LBTW₁ و LBTW₂، Q=68 L/S و (د) LBTW₁ و LBTW₂، Q=68 L/S



شکل ۱۰. مقایسه بین سفره‌های ریزشی جریان از روی تاج پلان کنگره‌ای - دوزنقه‌ای LBTW₃ و LBTW₄
 (الف) LBTW₃ و LBTW₄، Q=20L/S، (ب) LBTW₃ و LBTW₄، Q=20L/S، (ج) LBTW₃ و LBTW₄، Q=68L/S و (د) LBTW₃ و LBTW₄، Q=68L/S

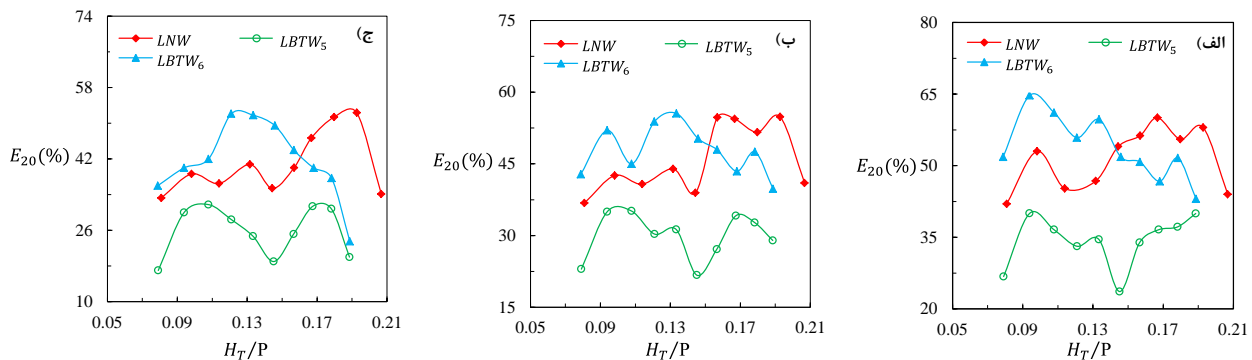
نشان می‌دهد که سرریز LBTW₆ عملکرد بهتری نسبت به سرریز LBTW₅ دارد. سرریز LBTW₆ در بین سرریزهای با هندسه دو سیکل، دارای طول کمتر در جهت جریان (B) نسبت به سرریز LBTW₅ می‌باشد که این دو عامل موجب افزایش

در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳)، عملکرد سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با هندسه دو سیکل از نظر مقدار اکسیژن محلول در نسبت‌های مختلف (h_d/P) و غلظت‌های مختلف اکسیژن محلول در بالادست نشان داده شده است. مقایسه این شکل‌ها

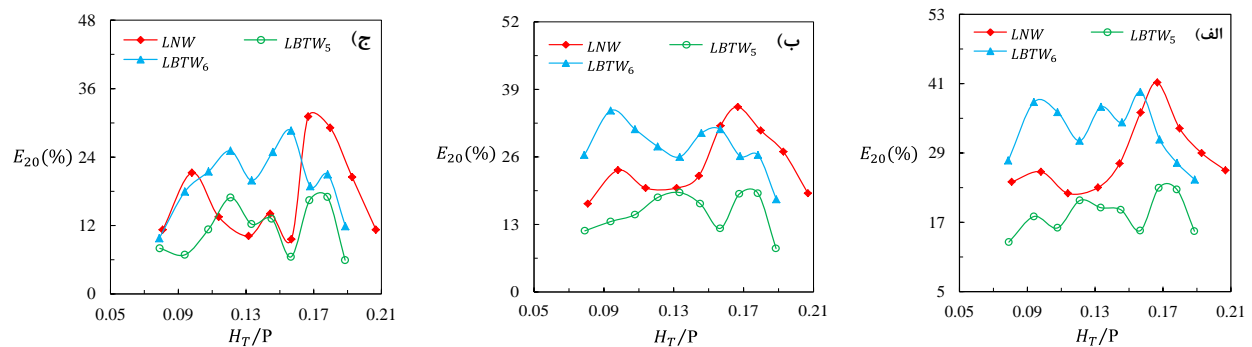
جهت جریان، با افزایش هد نسبی به طور کامل مستغرق نمی- شود (شکل ۱۴).

مقایسه نتایج نشان داد که در سرریزهای کنگره‌ای با هندسه دو سیکل، بیشترین راندمان افزایش اکسیژن محلول (۵۱ درصد) در هدهای نسبی کم مربوط به سرریز $LBTW_6$ می‌باشد که با افزایش هد نسبی به ۴۴/۵ درصد کاهش یافت.

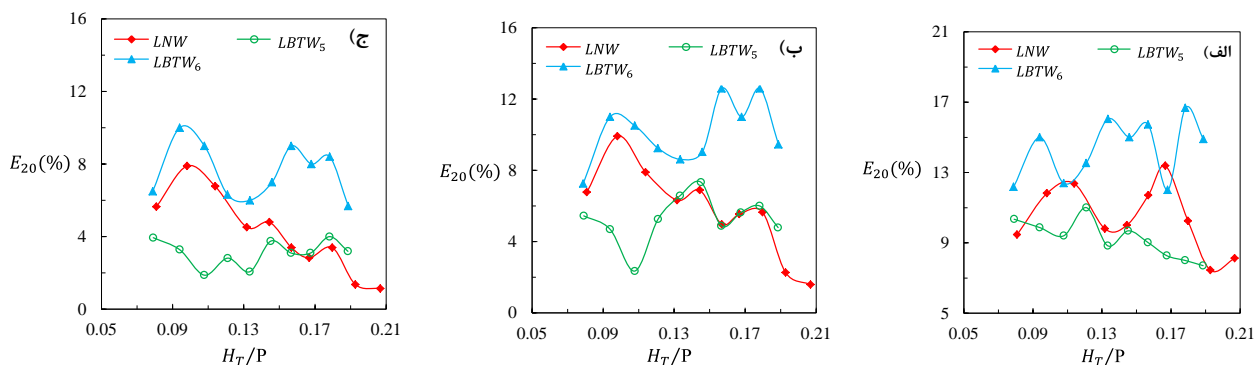
تداخل بین سفره‌های ریزشی و ورود هوا به جریان آب می‌شود. علاوه بر آن، الگوی جریان در نسبت‌های مختلف هد در سرریز $LBTW_6$ به صورت جهنده و در سرریز $LBTW_5$ به علت افزایش بیش از حد طول در جهت جریان به صورت چسبنده می‌باشد که موجب عدم تداخل سفره‌های ریزشی در سرریز $LBTW_5$ می‌گردد. همچنین سرریز $LBTW_6$ به علت طول مناسب در



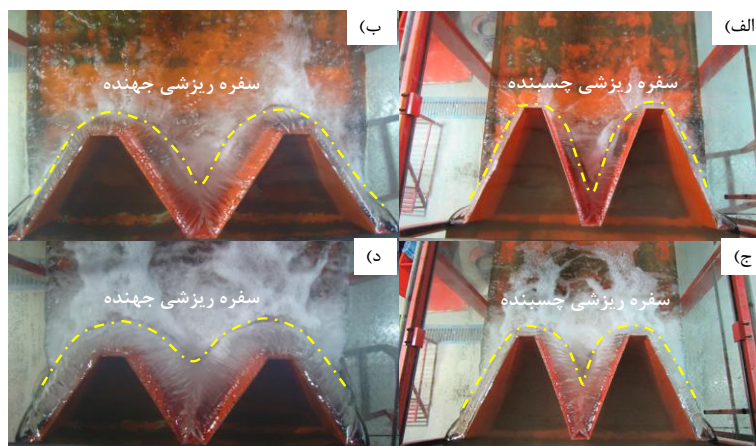
شکل ۱۱. عملکرد سرریزهای کنگره‌ای-دوزنقه‌ای با هندسه دو سیکل در غلظت اکسیژن بالادست (C_u) ۲ میلی گرم بر لیتر
 (الف) $h_d/P = 0.8$ ، (ب) $h_d/P = 0.6$ و (ج) $h_d/P = 0.4$



شکل ۱۲. عملکرد سرریزهای کنگره‌ای-دوزنقه‌ای با هندسه دو سیکل در غلظت اکسیژن بالادست (C_u) ۴ میلی گرم بر لیتر
 (الف) $h_d/P = 0.8$ ، (ب) $h_d/P = 0.6$ و (ج) $h_d/P = 0.4$

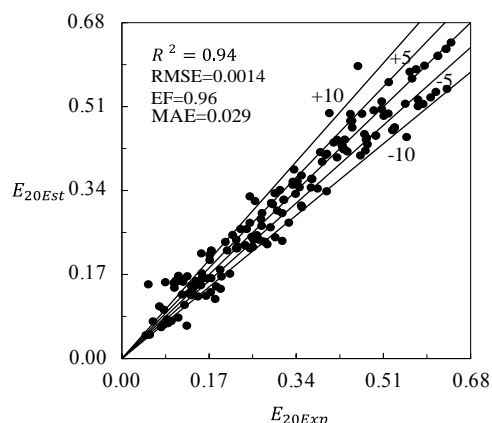


شکل ۱۳. عملکرد سرریزهای کنگره‌ای-دوزنقه‌ای با هندسه دو سیکل در غلظت اکسیژن بالادست (C_u) ۶ میلی گرم بر لیتر
 (الف) $h_d/P = 0.8$ ، (ب) $h_d/P = 0.6$ و (ج) $h_d/P = 0.4$



شکل ۱۴. مقایسه بین سفره‌های ریزشی جریان از روی تاج پلان کنگره‌ای- دوزنقه‌ای LBTW₆ و LBTW₅ (الف) LBTW₅, Q=20L/S (ب) LBTW₆, Q=20L/S (ج) LBTW₅, Q=68L/S و LBTW₆, Q=68L/S (د)

می‌باشد.



شکل ۱۶. ارزیابی عملکرد مدل رگرسیونی در برآورد راندمان افزایش اکسیژن محلول سرریزهای پلان کنگره‌ای- دوزنقه‌ای در مقابل داده‌های آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر علاوه بر استخراج معادله رگرسیونی، معادله ناکاسون (رابطه ۱۲) در برآورد مقدار اکسیژن محلول مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۲) مقایسه آماری عملکرد این معادله آورده شده است. مقایسه نتایج نشان داد که مطابقت نزدیکی بین راندمان افزایش اکسیژن محلول حاصل از معادله ناکاسون و داده‌های آزمایشگاهی در غلظت اکسیژن بالادست ۶ میلی‌گرم بر لیتر وجود دارد اما با کاهش غلظت اکسیژن محلول بالادست به ۴ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر، افزایش قابل توجهی در خطای این معادله حاصل می‌گردد.

(رابطه ۱۲)

$$\ln r_{20} = 0.0785(D + 1.5H_C)^{1.31} q^{0.428} H^{0.310}$$

که در آن D ، اختلاف تراز بالادست سرریز با سطح آب

پایین‌دست و H_C ، عمق بحرانی می‌باشد.

(د) استخراج معادله رگرسیونی برآورد راندمان افزایش اکسیژن محلول در سرریزهای پلان کنگره‌ای- دوزنقه‌ای برای شرایط مختلف هیدرولیکی

همان‌طور که پیش از این بیان گردید، عملکرد سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای تحت تأثیر پارامترهای مختلف هندسی و هیدرولیکی می‌باشد. بنابراین ارائه روابطی جهت برآورد راندمان افزایش اکسیژن محلول سرریزهای پلان کنگره‌ای دوزنقه‌ای تحت شرایط هیدرولیکی یاد شده می‌تواند در مراحل اولیه طراحی این نوع سرریزها مفید باشد. برای استخراج مدل رگرسیونی، تحلیل آماری بر روی پارامترهای هندسی مهم اثرگذار بر راندمان اکسیژن محلول سرریزهای پلان کنگره‌ای- دوزنقه‌ای انجام پذیرفت. در استخراج معادله رگرسیونی، ترکیب‌های مختلف از پارامترهای اثرگذار که در رابطه ۱۰ آورده شده‌اند، در نرم‌افزار SAS9 و با استفاده از ۷۰ درصد از داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

$$E_{20} = f\left(\frac{H_T}{P}, \frac{L_e}{W}, \frac{h_d}{P}, \frac{d_p}{P}, \frac{C_{ul}}{C_s}\right) \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

در نهایت رابطه ۱۱ برای برآورد راندمان افزایش اکسیژن محلول سرریزهای مذکور در شرایط هیدرولیکی مختلف حاصل شد.

(رابطه ۱۱)

$$E_{20} = -0.3472 + \left(\frac{C_{ul}}{C_s}\right)^{-0.4696} \left(\frac{H_T}{P}\right)^{-1.6027} e^{\left(\frac{L_e}{W}\right)^{-0.3016}} e^{\left(\frac{d_p}{P}\right)^{-0.2194}} e^{\left(\frac{h_d}{P}\right)^{0.1096}} F_r^{0.0263}$$

در شکل (۱۶) مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و برآورد شده راندمان افزایش اکسیژن محلول در سرریزهای پلان کنگره‌ای- دوزنقه‌ای نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان بیان داشت که معادله استخراج شده از مدل رگرسیونی در برآورد راندمان افزایش اکسیژن محلول در سرریزهای یاد شده برای شرایط هیدرولیکی مختلف دارای دقت قابل قبولی

جدول ۲. معیارهای آماری خطای بدست آمده از معادله ناکاسون در برآورد مقدار راندمان

LBRW ₂	LBRW ₁	LBTW ₆	LBTW ₅	LBTW ₄	LBTW ₃	LBTW ₂	LBTW ₁	LNW	سرریز	
۱۹/۷	۲۵/۲	۷/۴	۲/۷	۱۰/۳	۳/۷	۱۳/۲	۳/۷	۳	MAE	Cu=6mg/lit h _d /p=0.8
۲۲/۶	۲۶	۸/۱	۳/۱	۱۰/۶	۴/۷	۱۴/۹	۴/۶	۳/۳	RMSE	
۱۴/۶	۱۹/۹	۳/۹	۱/۵	۷/۲	۱/۹	۹/۳	۱/۵	۳/۸	MAE	h _d /p=0.6
۱۶/۴	۲۰/۷	۴/۵	۱/۸	۷/۷	۲/۶	۱۲/۶	۱/۷	۴/۷	RMSE	
۹/۹	۱۲	۱/۸	۱/۶	۴/۶	۱/۱	۶/۱	۱/۱	۳/۴	MAE	h _d /p=0.4
۱۱/۹	۱۳/۱	۲/۵	۱/۸	۵/۳	۱/۴	۸/۷	۱/۴	۴/۱	RMSE	
۲۶/۸	۳۸	۲۵/۳	۱۲	۲۳	۱۳/۴	۳۰/۴	۱۷	۱۶	MAE	Cu=4mg/lit h _d /p=0.8
۲۷/۷	۳۹/۹	۲۵/۸	۱۲/۹	۲۳/۲	۱۴	۳۱/۷	۱۸	۱۷/۲	RMSE	
۱۷/۸	۲۹/۸	۲۱/۴	۹/۴	۱۸/۸	۸/۷	۲۲/۹	۱۲/۶	۱۲/۷	MAE	h _d /p=0.6
۱۸/۴	۳۲	۲۲/۱	۱۰/۱	۱۹/۱	۹/۹	۲۵/۸	۱۳/۶	۱۴/۵	RMSE	
۱۲/۸	۲۰/۹	۱۵/۴	۶/۹	۱۳/۸	۶/۳	۱۹	۷/۱	۱۱	MAE	h _d /p=0.4
۱۳/۷	۲۳/۲	۱۶/۴	۸	۱۴/۷	۷/۹	۲۱/۲	۸/۱	۱۳/۱	RMSE	
۳۳/۸	۴۸/۲	۴۶/۳	۲۸	۴۵/۸	۳۴/۲	۴۶	۴۴/۲	۴۱/۳	MAE	Cu=2mg/lit h _d /p=0.8
۳۵/۳	۵۰	۴۶/۹	۲۹	۴۶	۳۵/۱	۴۷/۳	۴۴/۶	۴۲/۱	RMSE	
۲۶/۹	۴۰	۴۱/۶	۲۴/۸	۳۹/۴	۲۴/۵	۴۲/۹	۳۸/۹	۳۶/۷	MAE	h _d /p=0.6
۲۸/۲	۴۱/۵	۴۲/۲	۲۶	۳۹/۷	۲۵/۳	۴۴/۵	۳۹/۶	۳۷/۵	RMSE	
۲۵/۱	۲۷/۲	۳۴/۹	۲۰/۶	۳۳/۴	۱۸/۶	۳۸/۳	۳۱/۳	۳۴/۷	MAE	h _d /p=0.4
۲۷	۳۰/۳	۳۶/۱	۲۱/۸	۳۳/۸	۲۰	۴۰/۲	۳۱/۸	۳۵/۲	RMSE	

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر هندسه و نسبت بی‌بعد ارتفاع ریزش به ارتفاع سرریز (h_d/P) در شش هندسه از سرریز کنگره‌ای - دوزنقه‌ای در مقایسه با سرریز خطی بر افزایش مقدار اکسیژن محلول آب به عنوان یکی از پارامترهای مهم کیفی و اثرگذار بر حیات آبزیان به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل آنها نشان داد که با افزایش h_d/P عمق نفوذ حباب در داخل حوضچه‌ی پایین دست سرریز و زمان تماس حباب در حوضچه افزایش می‌یابد و در نتیجه راندمان افزایش اکسیژن محلول بیشتر می‌گردد. مقایسه نتایج

حاکمی از آن است که در سرریزهای مورد مطالعه، با افزایش h_d/P از ۰/۴ به ۰/۸، مقدار متوسط راندمان DO در سرریزهای کنگره‌ای و سرریز خطی به ترتیب ۱۳ و ۹ درصد افزایش می‌یابد. نتایج آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل آنها نشان داد که طول سیکل در جهت جریان (B)، ضخامت تیغه‌های ریزشی و الگوی جریان ریزشی از تاج سرریزها سه پارامتر مؤثر بر مقدار اکسیژن محلول در سرریزهای پلان کنگره‌ای می‌باشند. در هدهای نسبی پایین، در سرریزهای کنگره‌ای با هندسه سه سیکل هرچه طول سیکل در جهت جریان کمتر باشد، به دلیل تداخل بیشتر سفره‌های ریزشی در طول یال سیکل‌ها، چرخش

در بین سرریزهای کنگره‌ای مورد مطالعه، سرریز LBTW₄ با ۵۰ درصد دارای بیشترین راندمان افزایش میزان اکسیژن محلول بود. در میان سرریزهای با هندسه دو سیکل، سرریز LBTW₆ با راندمان افزایش اکسیژن محلول ۵۱ و ۴۴/۵ درصد به ترتیب در هدهای نسبی پایین و بالا دارای عملکرد مناسب‌تری بود. به‌عنوان یک معیار کلی طراحی می‌توان بیان داشت که اگر سرریزهای کنگره‌ای در دامنه نسبت هندسه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر در محدوده هد نسبی جریان $h_d/P = 0/11-0/15$ طراحی گردند، عملکرد مناسب‌تری در افزایش مقدار اکسیژن محلول جریان خواهند داشت.

هوا در فضای بین سیکل‌ها و در نتیجه زمان تماس حباب‌های هوا در جریان افزوده می‌گردد. مقایسه‌های صورت گرفته حاکی از آن است که از میان سرریزهای کنگره‌ای با تعداد سه سیکل، بیش‌ترین راندمان افزایش اکسیژن محلول، مربوط به سرریز LBTW₂ با راندمان ۵۸ درصد بود. با افزایش هد نسبی جریان، به دلیل مستغرق شدن بخشی از سیکل‌های خروجی سرریزهای کنگره‌ای و تغییر الگوی ریزشی جریان از حالت چسبنده به چهنده، عملکرد سرریزها دچار تغییر شده و افزایش طول سیکل سرریزها منجر به بهبود عملکرد آن‌ها در افزایش مقدار اکسیژن محلول می‌گردد. مقایسه‌های صورت گرفته حاکی از آن است که

REFERENCES

- Apted, R. w. and Novak, P. (1973). Some studies of oxygen uptake at weirs. *International Association for Hydraulic Research*, Istanbul, Turkey, 177-186.
- Avery, S. and Novak, P. (1978). Oxygen transfer at hydraulic structures. *Journal Hydraulic Engineering*, ASCE, 104(11), 1521-1540.
- Baylar, A. and Bagatur, T. (2000). Aeration performance of weirs. *Water SA*, 26 (4), 521-526.
- Crookston, B. M. (2010). *Labyrinth weirs*. Ph.D. dissertation, Utah State Univ., Logan, UT.
- Emirogla, M. E. and Baylar, A. (2005). Influence of included angle and sill slope on air entrainment of triangular planform labyrinth weirs. *Journal Hydraulic Engineering*, ASCE, 131(3), 184-189.
- Gameson, A. L. H. (1957). Weirs and the aeration of rivers. *Journal Institution of Water Engineering*, II(6), 477-490.
- Gameson, T. K., VanDyke, K., and Ogden, C. (1990). The effect of temperature on aeration at weirs. *Water and Water Engineering*, 62(5), 489-492.
- Gulliver, J. S., Thene, J. R., and Rindels, A. J. (1990). Indexing gas transfer in self-aerated flows. *Journal of Environmental Engineering*, 116(3), 503-523.
- Nakason, H. (1987). Study of aeration at weirs and cascades. *Journal Hydraulic Engineering*, ASCE, 113(1), 64-81.
- Shafaattalab Dehghani, H., Esmaeili Varaki, M. and Ashrafzadeh, A. (2017). Experimental investigation of the effect of tail water level on discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weirs. *Journal of irrigation and drainage structures engineering research*: 17(67): 63-80
- Subramanya, K. (1986). *Flow in Open Channel*. Second Edition, Tata McGraw-Hill New Delhi.
- Van der Kroon, G. T. N. and Schram, A. H. (1969 a,b). Weir aeration- part I: Single free fall. H20, 22, 528-537.bnfh
- Wormleaton, P. R. and Soufiani, E. (1998). Aeration performance of triangular planform labyrinth weirs. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, 124(8), 709-719.
- Wormleaton, P. R., Tsang, C. C. (2000). Aeration performance of rectangular planform labyrinth weirs. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, 126(5), 456-465.
- <http://www.ozonecenter.ir/>- کاربرد اکسیژن فعال در تکثیر و پرورش ماهی