مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس دوره ۲۳، شماره ٦، سال ۱۴۰۲ صفحات ۱۴۳ تا ۱۵۷



ارزیابی عددی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد شیب شکن گردابهای

فرهاد گلریز'، سید علی اکبر صالحی نیشابوری **

۱- دکتری آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس ۲- استاد سازه های هیدرولیکی، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: [۱٤۰۱/۰۸/۲٦]

Salehi@modares.ac.ir

تاريخ پذيرش: [١٤٠١/١٢/١٠]

چکیدہ

در این مقاله با استفاده از مدلسازی عددی، هیدرودینامیک جریان در سازه شیبشکن گردابهای با ورودی مماسی و در ابعاد واقعی مطالعه شده است. به عنوان مطالعه موردی یکی از سازههای شیبشکن گردابهای در شبکه جمع آوری آبهای سطحی شهر تهران، پیش از ساخت و در مرحله طراحی، انتخاب و توسط مدل عددی فلوتری دی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا براساس آخرین روش های طراحی موجود چندین سازه مختلف طراحی و عملکرد هر یک جداگانه ارزیابی و در نهایت عملکرد سازه نهایی با استفاده از مدل عددی شبه سازه موجود چندین سازه مختلف طراحی و عملکرد هر یک جداگانه ارزیابی و در نهایت عملکرد سازه نهایی با استفاده از مدل عددی شبیه سازی و توسط مدل عددی فلوتری دی مورد ارزیابی و در نهایت عملکرد سازه نهایی با استفاده از مدل عددی شبیه سازی و تحلیل شده است. در این راستا براساس آخرین روش های طراحی و تعملکرد هر یک جداگانه ارزیابی و در نهایت عملکرد سازه نهایی با استفاده از مدل عددی شبیه سازی و تحلیل شده است. در این راستا براساس آخرین روش های طراحی و تعملکرد هر یک جداگانه ارزیابی و در نهایت عملکرد سازه نهایی با استفاده از مدل عددی شبیه سازی و تحلیل شده است. در این راستا برای و عملکرد هر یک جداگانه ارزیابی و در نهایت عملکرد سازه نهایی با ستفاده از مدل عددی شبیه سازی طراحی و تمای در سازه نهایی در چندین بخش مورد ارزیابی قرار گرفت. در ورودی مماسی با انتخاب هندسه مناسب، جریان به صورت پایدار و بدون پرش هیدرولیکی و پس زدگی وارد لوله قائم می شود. جریان در لوله قائم به صورت مارپیچی و انرژی در ورودی (٥٥-٩/٢)، در لوله قائم در حدود (٢٠-٢٧/٢) بدست آمده است. همچنین میزان عمق لازم برای ایجاد بالشتک آب در محفظه مستهلک کننده انرژی برابر با ٢٦، محاسبه شد. در مجموع نتایج حاصل از شیه سیزان عمق لازم برای ایجاد بالشتک آب در محفظه مستهلک کننده انرژی برابر با ٦٥، محاسبه شد. در می شود. پس همچنین میزان عمق لازم برای ایمانه مرد و محفظه مستهل کننده انرژی در ورودی (١٥-٩/٢)، در لوله قائم در حدود (١٥-٩/٢)، در محفظه مستهلک کننده انرژی در ورودی (١٥-٩/٢)، در سازه نمی محمود طرحی لزوما منجر به معلک در به منه هد. در مجموع نتایج حاصل از شیمسازی ما حلی از آن است که استفاده از روشهای موجود طرحی لزوما منجر به مملک رد به ما می مان می مدود طرحی بردن طرحی مدون مر مدی در ازمایی ماه مدول می مورو و یا ساخر می

واژ گان کلیدی: شیب شکن، شیب شکن گردابهای، ورودی مماسی، جریان سطح آزاد، Flow-3D

۱- مقدمه

شبکههای جمع آوری آب های سطحی شهری مجموعهای از سازههای هیدرولیکی هستند که برای کنترل و انتقال رواناب ناشی از بارندگی در مناطق شهری به کار میروند. یکی از مشکلات موجود در این شبکهها انتقال ایمن و مطمئن حجم های بسیار زیاد آب های سطحی به مجاری و توناهای

زیرزمینی است. سازه شیب شکن یکی از سازه های میانی در مجموعه زهکشی شهری است که وظیف انتقال آب از تراز ارتفاعی بالاتر به تراز ارتفاعی پایین تر را با هدف کنترل سرعت و انرژی آب در پایین دست برعهده دارد. در میان انواع سازههای شیب شکن، شیب شکن گردابه ای یکی از اقدامات موثر و اقتصادی در مناطق پر جمعیت برای این تغییر ارتفاع

ارزیابی عددی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد ...

فرهاد گلریز و سید علی اکبر صالحی نیشابوری

است. اجزای اصلی شیب شکن گردابه ای شامل سازه ورودی، شیب شکن قائم لوله ای و سازه خروجی یا مستهلک کننده انرژی می باشند (شکل ۱). این سازه یکی از سازه های شناخته شده و در عین حال آزمایش شده برای این هدف است که در صورت طراحی مناسب قادر است جریان را بدون آثار نوسان به پایین دست هدایت کند و در محدوده وسیعی از دبی و ارتفاع قابل استفاده است. بیهوسیکار [1] محدوده کاربرد این سازه را برای اختلاف ارتفاع تا ۲۰۰ متر و دبی تا ۲۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه گزارش نموده است.

به طور کلی فاکتورهایی که در عملکرد صحیح این سازه بسیار تاثیرگذار میباشند عبارتند از شکل و هندسه سازه ورودی، شکلگیری جریان چرخشی و هسته هوا در لوله قائم، اتلاف مناسب انرژی، ورود هوا به مقدار لازم به داخل سازه، خروج هوای مازاد، کاویتاسیون و پایداری هیدرولیکی که بیشتر تحقیقات پیشین در این خصوص بوده است.

شاید یکی از اولین کارهایی که در خصوص این سازه انجام شده است مربوط به دريولي [2] بوده باشد كه در آن بسته به زیربحرانی و یا فوق بحرانی بودن جریان در کانال بالادست، اصول طراحی دو هندسه متفاوت مارپیچی و پیچکی را برای ورودی سازه پیشنهاد نمود. جین و کندی [3] با بررسی مطالعات انجام گرفته روی سازههای شیبشکن گردابهای در سرتاسر جهان و همچنین تحقیقات صورت گرفته در بزرگترین آزمایشگاههای جهان، بررسیهای خود برای دستیابی به یک هندسه مناسب را با ساخت یک نمونه آزمایشگاهی با مقیاس کوچک و یک نمونه با مقیاس بزرگ، را انجام دادند. نتایج بررسی های جین و کندی نشان داد که مدل نوع H4 که دارای ورودی مماسی، لوله قائم و محفظه هوادهی بوده است، از تمامی لحاظ رضایت بخش بوده است. علاوه بر دو ورودی پیشنهاد شده قبلی، جین [4] نوعی دیگر از ورودی را تحت عنوان ورودی مماسی به شیبشکن گردابهای که دارای دیوار تنگ شونده هنگام اتصال به لوله قائم میباشد، معرفی نمود. ورودی مماسی قادر است تا به طور موثر جریان سطحی را به

جریان پیچشی تبدیل و با استهلاک انرژی در داخل لوله قائم جریان را به تونل زیرزمینی منتقل کند.





Fig. 1. Details of a Tangential Vortex drop Shaft

جین [5]، و ویسچر و هگر [8 - 6] اتلاف انرژی در لوله قائم را به اصطکاک نسبت دادند. جین [5] با متقارن فرض نمودن جریان پیچشی در لوله قائم، ثابت بودن مولفه سرعت قائم، صرف نظر نمودن از مولفه سرعت شعاعی و پیروی سرعت مماسی از گردابه آزاد، یک مدل اصطکاکی بر پایه معادلات انتقال ارائه نمود. رنیانگجیا و همکاران [9] با معادلات انتقال ارائه نمود. رنیانگجیا و همکاران [9] با های آشفتگی عددی جریان در سازه شیبشکن گردابهای، اثر مدل های آشفتگی e-k و RNG را روی پیش بینی میزان اتلاف انرژی بررسی و اثر آن را در میزان اتلاف انرژی در سازه یکسان گزارش نمودند. ژائو [10] به بررسی آزمایشگاهی عملکرد یک سازه شیبشکن گردابهای با ارتفاع کوتاه پرداخت. وی فشار وارد بر دیواره، ضخامت جریان جت در لوله قائم و نرخ ورود هوا به داخل لوله قائم را اندازه گرفت. بهوسیکار [1] با مشاهده

سرعت قائم و مماسی را در لوله قائم و با استفاده از دو ابزار مختلف لوله پیتوت و یک لوله ال شکل اندازه گرفت و با نتایج تحلیل تئوری خود مقایسه نمود. مولیگان[19] با استفاده از یک مدل دو فازی اولری–اولری و حل یک معادله مومنتم برای هر یک از فازها به صورت مجزا، سطح آب در ورودی سازه شیب شکن گردابهای از نوع پیچشی را شبیه سازی نمود. وی به کارگیری این مدل را در پیش بینی میدان سرعت و موجهای سطحی موفق و در پیش بینی سطح آب با خطا توصیف نمود. فایستر و همکاران [20] امکان تجمیع چندین ورودی با جریان فوق بحرانی در ترازهای ارتفاعی مختلف و زوایای مختلف را در داخل یک باکس و انتقال ایمن و مطمئن جریان به ورودی یک سازه شیبشکن گردابهای را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. ژنگ و همکاران [21] با مدلسازی فیزیکی و عددی و با افزایش ارتفاع تونل ورودی به شیب شکن گردابهای و تبدیل جریان ورودی تحت فشار به غیر تحت فشار، شرایط هیدرولیکی مناسب از جمله هوادهی و عدم رخداد کاویتاسیون در شیب شکن را بدون قرار دادن لوله هوادهی و تنها با جریان هوای ورودی از تونل بررسی نمودند. لیو و همکاران [22] با به کارگیری چندین پایه در ورودی سرریز نیلوفری جریان ورودی آن را به جریان چرخشی و مشابه جریان در شیب شکن گردابهای تبدیل نمودند. ایشان با ساخت مدل آزمایشگاهی تعداد پایه مورد نیاز، زاویه پایهها و ارتفاع مناسب را مطالعه و سپس با روش عددی نیز نتایج را مدلسازی نمودند.

کارتی و همکاران[23] مطالعه هیدرودینامیک جریان در ورودی مماسی را از منظر تاثیر آن روی سازه، بدنه و پوشش شیب شکن مطالعه و تحلیل نمودهاند. ایشان با بررسی نیروهای هیدرودینامیکی موثر از جنس فشار، سرعت، فرسایش و آثار ناشی از مسدودی ورودی و تاثیر منفی در تمامیت کارکرد سازه به این نتیجه رسیدند که حساس ترین منطقه در این سازه در محل ایجاد جریان خرخشی و کمی پایین تر از این محل بوده که لازم است در طراحی سازهای مد نظر قرار گیرد. یانگ و همکاران [24] با تغییر در دیواره پشتی ورودی مماسی شیب شکن و ایجاد انحنای بیضوی به آن به صورت عددی و آزمایشگاهی میدان سرعت، فشار، هسته هوا و عمق پرش

آن پرداخت و برای رفع مشکل کاویتاسیون از هوادهی قائم و افقی در لوله قائم استفاده نمود. وی میزان کاهش فشار در بدنه لوله را تا ٦- متر گزارش نموده است. نیلسون [11] سعی در مدلسازی و تعیین میزان ورود هوا به داخل سازه شیب شکن داشت. وی از مدل نرم افزاری CFX در مطالعات خود استفاده نمود، اما نتایج حاصل را رضایتبخش ندانست. وایی و لی [12] با استفاده از نرمافزار CFX، اثر ایجاد انحنا در کانال ورودی را بررسی نمودند. ایشان از کانالهای با انحنا متفاوت استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که بهترین نسبت انحنا نسبت ۱:۸ میباشد. دایییانگ یو و همکاران [13] در یکی از جدیترین و گرانقیمتترین آزمایش، هیدرولیک جریان در داخل ورودی مماسی را با انجام ۱۵ آزمایش مختلف و با تغییر در پارامترهای کلیدی این نوع ورودی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایشات ایشان نشان داد که در نسبتها و محدودههای خاصی از پارامترهای طراحی می توان برای عبور جریان از ورودی مماسی به داخل لوله قائم شرایط پایدار و بدون پرش هیدرولیکی را ایجاد نمود. آکلند و همکاران [14] برای بررسی اثر پروفیل دهانه ورودی پیچکی بر روی ویژگیهای گردابه سطحی، آزمایشات خود را با تغییر در پروفیل های مختلف در این نوع ورودی انجام دادند. ایشان از ۸ نوع ورودی مختلف استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که به کاربردن پروفیل اوجی موجب افزایش تا ۱۱٪ در دبی عبوری از لوله قائم می شود، اما پروفیل های مختلف روی عمق استغراق جریان در ورودی اثری نداشته است. جیودایس و همکاران [15,16] به دلیل پیچیدگی و سختی در اجرای ورودی مارپیچی، به اصلاح ورودی پیچکی برای به کارگیری در شرایط جریان ورودی فوق بحرانی پرداختند. ایشان برای حل این مشکل در شیب شکن از نوع پیچکی، طرحی را پیشنهاد دادند که شامل یک دراپ ناگهانی و یا همان پله منفی در طول کانال نزدیک شونده، با هدف ایجاد پرش هیدرولیکی اجباری در پایین دست پله میباشد. ایشان با انجام آزمایشات لازم روابط لازم در خصوص چگونگی محاسبه کمترین ارتفاع پله و حداقل فاصله پله تا ورودی شیبشکن را ارایه نمودند. یانگ [17, 18] در ادامه مطالعات روی شیبشکن گردابهای، مقدار دو مولفه

هیدرولیکی در سازه را تحلیل نمودند. حاجی احمدی و همکاران [25] با ساخت یک مدل شیب شکن گردابهای در دانشگاه کرمان به تحلیل جریان در این سازه پرداختند. اندازه گیری مقدار فشار جریان در بدنه سازه، اندازه گیری اندازه هسته هوا در لوله قائم، بررسی میزان اتلاف انرژی از جمله بررسی های ایشان بوده است. در نهایت چنگ و لیو [26] با هدف بررسی فرآیند تغییر رژیم جریان ریزشی به چرخشی در ورودی شیب شکن با استفاده از یکسری مدلسازی های عددی سه بعدی و تغییر در دبی و مقطع تنگ شوندگی این فرآیند را مطالعه نمودند. ایشان با استفاده از فشار دیواره معیاری برای تشخیص تغییر رژیم معرفی نمودند.

همانطور که عنوان شد برای طراحی یک سازه شیب شکن گردابه ای با عملکرد هیدرولیکی مناسب لازم است فاکتورهای زیادی مورد توجه قرار گیرد. بررسی مطالعات پیشین و روابط بدست آمده از آن برای طراحی این سازه حاکی از آن است که بیشتر روابط ارائه شده یا بر پایه فرضیات ساده کننده بدست آمده است و یا با انجام آزمایشات محدود روی مدلهای مقیاس آزمایشگاهی ارائه شدهاند که همین موارد می تواند موجب ایجاد خطا در طراحی و عدم عملکرد صحیح سازه در عمل شوند پس این شرایط کارفرمایان را بر آن داشته تا همچنان در طرحهای بزرگ و با اهمیت در کنار استفاده از روش های موجود برای طراحی اولیه، برای ارزیابی عملکرد از طرح اولیه رو نموده تا نسبت به عملکرد صحیح آن اطمینان حاصل نمایند.

با این مقدمه باید گفت یکی از مشکلات موجود در شبکه جمع آوری آب های سطحی شهر تهران انتقال حجم های بالای رواناب از سطوح خیابان ها و تقاطع بزرگراه ها با تراز ارتفاعی بالاتر به تونل های زیرزمینی و یا کانال های سطحی با تراز ارتفاعی پایین تر میباشد که با عنایت به اهمیت انتقال ایمن رواناب به پایین دست موجب شده است تا متولیان امر ملاحظات لازم در طراحی و به کارگیری این نوع سازه ها را بیش از بیش مورد توجه قرار دهند. در این مقاله خلاصه روند

طی شده در طراحی یکی از این سازهها در شبکه جمع آوری آبهای سطحی شهر تهران و نتایج ارزیابی انجام شده با استفاده از مدلسازی عددی برای رسیدن به طرح مناسب گزارش شده است. در این روند مشکلات عملکردی موجود در طراحی سازه و برطرف نمودن آن با استفاده از مدلسازی عددی بیان شده و لزوم بازنگری در روش طراحی و یا مدلسازی عددی و یا آزمایشگاهی طرح نهایی پیش از ساخت مورد تاکید قرار گرفته است. این مطالعه از چند جنبه با کارهای پیشین متفاوت میباشد. اول آنکه طراحی اجزا سازه با توجه به نیاز این پروژه انجام شده و به نوعی عملکرد آن متفاوت از سازههای بررسی شده قبلی بوده و با توجه به کارگیری آن در شبکه آبهای سطحی تهران شرایط جریان متفاوتی نیز داشته است. دوم آنکه برخلاف مطالعات مرور شده، سازه این مسئله در ابعاد واقعی خود مدلسازی شده و نتایج آن در ابعاد واقعی تحلیل شدهاند. نکته سوم آن است که در این مقاله ناکارآمدی روشهای طراحی موجود به ویژه در طراحی بخش ورودی مماسی به عنوان حساسترین عضو سازه و محفظه مستهلک کننده انرژی نشان داده شده و این ضعف با استفاده از مدل عددی برطرف شده است.

۲- مدل مورد استفاده

با بررسی های انجام گرفته و با آنالیز روی زمان، هزینه و دقت محاسبات، نرمافزار توانمند Flow3D 11.1 برای بررسی عملکرد و ارزیابی جریان در سازه شیب شکن گردابهای انتخاب شد. مدل مورد استفاده در این نرمافزار با صرفنظرنمودن جرم هوا در مقابل جرم آب، فرض میکند که فضای اشغال شده توسط هوا، خالی باشد و هیچگونه جرمی در این ناحیه وجود نداشته باشد و تنها فشاری یکنواخت در این ناحیه حاکم باشد [21]. بنابراین با تعریف یک مرز مناسب در سطح آزاد می توان تا حد بسیار زیادی حجم محاسبات را کاهش داد و سطح آزاد

معادلات حاکم بر جریانهای تراکمناپذیر در این مدلسازی همان معادلات متوسط گیری شده در زمان ناویر استوکس و معادله پیوستگی میباشند، با این تفاوت که برای شبیهسازی دوره بیست و سوم / شماره ۲ / سال ۱٤۰۲

سرعت از ابزاری ال شکل که برای این قابلیت طراحی و ساخته شده بود استفاده کرده است. در شکل (۲) نمای شماتیک این ابزار به همراه شیبشکن و مقاطع اندازه گیری سرعت روی دیواره به همراه مدل ساخته شده در نرمافزار نشان داده شده است.



شکل ۲. شکل شماتیک از مدل آزمایشگاهی چن هوآیانگ (۲۰۱۰)

Fig. 2. Schematic shape of Chen Hua Yang's laboratory model (2010).

برای کاهش خطاه ای عددی و استقلال نتایج از شبکه، حساسیت نتایج نسبت به تعداد شبکه مطالعه و میدان حل با تعداد شبکههای مختلف از ۰۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ شبکه منفصل و پس از بررسی در نهایت میدان حل با سه بلوک و با ۱۰۰۰۰۰ شبکه منفصل شد.

برای فاز اولیه، آب با وزن مخصوص ۹۹۸،۲ kg/m³ به نرم افزار معرفی شد. در ورودی از مرز سرعت و ارتفاع جریان مشخص، در خروجی شرط مرزی فشار اتمسفری، مرز فوقانی و ما بین دو بلوک مرز تقارن و برای سایر مرزها دیوار اعمال شد. برای شروع محاسبات فرض شد که شیبشکن آزمایشگاهی کاملاً پر از هوا بوده و به جز ابتدای ورودی هیچ آبی در آن وجود نداشته باشد. شبیهسازی با استفاده از یک سیستم ۲۰ هستهای و با قدرت پردازش ۳،۲ گیگاهرتز و با **۱۶** سطح آزاد به صورت زیر اصلاح شدهاند:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial O_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(v_j A_j \frac{\partial O_i}{\partial x_j} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial F}{\partial x_i} + g_i + f_i$$
(2)

در معادلات فوق U_i مولفه سرعت در جهت i، v_j مولفه سرعت در جهت j، u، v و W به ترتیب سرعت در راستای x، y و z را نشان می دهد، x, A_x و A_z مساحت جزئی روی وجوه هر آلمان که سیال در آن جریان دارد، g شتاب ثقل، 'P فشار، f_i تنش رینولدز در جهت i و V_F درصد حجمی باز در مقابل جریان را نشان می دهد. برای بدست آوردن پروفیل سطح آزاد از موقیعت زمانی و مکانی سیال به صورت تابعی از حجم سیال به شکل F(x,y,z,t) استفاده می شود. این تابع بیانگر آن است که جزء حجمی آب در هر حجم کنترل و در مختصات کارتزین و در جریان به صورت تک فازی معادلهی زیر را

همچنین در این تحقیق برای مدلسازی آشفتگی نیز از مدل RNG K – ε استفاده شده است.

۳-درستی آزمایی مدل عددی

از آنجایی که در این تحقیق پارامترهای مورد نظر برای بررسی، شامل سطح آزاد جریان و چگونگی اتلاف انرژی در شیب شکن می باشند پس ابتدا سطح آزاد و سپس مقادیر سرعت توسط مدلسازی دو مدل آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بخش اول مدل آزمایشگاهی چن هوآیانگ [17, 18] برای سرعت جریان و در بخش دوم مدل آزمایشگاهی دایییانگ و ممکاران [13] انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است. مدل آزمایشگاهی چن هوآیانگ بر مبنای یک پروژه اصلی و با ساختار عمومی آن شامل سازه ورودی، لوله قائم، بخش منقبض شونده، محفظه مستهلک کننده انرژی و تونل خروجی می باشد. طول لوله قائم در این سازه از نقطه اتصال به سازه ورودی حدود ٤ متر و قطر لوله قائم در ابتدا ۲،۰ متر و بعد از بخش منقبض شونده ٤،۰ متر می باشد. هوآیانگ برای اندازه گیری

فرهاد گلریز و سید علی اکبر صالحی نیشابوری

برای مقایسه بهتر ترسیم شده است. همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهد است همخوانی خوبی بین نتایج مدل عددی و دادههای آزمایشگاهی بدست آمده است و مدل عددی توانسته است در پیشبینی نتایج آزمایشگاهی به خوبی عمل نماید.

هندسی بر عملکرد	پارامترهای	عددي تاثير	ارزيابى
-----------------	------------	------------	---------

گیگ رم در حدود ٤٨ ساعت زمان برده است.

جدول ۱. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی – مدل چن هوآیانگ(۲۰۱۰)

Modle Number	D	B	e	L	Z
No1	124.0	167.0	28.0	651.9	326.0

Table 1. Comparison of numerical and experimental results -Chen Hua yang model (2010)

مدلسازی با دبی Q=223 lit/s انجام و مقادیر سرعت در اولین لایه جریان و در نزدیکی دیواره لوله قائم به صورت تقریبی از مدل عددی استخراج و در جدول (۱) با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه شده است. مطابق این جدول مقادیر سرعت آزمایشگاهی در نقاط ارتفاعی مختلف مطابق شکل (۲) برداشت شدهاند که مقادیر سرعت در همان نقاط در مدل برداشت شدهاند که مقادیر سرعت در همان نقاط در مدل عددی محاسبه و در مقابل آن آورده شده است. مطابق این جدول مدل عددی در هر دو دبی توانسته است مقادیر سرعت شماره ۳ با درصد خطای نسبی ۱۸ درصد بیشترین میزان خطا را داشته و میانگین خطا در مدل عددی نسبت به آزمایشگاهی برای دبی Sal از 223 از ۵۰ درصد بدست آمده است که برای دبی عابل قبول می باشد.

در بخش دوم از قسمت درستی آزمایی برای بررسی توانمندی مدل عددی در پیش بینی سطح آزاد جریان، نمونه اول(No1) از پانزده سری هندسه متفاوت آزمایشگاهی دایییانگ(۲۰۰۹) انتخاب و شبیه سازی شده است(جدول ۱). در این راستا کانال و هندسه ورودی و لوله قائم مطابق با ابعاد آزمایشگاهی جدول شماره (۱) ساخته و مبحث استقلال از شبکه با ریز و درشت قرار گرفت و در نهایت میدان حل با استفاده از شبکه بندی مستطیلی و با تعداد ۲۰۰۰۰ سلول شبکه بندی شد. شرایط مرزی و اولیه مشابه بخش اول در مدل اعمال شد. مدلسازی برای ۳ دبی مختلف ورودی انجام و نتایج عددی در پیش بینی پروفیل سطح آزاد در شکل (۳) در کنار داده های آزمایشگاهی

جدول ۲. مشخصات مدل آزمایشگاهی دایییانگ و همکاران(۲۰۰۹)-میلی

Point Nomber	Z(m)	Q=223.11 lit/s							
		Magni	tude of V	/elocity(m/s)					
		Exp	Num	Error(%)					
1	0.0	3.76	3.52	6.38					
2	-0.64	5.28	4.54	14.02					
3	-0.64	5.82	4.9	15.81					
4	-1.44	6.32	6.24	1.20					
5	-1.44	5.88	5.74	2.31					
6	-1.86	6.96	6.76	2.87					
7	-1.86	6.54	6.17	5.66					
8	-2.64	6.74	7.3	8.31					
9	-2.64	7.14	7.13	0.14					
10	-3.3	7.34	7.28	0.82					
11	-3.3	7.47	7.46	0.13					
12	-3.97	7.78	7.47	3.98					
13	-3.97	8.43	8.23	2.37					
		Ave E	rror	4.92					

 Table. 2. Dai Yang et all model specifications (2009)

با توجه به عدم گزارش اطلاعات مربوط به قطر هسته هوا در مدل آزمایشگاهی No1 توسط نویسندگان مقاله، مقایسه نسبی نتایج با سایر مدلهای آزمایشگاهی در شکل (٤) انجام شده است تا از درستی نسبی آن اطمینان حاصل شود. لاندا در این نمودار همان نسبت مساحت هسته هوا بوده و محور افقی یک پارامتر بی بعد شده می باشد.

مجله علمي – پژوهشي مهندسي عمران مدرس

لحاظ شبكه آبهاي سطحي موجود نيز ميباشد. مجاري اصلي پیشنهادی این سامانه به دلیل تقاطعات بسیار در بزرگراههای مهمی همچون بزرگراه خرازی، همدانی، حکیم، تهران کرج، فتح و شهریار و اختلاف ارتفاعات بالا در ایـن محـدودهها نیازمند عبور از آنها میباشد. برای فائق آمدن بر این مشکل و عبور ايمن از تقاطع غير هم سطح كه اختلاف ارتفاع قابل توجه نسبت به یکدیگر دارنـد، لازم اسـت کـه بـا توجـه بـه شـرایط محدوده، با احداث سازههای ریزشی به یکباره این تفاوت جبران و جریان رواناب به صورت ایمن به پایین دست خود منتقل شود. در این مطالعه، با توجه به اینکه طراحی اجزای شبکه در سامانه M1 در دست بررسی های تکمیلی بوده و هنوز به مرحله اجرا در نیامده است، یکی از سازههای شیبشکن گردابهای که در تقاطع بزرگراه شهید همدانی پیشنهاد شده است، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در طرح حاضر لازم است تا جریان با دبی حداکثر ۸،٦ متر مکعب برثانیه از ترازی با رقوم ارتفاعی ۱۲۸۸،۹۷ به تـراز پایینتـری در رقـوم ۱۲۷۵،۱۳ انتقال یابد. به عبارت دیگر اختلاف ارتفاع بالادست و پایین دست طرح در حدود ۱۳٬۸۶ متر می باشد [28]. از طرف دیگر فاصله بین منهول بالادست تا شبکه پایین دست در حدود ۲۳ متر میباشد [28]. طرح کلی و اجزای سازه شیب شکن مورد ارزیابی در شکل (٥-ب) نشان داده شده است. مطابق این شکل سازه شامل ورودی مماسی، لولـه قـائم، محفظه مستهلک کننده انرژی، بافل، لوله خروجی یا بازچرخانی هوالو تونل خروجي جريان ميباشد.

۵-ارزیابی عملکرد جریان در سازه شیبشکن گردابهای مماسی

با توجه به حجم بالای دبی ورودی(۸،۱ مترمکعب بر ثانیه)، برای اطمینان از عملکرد صحیح سازه شیب شکن گردابه ای، جریان در سازه به صورت سه بعدی و در ابعاد واقعی مورد شبیه سازی قرار گرفت. البته بعد از شبیه سازی مدل اولیه (طراحی براساس آخرین دستور العمل ها و روابط موجود) به دلیل مواجهه با برخی مشکلات در عملکرد سازه همچون **شکل ۳**. مقایسه بین نتایج پروفیل سطح آزاد در مدل عددی با دادههای آزمایشگاهی دایییانگیو(۲۰۰۹)



Fig. 3. Comparison between the numerical free surface profiles with the experimental data of the Dai Yang Yu (2009)

شکل ٤. مقایسه بین نتایج مساحت هسته هوا در مدل عددی با دادههای آزمایشگاهی دایی یانگیو (۲۰۰۹)



Fig. 4. Comparison of numerical air core area ratio with the experimental data of the Dai Yang Yu (2009)

٤- مطالعه موردی شیبشکنهای گردابهای شهر تهران

واقع شدن شهر تهران در دامنه جنوبی رشته کوههای البرز و همچنین شیب طبیعی و توپوگرافی زمین در این نواحی باعث شده است تا هنگام بارندگی حجم بالایی از رواناب وارد شبکههای جمع آوری آبهای سطحی شهر تهران نشان داده مطالعات طرح جامع آبهای سطحی شهر تهران نشان داده است که محدوده سامانه M1 شکل (٥-الف) یعنی غربی ترین شبکه در دست طراحی شبکه آبهای سطحی شهر تهران دارای بزرگترین حوزه برونشهری بوده که فقیرترین ناحیه از

\ Deairation

ارزیابی عددی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد ...

جدا شده است. همچنین شبکه محاسباتی بسته به اهمیت نتایج در بلوکهای محاسباتی مختلف ریز و درشت شدهاند. مطابق شکل (٦) شرط مرزی ورودی به صورت سرعت یکنواخت، مرز بالایی و مابین بلوکهای شبکهبندی به صورت صفحه تقارن، مرز خروجی، شرط مرزی از نوع پیوستگی جریان و سایر وجوه به عنوان دیوار لحاظ شد. عملکرد هیدرولیکی سازه شیب شکن گردابهای در دبی طراحی برای سه بخش ورودی، لوله قائم و محفظه مستهلک کننده انرژی مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج آن در بخش بعدی آورده شده است. ایجاد پرش در ورودی مماسی و عدم وجود روابط مناسب برای پیشنهاد عمق بالشتک آب در محفظه مستهلک کننده انرژی، سازه شیبشکن دوباره باز طراحی و تا حصول به نتیجه مطلوب چندین بار مدلسازی و مورد ارزیابی نهایی قرار گرفته است. پس از ساخت و فراخوانی هندسه سازه شیب شکن گردابهای در نرمافزار 3D Flow، میدان حل با ٦ بلوک مستطیلی شکل جداگانه مانند شکل (٦) شبکهبندی شد.

دقت محاسبات، پس از شبیهسازیهای اولیه با چندین شبکه مختلف و چگونگی پیشبینی سطح آزاد و مقادیر سرعت و ثابت ماندن تغییرات، میدان حل با حدود ۱,۰۰۰,۰۰۰ سلول



Fig. 5. a) The position and plan of M1 System, b) The dimension of present tangential vortex drop shaft

شکل ٦. هندسه و شرایط مرزی شیب شکن گردابه ای مماسی تهران [22]



Fig. 6. Geometry and boundary conditions of Tehran vortex drop shaft

0-1-طراحی و ارزیابی سازه ورودی مماسی

در مسیر طراحی بخش ورودی مماسی از آخـرین تحقیقـات و روابط ارائه شده در این خصوص که مربوط به روابط تئوری آزمایشگاهی دایییانگ و همکاران (۲۰۰۹) بوده است استفاده شده است. دایییانگ و همکاران(۲۰۰۹) با انجام یک کار تئوري و آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که برای داشتن یک جریان آرام و بدون پرش هیدرولیکی در داخل ورودی مماسی لازم است که شرط $Q_{f} > Q_{c}$ برقرار باشد که در ایـن رابطـه دبسی مقطع $\sqrt{g}e(2z/3)^{3/2}/(cos^{2/3}eta-(e/B)^{2/3})^{3/2}$ کنترل تعریف شده است و فقط به هندسه و ابعاد سازه ورودی و يارامترهای(B, e, L, D, Z) ارتباط پيدا می کند. در اين روابط B عرض ابتدایی در ورودی مماسی، e عرض ورودی مماسی B در محل اتصال به لوله قائم، D قطر لوله قائم، L طول ، Z ارتفاع ریزش و eta زاویه و شیب کف ورودی مماسی میباشد. بر همین مبنا در این مطالعه ۵ ورودی با هندسههای مختلف برای شرایط جریان واحد در این مسئله طراحی و هر پنج ورودی مختلف توسط نرمافزار Flow-3D شبیهسازی شد و تشکیل و عدم تشکیل پرش هیدرولیکی در آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول (۳) مشخصات طراحی این پنج ورودی

مماسی، نسبت Q_f/Q_c به همراه نتایج مربوط به وضعیت

جریان در ورودی خلاصه شده است. همچنین تصویر پنج

دوره بیست و سوم / شماره ۲ / سال ۱٤۰۲

هندسه مختلف ورودی در شکل (۷) به همراه جزئیات نشان داده شده است.

 Q_f/Q_c همانطور که در این جدول قابل مشاهده است نسبت تنها در ورودی شماره ۳ کمتر از یک بوده و در باقی ورودیها بالاتر از یک می باشد. این بدان معناست که مطابق معیار طراحی دایییانگ و همکاران(۲۰۰۹) تمامی ورودیها به جز ورودی شماره ۳ باید جریان بدون پرش هیدرولیکی را ایجاد نمایند، اما نتايج حاصل از مدلسازى جريان نشان مىدهد كه نه تنها ورودي شماره ۳ جريان بدون پرش هيدروليكي را تجربه نموده است، بلکه ورودی های شماره ٤ و ٥ نیز با وجود داشتن شرط موجب ایجاد پرش هیدرولیکی در جریان عبوری از $Q_f > Q_c$ خود شدهاند. در شکل (۸) تصاویر جریان سه بعدی جریان در چند ورودی قابل مشاهده می باشد. البته دایی یانگ و همکاران [13] توصیه نمودند که برای اطمینان بیشتر از داشتن جریان بدون پرش در ورودی بهتر است که علاوه بر شرط اول شرط نيز برقرار شود. در اين رابطه Q_D دبي طراحي $Q_f > Q_D$ مىباشد. نسبت Q_f/Q_D در جدول (۳) محاسبه شده است. بررسی این مقادیر در کنار شرط اول نشان میدهد که با توجه به شرایط دایی یانگ و همکاران [13] ورودی های ۱ و ۲ و ۵ میبایست جریان را بدون پرش هیدرولیکی از خود عبور دهند، اما مطابق نتایج مدلسازی، پرش هیدرولیکی در ورودی شماره ٥ اتفاق خواهد افتاد.

جدول ۳. مشخصات طراحی و ارزیابی جریان در ورودیهای مماسی

Model ID	D	Qmax	D/B	e/D	L/B	Z/D	Z/L	Qf/Qc	Qf/QD	Flow Type
No1	2.00	8.60	1.00	0.25	2.19	1.25	0.57	1.27	1.30	Stable
No2	2.00	8.60	1.00	0.25	2.19	1.00	0.46	1.47	1.01	Stable
No3	2.00	8.60	1.15	0.31	5.18	1.25	0.28	0.53	0.80	Stable
No4	2.00	8.60	0.85	0.24	2.53	0.75	0.25	1.31	0.44	HJ
No5	2.00	8.60	1.00	0.25	1.60	0.75	0.47	2.25	1.00	HJ

Table. 3. Tangential Intake Design Parameters and Evaluation of Flow- hydraulic jump (HJ).

ارزیابی عددی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد ...

بنابراین با این توضیحات می توان به این نتیجه دست یافت که دو شرط دایییانگ و همکاران [13] برای عدم ایجاد پرش هیدرولیکی در داخل ورودی مماسی کافی نبوده و همانطور که نشان داده شد هم در صورت برقراری شرایط، امکان ایجاد پرش وجود دارد و هم در صورت عدم برقراری شرایط فوق امکان عدم رخداد پرش در این نوع ورودی وجود دارد.

بررسی هیدرودینامیک جریان در داخل این ۵ ورودی حاکی از بررسی هیدرودینامیک جریان در داخل این ۵ ورودی حاکی از آن است که با توجه به پیچیدگی موضوع نمی توان با این میزان از مدلسازیها در خصوص اثر هندسه سازه روی رژیم جریان اظهار نظر صریح نمود. به عبارت دیگر برای دستیابی به یک الگوی مشخص و یا یافتن نظم مشخص لازم است تحقیقات گسترده تری در این خصوص صورت گیرد. اما با بررسی طراحی این پنج هندسه به نظر می رسد از میان ۵ پارامتر طراحی این پنج هندسه به نظر می رسد از میان ۵ پارامتر شکل گیری پرش داشته است. به عبارتی بررسی ورودی های شماره ۱، ۲ و ۳ که بدون پرش موفق به عبور جریان شدهاند یا مقدار P مناسبی داشتهاند و یا مقادیر I و Z نسبت به باقی هندسهها بیشتر بوده است. این بدان معناست که به احتمال زیاد هندسهها بیشتر بوده است. این بدان معناست که به احتمال زیاد که بتواند موجب عبور جریان بدون ایجاد پرش هیدرولیکی در که بتواند موجب عبور جریان بدون ایجاد پرش هیدرولیکی در





Fig. 7. Various tangential intake geometries

شکل ۸ جریان سه بعدی در ورودیهای مماسی مختلف



Fig. 8. 3D-Flow in various tangential intakes

در مجموع به منظور دور نشدن از هدف اصلی این تحقیق که بررسی هیدرودینامیک جریان در کل سازه بوده و با اطمینان بدست آمده از عدم شکلگیری پرش در ورودی به ارزیابی سایر اجزا پرداخته خواهد شد، اما ضروری است طراحان در صورت نیاز به کارگیری همچون سازهای، به طراحی براساس این روش اکتفا ننموده و حتما قبل از ارائه طرح نهایی با مدلسازی عددی و یا آزمایشگاهی از عملکرد مطلوب سازه در ورودی اطمینان حاصل نمایند. اما برای حل اساسی موضوع لازم است که بررسیهای جامع تر بر روی این سازه انجام و معیارهای طراحی اصلاح شود.

۲-0- ارزیابی جریان در لوله قائم

لوله قائم وظیفه انتقال مخلوط آب و هوا به سازه تخلیه کننده را به عهده دارد. تشکیل هسته مرکزی هوا در لوله قائم از عوامل مهم در ایجاد جریان پایدار در طول لوله میباشد. به طور معمول با افزایش مقدار دبی، هسته هوای تشکیل شده در لوله قائم کاهش مییابد. یکی از پارامترهای عملکرد صحیح در این سازه، نسبت مساحت هسته هوا به مساحت سطح مقطع لوله قائم میباشد (Λ). مقدار این پارامتر باید به اندازه لازم برای عبور جریان آزاد هوا و ایجاد عملکرد پایدار در سازه شیب شکن گردابهای بزرگ باشد. به طور کلی مقدار این پارامتر برای دبی طراحی باید بزرگتر از ۲۰،۰ باشد([4]). مقدار پارامتر Λ

مجله علمي – پژوهشي مهندسي عمران مدرس

برای شیب شکن گردابهای حاضر به ازای دبی طراحی به صورت زیر بدست آمد: عملکرد پایدار هیدرولیکی λ = ۰,۴۹ > ۰,۲۵ مقدار این نسبت تا حدودی در شکل (۹) قابل مشاهده است.

شکل ۹. تشکیل هسته هوای مرکزی در شفت قائم برای دبی طراحی (نمای پلان)



Fig. 9. 3D-Flow in various tangential intakes

محاسبه پارامتر λ برای دبی های کمتر از دبی طراحی بیشتر از ٤٩، خواهد شد که معمولا عملکرد مناسب سازه را به همراه خواهد داشت. مقایسه پارامتر λ در این مسئله با مقادیر هندسه های نزدیک به این تحقیق بیانگر آن است که نتایج پارامتر λ بسیار مشابه هم بدست آمده است. به عنوان نمونه پارامتر λ در مدل شماره ۷ دایییانگ و همکاران نیز برابر با ٥، گزارش شده است.

-0-1 ارزیابی جریان در محفظه مستهلک کننده انرژی

سازه مستهلک کننده انرژی، با گرفتن باقیمانده انرژی جریان خروجی از لوله قائم، جریان قائم را به مجرای پایاب افقی هدایت میکند. در شکل (۱۰) تصویر ریزش جریان از لوله قائم به داخل محفظه مستهلک کننده انرژی برای چند دبی مختلف نمایش داده شده است. همانطور که دیده میشود ابعاد محفظه به اندازه لازم بزرگ بوده و جریان ریزشی فرصت هواگیری و استهلاک انرژی را پیدا میکند. پس از ریزش موجود در کف محفظه گرفته شده و از خوردگی کف محفظه نیز جلوگیری میشود. همانطور که دیده میشود جریان ریزشی

زیرین بافل خارج شده و به سمت تونل خروجی هدایت می شود. در دبی های بالاتر جریان علاوه بر ناحیهی زیرین بافل، از فضای بالای بافل نیز خارج می شود. در تمامی حالات ابعاد محفظه بزرگ بوده و جریان آب به راحتی بدون مسدود کردن تونل خروجی، از محفظه خارج می شود.

دوره بیست و سوم / شماره ٦ / سال ۱٤٠٢

۵- ۳- ۱- تعيين عمق بالشتک آب

میزان عمق مورد نیاز برای ایجاد بالشتک آب در محفظه مستهلک کننده انرژی به وسیله مدل عددی بررسی شد. برای این امر سه عمق متفاوت به صورت ضریبی از قطر لوله قائم(٥٤/١، ٢٥٥/ و ٢٥/١) برای بالشتک در محفظه در نظر گرفته شد و مدلسازی عددی جریان در هر یک از این اعماق انجام گرفت. پس از مدلسازی عددی میزان عمق مناسب برای بالشتک برابر با ٦٦/ تعیین شد. مقادیر بزرگی سرعت جریان در صفحه نزدیک به کف بالشتک آب در شکل (١١) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، بیشترین مقدار سرعت در نزدیکی کف بالشتک در بیشتر نقاط مناسب بوده و در محدوده کوچکی در حدود ٥،٥ متر بر ثانیه می باشد.

شکل ۱۰. پروفیل سطح آزاد و میزان پرشدگی جریان در محفظه



Fig. 10. Free Surface and volum fraction of flow in the dissipation chamber in different inflow

ی روابط موجود بدست آمده است که به صورت جدول (٤) نشان ابه داده شده است. به



شکل ۱۲. الف- مقاطع مورد بررسی در اتلاف انرژی جریان در سازه شیب

Fig. 12. a Investigation sections for losses of flow energy in vortex drop shaft, b) Equivalent height of energy

همانطور که در جدول (٤) مشاهده می شود، میزان اتلاف انرژی در بخشهای مختلف سازه و در دبیهای مختلف متفاوت می باشد. میزان راندمان اتلاف انرژی در ورودی سازه بسته به دبی جریان در حدود (١٥./–٩٩./)، در لوله قائم در حدود (٤٠./– ۲۳./) و میزان راندمان اتلاف انرژی در محفظه مستهلک کننده انرژی (٪/۷–۷۱./) محاسبه شده است. از طرفی میزان راندمان اتلاف انرژی در کل سازه (۸۰./–۸۶./) بدست آمده است که نشان دهنده عملکرد مناسب سازه در بحث اتلاف انرژی جریان میباشد. در جدول (٤) نتایج حاصل از ژائو و همکاران بخشهای اصلی سازه برای مقایسه با نتایج این تحقیق اضافه شده است. مقایسه نتایج نشان می دهد که راندمان اتلاف نرژی جریان در این مطالعه در تمامی بخشها کمتر از مدل

٥- ٤- بررسی استهلاک انرژی در شیب شکن گردابه ای به طور کلی استهلاک انرژی جریان در سازه شیب شکن گردابه ای به چند دلیل عمده رخ میدهد. تداخل جریان ورودی به داخل سازه با جریان چرخشی در داخل سازه، اصطکاک دیواره لوله قائم و سوم محفظه مستهلک کننده انرژی. مطابق با محاسبات انجام گرفته در نرمافزار Flow-3D مقدار هد کل انرژی در کل مسیر جریان در شکل (۱۲-الف) نشان داده شده است. مقدار ماکزیمم هد کل انرژی در ابتدای مسیر و قبل از ورود به داخل سازه ۵۵،۱۸ متر بوده که رفته رفته در طول مسیر به دلایلی که ذکر شد، کاهش یافته و در انتهای مسیر در خروجی سازه شیبشکن گردابهای به کمترین مقدار ۲،۱ متر میرسد. اما برای بدست آوردن مقدار دقیق اتلاف انرژی در هر سه بخش ورودی، لوله قائم و محفظه مستهلک کننده انرژی، در این بخش مقدار انرژی جریان(ارتفاع هیدرولیکی کل) در مقاطع ۱، ۲، ۳ و ٤ که در شکل (۱۲–ب) مشخص شده است و با مقایسه آنها با یکدیگر، مقدار افت انرژی در هر سه بخش مشخص شد.

شکل ۱۱. توزیع سرعت جریان در کف بالشتک در شرایط دبی حداکثر



Fig. 11. Velocity distribution at the bottom of dissipation chamber in design discharge

ژائو و همکاران برای محاسبه راندمان اتلاف انرژی در هر بخش از سازه شیبشکن رابطه 100 * ($H_{i+1}/H_i - 1$) = η را پیشنهاد نمود که در آن H_i هد کل انرژی در مقطع آام میباشد. پس با تهیه خروجیهای مناسب از نرمافزار و تحلیل نتایج در نرمافزار Excel، میزان افت انرژی جریان در هر یک از مقاطع ذکر شده محاسبه و راندمان اتلاف انرژی نیز بر مبنای

فرهاد گلریز و سید علی اکبر صالحی نیشابوری

Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-09

اوت سطحی شهر تهران انتخاب و در ابعاد واقعی مورد ارزیابی قرار سازه گرفت. بر این اساس پنج ورودی مختلف مطابق روابط موجود دند. طراحی و هر پنج ورودی مورد ارزیابی عددی قرار گرفتند. هلک نتایج ارزیابیهای اولیه نشان داد که روابط موجود برای طراحی سوم سازه ورودی کافی نبوده و لازم است این روابط با انجام مطالعات بیشتر مورد بازنگری قرار گیرند. نسبت هسته هوا به مساحت سطح مقطع لوله برابر با ٤٩، در دبی حداکثر محاسبه شد. میزان راندمان اتلاف انرژی در کل سازه مناسب و در شد. میزان راندمان اتلاف انرژی در کل سازه مناسب و در اکتفا عددی عمق مناسب برای ایجاد بالشتک آب در محفظه بجود مستهلک کننده انرژی برابر با ٢٦، تعیین شد. در آخر، نتایج شیبشکن گردابهای اصلاح شده آماده، مدلسازی و فاکتورهای مجله علمي – پژوهشي مهندسي عمران مدرس

آزمایشگاهی بدست آمده است. علت این اختلاف در تفاوت دو مدل میباشد. اول آن که ژائو و همکاران بعد از سازه ورودی از بخش منقبض شونده در لوله قائم استفاده نمودند. دوم آنکه با ایجاد پرش هیدرولیکی حلقوی در محفظه مستهلک کننده انرژی موجب اتلاف بیشتر انرژی در آن شدند و سوم طول لوله قائم در مدل ژائو و همکاران بیشتر میباشد.

٦- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه ضمن بیشترین استفاده از روابط موجود در طراحی سازه شیب شکن گردابه ای مماسی به این روش ها اکتفا نشد و پس از طراحی اولیه، با کمک مدل های عددی موجود عملکرد سازه ارزیابی و اصلاح شد. در این راستا ابتدا نتایج مدل عددی مورد استفاده توسط داده های دو مدل آزمایشگاهی مقایسه و از عملکرد صحیح مدل اطمینان حاصل شد. در ادامه یکی از سازه های شیب شکن گردابه ای در شبکه آب های

جدول ٤. میزان اتلاف انرژی جریان در بخش های مختلف سازه شیب شکن گردابه ای

نهایی شد.

Energy Head(m)		Present	Zhao et		
		Q=2.5	Q=5.5	Q=8.6	- al(2006)
Energy Head SE(1)	E1	13.5	15.7	16.1	-
Energy Head SE(2)	E2	12	13.3	14.7	-
Energy Head SE(3)	E3	7.2	9.7	11.3	-
Energy Head SE(4)	E4	2.1	2.8	3.2	-
Energy Loss Efficiency1-2	η_{12}	11%	15%	8.9%	24%
Energy Loss Efficiency2-3	η_{23}	40%	27%	23%	34%
Energy Loss Efficiency3-4	η_{34}	70%	71%	71%	80%
Energy Loss Efficiency1-4	η_{14}	84%	82%	80%	90 %

Table. 4. Energy losses in different part of vortex drop shaft

of Hydraulic Research, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, Report No. 264.

مهم در یک سازه ریزشی بررسی و طراحی سازه برای اجرا

- [4] Jain, S., (1984). "Tangential vortex-inlet." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 110(12), 1693-1699.
- [5] Jain, S. (1987). "Free-surface swirling flows in vertical dropshaft." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 113(10), 1277–1289.
- [6] Hager, W. (1985). "Head-discharge relation for vortex shaft." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 111(6), 1015–1020.
- [7] Hager, W. (1990). "Vortex drop inlet for supercritical approaching flow." Journal of Hydraulic

۷- منابع

- Bhosekar, V.V., Deolalikar, P. B. and Sridevi, M. I., (2007). "Hydraulic design aspects for swirling flow at vertical drop shaft." ISH Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 13, NO.3, Pages 78-89.
- [2] Drioli, C. (1969). "Esperienze su installazioni con pozzo di scarico a vortice." L'Energia Elettrica, 46(6), 399–409.
- [3] Jain, S. C., and Kennedy, J. F., (1983). "Vortex-Flow Drop Structures for the Milwaukee Metropolitan Sewerage District Inline Storage System." Iowa Institute

فرهاد گلریز و سید علی اکبر صالحی نیشابوری

J.M. and Gisonni, C., (2018). "Multiple Inflow Branches at Supercritical-Type Vortex Drop Shaft." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 144(11), 1–9.

- [21] Zhang, W., Wang, J., Zhou, Ch., Dong, Z. and Zhou, Zh., (2018). "Numerical Simulation of Hydraulic Characteristics in A Vortex Drop Shaft." Water 10, No. 10: 1393.
- [22] Liu, Zh., Guo, X., Xia, Q. and Fu, H., (2018). "Experimental and Numerical Investigation of Flow in a Newly Developed Vortex Drop Shaft Spillway." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 144(5), 1–11.
- [23] Carty, A., O' Neill, Co., Nash, S., Clifford, Eo. & Mulligan, S., (2019) "Hydrodynamic modelling approaches to assess mechanisms affecting the structural performance and maintenance of vortex drops shaft structures." Journal of Structural Integrity and Maintenance, 4:3, 162-178
- [24] Yang Z, Yin J, Lu Y, Liu Z, Yang H, Xu G., (2021). "Three-Dimensional Flow of a Vortex Drop Shaft Spillway with an Elliptical Tangential Inlet" Water 13, no. 4: 504.
- [25] Hajiahmadi, A., Ghaeini-Hessaroeyeh, M. and Khanjani, M.J., (2021). "Experimental Study of Flow Characteristics in Vortex Drop Shaft." Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, ASCE, 12(1), 1–9.
- [26] Chang, Lu, and Wangru Wei., (2022). "Numerical study on the effect of tangential intake on vortex drop shaft assessment using pressure distributions." Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 161, 1100-1110.
- [27] Flow Science Co., Flow-3D Version 11.2., Users Manual.
- [28] Report of hydraulic investigation of the vortex structure in the surface water collection systems of Tehran, M1 system (Shahid Kharazi highway), Rahab Consulting Engineers, 2016, (In Persian).
- [29] Report of hydraulic investigation of the vortex drop shaft on the east side of sewage of Tehran (Sayad Shirazi highway), Design & Construction Caspian consulting engineers, Report, 2011, (In Persian).
- [30] Jain, S. and Ettema, R. (1987). "Vortex flow intakes." Swirling flow problems at intakes, IAHR Hydraulic Structures Design Manual, J. Knauss, ed., Vol. 1, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands, 125–137.

ارزیابی عددی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد ...

Engineering, ASCE, 116(8), 1048–1054.

- [8] Vischer, D. L., and Hager, W. H. (1995). "Vortex drops." Energy dissipators: Hydraulic structures design manual, No. 9, Chap. 9, A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 167–181.
- [9] Renyong Jia, Shanfa Zhang, and Long Hu, (2012). "Numerical simulation of hydraulic characteristics in a tangential vortex dropshaft". Advanced Materials Research, Vols. 594-597, pp 2066-2069.
- Zhao, C., Zhu, D., Sun, S., and Liu, Z. (2006).
 "Experimental study of flow in a vortex drop shaft." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(1), 61-68.
- [11] Nielsen, K. D. and Davis, A. L. (2008). "CFD analysis of vortex dropshaft structure." World Environmental and Water Resources Congress, Ahupua'a.
- [12] Wai, O.W.H., Li, C.W., Xu, Q.H., Zhan, J. M., Chan, P.K. and Yu, J., (2009). "Hybrid modeling of the hydraulic performance of a stormwater vortex drop intake with a curved approach channel." 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment
- [13] Yu, D.Y. and Lee, J.H.W., (2009). "Hydraulics of tangential vortex intake for urban drainage." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 135(3), 164-174.
- [14] Auckland, A., Nistor, I. and Townsend, R. (2009). "Intake shape and boundary-related considerations in the operation and design of storm-sewer drop structures." Can. J. Civ. Eng. 36: 1825–1834.
- [15] Giudice, G., Gisonni, C., and Rasulo, G. (2010)."Design of a scroll vortex inlet for supercritical approach flow." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 136(10), 837-841.
- [16] Del Giudice, G., Gisonni, C. and Rasulo, G. (2008a). "Vortex shaft outlet." Proceedings of the 16th IAHR-APD Congress and 3rd International Symposium on Hydraulic Structures. Nanjing, China. Vol. 6, 2053-2058.
- [17] Chen Hua-yong, Xu Wei-lin, Deng Jun, Niu Zhipan, Liu Shan-jun and Wang Wei, (2010). "Theoretical and experimental studies of hydraulic characteristics of discharge tunnel with vortex drop." Journal of Hydrodynamics, 22(4), 582-589
- [18] Chen, H., Deng, J., Hu, J., Xie, B., Liu, B. and Liu, J. (2008). "Experimental study on inner velocity and energy dissipation of shaft spillway with whirling." Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS.
- [19] Mulligan, S., Casserly, J., Sherlock, R., (2014). "Hydrodynamic Investigation of Free-Surface Turbulent Vortex Flows with Strong Circulation in a Vortex Chamber", 5th IAHR International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, Spa, Belgium.

[20] Pfister, M., Crispino, G., Fuchsmann, T., Ribi,

108

Numerical Investigation of Geometrical Effects on the Flow Hydrodynamics in Tangential Vortex Drop Shaft

Farhad Golriz, Seyed Ali Akbar Salehi Neyshabouri

- 1. Dept. of Water and Hydraulic Structures Eng., Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University
- 2. Professor of Hydraulic Structures, Water Engineering Research Centre, Tarbiat Modares University

Salehi@modares.ac.ir

Abstract:

Vortex drops are compact hydraulic structures used in surface water and sewer collection systems to convey runoff from higher to lower elevations by creating a rotational flow inside vertical shafts. These structures are composed of three main parts: the intake, drop shaft, and dissipation chamber. Tangential intake is a steep tapering channel that generally has a junction with a rectangular approach channel with the horizontal bottom at the beginning and a narrow slot at the connection with the drop shaft. Many factors need to consider in the design of vortex drop shafts with proper hydraulic performance. The review of previous studies and the guideline designs for this structure indicates that most design relations were obtained either based on simplified assumptions or by conducting limited tests on laboratory scale models, which can cause desirable operation in practice. These conditions have forced engineers to set up laboratory models or numerical simulations of the initial design to evaluate the proper performance of the structure in big projects. With this introduction, one of the problems in the surface water collection network of Tehran is conveying high volumes of runoff from the surface of streets at the highway intersections to a lower level in the underground tunnels or pipes. Therefore the authorities pay more attention to necessary considerations in the design and use of these types of structures for the safe transfer of runoff downstream. In this paper, using numerical modeling, the hydrodynamics of flow in a real vortex drop shaft with tangential intake has been studied. In the design stage, a vortex drop structure in Tehran's urban drainage has been selected and evaluated by the Flow-3D numerical model. Based on the latest available design methods, several tangential intakes with different geometry were assessed separately. Finally, the performance of the final drop shaft was simulated and analyzed using the numerical model. The final design simulation results showed that the flow in the tangential intake would enter the vertical shaft without forming a hydraulic jump. The flow in the vertical shaft is spirally attached to the wall with a central air core. A key design parameter is the ratio of the air core area to the drop shaft cross-sectional area that was greater than 0.49. The efficiency of energy losses at the tangential intake is about (9-15%), in the vertical shaft is about (23-40%), and in the energy dissipating chamber is (70-71%) depending on the flow rate. The energy loss efficiency in the whole structure was about (80-84%). The depth size needed to create a water cushion in the energy dissipation chamber was considered for three depths of 0.4D, 0.5D, and 0.6D. After numerical modeling, the appropriate depth for the water cushion was determined to be 0.6D. The results of the simulations indicated that the use of existing design methods only sometimes leads to optimal hydraulic performance in the structure. Therefore, reviewing the existing design methods, simulating the flow in the designed drop shaft, or setting up a laboratory model before finalizing the design is necessary.

Keywords: Drop, Vortex Drop, Tangential Intake, Free Surface Flow, Flow-3D