



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران
سازه های هیدرولیکی

بررسی فشارهای هیدرودینامیکی وارد بر کف
حوضچه استغراق

توسط:

فرشید نظری

اساتید راهنما:

دکتر ناصر طالب بیدختی

دکتر سید محمود برقی

مهر ماه ۱۳۸۸

به نام خدا

بررسی فشارهای هیدرودینامیکی وارد بر کف حوضچه استغراق

توسط:

فرشید نظری

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای
اخذ درجه کارشناسی ارشد

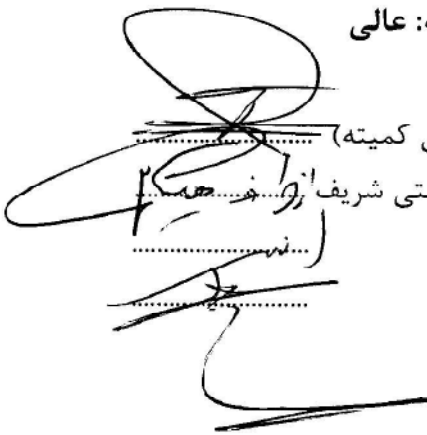
در رشته مهندسی عمران (سازه های هیدرولیکی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی



دکتر ناصر طالب بیدختی، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان (رئیس کمیته)

دکتر سید محمود برقی، استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

دکتر ارسلان قهرمانی، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان

دکتر عبدالرسول رنجبران، دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان

مهر ماه ۱۳۸۸

تشکر و قدردانی

با اتمام کار پایان نامه بر خود لازم می دانم از اساتید محترم راهنما آقایان دکتر ناصر طالب بیدختی و دکتر سید محمود برقی که صمیمانه و با دقت نظر در این کار مرا یاری دادند، تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از اساتید گرانقدر دکتر ارسلان قهرمانی و دکتر عبدالرسول رنجبران که زحمت مشاوره این رساله را بر عهده گرفتند سپاسگزارم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

چکیده

بررسی فشارهای هیدرودینامیکی وارد بر کف حوضچه استغراق

به وسیله

فرشید نظری

سرریزهای آزاد به عنوان خروجی سدها مورد استفاده فراوان دارند. این سازه ها باعث ایجاد جت‌هایی با سرعت بالا می شوند که دارای انرژی تخریبی بسیار قابل توجهی برای فرسایش و تخریب پی و تکیه‌گاههای سد می باشند. اگر این انرژی به میزان کافی مستهلک نشود با ایجاد فرسایش ممکن است پایداری سد را به خطر انداخته و موجب بروز مشکلات امنیت سازه‌ای گردد. حوضچه‌های استغراق یکی از انواع سازه‌های مستهلک کننده انرژی جت‌های ریزشی در پایین دست سدها می‌باشند که با تشکیل بالشتکی از آب در هنگام سقوط جت به داخل حوضچه و ایجاد جریان آشفته نوسانی، انرژی مازاد جریان را مستهلک می‌کنند، که این امر با پدیدار شدن فشارهای هیدرودینامیکی قابل توجهی به کف و دیواره‌های حوضچه همراه می‌باشد. با توجه به آنکه در تعیین عمق آبشستگی (در حوضچه طبیعی) و همچنین طراحی دال کف و دیواره (در حوضچه مصنوعی) فشارهای هیدرودینامیک از عوامل مؤثر می‌باشد، بررسی رفتار جت در حوضچه استغراق بسیار حایز اهمیت است. بدین منظور در این تحقیق از طریق دینامیک سیالات محاسباتی در قالب روش حجم محدود بکار رفته در نرم افزار فلوئنت، میدان جریان در حوضچه استغراق با حل معادلات پیوستگی و ناویراستوکس شبیه سازی شده و جهت محاسبه سطح آزاد از مدل حجم سیال (VOF) شامل جریان دو فازی آب و هوا استفاده گردیده است. همچنین برای در نظر گرفتن آشفتگیهای جریان مدل $k-\epsilon$ بکار گرفته شده است. پارامترهای جریان از قبیل پروفیل میدان جریان، سرعت و فشار ناشی از برخورد جت‌های دایره‌ای تحت اثر عواملی چون دبی، ابعاد نازل دایره‌ای و عمق آب در حوضچه، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب توزیع فشار وارد بر کف و ضریب فشار دینامیکی میانگین برای حالت‌های مختلف به دست می آید که نشان دهنده افزایش فشار با کاهش عمق حوضچه و افزایش قطر جت ریزشی است. برای تایید نتایج مدل عددی، این نتایج با نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی حوضچه استغراق مقایسه شده اند که بیانگر دقت خوب مدل عددی است.

کلیدواژه‌ها: حوضچه استغراق، جت قائم، فشار هیدرودینامیکی، استهلاک انرژی، شبیه سازی عددی.

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه	۱
۹	فصل دوم: پیشینه تحقیقات	۹
۱۰	۱-۲- مقدمه	۱۰
۱۱	۲-۲- مدل های موجود برآورد میزان فرسایش	۱۱
۱۱	۱-۲-۲- مدل های تجربی	۱۱
۱۲	۲-۲-۲- مدل های تحلیلی- تجربی	۱۲
۱۳	۳-۲-۲- مدل محاسبه فشارهای دینامیکی نهایی و اختلاف فشارهای دینامیکی در کف حوضچه	۱۳
۱۶	۳-۲- خصوصیات جت	۱۶
۱۷	۱-۳-۲- تئوری پخش دو بعدی جت	۱۷
۱۸	۲-۳-۲- طول هسته و زاویه پخش جت	۱۸
۲۰	۳-۳-۲- نواحی مختلف در برخورد جت به حوضچه	۲۰
۲۰	۴-۳-۲- شدت آشفتگی و طول شکست جت	۲۰
۲۸	۵-۳-۲- توزیع سرعت جت آب	۲۸
۳۰	۴-۲- فشارهای دینامیکی ناشی از برخورد جت در حوضچه استغراق	۳۰
۳۱	۱-۴-۲- میانگین فشارهای دینامیکی	۳۱
۳۶	۱-۱-۴-۲- عوامل موثر بر کاهش فشار دینامیکی	۳۶
۳۷	۲-۱-۴-۲- تغییرات فشار دینامیکی در فاصله شعاعی از محور جت (C_{pr})	۳۷
۴۱	۲-۴-۲- جذر میانگین مربعات (RMS) نوسانات فشار	۴۱
۴۴	۱-۲-۴-۲- عوامل موثر بر ضریب نوسانات فشار	۴۴
۴۶	۲-۲-۴-۲- تغییرات ضریب جذر میانگین مربعات نوسانات فشار در فاصله شعاعی از محور جت (C'_{pr})	۴۶
۴۸	۳-۲-۴-۲- تغییرات ضریب نوسانات فشار C'_{pa} با تغییرات سرعت جت V_j	۴۸
۴۹	۳-۴-۲- حداکثر و حداقل نوسانات فشار (مقادیر حدی فشارهای نوسانی)	۴۹
۵۳	۵-۲- جمع بندی	۵۳
۵۸	فصل سوم: مدل عددی و معادلات حاکم	۵۸
۵۹	۱-۳- کلیات	۵۹
۵۹	۲-۳- معادلات حاکم	۵۹
۶۴	۳-۳- دینامیک سیالات محاسباتی	۶۴
۶۵	۴-۳- روش حجم محدود (FVM)	۶۵
۶۷	۵-۳- آشنایی با نرم افزار Gambit	۶۷
۶۷	۶-۳- جابجایی و پخش (Convection and Diffusion)	۶۷
۷۰	۷-۳- شیوه های محاسباتی و فرمول بندی حل در نرم افزار فلوئنت	۷۰

۷۰	۸-۳-۳ روشهای گسسته سازی معادلات
۷۰	۱-۸-۳-۳ روش آپویند (Upwind)
۷۱	۲-۸-۳-۳ روش قاعده توانی (Power-law)
۷۱	۳-۸-۳-۳ روش کوئیک (Quick)
۷۳	۹-۳-۳ حل میدان جریان در حالت ناماندگار (Unsteady)
۷۳	۱-۹-۳-۳ مقدمه
۷۳	۲-۹-۳-۳ الگوریتم Transient SIMPLE
۷۶	۱۰-۳-۳ مدل‌های آشفتگی
۷۶	۱-۱۰-۳-۳ مدل $k - \epsilon$
۷۶	۱-۱-۱۰-۳-۳ مدل $k - \epsilon$ استاندارد
۷۸	۲-۱-۱۰-۳-۳ مدل $k - \epsilon$ RNG
۷۹	۳-۱-۱۰-۳-۳ مدل $k - \epsilon$ Realizable
۷۹	۲-۱۰-۳-۳ مدل $k - \omega$
۸۰	۱-۲-۱۰-۳-۳ مدل $k - \omega$ استاندارد
۸۲	۲-۲-۱۰-۳-۳ مدل SST $k - \omega$
۸۳	۱۱-۳-۳ حل مسائل سطح آزاد به روش VOF توسط فلوننت
۸۳	۱-۱۱-۳-۳ مقدمه
۸۳	۲-۱۱-۳-۳ مدل حجم سیال
۸۷	۳-۱۱-۳-۳ انواع شرایط مرزی
۸۸	۴-۱۱-۳-۳ مقادیر اولیه
۸۹	فصل چهارم: ارائه و تجزیه و تحلیل
۹۰	۱-۴-۳-۳ مقدمه
۹۰	۲-۴-۳-۳ مدل عددی
۹۰	۱-۲-۴-۳-۳ مقدمه
۹۳	۲-۲-۴-۳-۳ مدل آزمایشگاهی حوضچه استغراق
۹۳	۱-۲-۲-۴-۳-۳ مقدمه
۹۳	۲-۲-۲-۴-۳-۳ وسایل و تجهیزات آزمایشگاه
۹۷	۳-۲-۴-۳-۳ نتایج مدل
۹۷	۱-۳-۲-۴-۳-۳ مدل دو بعدی $D_0=5.7, Y=20$
۹۹	۲-۳-۲-۴-۳-۳ مدل دو بعدی $D_0=5.7, Y=50$
۱۰۳	۳-۳-۲-۴-۳-۳ مدل دو بعدی $D_0=7.6, Y=20$
۱۰۷	۴-۳-۲-۴-۳-۳ مدل سه بعدی $D_0=5.7, Y=35$
۱۱۳	۵-۳-۲-۴-۳-۳ تأثیر تغییر عمق حوضچه بر فشار وارد بر کف
۱۱۴	۶-۳-۲-۴-۳-۳ تأثیر ضخامت جت بر فشار وارد بر کف

۱۱۵ ۷-۳-۲-۴- ضریب میانگین فشارهای دینامیکی کف
۱۱۸ ۸-۳-۲-۴- RMS نوسانات فشار دینامیکی کف
۱۲۰ فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۲۱ ۱-۵- مقدمه
۱۲۱ ۲-۵- نتیجه گیری
۱۲۲ ۳-۵- پیشنهادات
۱۲۴ مراجع

فهرست شکلها

- شکل (۱-۱): نمونه هایی از حوضچه های استغراق الف) سد Gebidem در سوئیس ب) سد Crystal در آمریکا ج) سد کارون ۳ در ایران د) سد Morrow point ۳
- شکل (۲-۱): شمای کلی از نحوه عملکرد حوضچه استغراق مصنوعی ۵
- شکل (۱-۲): پارامترهای اصلی و فرآیندهای فیزیکی- مکانیکی موثر در شکل گیری فرسایش ۱۲
- شکل (۲-۲): اختلاف فشارهای آبی وارد بر بلوک سنگی در معرض لایه برشی جت ریزشی ۱۵
- شکل (۳-۲): توزیع میانگین فشار اطراف دال با درزه های باز ۱۶
- شکل (۴-۲): نمایش نحوه پخش دو بعدی جت و طول هسته جت (ناحیه گسترش جت) و زاویه داخلی پخش جت و ناحیه های اصلی برخورد جت ۱۷
- شکل (۵-۲): حوضچه های استغراق: الف) جت با هسته $\left(\frac{Y}{D_j} < 4-6\right)$ ب) جت توسعه یافته $\left(\frac{Y}{D_j} > 4-6\right)$ ۱۹
- شکل (۶-۲): شمای کلی نحوه پخش جت و مراحل ورود هوا به آن ۲۲
- شکل (۷-۲): شدت آشفتگی اولیه متوسط و موضعی جت در محور مرکزی ۲۳
- شکل (۸-۲): خصوصیات جت در حال سقوط و نحوه شکست آن ۲۴
- شکل (۹-۲): تعریف هندسه جت دایروی و توزیع سرعت در امتداد جت ۲۸
- شکل (۱۰-۲): تعریف پارامترهای فیزیکی برخورد جت به صفحه صاف ۲۹
- شکل (۱۱-۲): نحوه تغییرات فشار وارد به صفحه نسبت به Y/D_0 ۳۱
- شکل (۱۲-۲): تغییرات فشار وارد به کف در امتداد محور مرکزی جت با $\frac{Y}{B_j}$ ۳۲
- شکل (۱۳-۲): نحوه تغییرات میانگین فشار وارده به کف حوضچه با $\frac{Y}{B_j}$ ۳۳
- شکل (۱۴-۲): ضریب میانگین فشارهای دینامیکی C_p به صورت تابعی از Y/D_j ۳۴
- شکل (۱۵-۲): ضریب C_{pa} به صورت تابعی از $\frac{y}{D_j}$ ۳۵
- شکل (۱۶-۲): فشار بی بعد جت دایروی برخوردی به صفحه ۳۸
- شکل (۱۷-۲): فشار بی بعد در برخورد جت دو بعدی به صفحه ۳۹
- شکل (۱۸-۲): تغییرات ضریب میانگین نوسانات فشار دینامیکی با فاصله شعاعی از محور جت ۴۰
- شکل (۱۹-۲): تغییرات ضریب C'_p بر اساس Y/D_j ۴۲
- شکل (۲۰-۲): تغییرات ضریب C'_{pa} بر اساس Y/D_j ۴۳
- شکل (۲۱-۲): تغییرات ضریب C'_p بر اساس تغییر ضریب $\frac{L}{L_b}$ ۴۵
- شکل (۲۲-۲): تغییرات ضریب C'_p بر حسب تغییر نسبت هوا (β_i) و درجه تجزیه جت $\frac{L}{L_b}$ ۴۶

- شکل (۲-۲۳): توزیع شعاعی ضریب نوسانات فشار دینامیکی ۴۷
- شکل (۲-۲۴): تغییرات ضریب نوسانات فشار دینامیکی C_{pa}' بر اساس سرعت جت V_j ۴۸
- شکل (۲-۲۵): تغییرات مقادیر حدی فشار الف (C_{pa}^+ و ب) (C_{pa}^-) ۵۱
- شکل (۲-۲۶): توابع توزیع احتمال در جت های با هسته و توسعه یافته ۵۲
- شکل (۲-۲۷): نمای کلی مدل آزمایشگاهی زرنانی ۵۵
- شکل (۲-۲۸): تغییرات ضریب میانگین فشار دینامیکی وارد بر کف بر اساس تغییر عمق حوضچه (Y/Dj, Bj) ۵۶
- شکل (۲-۲۹): تغییرات ضریب نوسانات فشار دینامیکی وارد بر کف بر اساس تغییر عمق حوضچه (Y/Dj, Bj) ۵۶
- شکل (۳-۱): ترمهای ورودی و خروجی به المان سیال ۶۰
- شکل (۳-۲): نیروهای سطحی وارد بر المان حجم کنترل ۶۲
- شکل (۳-۳): چگونگی ایجاد حجم کنترل در روش مرکز سلولی ۶۶
- شکل (۳-۴): چگونگی ایجاد حجم کنترل در روش Cell-vertex ۶۶
- شکل (۳-۵): حجم کنترل برای مسائل یک بعدی ۶۹
- شکل (۳-۶): توابع درجه دوم استفاده شده در روش QUICK ۷۲
- شکل (۳-۷): حجم کنترل اسکالر برای بسط معادله پیوستگی ۷۴
- شکل (۳-۸): الگوریتم Transient SIMPLE ۷۵
- شکل (۳-۹): شکل واقعی فصل مشترک بین دو فاز مختلف ۸۴
- شکل (۳-۱۰): شکل فصل مشترک بین دو فاز مختلف به روش ۸۵
- شکل (۳-۱۱): روش Donor-acceptor برای تعیین فصل مشترک بین دو فاز مختلف سیال ۸۶
- شکل (۴-۱): چگونگی شبکه بندی حوضچه استغراق بوسیله Gambit ۹۱
- شکل (۴-۲): شمای کلی مراحل انجام آزمایشات ۹۴
- شکل (۴-۳): افشانک های دایروی و مستطیلی ۹۵
- شکل (۴-۴): برخورد جت ریزشی توسعه یافته با حوضچه استغراق $\left(\frac{y}{D_j} > 4-6\right)$ ۹۶
- شکل (۴-۵): برخورد جت ریزشی با هسته با حوضچه استغراق $\left(\frac{y}{D_j} < 4-6\right)$ ۹۶
- شکل (۴-۶): پروفیل جریان در حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7, Y=20$ سانتی متر ۹۷
- شکل (۴-۷): توزیع فشار کل در حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7, Y=20$ سانتی متر ۹۸
- شکل (۴-۸): توزیع فشار میانگین بر کف حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7, Y=20$ سانتی متر ۹۹
- شکل (۴-۹): پروفیل جریان در حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7, Y=50$ سانتی متر ۱۰۰
- شکل (۴-۱۰): توزیع فشار کل در حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7, Y=50$ سانتی متر ۱۰۱
- شکل (۴-۱۱): توزیع سرعت در حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7, Y=50$ سانتی متر ۱۰۲
- شکل (۴-۱۲): توزیع فشار میانگین بر کف حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7, Y=50$ سانتی متر ۱۰۳
- شکل (۴-۱۳): پروفیل جریان در حوضچه استغراق در حالت $D_0=7.6, Y=20$ سانتی متر ۱۰۴
- شکل (۴-۱۴): توزیع فشار کل در حوضچه استغراق در حالت $D_0=7.6, Y=20$ سانتی متر ۱۰۵

- شکل (۴-۱۵): توزیع سرعت در حوضچه استغراق در حالت $D_0=7.6$, $Y=20$ سانتی متر..... ۱۰۶
- شکل (۴-۱۶): توزیع فشار میانگین بر کف حوضچه استغراق در حالت $D_0=7.6$, $Y=20$ سانتی متر..... ۱۰۷
- شکل (۴-۱۷): پروفیل جریان در حوضچه استغراق در حالت سه بعدی $D_0=5.7$, $Y=35$ سانتی متر..... ۱۰۹
- شکل (۴-۱۸): توزیع فشار کل در حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7$, $Y=35$ سانتی متر..... ۱۱۰
- شکل (۴-۱۹): توزیع سرعت در حوضچه استغراق در حالت $D_0=5.7$, $Y=35$ سانتی متر..... ۱۱۱
- شکل (۴-۲۰): توزیع فشار میانگین بر کف حوضچه استغراق ۱۱۲
- شکل (۴-۲۱): تغییرات فشار میانگین وارد بر کف حوضچه استغراق با نسبت های مختلف Y/D_j ۱۱۳
- شکل (۴-۲۲): تأثیر ضخامت جت بر فشار میانگین وارد بر کف حوضچه استغراق ۱۱۵
- شکل (۴-۲۳): توزیع ضریب میانگین فشار دینامیکی بر کف حوضچه استغراق با نسبت های مختلف Y/D_j ۱۱۶
- شکل (۴-۲۴): تغییرات ضریب میانگین فشار دینامیکی بر کف حوضچه استغراق با نسبت های مختلف Y/D_j .. ۱۱۷
- شکل (۴-۲۵): توزیع ضریب نوسانات فشار دینامیکی بر کف حوضچه استغراق با نسبت های مختلف Y/D_j ۱۱۸
- شکل (۴-۲۶): تغییرات ضریب نوسانات فشار دینامیکی بر کف حوضچه استغراق با نسبت های مختلف Y/D_j ۱۱۹

فهرست جدولها

- جدول (۱-۲): ضریب K_C در محاسبه طول هسته جت L_C بر اساس نتایج تحقیقات مختلف ۱۸
- جدول (۲-۲): شدت آشفته‌گی اولیه جت با توجه به شکل خروجی جت ۲۳
- جدول (۳-۲): خلاصه روابط ارائه شده جهت محاسبه طول فروپاشیدگی ۲۶
- جدول (۴-۲): ضرایب متغیر تابع چند جمله‌ای C'_p متناظر با ضرایب متفاوت شدت آشفته‌گی جت ۴۴
- جدول (۱-۴): شرایط مرزی مدل عددی ۹۲

فصل اول

مقدمه

مقدمه

سازه های آبی با ایجاد تغییرات در رژیم یکنواخت جریان آب، تعادل انرژی بالادست و پایین دست سازه را بر هم می زنند. به منظور برقراری مجدد این تعادل در سیستم، باید بخشی از انرژی مستهلک گردد [۱].

یکی از سازه های مستهلک کننده انرژی، حوضچه های استغراق^۱ می باشند که انرژی جت آب در اثر برخورد به سطح آب حوضچه، نفوذ در آب و پخش در آن مستهلک می گردد. حوضچه های استغراق در بسیاری از سد های بزرگ دنیا مانند سدهای Crystal و Swan Lake در آمریکا، سدهای Laxiawa و Xiaowan در چین، سد Susqueda در اسپانیا، سد Gebidem در سوئیس و بسیاری سدهای احداث شده در ایران مانند سد های کارون ۳، خراسان ۳، شهید رجایی و سد منجیل به منظور استهلاک انرژی خروجی از سرریزها استفاده شده اند. در شکل (۱-۱)، نمونه هایی از سدهایی که سیستم استهلاک انرژی در آنها با حوضچه استغراق است نشان داده شده است.

جت های با سرعت بالا بر حسب نوع سرریزها به وجود می آیند که پس از عبور از سازه های کاهنده انرژی - در این جا حوضچه استغراق مد نظر است - به نحوی به تراز پایاب سد که در فاصله کافی از سازه سد قرار دارد، منتقل می گردند. فرسایش بستر رودخانه از نتایج برخورد در این سازه های مستهلک کننده انرژی است.

از آن جا که جت های ریزشی با سرعت بالا قادر به فرسایش شدید بستر حتی تا حد پی بستر نیز می باشند، می بایست از ایجاد ناپایداری دیواره های دره برحذر بود به خصوص که ناپایداری در دیواره ها منجر به ناپایداری پی و سازه سد نیز خواهد شد. این حالت به ویژه در مواقعی که سازه سرریز در خود سازه سد ساخته شده و ناحیه برخورد جت به سد نزدیک است، رخ می دهد [۲].

¹ Plunge Pools



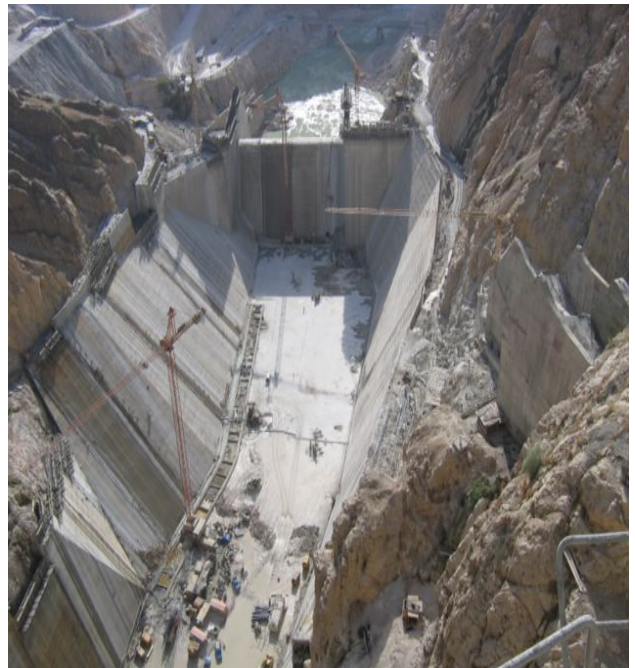
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

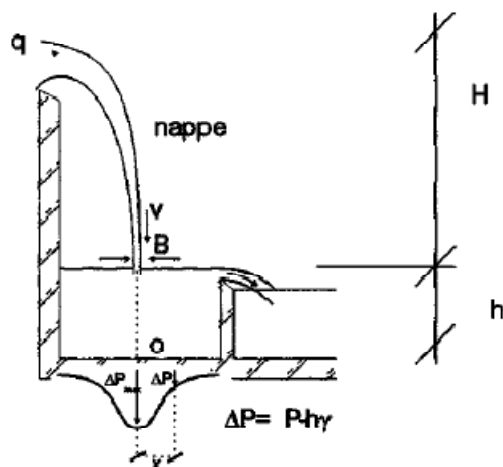
شکل (۱-۱): نمونه هایی از حوضچه های استغراق های سد Gebidem در سوئیس (ب) سد Crystal در آمریکا (ج) سد کارون ۳ در ایران (د) سد Morrow point

در جاهایی که به علت شرایط توپوگرافی دره‌های مرتفع و کم عرض در پایین دست این سدها وجود دارد، شرایط فرسایش می‌تواند خطرات جدی بیافریند. به عنوان مثال در سد کارون ۳ به منظور مستهلک نمودن آب خروجی از سرریزها و انتقال جریان به پایاب سد همان طور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است، از یک حوضچه استغراق به طول ۴۰۰ متر، عرض ۷۰ متر و ارتفاع ۵۰ متر، استفاده شده است.

بررسی اطلاعات موجود نشان می‌دهد که حوضچه‌های استغراق در شرایطی مؤثر می‌باشند که: الف) عمق پایاب نامعلوم باشد، چرا که محاسبه محل وقوع جهش هیدرولیکی و در نهایت حوضچه آرامش امکان پذیر نخواهد بود. ب) تشکیلات سنگ کف مناسب باشد.

ج) آبشستگی ایجاد شده، سازه‌های مجاور را در معرض خطر قرار ندهد. د) فضای پایین دست سازه برای حوضچه آرامش معمول کافی نباشد و یا حوضچه آرامشی با ابعاد بسیار بزرگ نیاز باشد (که معمولاً برای سدهای بلند چنین است) [۳].

یک حوضچه استغراق مانند یک استخر عمیق است که جت آب به داخل آن سقوط می‌کند. انرژی این جت به کمک عملکرد لایه برشی آب و مرزهای حوضچه مستهلک می‌شود (شکل ۱-۲). حوضچه‌های استغراق یا به طور طبیعی در بستر رودخانه در نظر گرفته می‌شوند و یا به طور مصنوعی توسط سنگ یا بتن ساخته می‌شوند [۴]. بطور کلی طراحی حوضچه‌های استغراق طبیعی بر مبنای تعیین عمق آب شستگی با استفاده از متغیرهای: دبی، عمق پایاب، اختلاف ارتفاع سطح آب مخزن تا پایاب، ابعاد و هندسه جت ریزشی و اندازه مصالح بستر پایین دست می‌باشد. در بعضی شرایط به دلایل اقتصادی و ایمنی، طراحی حوضچه با استفاده از عمق آبشستگی مناسب نمی‌باشد که در این صورت از حوضچه‌های پوشش داده یا مصنوعی استفاده می‌شود و طراحی بر اساس تعیین توزیع فشارهای وارد به کف و دیواره‌ها و حدود نوسانات آنها تحت تأثیر متغیرهای مؤثر شامل: دبی، سرعت، ارتفاع ریزش، ابعاد و هندسه جت ریزشی، عدد فرود، عمق آب در حوضچه‌ها و ابعاد آن، انجام می‌شود.



شکل (۲-۱): شمای کلی از نحوه عملکرد حوضچه استغراق مصنوعی [۵]

در فرآیند سقوط جت به داخل حوضچه، مقدار قابل توجهی از انرژی جت آب در اثر عواملی چون اصطکاک هوا و هواگیری جت در اتمسفر، برخورد به سطح آب حوضچه و نفوذ و پخش در آب و متعاقباً ایجاد تلاطم در حوضچه و نوسانات سطح آب مستهلک می گردد. این فعل و انفعالات با تشدید آشفته‌گی جریان و نوسانات شدید فشار همراه می‌باشد [۶].

افزایش عمق آب در داخل حوضچه‌های استغراق باعث تأثیر کمتر اثرات هیدرودینامیک جت بر کف و دیواره‌ها و در نتیجه بی‌نیازی از تثبیت و پایداری آن می‌گردد، اما به عمق بیشتر حوضچه نیاز دارد که معمولاً هزینه مضاعفی را در بر خواهد داشت.

از طرف دیگر با کاهش عمق آب حوضچه، اثرات جت بر کف و دیواره‌ها قابل توجه بوده و لذا تمهیدات لازم در تحکیم و پوشش نمودن کف و دیواره‌ها با ضخامت مناسب باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین شرایط هندسی و هیدرولیکی جت ورودی به داخل حوضچه، تأثیر مستقیم بر نحوه توزیع بارگذاری کف و دیواره‌های حوضچه دارد. ویژگی‌هایی چون غیرهمگنی، ناهمسانی و تغییرات سه بعدی خصوصیات جریان‌های متلاطم در سازه‌های مستهلک کننده انرژی و همچنین عدم وجود راه‌حل مشخص و معین برای تعیین فشارهای نوسانی در این سازه‌ها مانع از مطالعه دقیق تحلیلی این گونه جریان‌ها می‌باشد. در این موارد استفاده از مدل هیدرولیکی و شبیه سازی عددی یکی از اساسی‌ترین روش‌ها برای بررسی و مطالعه متغیرهای هیدرولیکی از جمله فشار هیدرودینامیکی در این سازه‌ها می‌باشد [۷].

سؤالات بسیاری در خصوص پدیده استهلاک انرژی در حوضچه های استغراق مطرح است و پاسخگویی به این پرسش ها مبنای بسیاری از تحقیقات و مطالعات انجام گرفته در این زمینه در طول چندین دهه بوده است. برخی از این پرسش ها و ابهامات به شرح زیر است:

- چنان چه جت با زاویه وارد حوضچه شود چه اتفاقی خواهد افتاد؟
- میزان فشردگی جت حین ورود به حوضچه چقدر است؟
- کاهش فشارهای وارده در اثر پخش جت، تا چه اندازه است؟
- آیا هوای ورودی به جت میزان فشارهای وارده به حوضچه را کاهش می دهد؟
- تاثیر سطح مقطع جریان چگونه است؟
- تاثیر هندسه حوضچه به چه نحو است؟
- آیا پایه های جدا کننده جریان یا سایر سازه های مشابه قادر به کاهش شدت فشارهای وارده هستند؟

- مکانیزم های تخریب کدام اند؟
- عرض درزه و شکاف های کف چه تاثیری بر نیروی بالابر^۱ وارده دارد؟ مکانیزم و نحوه انتقال امواج فشار از طریق درزه ها به زیر دال به چه نحو است؟
- آیا به کمک فرمول ها و روش های ریاضی می توان الگوی پیچیده جریان آشفته موجود در حوضچه را شبیه سازی کرد؟
- تاثیر سرعت و دبی جت بر فشارهای دینامیکی وارد بر کف و دیواره ها چگونه است؟
- و پرسش های بسیار دیگری که طراحان و مهندسين در حین طراحی با آن مواجه می شوند و پاسخی برایش نمی یابند.

بررسی کارهای انجام شده برای حوضچه های استغراق و ارزیابی فشارهای دینامیکی نشان می دهد که قسمت کمتر این تحقیقات با استفاده از دستگاه های اندازه گیری فشار دینامیکی می باشد اما از آن جا که ارزیابی نوسانات فشارهای هیدرو دینامیک در بدست آوردن عمق آب شستگی در حوضچه و همچنین طراحی دال کف حوضچه مؤثر می باشد، لذا برداشت های دینامیکی از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. بررسی مکانیزم استهلاک انرژی و ارزیابی فشار دینامیکی در حوضچه های استغراق توسط محققین بسیاری در دهه اخیر مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته، از جمله می توان به کاستیلو^۲ و همکاران (۱۹۹۱)، ارواین^۳ و همکاران (۱۹۹۷)، پیکینگ^۱ و همکاران (۲۰۰۱)، بولارت^۲ و اشلایس^۲ (۲۰۰۳-۲۰۰۴)، ملو^۲، پینهیرو^۲ و راموس^۱ (۲۰۰۶)، اشاره کرد.

^۱ Uplift

^۲ Casttilo

^۳ Ervine

زرنانی در سال ۱۳۸۴ با مطالعه بر روی حوضچه های استغراق مستطیلی، تاثیر عرض کف حوضچه و شیب دیواره های جانبی را بر نحوه توزیع فشار دینامیکی در کف و دیواره های جانبی مورد بررسی قرار داد. وی با استفاده از حسگرهای فشار با قابلیت ثبت و ذخیره فشارهای نوسانی و مدل آزمایشگاهی به بررسی و تعیین نحوه توزیع فشارهای دینامیکی میانگین و مقادیر حدی و نوسانات فشار وارد بر کف و دیواره ها ناشی از برخورد جت های دایره ای و مستطیلی در حوضچه های استغراق تحت اثر عواملی چون دبی، قطر در نازل دایره ای، ابعاد و نسبت عرض به طول در نازل مستطیلی، عمق آب در حوضچه، عرض کف حوضچه و شیب دیواره های جانبی در پلان پرداخته است. می توان گفت مطالعات وی تا حدی پاسخگوی اولیه برخی سؤالات مطرح در این زمینه بود [۸]. با توجه به اینکه کارهای عددی بسیار کمی در مقایسه با کارهای آزمایشگاهی در این زمینه انجام شده و با توجه به پیشرفت روز افزون شبیه سازی عددی در تحقیقات دنیای امروز که نسبت به مدل سازی فیزیکی ارزانتر و سریعتر است، در این تحقیق سعی شده است که با به کار بردن روش عددی، حوضچه های استغراق مدل آزمایشگاهی مذکور شبیه سازی شوند که طی آن پروفیل جریان، مقادیر سرعت و فشار تحت معادلات حاکم بر جریان در این حوضچه ها محاسبه و سپس تأثیر مقادیر مختلف عمق آب در حوضچه و قطر جت بر فشارهای وارد بر کف مورد مطالعه قرار گیرد. بدیهی است نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه شده تا اعتبار مدل برای پیش بینی وضعیت جریان در حوضچه های استغراق سنجیده شود.

در فصل دوم کارها و مطالعات انجام شده در خصوص نحوه عملکرد حوضچه استغراق، خصوصیات جت و نیروها و فشارهای اعمال شده به کف و دیواره ها، عمق فرسایش و مسائل مرتبط دیگر جمع آوری و آورده شده است. به عبارت دیگر فصل دوم جمع بندی و خلاصه ای از دانش موجود در این خصوص را ارائه می کند. مطالعه این فصل می تواند پاسخگوی بسیاری سؤالات مطرح شده در زمینه نحوه استهلاک انرژی در حوضچه های استغراق باشد و از طرفی راه گشایی مناسب برای تحقیقات آتی. به عنوان مثال تاثیرات آشفتگی، هوادهی جریان و فشارهای آنی در اتصالات از جمله مسائلی هستند که ابهامات موجود در خصوص آن ها همچنان باقی است و مطالعه و تحقیقات بیشتری را می طلبند.

¹ Peiqing

² Bollaert

³ Schleiss

⁴ Melo

⁵ Pinheiro

⁶ Ramos