بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد "M.Sc."

سازه های هیدرولیکی-مهندسی عمران

عنوان:

مقایسه استهلاک انرژی جریان در سرریزهای پلکانی و شوت ها

نگارش :

مهدی صفاخیل

استاد راهنما:

دکتر جلال بازرگان

آذر ماه۱۳۹۱

دانشگاه زنجان

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

شماره: ۸۷۲_ت

تاریخ: ۹۱/۹/۱۲

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی‌عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

خانم / آقای: **مهدی صفاخیل** رشته: **مهندسی عمران** گرایش: **سازه های هیدرولیکی**

تحت عنوان: **مقایسه استهلاک انرژی جریان در سرریز های پلکانی و شوت ها**

در تاریخ **۹۱/۹/۱۲** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزارگردید و نظر هیأت داوران بشرح زیر می‌باشد:

قبول(با درجه :.....۱۹/۱۰..... امتیاز: .....بیست و.....) دفاع مجدد ○ مردود ○

۱- عالی(۲۰-۱۹)
۲- بسیارخوب(۱۸/۹۹- ۱۸)
۳- خوب(۱۷/۹۹- ۱۶)
۴- قابل قبول(۱۵/۹۹- ۱۴)
۵- غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر جلال بازرگان	استادیار	
۲- استاد ممتحن	دکتر سعید عباسی	استادیار	
۳- استاد ممتحن	دکتر مهدی پناهی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر فرهنگ فرخی	استادیار	

دکتر رضا نوروزیان
معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی

دکتر محمدحسین شهیر
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه

تقدیم به

****

پدر و مادر مهربانم که همواره در طول حیات پربارشان از حمایت های بی دریغ خود، بهره مندم ساخته اند و تقدیم به همه آنانی که در راه کسب دانش یاریم نموده اند.

سپاسگزاری

****

برخود لازم می دانم از زحمات جناب آقای دکتر بازرگان و دوستان بسیار عزیزم که در تهیه و تدوین این پایان نامه، با اینجانب کمال همکاری را داشته اند؛ سپاسگزاری نمایم.

چکیده

در سال های اخیر سرریز های پلکانی به عنوان راهکاری مناسب برای استهلاک انرژی مورد استفاده قرار گرفته اند. در مطالعه حاضر، سریز سد سیاه بیشه با استفاده از نرم افزار فلوئنت مدل سازی عددی که درآن از روش Mixture جهت مدل سازی سطح آزاد و از مدل آشفتگی RSM استفاده شد. با محاسبه، میزان استهلاک انرژی از نتایج عددی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی مشاهده گردید که اختلاف قابل قبولی بین نتایج وجود دارد و فلوئنت را به عنوان ابزار عددی مناسبی برای محاسبات لازم در سرریزهای پلکانی معرفی می نماید. با مدل سازی عددی در حالت ساده مشاهده شد که استهلاک انرژی در حالت پلکانی تقریبا دو برابر حالت ساده می باشد. در سرریز مورد مطالعه، تغییرات هندسی روی مدل به گونه ای انجام گرفت، که در کل ارتفاع سرریز ثابت باشد. در یک حالت شیب سرریز ثابت بوده و تعداد پله ها تغییر یافته و در حالت دیگر شیب سریز تغییر پیدا کرده که در هر حالت از تغییر شیب، سریز با تعداد پله های مختلف مدل شد. در هر مدل از سرریز تغییرات دبی اعمال گشته، و تغیرات هیدرولیکی در آن بررسی شد. افزایش شیب و تعداد پله ها تا مقدار مشخصی باعث افزایش استهلاک انرژی می گردد. که در این روند حالت بهینه برای سرریز مشخص می گردد. در این مطالعه این تعداد ۶۰ پله می باشد. البته در حالات مختلف و سریز های دیگر این تعداد می تواند متفاوت باشد. به طوری که رابطه ثابتی بین استهلاک انرژی و تعداد پله ها و شیب سرریز نمی باشد. همچنین روند افزایش شیب، تاثیر بیشتری روی استهلاک انرژی داشته و به حالت بهینه نزدیک تر می باشد. همچنین مشاهده می شود میزان استهلاک انرژی با افزایش دبی جریان ،کاهش می یابد. در انتها با بررسی و برآورد مالی شوت و حوضچه آرامش در حالت پلکانی و صاف مشاهده شد این مقدار در حالت پلکانی تقریبا نصف حالت صاف می باشد.

فهرست مطالب

عنوان مطالب **شماره صفحه**

فهرست مطالب ..... أ

فهرست شکل ها ..... ط

فهرست جداول ..... ن

چکیده ..... -

فصل اول

کلیات

۱-۱. اهداف ۲

۱-۲. روش کار و تحقیق ۳

۱-۲- ۱. استفاده از اطلاعات و مدارک موجود ۳

۱-۲-۲. مشاهده ۴

۱-۲-۳. مصاحبه ۴

۱-۳.مقدمه ای بر سرریز های پلکانی ۵

۱-۴. اهداف و نوآوریهای تحقیق ۹

۱-۵. ضرورت انجام تحقیق ۹

۱-۶. بخش های مختلف تحقیق ۱۰

فصل دوم

مروری بر مطالعات انجام شده ی پیشین و بررسی هیدرولیک سرریز های پلکانی

۲-۱.مروری بر مطالعات انجام شده ی پیشین ۱۲

۲- ۲- ۱. مدل سازی عددی و پراکنش انرژی ۱۹

۲-۲. هیدرولیک جریان بر روی سرریز های پلکانی ۱۹

۲-۲-۱. جریان ریزشی(تیغه ای) ۱۹

۲-۲-۱-۱ .خصوصیات اصلی جریان ۲۰

۲-۲-۱-۲. خصوصیات هیدرولیکی جریان تیغه ای با جهش هیدرولیکی ۲۲

۲-۲-۱-۲-۱ . خصوصیات اصلی جریان ۲۲

۲-۲-۱-۲-۲. استهلاک انرژی ۲۵

۲-۲-۱-۳. خصوصیات هیدرولیکی جریان تیغه ای بدون پرش هیدرولیکی ۲۷

۲-۲-۱-۳-۱. پرفیل های طولی سطح آزاد ۲۸

۲-۲-۱-۳-۲. استهلاک انرژی ۲۸

۲-۲-۲. جریان تبدیلی (انتقالی) ۲۹

۲-۲-۲-۱ .الگو های جریان ۳۰

۲-۲-۲-۲ .ناحیه رژیم جریان متغیر تدر یجی در پایین دست ۳۱

۲-۲-۲-۳ .ناپایداری در جریان های تبدیلی ۳۲

۲-۲-۳ .هیدرولیک جریان های رویه ای(غیر ریزشی، شبه صاف) ۳۳

۲-۲-۳-۱ .جریان های رویه ای ۳۳

۲-۲-۳-۲. استهلاک انرژی ۳۶

۲-۲-۴. معیارها و روابط تعیین نوع جریان ۳۷

۲-۳.کاربرد سرریز پلکانی ۴۳

۲-۳-۱.کاربرد بعنوان تخلیه کننده و مستهلک کنندۀ انرژی ۴۳

۲-۳-۲.کاربرد بعنوان سرریزهای توریسنگی ۴۴

۲-۳-۳ .کاربرد بعنوان سازۀ تزئینی ۴۵

فصل سوم

جزئیات مدل آزمایشگاهی سرریز

۳-۱. مقدمه ۴۷

۳-۲. مشخصات کلی مدل ۴۷

۳-۳. اندازه گیری عمق آب ۵۲

۳-۴. مشخصات جریان در طول آزمایش در دبی های مختلف ۵۴

۳-۵. نتایج آزمایشگاهی بدست آمده ۵۸

۳-۵-۱. اندازه گیری عمق آب و سرعت ۵۸

۳-۶. اندازه گیری جریان عبوری از تنداب پلکانی ۶۲

۳-۷. حوضچه آرامش ۶۴

۳-۷-۱. مقدمه ۶۴

۳-۷-۲. حوضچه آرامش مورد مطالعه ۶۴

فصل چهارم

مدل سازی عددی

۴-۱. مقدمه ۶۷

۴-۲. مزایا و معایب شبیه‌سازی عددی ۶۷

۴-۳. شبیه‌سازی هندسی توسط نرم افزار Gambit ۶۸

۴-۳-۱. انتخاب شبکه مناسب و شبکه‌بندی فضای محاسباتی ۶۸

۴-۴. نرم افزار FLUENT ۶۹

۴-۴-۱. روشهای حل معادلات ۷۰

۴-۴-۲.روشهای انفصال معادلات ۷۱

۴-۴-۳. مدل های آشفتگی در نرم افزار ۷۲

۴-۴-۴. رابطه بین فشار و سرعت (Velocity-pressure coupling) ۷۸

۴-۴-۵. فاکتورهای زیر تخفیف (Under-relaxation factor) ۸۱

۴-۴-۶. قابلیت های نرم افزار در شبیه سازی جریان های چند فازی ۸۱

۴-۴-۷. معادلات حاکم بر جریان سیال ۸۵

۴-۴-۸. شرایط مرزی (Boundary Condition) ۸۶

۴-۵. مدل عددی سرریز مورد مطالعه ۹۳

۴-۵-۱. جزئیات مدل عددی ۹۳

۴-۵-۲. جزئیات بیشتر مدل عددی ۹۵

۴-۵-۳. شرایط مرزی ۹۶

۴-۵-۴. انتخاب مدل آشفتگی مناسب ۹۷
۴-۵-۴-۱. معادلات حاکم بر روشMixture ۹۹
۴-۶. اندازه گیری و توزیع سرعت ۱۰۱
۴-۷. نتایج مدل سازی عددی ۱۰۳
۴-۷-۱. تشابه و اثر مقیاس ۱۰۳
۴-۷-۲. نتایج حاصل از خروجی نرم افزار در مدل سازی عددی ۱۰۵
۴-۸ .طراحی سازه مستهلک کننده انرژی پایاب شوت ۱۱۱
۴-۸-۱ .تعیین نوع مستهلک کننده انرژی ۱۱۲
۴-۸-۲. انتخاب نوع حوضچه آرامش ۱۱۳
۴-۸-۳. طراحی حوضچه آرامش ۱۱۴

فصل پنجم

ارائه و بررسی نتایج مدل سازی عددی و آزمایشگاهی

۵-۱. مقدمه ۱۱۷

۵-۲. صحت سنجی نتایج مدل سازی عددی ۱۱۷

۵-۲-۱. مقایسه سرعت حالت عددی و آزمایشگاهی ۱۱۷

۵-۲-۲. مقایسه و صحت سنجی با نتایج مطالعات تجربی ۱۲۰

۵-۲-۳. صحت سنجی نتایج عددی توسط نتایج Bose و Hager ۱۲۲

۵-۳. مدل عددی برای حالت ساده در مقایسه با حالت پلکانی ۱۲۳

۵-۳-۱. سرعت در مقاطع مدل عددی در حالت ساده و پلکان ۱۲۳

۵-۳-۲. مقایسه سرعت متوسط درطول سرریز درحالت پلکانی و ساده ۱۲۶

۵-۴. استهلاک انرژی بر روی سرریزهای پلکانی ۱۲۶

۵-۴-۱.تعیین ضریب اصطکاک بر روی سرریزهای پلکانی و هموار ۱۲۷

۵-۴-۲. تعیین میزان انرژی در پنجه سرریز و میزان افت انرژی ۱۲۸

۵-۴-۳. تعیین میزان افت با توجه به ضریب اصطکاک ۱۲۹

۵-۵. مقایسه استهلاک انرژی در حالت پلکانی و ساده ۱۳۰

۵-۵-۱. مقایسه استهلاک انرژی در حالت پلکانی و ساده حالت عددی و آزمایشگاهی ۱۳۰

۵-۵-۲. مقایسه استهلاک انرژی در حالت عددی و آزمایشگاهی و روابط تجربی ۱۳۲

۵-۵-۲-۱. جریان ریزشی ۱۳۲

۵-۵-۲-۲. جریان رویه ای ۱۳۳

۵-۶. اثر تغییرات هیدرولیکی و هندسی ۱۳۵
۵-۶-۱. اثر تغییرات هیدرولیکی ۱۳۶
۵-۶-۲. اثر تغییرات هندسی ۱۳۷
۵-۷ . تعیین پارامترهای موثر بر روی سرریز پلکانی سیاه بیشه ۱۴۱
۵-۸. مبانی اقتصادی استفاده از سرریز های پلکانی ۱۴۳

فصل ششم

جمع بندی و ارائه ی پیشنهادات

۶-۱. نتیجه گیری و جمع بندی ۱۴۶
۶-۲. ارائه پیشنهادات ۱۴۹

منابع

فهرست منابع ۱۵۱

فهرست شکل ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل (۱-۱). سرریز پلکانی سدpedrogao[۷]. ۷

شکل (۱-۲). سرریز پلکانی سدPedrogao [۷] ۸

شکل (۱-۳). نمایی از سرریز پلکانی سد ملتون(استرالیا)[۸]. ۸

شکل (۱-۴) .نمایی از سرریز پلکانی واقع بر رودخانه خالکایی در پایین دست سازه سیفون انتقال آب فومن ۸

شکل (۲-۱). رژیم جریان ریزشی بر روی سرریز پلکانی[۲۹]. ۲۰

شکل (۲-۲). رژیم فرعیNA1 [۳۰]. ۲۱

شکل (۲-۳). رژیم فرعی NA2 [۳۰]. ۲۱

شکل (۲-۴). رژیم فرعیNA3 [۳۰]. ۲۲

شکل (۲-۵). رژیم فرعیNA1 [۳۰]. ۲۴

شکل (۲-۶). جزئیات در هندسه تیغه[۳۰]. ۲۴

شکل (۲-۷). جریانهای ریزشی در سرریزهای پلکانی[۳۱]. ۲۵

شکل (۲-۸). پروفیل طولی سطح آزاد جریان تیغه ای بدون جهش هیدرولیکی (NA۳).جریان ورودی دریچه دار[۳۰]. ۲۷

شکل(۲-۹). رژیم جریان انتقالی[۳۲]. ۲۹

شکل (۲-۱۰). الگوی جریان تبدیلی (TRA)روی شیب ملایم(ناحیه جریان متغیر تدریجی)[۳۰]. ۳۱

شکل (۲-۱۱). الگوی جریان تبدیلی روی شیب های تند(ناحیه جریان متغیر تدریجی)[۳۰]. ۳۲

شکل (۲-۱۲). رژیم جریان غیر ریزشی بر روی سرریز پلکانی[۳۳]. ۳۳

شکل (۲-۱۳). رژیم جریان انتقالی برروی سرریزهای پلکانی. ۳۹

شکل (۲-۱۴). نمودار تغییر جریان از ریزشی به انتقالی و نیز از انتقالی به غیر ۳۹

ریزشی تبدیل از جریان ریزشی به انتقالی [۳۳].

شکل (۲-۱۵). روند تغییر حالت جریان ریزشی بر روی سرریز پلکانی بر حسب تغییرات استغراق نسبی d_c/S و شیب عمومی سرریز $s = \frac{s}{l}$ [۳٤]. ۴۰

شکل (۲-۱۶). نمودار مقایسهٔ بین روابط موجود برای تعیین نوع رژیم جریان ۴۲

شکل (۲-۱۷). نمایی از یک سرریز پلکانی بعنوان سازه تزئینی. ۴۵

شکل (۳-۱). پلان جانمایی سرریز سد سیاه بیشه بالا ۴۸

شکل (۳-۲). مقطع طولی از سازه کنترل سرریز و بخشی از تنداب پلکانی ۴۹

شکل (۳-۳). نمایی از سرریز و سطح شیب دار در مدل[۳۷] ۴۹

شکل(۳-۴). مقاطع مختلف بر روی مدل سرریز سیاه بیشه[۳۷]. ۵۰

شکل (۳-۵). روند جریان روی سرریز و سطح شیب دار در مدل[۳۷]. ۵۱

شکل (۳-۶). شرایط جریان روی سرریز بازای دبی ۲۰۳[۳۷]. ۵۲

شکل (۳-۷) .عملکرد جریان روی تنداب بازای دبی۱۵۰متر مکعب بر ثانیه[۳۷]. ۵۲

شکل (۳-۸). موقعیت نقاط اندازه گیری عمق بازای پارامترهای D۲,D۱وD۳ مقادیر عمق آب (متر) در طول تنداب[۳۷]. ۵۳

شکل (۳-۹). نمود جریان عبوری از روی پله[۳۷]. ۵۳

شکل (۳-۱۰). جریان عبوری از تندآب بازای دبی های 25 و40 m^3/s[۳۷] ۵۴

شکل (۳-۱۱). روند جریان عبوری از تندآب بازای دبی های 60 و 92 m^3/s [۳۷]. ۵۵

شکل (۳-۱۲). روند جریان عبوری از تندآب بازای دبی های 150و 180 m^3/s [۳۷]. ۵۶

شکل (۳-۱۳). روند جریان عبوری از تندآب بازای دبی203 m^3/s [۳۷]. ۵۷

شکل (۳-۱۴). نمود جریان بر سطح تندآب پلکانی در مدل هیدرولیکی[۳۷]. ۵۸

شکل (۳-۱۵). موقعیت مکان اندازه گیری روی سرریز و سطح شیب دار[۳۷]. ۵۹

شکل (۳-۱۶). رژیم فرعی جریان[۳۷]. ۶۳

شکل (۳-۱۷). مقطع طولی حوضچه آرامش[۳۷]. ۶۵

شکل (۳-۱۸) .روند جریان در حوضچه آرامش(گزینه نهایی)[۳۷] ۶۵

شکل(۴-۱). اشکال هندسی مورد استفاده توسط نرم افزار ۶۹

شکل(۴-۲) . تقسیم بندی زیر لایه های مختلف جریان نزدیک دیواره ۸۸

شکل(۴-۳) . مقایسه روش توابع دیوار با روش نزدیک دیوار ۸۹

شکل(۴-۴) . نمایش محل مناسب انتخاب شرط مرزی خروجی ۹۲

شکل (۴-۵). هندسه مدل در حالت پلکانی در نرم افزارgambit ۹۴

شکل (۴-۶). هندسه مدل در حالت ساده در نرم افزار gambit ۹۴

شکل (۴-۷). نمایی از هندسه مدل سرریز سیاه بیشه درنرم افزار فلوئنت Fluent ۹۵

شکل (۴-۸). موقعیت مقاطع مختلف و شرایط مرزی بر روی مدل سرریز سیاه بیشه ۹۶

شکل (۴-۹). قسمتی از مش بندی مدل سریز سیاه بیشه ۹۷

شکل (۴-۱۰). مقدار فازآب پیش بینی شده توسط مدل RSM (تنش رینولدز) ۹۸

شکل (۴-۱۱). مقدار فازآب پیش بینی شده توسط مدل RSM (تنش رینولدز) ۹۸

شکل (۴-۱۲). مقدار پیش بینی فازآب توسط مدل $K-\varepsilon$ استاندارد ۹۹

شکل (۴-۱۳). نتایج خطوط جریان توسط مدل RSM ۹۹

شکل(۴-۱۴). پروفیل های سرعت برای $\phi=30^{\circ}$ ،F$_o$=۴.۰ و h$_o$/s= ۱/۰۴ ..... ۱۰۲

شکل (۴-۱۵). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در دبی ۲۵متر مکعب بر ثانیه ۱۰۵

شکل (۴-۱۶). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در حالت پلکانی و دبی ۶۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۵

شکل (۴-۱۷). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در حالت پلکانی و دبی ۱۵۰متر مکعب بر ثانیه ۱۰۶

شکل (۴-۱۸). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در حالت پلکانی و دبی ۲۰۳متر مکعب بر ثانیه ۱۰۶

شکل (۴-۱۹). کانتور سرعت در حالت پلکانی و دبی ۶۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۷

شکل (۴-۲۰). کانتور فاز آب در حالت ساده و دبی ۲۰۳ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۷
شکل (۴-۲۱). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در حالت ساده و دبی ۲۰۳متر مکعب بر ثانیه ۱۰۷
شکل (۴-۲۲). کانتور فاز آب در حالت ساده و دبی ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۸
شکل (۴-۲۳). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در حالت پلکانی و دبی ۱۵۰متر مکعب بر ثانیه ۱۰۸
شکل (۴-۲۴). کانتور سرعت در حالت ساده و دبی ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۸
شکل (۴-۲۵). کانتور فاز آب در حالت ساده و دبی ۶۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۹
شکل (۴-۲۶). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در حالت پلکانی و دبی ۶۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۹
شکل (۴-۲۷). کانتور سرعت در حالت ساده و دبی ۶۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۹
شکل (۴-۲۸). کانتور فاز آب در حالت ساده و دبی ۲۵ متر مکعب بر ثانیه ۱۱۰
شکل (۴-۲۹). نمودار سرعت در مقاطع مختلف در حالت پلکانی و دبی ۲۵متر مکعب بر ثانیه ۱۱۰
شکل (۴-۳۰). کانتور سرعت در حالت ساده و دبی ۲۵ متر مکعب بر ثانیه ۱۱۰
شکل (۴-۳۱). نسبت طول پرش به عمق ثانویه آن [۴۰]. ۱۱۴
شکل (۴-۳۲). ابعاد اجزای حوضچه آرامش [۴۰]. ۱۱۵
شکل (۵-۱).مقایسه سرعت درطول درحالت عددی و آزمایشگاهی ۱۱۷
شکل (۵-۲) . مقایسه پروفیل های عددی و آزمایشگاهی سرعت در مقطع i ۱۱۸
شکل (۵-۳). مقایسه پروفیل های عددی و آزمایشگاهی سرعت در مقطع k ۱۱۸
شکل (۵-۴). مقایسه پروفیل های عددی و آزمایشگاهی سرعت در مقطع i ۱۱۸
شکل (۵-۵). مقایسه پروفیل های عددی و آزمایشگاهی سرعت در مقطع k ۱۱۹
شکل(۵-۶). پروفیل های سرعت برای $\phi = 30^\circ$ F.=۴.۰۰ و h./s= ۱/۰۴ ..... ۱۲۰
شکل (۵-۷). پروفیل سرعت برای λ=۱۵ , Q=۲۵,q=۱/۲۵,h/l=۰/۳۳ ..... ۱۲۱
شکل (۵-۸). پروفیل سرعت برای λ=۱۵, Q=۶۰,q=۴/۶,h/l=۰/۳۳ ..... ۱۲۱

شکل (۵-۹). پروفیل سرعت برای Q=۱۵۰,q=۷/۵,h/l=۰/۳۳, λ=۱۵ ..... ۱۲۱

شکل (۵-۱۰). پروفیل سرعت برای Q=۲۰۳,q=۱۰,h/l=۰/۳۳ , λ=۱۵ ..... ۱۲۲

شکل(۵-۱۱). مقایسه پروفیل های سرعت بی بعد شده در مقطع fتوسط نتایج عددی و معادله ی hager ۱۲۲

شکل(۵-۱۲). مقایسه پروفیل های سرعت بی بعد شده در مقطع Gتوسط نتایج عددی و معادله ی hager ۱۲۳

شکل (۵-۱۳). پروفیل سرعت برای Q=۲۵ ..... ۱۲۴

شکل (۵-۱۴). پروفیل سرعت برای Q=۶۰ ..... ۱۲۴

شکل (۵-۱۵). پروفیل سرعت برای Q=۱۵۰ ..... ۱۲۵

شکل (۵-۱۶). پروفیل سرعت برای Q=۲۰۳ ..... ۱۲۵

شکل (۵-۱۷). مقایسه سرعت متوسط درطول درحالت پلکانی و ساده ۱۲۶

شکل (۵-۱۸) استهلاک انرژی در حالت پلکانی و ساده ۱۳۰

شکل (۵-۱۹). استهلاک انرژی در حالت عددی و آزمایشگاهی ۱۳۱

شکل (۵-۲۰). استهلاک انرژی در حالت عددی و آزمایشگاهی و روابط تجربی ۱۳۵

شکل (۵-۲۱). استهلاک انرژی به ازای دبی های مختلف در سرریز مورد مطالعه ۱۳۶

شکل (۵-۲۲). پروفیل سرعت برای دبی های مختلف در مقطع f ۱۳۷

شکل (۵-۲۳). پروفیل سرعت برای دبی های مختلف در مقطع i ۱۳۷

شکل (۵-۲۴). مقا یسه استهلاک انرژی در حالت شیب ثابت در تعداد مختلف پله ۱۳۸

شکل (۵-۲۵). مقایسه استهلاک انرژی در حالت شیب متغییر سرریز و تعداد مختلف پله ۱۳۹

شکل (۵-۲۶). مقایسه استهلاک انرژی در شیب های مختلف و تعداد مختلف پله ۱۳۹

شکل (۵-۲۷). مقایسه استهلاک انرژی در حالت شیب ثابت و متغییر در تعداد پله های مختلف ۱۳۹

شکل (۵-۲۸). نمودار نقاط شروع جریان یکنواخت در مقابل اعداد فرود زبری ۱۴۲

شکل (۵-۲۹). حوضچه آرامش سرریز پلکانی مورد مطالعه ۱۴۳

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول شماره۳-۱. مشخصات کلی مدل سرریز پلکانی مورد مطالعه ۴۷

جدول شماره۳-۲. مقادیر انداز ه گیری عمق آب(متر) و سرعت(متر بر ثانیه) در۰/۶ عمق آب از سطح روی سرریز ۶۰

جدول شماره۳-۳. مقادیر سرعت(متر بر ثانیه)در طول تنداب ۶۱

جدول شماره۳-۴. متوسط سرعت در طول تندآب بازای شش دبی ۶۲

جدول شماره۳-۵. تعیین عدد آبشار روی تندآب پلکانی ۶۳

جدول ۴-۱. ثوابت معادله K-ε ۷۳

جدول۴-۲. ثوابت معادله k-ε استاندارد ۷۴

جدول ۴-۳. ثابت های معادله k-ε حالت RNG ۷۶

جدول ۴-۴. ثابت های مدل k-ε محسوس ۷۶

جدول ۴-۵. ثابت های مدل آشفتگی k-ω ۷۷

جدول ۵-۱. میانگین درصد اختلاف نتایج عددی و آزمایشگاهی برای دبی های مختلف سرعت در طول سرریز ۱۱۹

جدول ۵-۲. مقایسه استهلاک انرژی در حالت عددی و آزمایشگاهی ۱۳۱

جدول ۵-۳. محاسبه هزینه اجرای شوت ۱۴۴

جدول ۵-۴. محاسبه هزینه اجرای حوضچه آرامش ۱۴۴

جدول ۵-۵. محاسبه هزینه اجرای تمام شده سرریز ۱۴۴