

بررسی ضریب دبی جریان در سرریز کنگره‌ای تک سیکل به روش CFD

فرهاد میثاقی^{۱*}، علیرضا صدیق^۲ و امیرحسین امانی^۳

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان. Farhad.Misaghi@znu.ac.ir

۲- کارشناس ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه زنجان.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای نوعی از سرریزهای چندوجهی هستند که با دارا بودن دو وجه باعث افزایش دبی عبوری می‌گردد. این نوع طول مؤثر بیش تری نسبت به سرریزهای لبه تیز معمول دارند. به این ترتیب می‌توانند دبی بیش تری در مقایسه با سرریزهای معمول برای کانال با عرض و ارتفاع آب مشابه را از خود عبور دهند. در این تحقیق به بررسی عددی تأثیر پارامترهای هندسی مؤثر بر ضریب دبی جریان سرریز کنگره‌ای تک سیکل با استفاده از نرم افزار FLUENT و به صورت سه بعدی پرداخته شد. برای مدل کردن آشفتگی از مدل $k - \epsilon$ روش RNG و برای تعیین موقعیت پروفیل سطح آزاد از روش VOF استفاده شد. نتایج به دست آمده از بررسی مدل‌های عددی با مقادیر حاصله از سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال مقایسه شد. نتایج نشان داد برای یک $\frac{H}{p}$ مشخص، با افزایش زاویه رأس (θ) ، ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد و عملکرد سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال نسبت به سرریز کنگره‌ای تک سیکل کم‌تر می‌باشد. همچنین سرریز کنگره‌ای تک سیکل در بارهای هیدرولیکی کم، عملکرد مناسبی داشته و ضریب دبی روند صعودی دارد. نتایج نشان داد ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل برخلاف سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال با افزایش زاویه رأس تداخل تیغه‌های ریزشی کاهش و ضریب دبی افزایش می‌یابد. دبی عبوری از سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل در مقایسه با سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال افزایش یافته و نتایج نشان داد که کارایی سرریز کنگره‌ای تک سیکل با زاویه رأس ۴۵ درجه تا ۱/۲ برابر افزایش می‌یابد. در نتیجه عملکرد سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل بیش‌تر از سرریزهای هم‌عرض کانال می‌باشد.

کلید واژه‌ها: سرریز کنگره‌ای تک سیکل، ضریب دبی جریان، نرم‌افزار FLUENT.

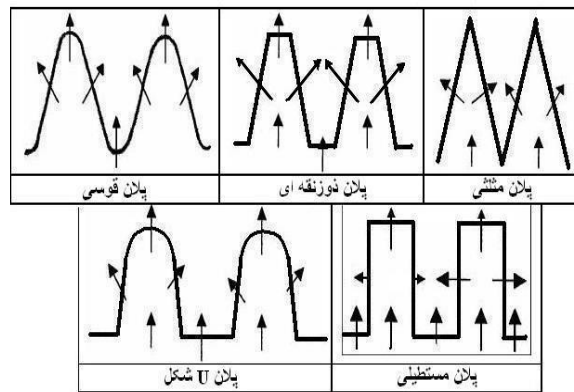
مقدمه

عبوری از روی آنها است [۴]. سرریزهای کنگره‌ای طراحی ساده‌ای دارند و طول مؤثر بیش تری نسبت به سرریزهای لبه تیز معمول دارند و به این ترتیب می‌توانند دبی بیش تری در مقایسه با سرریزهای معمول برای کانال با عرض و ارتفاع آب مشابه را از خود عبور دهند. سرریزهای کنگره‌ای^۱، از سازه‌های هیدرولیکی مهم

سرریزها از جمله سازه‌های هیدرولیکی جهت کنترل جریان و تنظیم سطح آب می‌باشند که باعث افزایش ارتفاع سطح آب و در نتیجه تأمین ارتفاع آب مورد نیاز برای منحرف کردن دبی مورد نظر به کانالهای جانبی می‌شوند. دیگر وظیفه اصلی این سازه‌ها اندازه‌گیری دبی

۴- قابلیت بالای این سرریزها در هوادهی جریان.
 ۵- عدم وقوع استغراق تا هدهای خیلی زیاد.
 Taylor نخستین کسی بود که مطالعاتی را در زمینه سرریزهای کنگره‌ای با تاج لبه‌تیز انجام داد [۱۶].
 Hay and Taylor کارایی هیدرولیکی سرریزهای زیگزاگی با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای را نسبت به سرریزهای خطی لبه تیز مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که کارایی سرریزها زیگزاگی با پلان مثلثی از دوزنقه‌ای مناسب‌تر می‌باشد [۱۰].
 Lux and Hinchliff با توسعه اطلاعات تجربی، نتایج ارزیابی ظرفیت جریان عبوری روی سرریزهای با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای را اصلاح نمودند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که میزان واقعی جریان عبوری از سرریز زیگزاگی حدود ۲۵٪ کم‌تر از مقدار برآورد شده نظیر آن از روش هی و تیلور است. علت اصلی تفاوت، احتساب ارتفاع آب بالادست به‌جای انرژی بالادست سرریز با تأثیر بار سرعت بالادست سرریز بوده است [۱۳].
 Cassidy et al با بررسی تأثیر ضریب دبی بر روی سرریزهای کنگره‌ای به این نتیجه رسیدند که مقدار این ضریب در ارتفاع‌های بالای جریان عبوری نسبت به سرریزهای مستقیم کاهش می‌یابد [۶].
 Crookston and Tullis خصوصیات تداخل تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای با دو و چهار سیکل مثلثی و زوایای رأس مختلف را به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در دبی‌های کم، به‌دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی ضریب دبی جریان از سرریز خطی بیش‌تر بوده و به‌تدریج با افزایش دبی جریان شدت تداخل بیش‌تر می‌گردد. این موضوع منجر به کاهش ضریب دبی جریان شده و مقدار آن متمایل به ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن گردد [۷].

جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها به‌شمار می‌آیند. هم‌چنین از سرریزهای کوتاه زیگزاگی جهت هوادهی و پالایش طبیعی فاضلاب استفاده می‌گردد. محور تاج این نوع سرریزها به‌صورت غیر خطی بوده و در یک عرض معین، طول تاج بیش‌تری نسبت به سرریزهای متداول خطی دارد. به‌طوری که در نمایش سطح افق، سرریز از دیواره‌های متصل به هم تشکیل یافته و با هندسه مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و یا قوسی و با تناوب در عرض جریان تکرار می‌گردد [۲] (شکل ۱).



شکل ۱- هندسه سرریزهای کنگره‌ای

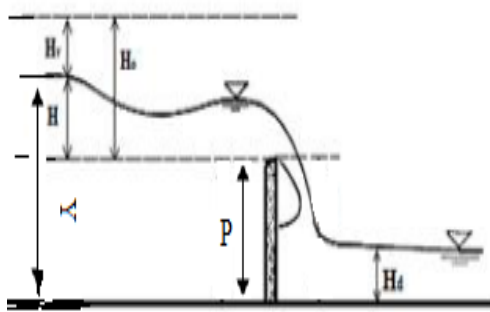
فرضیه اصلی در توسعه طرح کنگره‌ای سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی یک سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز بوده است [۱]. مزایای سرریزهای کنگره‌ای در مقایسه با سایر سرریزهای استاندارد (به ازای هد ثابت) به شرح زیر می‌باشد [۳]:
 ۱- عبور مقدار جریان زیاد با تغییرات ناچیز هد آب عبوری از روی سرریز.
 ۲- امکان افزایش طول موثر هیدرولیکی سرریز برای عرض محدود جریان.
 ۳- فراهم کردن حداقل نوسان جریان از دهانه آبگیر کانال.

و جهت تعیین موقعیت پروفیل سطح آزاد از روش VOF استفاده کردند. از صحت‌سنجی نتایج حاصله با داده‌های آزمایشگاهی Crookston and Tullis، انطباق خوبی به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که در بار هیدرولیکی کم تاج لبه‌تیز و در بار هیدرولیکی بالا تاج نیم‌دایره‌ای دارای بالاترین ضریب دبی است [۴]. امامی و همکاران به بررسی عدی تأثیر پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز منقاری کنگره‌ای با استفاده از نرم‌افزار Fluent پرداختند و گزارش کردند که در کلیه سرریزهای منقاری مورد بررسی، با افزایش زاویه رأس سرریز، ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد [۱]. Savage et al با مدلسازی عددی و فیزیکی سرریزهای کنگره‌ای با زاویه‌ی دیواره ۱۵ درجه و با بار آبی کل نسبی $H/P > 1$ به این نتیجه رسیدن که مدل عدی می‌تواند دبی‌های مورد انتظار را با تقریب خوب شبیه‌سازی کند [۱۵]. امامی و همکاران ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سرریزهای منقاری با پلان منحنی در مقایسه با سرریزهای منقاری با پلان مثلثی دارای ضریب دبی بیش‌تری بوده و در نتیجه از ظرفیت دبی عبوری بیش‌تری نسبت به سرریزهای منقاری با پلان مثلثی برخوردار می‌باشند [۹].

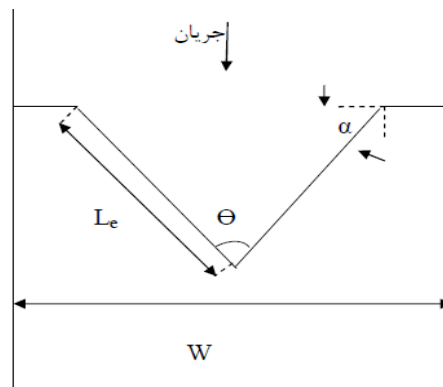
عمده مطالعات پیشین به مطالعه آزمایشگاهی بررسی ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای پرداخته‌اند، که علاوه بر هزینه زیاد، از لحاظ تعمیم نتایج به شرایط واقعی و همچنین تغییر پارامترهای مؤثر، دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. با توجه به اینکه اطلاعات کافی در مورد سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل وجود ندارد، لذا در این تحقیق تأثیر هندسه سرریز کنگره‌ای تک سیکل بر ضریب دبی جریان به

Kumar et al مطالعه آزمایشگاهی بر ضریب سرریز کنگره‌ای با پلان مثلثی انجام دادند. مقایسه نتایج نشان داد که با کاهش زاویه رأس سرریز، طول ناحیه تداخل جریان افزایش یافته و ضریب دبی جریان سرریز کاهش محسوسی می‌یابد. همچنین در این تحقیق روابطی برای محاسبه ضریب دبی جریان با زوایای رأس مختلف ارائه شده است [۱۱]. Kumar et al سرریزهای با پلان منحنی را بررسی کردند. این سرریزها می‌توانند به راحتی و با دقت بالا به عنوان یک وسیله اندازه‌گیری استفاده شوند. آن‌ها معادله رایج برای محاسبه ضریب دبی را به‌دست آوردند که برای محاسبه C_d برای تمامی مقادیر در محدوده مشخص قابل استفاده می‌باشد. به خاطر ظرفیت تخلیه بالای این نوع سرریزها نیاز به ارتفاع آزاد در کانال‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه در این بخش کانال اقتصادی‌تر طراحی می‌شود. همچنین به خاطر شکل هندسی ساده طراحی، ساخت و نصب آن حتی در کانال‌های موجود بسیار آسان است. سرریز منحنی با زاویه مرکزی 90° ، دارای شکل پلان بهینه می‌باشد. آن‌ها اظهار داشتند با استفاده از سرریز منحنی با حداقل پیچیدگی در طراحی و نصب افزایش قابل توجهی در ضریب دبی مشاهده می‌شود [۱۲]. نیک‌پیک و همکاران در بررسی آزمایشگاهی بررسی اثر ابعاد هندسی سرریز لبه تیز نوک‌اردکی روی ضریب دبی نشان دادند که در این سرریزها با افزایش انرژی کل بالای سرریز و در نتیجه افزایش دبی، ضریب دبی در سرریزهای نوک‌اردکی کاهش بیشتری نسبت به سرریز مستطیلی ساده دارند [۳]. قلی‌زاده و همکاران اثر شکل تاج بر روی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی را به روش عددی مورد بررسی قرار دادند. شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار Flow^{3D} انجام گرفت. جهت مدل کردن آشفتگی از حالت RNG

آن بر روی مشخصه‌های جریان می‌باشد (شکل ۲). در این تحقیق جریان بر روی سرریز کنگره‌ای تک سیکل به روش حجم محدود با استفاده از نرم‌افزار FLUENT شبیه‌سازی شده است. برای این منظور ابتدا مدل مورد نظر در یک نرم‌افزار طراحی هندسه مانند GAMBIT طراحی شد و پس از تعریف شرایط مرزی و ... طرح در نرم‌افزار FLUENT اجرا گردید.



ب) مقطع عرضی



الف) پلان

شکل ۲- نمایی از سرریز کنگره‌ای تک سیکل و مشخصات هندسی آن

این پژوهش جریان در سرریز کانال متلاطم بوده و می‌توان از عدد رینولدز صرف‌نظر کرد. $\frac{Le}{W}$ نسبت طول مؤثر سرریز به عرض سرریز، $\frac{Le}{P}$ نسبت طول مؤثر سرریز به ارتفاع سرریز، $\frac{H_d}{W}$ نسبت انرژی کل بالادست سرریز به عرض سرریز، $\frac{y}{W}$ نسبت عمق جریان به عرض سرریز، $\frac{H_d}{P}$ نسبت انرژی کل بالای سرریز به ارتفاع سرریز، $\frac{y}{P}$ نسبت عمق جریان به ارتفاع سرریز، W_e عدد وبر، با توجه به این که حداقل ارتفاع آب روی سرریز معادل ۵ سانتی‌متر در این تحقیق منظور شده است، می‌توان از عدد وبر نیز صرف‌نظر نمود. θ زاویه رأس سرریز و y عمق جریان می‌باشد.

که پارامتر بدون بعد نسبت انرژی کل بالای سرریز به ارتفاع سرریز $\left(\frac{H}{P}\right)$ به‌عنوان یک پارامتر مهم و

صورت عددی با استفاده از نرم‌افزار FLUENT و به صورت سه بعدی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر عوامل هندسی مختلف سرریز کنگره‌ای تک سیکل نظیر زاویه رأس سرریز کنگره‌ای تک سیکل و ارتفاع

بررسی پارامترهای مؤثر در سرریز کنگره‌ای تک سیکل

پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای تک سیکل شامل انرژی کل بالادست سرریز، طول مؤثر سرریز، ارتفاع سرریز، عرض سرریز، زاویه رأس سرریز و عمق جریان می‌باشد. پس از انجام آنالیز ابعادی ضریب دبی تابعی از پارامترهای بدون بعد زیر به‌دست خواهد آمد:

$$C_d = f(H_d, L_e, P, W, \theta, y) \rightarrow C_d \quad (1)$$

$$= f\left(F_r, \frac{H_d}{P}, \frac{L_e}{P}, \frac{y}{P}, \frac{H_d}{W}, \frac{y}{W}, R_e, \frac{L_e}{W}, \theta, W_e\right)$$

که در این رابطه: F_r عدد فرود بالادست سرریز، H_d انرژی کل بالادست سرریز، P ارتفاع سرریز، W عرض سرریز، L_e طول مؤثر سرریز، R_e عدد رینولدز، که در

تأثیرگذار بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای مطرح است.

جدول ۱- مشخصات سرریزهای مورد بررسی

۱۸۰ تا ۴۵	(θ) زاویه رأس
۲۰ تا ۵	(H) بار آبی (Cm)
۵۰	(b) عرض کانال (Cm)
۳۰-۱۵	(P) ارتفاع سرریز (Cm)

نرم افزار FLUENT

نرم افزار FLUENT یکی از کامل ترین، قوی ترین و کاربردی نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) می باشد که قابلیت مدل سازی جریان های هیدرولیکی مانند جریان های دو یا چند فازی (جریان های حمل کننده رسوب، پرش هیدرولیکی و ...) و هم چنین مدل سازی جریان های سطح آزاد را دارد. این نرم افزار امکان انجام محاسبات با دقت معمولی و مضاعف را به صورت دو بعدی و سه بعدی دارا می باشد [۱۱]. در تحقیق حاضر شبیه سازی جریان در سرریز کنگره ای تک سیکل با حل معادلات پیوستگی و مومنتم با استفاده از مدل های آشفتگی، روش حل عددی حجم محدود، روش های بررسی جریان چندفازی و الگوریتم حل PISO انجام شد.

معادلات حاکم

معادلات پیوستگی و مومنتم

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (2)$$

$$= (\rho \vec{u}) + \nabla(\rho \vec{u} \vec{u}) = \rho \vec{k} - \nabla p + \frac{\partial}{\partial t} \eta \Delta \vec{u} \quad (3)$$

معادلات حاکم بر روش حجم سیال

در تعیین سطح آزاد به روش حجم سیال از یک تابع به نام جزء حجم سیال استفاده می شود. شکل دیفرانسیلی این تابع در حالت سه بعدی به شکل رابطه ۴ و ۵ می باشد.

$$\frac{\partial F}{\partial t} = u \frac{\partial F}{\partial X} + v \frac{\partial F}{\partial y} \quad (4)$$

$$w \frac{\partial F}{\partial y} = \dots \quad (5)$$

مدل های آشفتگی مورد استفاده در FLUENT

مدل آشفتگی k-ε که از موثرترین روش های مدل سازی است، دارای سه نوع Standard، Realizable و Group (RNG) Renormalized می باشد. در بین این سه نوع، مدل آشفتگی RNG برای تعیین اعداد آشفتگی پرازتل بر خلاف مدل آشفتگی استاندارد از رابطه ی تحلیلی استفاده می کند و بیشتر در جریان های چرخشی کاربرد دارد. در این تحقیق نیز برای شبیه سازی جریان چندفازی از مدل حجم سیال و برای شبیه سازی جریان آشفتگی از روش آشفتگی k-ε مدل RNG استفاده شد.

معادلات مدل RNG به صورت زیر می باشد [۱۲]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) \quad (6)$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{r\varepsilon} G_b) - C_{r\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (8)$$

$$R_\varepsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^2 (1 - \frac{\eta}{\eta_0}) \varepsilon^2}{1 + \beta \eta^2} \frac{1}{k} \quad (9)$$

$$C_\eta = \frac{\eta (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^2}$$

$$\beta = 0.012 \quad C_\mu = 0.048$$

$$\alpha_k = \alpha_\varepsilon = \frac{1}{3.93} \quad C_{\varepsilon 1} = 1/42$$

$$C_{\varepsilon 2} = 1.68 \quad C_{\varepsilon 3} = 1$$

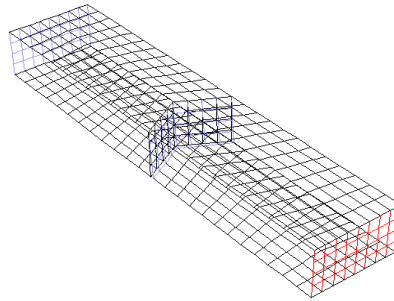
$$Sk/\varepsilon = 38 \quad \eta_0 = 4/\eta$$

کنترل عدم تأثیر اندازه سلول‌ها بر نتایج حاصل از حل عددی پنج نوع شبکه‌بندی با ابعاد مختلف در نظر گرفته شد و سپس با در نظر گرفتن معیارهای دقت و سرعت همگرایی جواب‌های حاصل، شبکه مناسب انتخاب گردید. شکل ۴، روند تغییرات خطای نسبی ضریب دبی جریان را برای تعداد شبکه محاسباتی مختلف نشان می‌دهد. بر این اساس با افزایش تعداد شبکه محاسباتی از ۷۰۰۰ تا ۱۳۰۰۰ سبب کاهش خطای نسبی از ۱۶ درصد تا حدود ۲ درصد می‌شود. همچنین با افزایش شبکه محاسباتی از ۱۳۰۰۰ تا ۱۹۰۰۰ تغییر محسوس در کاهش خطای محاسباتی مشاهده نمی‌شود.

در این معادلات، α_k و a_ε به ترتیب عکس اعداد اغتشاش پراتل برای ε, k و ویسکوزیته مؤثر می‌باشند.

پیاده‌سازی مدل

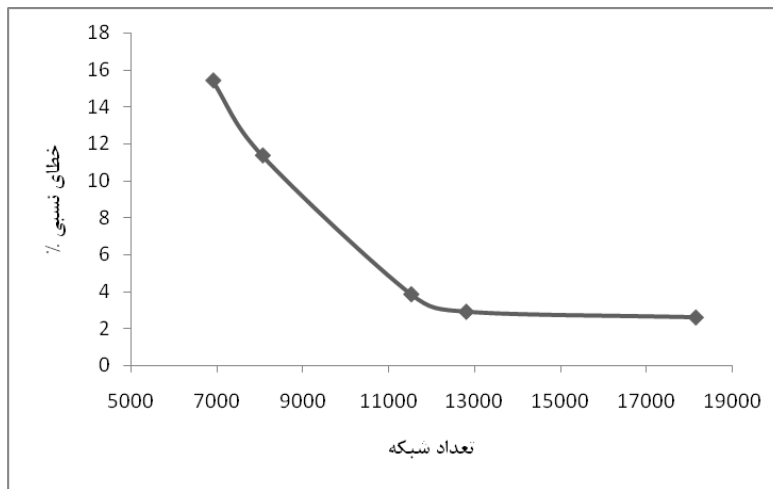
نرم‌افزار نسخه ۲,۴,۶ GAMBIT به عنوان نرم‌افزار پیش‌پردازنده برای مدل‌سازی استفاده شد. مدل در این نرم‌افزار ساخته شده و سپس مش مورد نیاز بر روی مدل تهیه گردید. برای شبکه‌بندی هندسه مدل از المان Quad نوع MAP و جهت شبکه‌بندی تمامی حجم‌ها از المان Hex نوع MAP استفاده شد (شکل ۳). همچنین برای کنترل عدم تأثیر اندازه سلول‌ها بر نتایج حاصل از حل عددی تعداد شبکه عدد ثابت ۱۳۰۰۰ طراحی شد. برای



Grid

Dec 12, 2016
FLUENT 6.3 (3d, pbns, lam)

شکل ۳- از سرریز کنگره‌ای تک سیکل طراحی شده در نرم‌افزار ۲,۴,۶ GAMBIT



شکل ۴- روند تغییرات خطای نسبی ضریب دبی جریان به ازای تعداد شبکه محاسباتی مختلف

که در این رابطه C_d ضریب دبی جریان، Q دبی جریان (بر حسب مترمکعب بر ثانیه)، L طول مؤثر تاج سرریز (بر حسب متر)، g شتاب ثقل (بر حسب متر بر مجذور ثانیه)، H بار هیدرولیکی (بر حسب متر) می باشد.

نتایج و بحث

تأثیر زاویه رأس سرریز کنگره‌ای تک سیکل بر ضریب دبی ریان

برای بررسی تأثیر زاویه رأس سرریز بر ضریب دبی جریان، سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل با زاویه رأس ۴۵ تا ۱۸۰ درجه مورد استفاده قرار گرفتند. شکل ۵، نحوه تغییرات ضریب دبی را نسبت به $\frac{H}{p}$ های مختلف برای ارتفاع ثابت نشان داده شده است.

همچنین شرایط مرزی شامل شرایط مقطع ورودی، مقطع خروجی، دیواره‌ها و سطح آزاد جریان می باشد که به این صورت تعیین شده است: برای مقطع ورودی از شرط مرزی فشار ورودی و برای مقطع خروجی از فشار خروجی صفر استفاده شد. همچنین با توجه به این که سرعت سیال در روی مرزهای جامد $(Z_{min}, y_{min}, x_{min})$ برابر صفر می باشد، از شرایط مرزی Wall استفاده شده است. همچنین شرایط مرزی سطح آزاد، Wall و شرط مرزی سرعت ورودی برای مدل سازی جریان هوا تعریف شد.

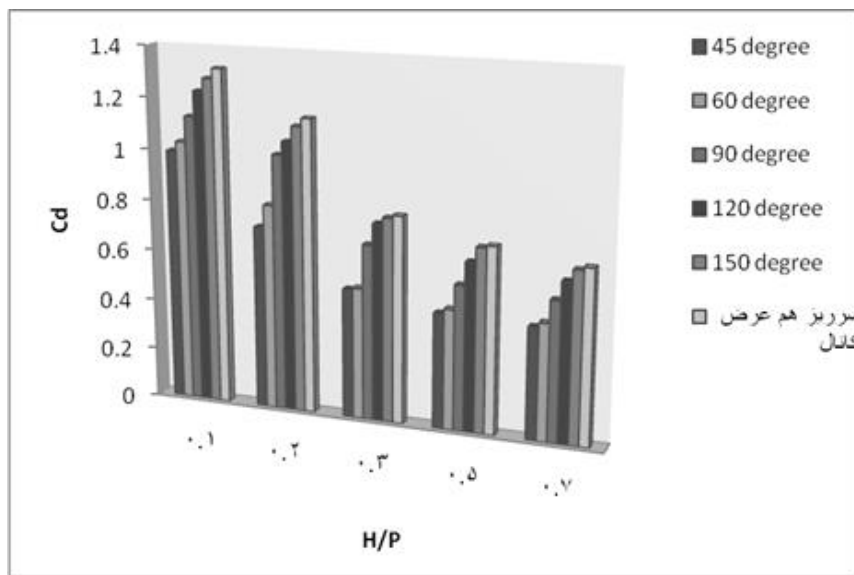
محاسبه ضریب دبی جریان

ضریب دبی جریان با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$Q = \quad (10)$$

$$\frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{3/2}$$

$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} L H^{3/2}}$$



شکل ۵- تغییرات ضریب دبی سرریز کنگره‌ای تک سیکل به ازای $\frac{H}{P}$ های مختلف در ارتفاع ثابت

می‌توان دریافت که در سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل با افزایش زاویه، به دلیل افزایش تداخل جریان در دماغه سرریز، ضریب دبی با شیب بیش‌تری کاهش می‌یابد.

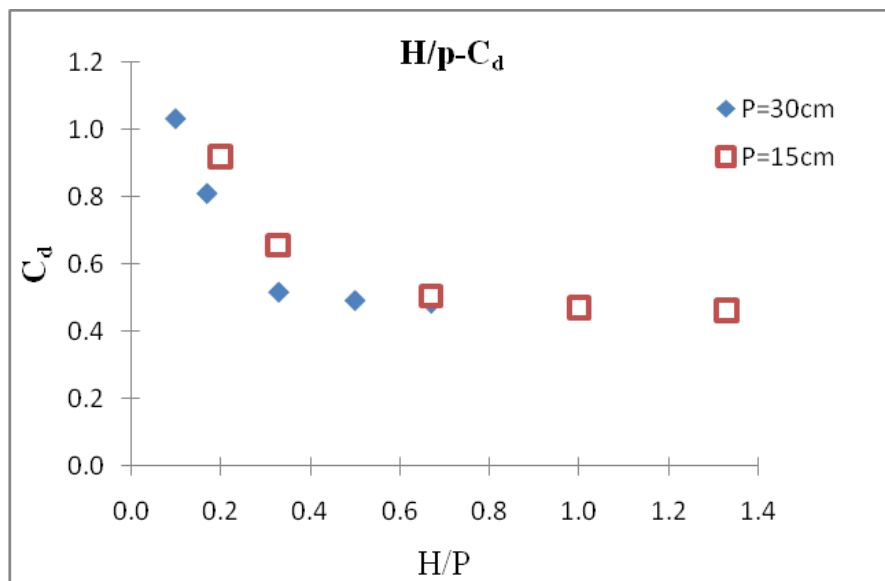
پس از تعیین خطای توابع مختلف، رابطه ۱۱ به عنوان بهترین رابطه با مقدار $R^2=0.9504$ برای تعیین ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل انتخاب شد.

$$C_d = 0.0948 \left(\frac{H}{P}\right)^{-0.249} \theta^{0.374} \quad (11)$$

تأثیر ارتفاع سرریز کنگره‌ای تک سیکل بر ضریب دبی جریان

در شکل ۶، روند تغییرات ضریب دبی جریان به ازای تغییرات ارتفاع سرریز (P) در دو ارتفاع ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۵ نیز دیده می‌شود، به ازای یک $\frac{H}{P}$ ثابت، با افزایش زاویه رأس و در نتیجه کاهش طول سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش زاویه θ تداخل تیغه‌های ریزشی کمتر شده و ضریب دبی افزایش می‌یابد. به طوری که این روند افزایش ضریب دبی جریان با افزایش زاویه کاهش پیدا می‌کند. همچنین در بارهای هیدرولیکی کم، سرریز کنگره‌ای تک سیکل عملکرد مناسبی داشته و ضریب دبی جریان روند صعودی دارد. اما با افزایش بار هیدرولیکی، ضریب دبی جریان پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود، سیر نزولی می‌یابد. دلیل چنین عملکردی این است که افزایش بار هیدرولیکی موجب افزایش تداخل لایه‌های جریان در پایین‌دست تاج سرریز می‌گردد که این امر کاهش ضریب دبی جریان را در پی دارد. همچنین با توجه به شکل



شکل ۶- نحوه تغییرات ضریب دبی جریان نسبت به $\frac{H}{p}$ برای ارتفاع‌های مختلف

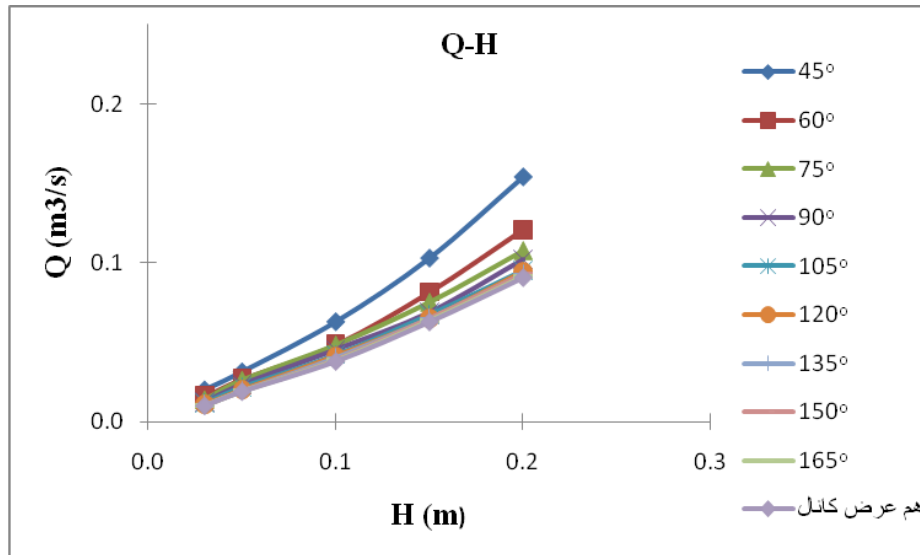
کاسته می‌شود، به طوری که مقدار ضریب دبی بسته به ارتفاع سرریز در یک $\frac{H}{p}$ به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد. با بررسی شکل ۵، نتیجه می‌شود که با افزایش ارتفاع سرریز، ثابت شدن ضریب دبی در مقادیر بیش‌تری از $\frac{H}{p}$ اتفاق می‌افتد. این نکته را به این صورت می‌توان توجیه نمود که ثابت شدن ضریب دبی در ارتفاع‌های کم سرریز، در مقادیر کم‌تر $\frac{H}{p}$ و یا در دبی‌های کم‌تر اتفاق می‌افتد. همان‌طور که از این شکل مشخص است، به‌طور کلی با افزایش ارتفاع سرریز، برای $\frac{H}{p}$ ثابت، ضریب دبی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش ضریب دبی در بخش نزولی منحنی یعنی جایی که تداخل تیغه‌های ریزشی وجود دارد، بیش‌تر از بخش صعودی منحنی یعنی جایی که تداخل تیغه‌های ریزشی وجود ندارد، می‌باشد. به عبارت دیگر با کاهش ارتفاع سرریز به دلیل تداخل سریع‌تر تیغه‌های ریزشی، دامنه تغییرات ضریب دبی کم شده و تعادل سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

همان‌گونه که از شکل ۶ مشخص است، روند تغییرات ضریب دبی نسبت به $\frac{H}{p}$ در ارتفاع‌های مختلف دارای دو محدوده قابل تفکیک است. این محدوده‌ها شامل شاخه صعودی و شاخه نزولی منحنی می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۵، در شاخه صعودی منحنی، مشاهده می‌شود که به‌ازای تغییرات $\frac{H}{p}$ مقدار ضریب دبی جریان در ابتدا افزایش می‌یابد. روند صعودی این بخش از منحنی نشان‌دهنده آن است که در این محدوده تداخل تیغه‌های ریزشی چندان قابل توجه نبوده و تقریباً در کل طول تاج سرریز جریان به صورت آزاد و بدون تداخل جدی لایه‌ها تخلیه می‌گردد. به مرور، با افزایش ارتفاع آب روی سرریز، تداخل تیغه‌های ریزشی عبوری از روی سرریز کنگره‌ای تک سیکل به‌خصوص در منطقه رأس آن افزایش می‌یابد. با افزایش تداخل لایه‌های جریان، بخش نزولی منحنی شروع شده و با افزایش $\frac{H}{p}$ ضریب دبی شروع به کاهش می‌نماید. در شاخه نزولی، کلیه منحنی‌ها در ابتدا دارای شیب تند بوده ولی با افزایش $\frac{H}{p}$ از شیب منحنی‌ها

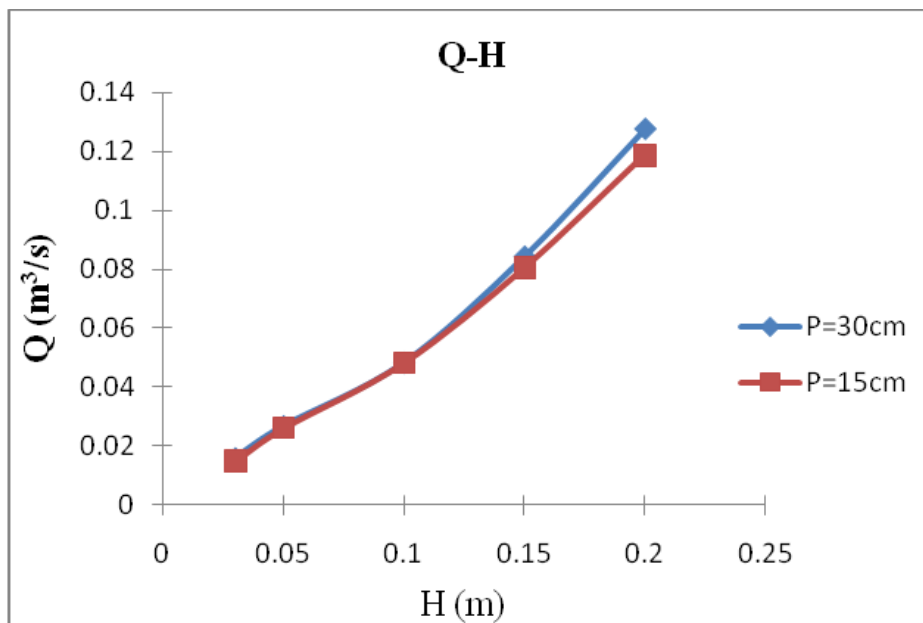
تأثیر تغییر ارتفاع سرریز کنگره‌ای تک سیکل بر روی دبی جریان نشان داده شده است.

تأثیر زاویه رأس و ارتفاع سرریز کنگره‌ای تک سیکل بر دبی جریان

در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب تأثیر زاویه رأس سرریز کنگره‌ای تک سیکل به‌ازای H های مختلف و



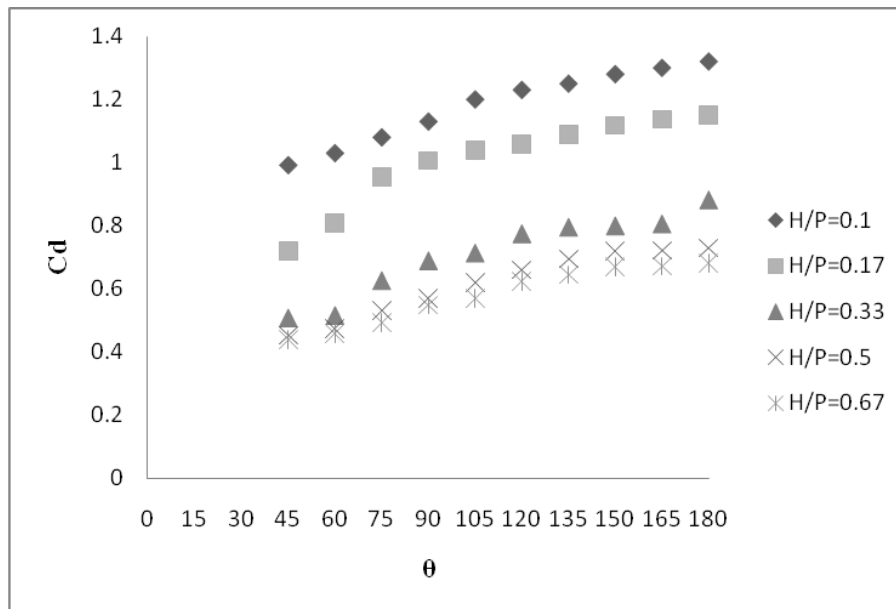
شکل ۷- تأثیر زاویه رأس سرریز بر روی دبی جریان به‌ازای H های مختلف



شکل ۸- تأثیر تغییر ارتفاع سرریز کنگره‌ای تک سیکل بر روی دبی جریان

مقایسه سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل و سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال

برای مقایسه عملکرد سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل و مستطیلی هم‌عرض کانال، یک سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال به طول ۵۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل و هم‌عرض کانال هر دو دارای ارتفاع یکسانی می‌باشند. همان‌گونه که از شکل ۸ نیز مشخص است، ضریب دبی سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال به‌ازای تغییر $\frac{H}{P}$ ، در ابتدا افزایش یافته و سپس به مقدار ثابتی میل می‌کند. در این سرریزها فقط یک تیغه ریزشی در پایین دست سرریز وجود دارد و تداخل در تیغه‌های ریزشی دیده نمی‌شود و آب به صورت آزاد از روی سرریز جریان می‌یابد.



شکل ۹- نمودار تغییرات ضریب دبی جریان بر حسب θ به‌ازای $\frac{H}{P}$ مختلف

عددی و با استفاده از نرم‌افزار FLUENT و مدل آشفتگی $k - \epsilon$ روش RNG مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل با نتایج به‌دست آمده از سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال مقایسه گردید. تمامی سرریزها در

همان‌گونه که از شکل ۷ استنباط می‌شود، با افزایش زاویه θ و با وجود افزایش ضریب دبی، به‌دلیل کاهش طول مؤثر سرریز، دبی عبوری از روی سرریز کنگره‌ای تک سیکل کاهش می‌یابد، که شیب کاهشی در سرریز کنگره‌ای تک سیکل با زاویه رأس ۱۸۰ درجه (منطبق بر مستطیلی سرریز هم‌عرض کانال) دارای کم‌ترین مقدار و در سرریز با زاویه رأس ۴۵ درجه با وجود بیشترین مقدار دبی، دارای بیشترین شیب کاهشی می‌باشد.

همان‌طور که از شکل ۸ نیز مشخص است، ارتفاع‌های انتخاب شده در این تحقیق برای سرریز کنگره‌ای تک سیکل بهینه تأثیر چندانی بر روی دبی جریان عبوری به‌ازای تغییرات بار هیدرولیکی ندارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر پارامترهای هندسی سرریز کنگره‌ای تک سیکل (زاویه رأس و ارتفاع سرریز کنگره‌ای تک سیکل) بر ضریب دبی جریان به صورت

مستطیلی هم‌عرض کانال با افزایش زاویه رأس تداخل تیغه‌های ریزشی کاهش و ضریب دبی افزایش می‌یابد. دبی عبوری از سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل در مقایسه با سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال افزایش یافته و نتایج نشان داد که کارایی سرریز کنگره‌ای تک سیکل با زاویه رأس ۴۵ درجه تا ۱/۲ برابر افزایش می‌یابد. در نتیجه عملکرد سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل بیش‌تر از سرریزهای هم‌عرض کانال می‌باشد.

محدوده $\frac{H}{P} > 1/3$ روند ثابتی از ضریب دبی را طی می‌کنند تا این روند رفته رفته به مقدار ثابتی میل نماید. همچنین در زوایه‌های کوچک‌تر، روند کاهش ضریب دبی با افزایش نسبت $\frac{H}{P}$ با شیب کم‌تری نسبت به زوایه‌های بزرگ‌تر تغییر می‌کند. در بارهای هیدرولیکی کم، سرریز کنگره‌ای تک سیکل عملکرد مناسبی داشتند. نتایج نشان داد ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای تک سیکل برخلاف سرریز

منابع

- ۱- امامی، س. ارونقی، ه. و پارسا، ج. ۱۳۹۵. بررسی عددی جریان در سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل با استفاده از نرم افزار Fluent. دو فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب. ۴(۹):۷۶-۶۳.
- ۲- امامی، س. ارونقی، ه. و پارسا، ج. ۱۳۹۷. بررسی عددی جریان در سرریز منقاری با استفاده از مدل‌های آشفتگی. پژوهش‌های کاربردی علوم آب. ۳(۱):۳۴-۲۵.
- ۳- نیک پیک، پ. و کاشفی پور، س.م. ۱۳۹۰. تاثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای نوک اردکی و مایل. علوم مهندسی آبیاری. ۳۹(۱):۱۰-۱.
- ۴- قلی زاده، ع. قدسیان، م. پناهی، ر. و سنگ سهدی، ی. ۱۳۹۳. بررسی عددی اثر شکل تاج بر روی ضریب آبگذری سرریزهای کنگره‌ای. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز.
- ۵- Anonym. 2006. Fluent 6.3 User's Guide. Chap 23. Fluent Incorporated Lebanon.
- ۶- Cassidy, J. J., C.A. Cardner and R.T. Peacock. 1985. Boardman labyrinth crest. J. Hyd. Eng. 3(3): 398-416.
- ۷- Crookston BM and Tullis BP. 2012. Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. Journal of Irrigation and Drainage Engr ASCE. 138(6): 773-776.
- ۸- DiStefano, C. and Ferro. V. 2013. A new approach for deducing the stage-discharge relationship of triangular in plan sharp-crested weirs. Flow Measurement and Instrumentation. 32: 71-75.
- ۹- Emami, S. Arvanaghi, H. and Parsa, J. 2018. Numerical Investigation of Geometric Parameters Effect of the Labyrinth Weir on the Discharge Coefficient. Journal of Rehabilitation in Civil Engineering. 6(1):1-9.
- ۱۰- Hay, N. and Taylor, G. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering. 96 (11): 2337-2357.

- ۱۱- Kumar, S. Ahmad, Z. and Mansoor, T. 2011. A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. J. flow measurement and instrumentation, Elsevier. 22:175-180.
- ۱۲- Kumar, S., Ahmad. Z., Mansoor. T. and Himanshu. S.K. 2013. A New Approach to Analyze the Flow over Sharp Crested Curved Plan form Weir. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). 2(1): 2277-3878.
- ۱۳- Lux, F. and D. L. Hinchliff. 1985. Design and construction of labyrinth spillway. 15th Congress of ICOLD, Lausanne, Switzerland. 249-274.
- ۱۴- Papageorgakis G.C., Assanis D.N. 1999. Comparison of linear and nonlinear RNG-based models for incompressible turbulent flows. Journal of Numerical Heat Transfer, University of Michigan. 35:1-22.
- ۱۵- Savage, B. Crookston, B. M. and Paxson, S. ۲۰۱۶. Physical and numerical modeling of large headwater ratios for a ۱۰۰ labyrinth spillway. Journal of hydraulic structure.
- ۱۶- Taylor G. 1968. The performance of labyrinth weir. PhD Thesis, University of Nottingham, Nottingham, England.

Flow rate coefficient in labyrinth weir single-cycle by CFD

Abstract

Labyrinth weir are a kind of multi-dimensional weirs that cause passing flow increment with two dimensions. This kind has more effective length than usual sharp tip weirs. In this regard, they can pass more flow than usual weirs for channel with similar width and height. In this study, effective geometrical parameters on single cycle labyrinth weir flow coefficient are measured by means of FLUENT software in three-dimensional way. To model turmoil, k- ϵ model RNG method and to position free surface profile, VOF method are used. The results of numerical models are compared with those of rectangular weirs with same width. The results for specific H/P show that vertex angle increases with flow coefficient increase and rectangular weir performance of same width is less than single cycle labyrinth weirs, since in same width channel the interference of abscission blades is more severe than single cycle labyrinth weir and such an interference in vertex causes the flow coefficient decrease comparing with single cycle labyrinth weir. Moreover, single cycle labyrinth weir in less hydraulic loads has appropriate performance and ascending trend of flow coefficient.

Key word: *Labyrinth weir single cycle, discharge coefficient flow, FLUENT software.*