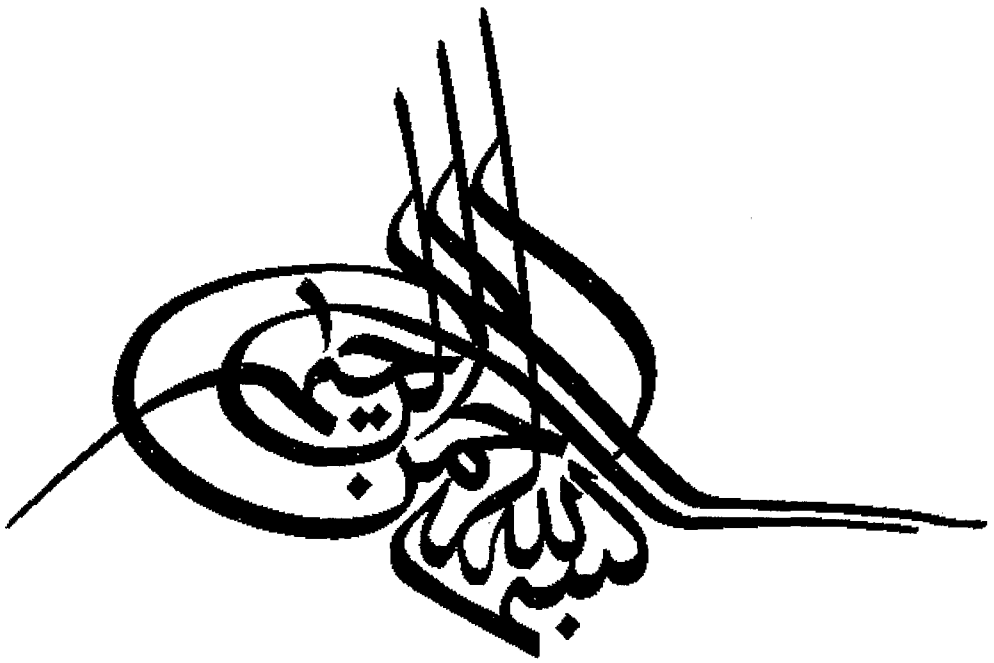


١١٢٨٥٥

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه های آبی

بهینه سازی هندسی سرریزهای پلکانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

استادان راهنما

دکتر فرزین سلماسی

دکتر داود فرسادی زاده

استاد مشاور

دکتر امیر حسین ناظمی

پژوهشگر

فریناز شجاع

۱۳۸۸/۴/۲۲

اطلاعات مدارک علمی یزد

تهیه مدارک

خرداد ۱۳۸۸

۱۱۴۸۵۵

تقدیر و تشکر

سپاس خدایی را سزاست که بشر را به تاج شعور و افسر خرد مقدار داد و بر تارک آفرینش خویش به روی هر موجودی درهای رحمت خود را گشود. می ستایم او را که مرا بر این منت خود نمود و یاریم کرد تا در مسیر زندگی مرحله ای دیگر را با موفقیت پشت سر گذارم. من نیز آنچه بر من است باید بگویم که این همه را پس از لطف و فضل الهی،

مدیون نفسهای گرم مادرم که فیض وجودش مشق عشق زندگی من

و فانوس نگاهش تنها چراغ تاریکی کوچه های بی انتهای دوستان پر صلابت پدرم

که دعای خیرش پر پرواز من برای رسیدن به فرداهاست و نگاه پر عطوفت خواهر عزیزم، بهناز می باشم.

در نهایت خضوع از زحمات استادان راهنمای خود آقای دکتر فرزین سلاسی و دکتر داود فرسادی زاده که در مدت انجام این پژوهش صبورانه مرا راهنمایی نمودند و استاد مشاور گرانقدر آقای دکتر امیر حسین ناظمی را ارج نهاده و از رهنمودها و محبتهای ایشان در تمامی این مدت تشکر و سپاسگذاری می نمایم. همچنین از استاد گرانقدر آقای دکتر علی اشرف صدرالدینی و سایر اساتید محترم گروه مهندسی آب تبریز نهایت تشکر را دارم.

از همه دوستانم، خانمها: فریبا تکرلی، پریوش طوفانی، سهیلا حمزه، یاسمین حسن زاده، شقایق ملا حسینی و تمام عزیزان دیگر و همچنین همکلاسی های عزیزم: خانم پریا شجاعی، آقایان: نیک پور، ورجاوند، خسروی نیا و معیری که در تمام طول تحصیل مرا مورد لطف و مهر خود قرار دادند قدردانی می نمایم. و همچنین مراتب سپاس و قدردانی خود را از آقای مهندس اشرفی، آقای مهندس ترابی، آقای مهندس شمس که در تمام طول تحقیق همواره مرا مورد لطف و عنایت خود قرار دادند اعلام می دارم.

نام خانوادگی: شجاع طلاتپه **نام:** فریناز

عنوان پایان نامه: بهینه سازی هندسی سرریزهای پلکانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

استادان راهنما: دکتر فرزین سلماسی و دکتر داود فرسادی زاده

استاد مشاور: دکتر امیر حسین ناظمی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی آب **گرایش:** سازه‌های آبی **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: کشاورزی **تاریخ فارغ التحصیلی:** خرداد ۸۸ **تعداد صفحه:** ۱۲۰

کلید واژه ها: الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، سرریزهای پلکانی، استهلاک انرژی.

چکیده:

به دلیل اهمیت سرریزهای پلکانی در استهلاک انرژی، توجه به این نوع سرریزها در دهه‌های اخیر افزایش یافته است. استفاده از سرریزهای پلکانی علاوه بر افزایش سرعت عملیات ساخت و بهره برداری، بخش اعظم انرژی جنبشی جریان را کاهش داده و باعث حذف و یا کوچک شدن ابعاد سازه مستهلک کننده انرژی و در نهایت منجر به اقتصادی تر شدن طرح می گردد. در این تحقیق عرض و ارتفاع پله‌ها و همچنین شیب و ارتفاع سرریز به عنوان پارامتر متغیر در نظر گرفته شد و سعی گردید یک روش جامع برای طراحی بهینه سرریزهای پلکانی ارائه شود. بدین منظور یک برنامه کلی در محیط برنامه نویسی Matlab نوشته شد. در این برنامه، به دلیل زیاد بودن تعداد متغیرها و غیر خطی بودن تابع هدف و قیدها و عدم وجود یک رابطه صریح بین متغیرهای تصمیم گیری و تابع هدف از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. یک سرریز پلکانی با ابعاد بهینه، به جای سرریز صاف سد مخزنی ساروق واقع در آذربایجان غربی به عنوان مطالعه موردی پیشنهاد گردید. نتایج بهینه سازی نشان داد که سرریز پلکانی جایگزین شده، منجر به افزایش استهلاک انرژی، حذف و یا کاهش ابعاد مستهلک کننده انرژی در پایین دست سرریز پلکانی گردیده است. همچنین به ازای یک دبی ثابت و شیب‌های مختلف، تغییرات ارتفاع بهینه پله‌ها نا محسوس بوده است. تحلیل حساسیت تابع هدف نشان داد که استهلاک نسبی انرژی بر روی سرریز پلکانی به ازای یک دبی ثابت، مستقل از ارتفاع بهینه پله‌ها بوده و با افزایش شیب سرریز کاهش می یابد. همچنین به ازای شیب‌های ثابت، افزایش دبی جریان منجر به کاهش استهلاک نسبی انرژی و افزایش ارتفاع بهینه پله‌ها می‌شود.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

مقدمه..... ۱

بخش اول: سرریزهای پلکانی..... ۲

۱-۱- تعریف سرریز پلکانی..... ۲

۱-۲- تاریخچه سرریزهای پلکانی..... ۲

۱-۳- مزیت های سرریز پلکانی..... ۳

۱-٤- هیدرولیک جریان در سرریزهای پلکانی..... ٤

۱-٤-۱- رژیم جریان ریزشی یا تیغه ای..... ٤

۱-٤-۲- رژیم جریان شبه صاف یا لغزشی..... ٥

۱-٤-۳- رژیم جریان بینابینی یا تبدیلی..... ۷

۱-٥- معیارهای ارائه شده برای ایجاد جریان شبه صاف..... ۸

۱-٦- تحقیقات انجام گرفته بر روی سرریزهای پلکانی..... ۹

۱- ٦-۱- مدلهای فیزیکی و آزمایشگاهی..... ۹

۱- ٦-۱-۱- مقایسه بین سرریزها ی صاف و پلکانی..... ۱۰

۱- ٦-۱-۲- نوع رژیم جریان..... ۱۲

۱- ٦-۱-۲-۱- استهلاک انرژی در رژیم جریان ریزشی..... ۱۲

۱- ٦-۱-۲-۲- استهلاک انرژی در رژیم جریان شبه صاف..... ۱٤

۱- ٦-۱-۳- ارتفاع پله h..... ۱٦

۱- ٦-۱-٤- تعداد پله ها N..... ۱۷

۱- ٦-۱-٥- شکل هندسی پلکانها..... ۱۸

۱- ٦-۲- روشهای عددی..... ۱۸

۱-٦-۳- الگوریتم طراحی سرریز پلکانی..... ۲۸

بخش دوم: بهینه سازی..... ۳۰

۱-۷- روشهای بهینه سازی غیر خطی..... ۳۰

۱-۷-۱- روشهای گرادیانی..... ۳۰

۱-۷-۱-۱ روش تندترین کاهش..... ۳۰

۱-۷-۱-۲- روش نیوتن- رافسن..... ۳۱

۱-۷-۱-۳- روش دیویدن- فلچر- پاول ۳۲
۱-۷-۲- روشهای جستجوی مستقیم ۳۳
۱-۷-۲-۱- جستجوی فیبوناچی ۳۳
۱-۷-۲-۲- درونیابی درجه دو ۳٤
۱-۷-۳- روشهای جریمه ای و مانعی ۳۵
۱-۷-۳-۱- روش جریمه‌ای ۳٦
۱-۷-۳-۲- روش مانعی ۳٦
۱-۷-٤- روشهای فرا کاوشی ۳۷
۱-۷-٤-۱- الگوریتم ژنتیک ۳۷
۱-۷-٤-۲- تاریخچه الگوریتم ژنتیک ۳۸
۱-۷-٤-۳- برتریهای الگوریتم ژنتیک ۳۹
۱-۷-٤-٤- مراحل عملکرد الگوریتم ژنتیک ٤۰
۱-۷-٤-۵- فضای جستجو ٤۱
۱-۷-٤-٦- روش های کددهی ٤۱
۱-۷-٤-۷- تعیین تابع شایستگی ٤۳
۱-۷-٤-۸- تابع پنالتی (تابع جریمه) ٤۳
۱-۷-٤-۸-۱- مقدمه‌ای بر تابع پنالتی ٤۳
۱-۷-٤-۸-۲- تعریف تابع پنالتی ٤۵
۱-۷-٤-۹- عملگرهای الگوریتم ژنتیک ٤٦
۱-۷-٤-۹-۱- عملگر پیوند ٤٦
۱-۷-٤-۹-۲- عملگر جهش ٤۷
۱-۷-٤-۱۰- روش کار عملگرها ٤۷
۱-۷-٤-۱۰-۱- پیوند و جهش در کددهی دودویی ٤۷
۱-۷-٤-۱۰-۲- پیوند و جهش در کددهی جایگشتی ۵۰
۱-۷-٤-۱۰-۳ پیوند و جهش در کددهی مقدار ۵۰
۱-۷-٤-۱۱- پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۵۱
۱-۷-٤-۱۱-۱- احتمال پیوند ۵۱
۱-۷-٤-۱۱-۲- احتمال جهش ۵۱
۱-۷-٤-۱۱-۳- اندازه جمعیت ۵۲
۱-۷-٤-۱۲- تولید مثل ۵۲

۱-۷-٤-۱۳- انواع روشهای انتخاب ۵۳
۱-۷-٤-۱۳-۱- روش چرخ رولت ۵۳
۱-۷-٤-۱۳-۲- انتخاب روش بولتزمن ۵٤
۱-۷-٤-۱۳-۳- روش رقابتی ۵۵
۱-۷-٤-۱۳-٤- روش رتبه بندی ۵٦
۱-۷-٤-۱۳-۵- روش حالت پایدار ۵٦
۱-۷-٤-۱٤- مفهوم به چینی یا بر گزیده ۵٦
۱-۷-٤-۱۵- شرایط توقف الگوریتم ژنتیک ۵٦
۱-۷-۵- تحقیقات انجام گرفته با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۵۹

فصل دوم: مواد و روشها

۲-۱- بهینه سازی سرریز پلکانی با الگوریتم ژنتیک ٦۱
۲-۱-۱- معرفی تابع هدف و متغیرهای طراحی ٦۱
۲-۱-۲- معرفی قیدهای مسئله ٦۵
۲-۱-۳- بهینه سازی با جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک ٦۸
۲-۱-٤- جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک ٦۹
۲-۱-۵- پارامترها و توابع الگوریتم ژنتیک ۷٤
۲-۲- طراحی بهینه سرریز پلکانی سد مخزنی ساروق(مطالعه موردی) ۷۹
۲-۲-۱- موقعیت جغرافیایی محل احداث سد ۸۰
۲-۲-۲- مشخصات کلی سد و سیستم تخلیه سیلاب ۸۰
۲-۲-۳- تعیین حدود متغیرها و پارامترهای بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک ۸۲
۲-۲-٤- الگوریتم بهینه سازی سرریز پلکانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۸٤

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- نتایج بهینه سازی برای دبی سیل طراحی ۵٦۰/۲ M^3/S ۸٦
۳-۲- نتایج بهینه سازی برای دبی حداکثر سیل محتمل ۷۷٦/۹ M^3/S ۹۱
۳-۳- نتایج بهینه سازی برای سیل با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله ٤۲۲ M^3/S ۹٦
۳-٤- تحلیل حساسیت استهلاک نسبی انرژی نسبت به پارامتر های طراحی ۱۰٤
۳-۵- نتیجه گیری ۱۰۷
۳-٦- پیشنهادات ۱۰۹

منابع مورداستفاده ۱۱۰

ضمایم..... ۱۱٤

فهرست شکل ها

شکل۱-۱- رژیم جریان ریزشی..... ۵

شکل۱-۲- رژیم جریان شبه صاف..... ٦

شکل۱-۳- نواحی جریان در سرریز پلکانی با رژیم شبه صاف..... ۷

شکل۱-٤- تعیین رژیم جریان روی سرریز پله ای..... ۹

شکل۱-۵- مقایسه سرعت در پای سرریز پلکانی و سرریز صاف..... ۱۱

شکل۱-٦- شماتیک سرریز صاف و پلکانی با شیب ثابت و نمایش بزرگی گرداب تشکیل.شده.....
متناسب با تعداد و اندازه پله..... ۱٦

شکل۱-۷- تغییرات استهلاک انرژی نسبی به ازای $\frac{y_c}{h}$ و N..... ۱۷

شکل۱-۸- تغییرات درصد افت انرژی به شدت جریان در شیب های مختلف..... ۲۰

شکل۱-۹- الگوریتم طراحی سرریز پلکانی..... ۲۹

شکل۱-۱۰- نمونه کروموزوم با کددهی دودویی..... ٤۲

شکل۱-۱۱- نمونه کروموزوم با کدگذاری جایگشتی..... ٤۲

شکل۱-۱۲- نمونه کروموزوم با کددهی مقداری..... ٤۲

شکل۱-۱۳- نحوه انجام پیوند تک نقطه ای در کددهی دودویی..... ٤۸

شکل۱-۱٤- نحوه انجام پیوند دو نقطه ای در کددهی دودویی..... ٤۸

شکل۱-۱۵- نحوه انجام پیوند یکنواخت در کددهی دودویی..... ٤۹

شکل۱-۱٦- نحوه انجام پیوند حسابی در کددهی دودویی..... ٤۹

شکل۱-۱۷- نحوه انجام جهش در کددهی دودویی..... ٤۹

شکل۱-۱۸- نحوه انجام پیوند تک نقطه ای در کددهی جایگشتی..... ۵۰

شکل۱-۱۹- نحوه انجام جهش در کددهی جایگشتی..... ۵۰

شکل۱-۲۰- نحوه انجام جهش در کددهی مقدار..... ۵۰

شکل۱-۲۱- نحوه انتخاب براساس چرخ رولت..... ۵۳

شکل۱-۲۲- نحوه انجام انتخاب به صورت ریاضی به شیوه چرخ رولت.....۵۳

شکل۱-۲۳- چرخه عملکرد الگوریتم ژنتیک.....۵۸

شکل ۱-۲٤- فلوچارت عملکرد الگوریتم ژنتیک.....۵۸

شکل۲-۱- الگوریتم طراحی سرریز پلکانی با مقادیر ورودی مشخص.....٦٤

شکل۲-۲- نمودار تغییرات ضریب C برحسب.....٦٧

شکل ۲-۳- شکل شماتیک سرریز پلکانی به همراه پارامترهای بکار رفته برای بهینه سازی.....٦٨

شکل۲-٤- منوی اصلی جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک در MATLAB.....۷۰

شکل۲-۵- موقعیت جغرافیایی سد ساروق.....۸۰

شکل۲-٦- طرح کلی سرریز و سیستم تخلیه سیلاب سد مخزنی ساروق.....۸۲

شکل۲-۷- الگوریتم طراحی بهینه سرریز پلکانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....۸۵

شکل۳-۱- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برای L=۲۳۰M و $Q=۵٦۰/۲ M^3/S$.....۸۷

شکل۳-۲- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برای L=۲۲۰M و $Q=۵٦۰/۲ M^3/S$.....۸۸

شکل۳-۳- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL=۲۱۰ M و $Q=۵٦۰/۲ M^3/S$.....۸۸

شکل۳-٤- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL=۲۰۰ M و $Q=۵٦۰/۲ M^3/S$.....۸۹

شکل۳-۵- طرح نهایی سریز پلکانی با ابعاد بهینه برای دبی طراحی $Q=۵٦۰/۲ M^3/S$.....۹۱

شکل۳-٦- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL= ۲۳۰ M و $Q=۷۷٦/۹ M^3/S$.....۹۳

شکل۳-۷- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL =۲۲۰ M و $Q=۷۷٦/۹ M^3/S$.....۹۳

شکل۳-۸- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL =۲۱۰ M و $Q=۷۷٦/۹ M^3/S$.....۹٤

شکل۳-۹- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL=۲۰۰ M و $Q=۷٦٦/۹ M^3/S$.....۹٤

شکل۳-۱۰- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL=۲۳۰ M و $Q=٤۲۲ M^3/S$.....۹۷

شکل۳-۱۱- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL=۲۲۰ M و $Q=٤۲۲ M^3/S$.....۹۷

شکل۳-۱۲- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL=۲۱۰M و $Q=٤۲۲ M^3/S$.....۹۸

شکل۳-۱۳- نحوه بهبود و همگرایی مقدار تابع شایستگی برایL=۲۰۰M و $Q=٤۲۲ M^3/S$.....۹۸

شکل۳-۱٤- تغییرا ت استهلاک نسبی انرژی نسبت به شیب سرریز..... ۱۰۳
شکل ۳-۱۵- تغییرات استهلاک نسبی انرژی نسبت به Y_C/H..... ۱۰۳
شکل۳-۱٦- تغییرات ارتفاع پله ها نسبت به تغییرات دبی جریان..... ۱۰٤
شکل۳-۱۷- تغییرات استهلاک نسبی انرژی نسبت به ارتفاع پله ها با $Q=٤۰۰\ M^3/S$..... ۱۰۵
شکل ۳-۱۸- تغییرات استهلاک نسبی انرژی نسبت به ارتفاع پله ها با $Q=۵۰۰\ M^3/S$..... ۱۰۵
شکل۳-۱۹- تغییرات استهلاک نسبی انرژی نسبت به ارتفاع پله ها با $Q=۷۰۰\ M^3/S$..... ۱۰٦

فهرست جداول

جدول۱-۱- نتایج حاصل از بهینه سازی سرریز پلکانی(باقری، ۱۳۸۰)..... ۲۲

جدول۲-۱- حدود مورد قبول برای متغیرهای طراحی یا تصمیم گیری در روند بهینه سازی.....۸۳

جدول۲-۲- مقادیر مربوط به پارامترهای الگوریتم ژنتیک.....۸٤

جدول ۳-۱- نتایج بهینه سازی سرریز پلکانی با طول های افقی مختلف و $Q=٥٦٠/٢\ M^3/S$.....۹۰

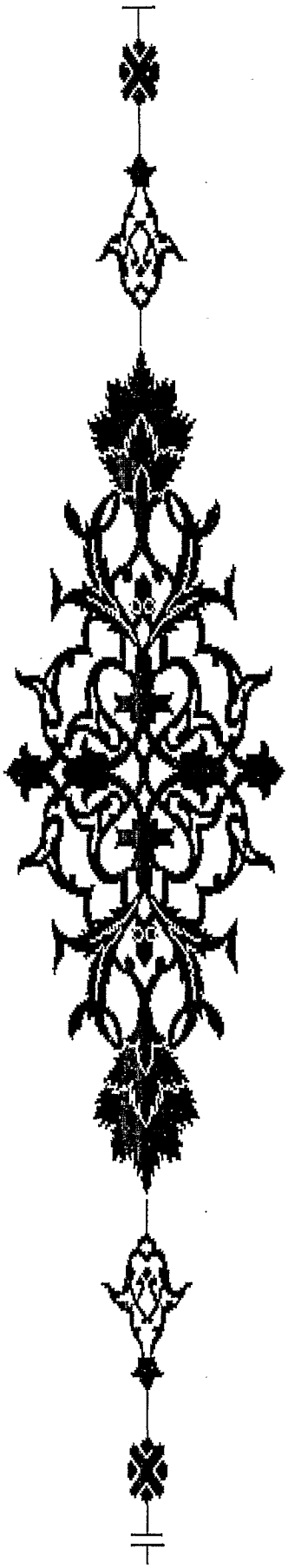
جدول ۳-۲- نتایج بهینه سازی سرریز پلکانی با طول های افقی مختلف و $Q=٧٧٦/٩\ M^3/S$ ۹٥

جدول۳-۳- نتایج بهینه سازی سرریز پلکانی با طول های افقی مختلف و $Q=٤٢٢M^3/S$ ۹۹

جدول ۳-٤- نتایج بررسی تاثیر ارتفاع پله ها در استهلاک نسبی انرژی با $Q=٥٦٠/٢\ M^3/S$.....۱۰۰

جدول۳-٥- نتایج بررسی تاثیر ارتفاع پله ها در استهلاک نسبی انرژی با $Q=٧٧٦/٩\ M^3/S$.....۱۰۱

جدول۳-٦- نتایج بررسی تاثیر ارتفاع پله ها در استهلاک نسبی انرژی با $Q=٤٢٢\ M^3/S$.....۱۰۲



فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

مقدمه

روش‌های مختلفی برای استهلاک انرژی و کاهش اثرات مخرب جریان آب از روی سرریزها وجود دارد. یکی از این موارد، استفاده از سرریزهای پلکانی می باشد. سرریز پلکانی متشکل از پله-هایی است که از نزدیکی تاج سرریز شروع و تا پنجه پایین دست سرریز ادامه دارد. سرریز پلکانی از زمانهای بسیار قدیم مورد استفاده قرار می گرفته و امروزه نیز با شناخت مزایای آن، توجه به ساخت و بهره برداری از این نوع سرریز رو به افزایش گذاشته است. امروزه یک سوم سرریزهای ساخته شده در آمریکا از نوع سرریزهای پلکانی می باشند(بارانی و همکاران،۲۰۰۵).

استهلاک بالای انرژی از جمله مهمترین ویژگی سرریزهای پلکانی به شمار می رود، به طوریکه بخش عظیمی از انرژی جنبشی جریان حین عبور آب از روی پله های متوالی به پایین دست سرریز کاهش می یابد. با احداث سرریزهای پلکانی نیازی به استفاده از سازه‌های مستهلک کننده انرژی در پایین دست سرریز نبوده و یا اینکه منجر به کاهش ابعاد این سازه می گردد. این مسئله باعث کاهش هزینه های مربوط به ساخت و بهره برداری سرریز و سازه‌های مستهلک کننده انرژی در پایین دست سرریز می گردد.

با توجه به اهمیت روز افزون سرریزهای پلکانی تحقیقات زیادی در رابطه با هیدرولیک جریان و عوامل موثر بر استهلاک انرژی، در این سرریزها صورت پذیرفته است. تحقیقات انجام گرفته، مبتنی بر آزمایشات هیدرولیکی بر روی مدلهای فیزیکی بوده و یا مشخصه‌های هیدرولیکی جریان بر روی این سرریز توسط روشهای عددی شبیه سازی شده است. در بین تحقیقات صورت گرفته اوهوتسو و یاسودا(۲۰۰٤)، روشی را جهت طراحی سرریزهای پلکانی، بر اساس مقادیر عرض، شیب، ارتفاع و دبی تخلیه سرریز ارائه نمودند. ارتفاع پله‌ها تنها پارامتر خروجی الگوریتم طراحی سرریز می باشد که با استفاده از این روش محاسبه می شود.

با توجه به پیشرفت علوم کامپیوتری و مطرح شدن بحث بهینه سازی در تمام زمینه ها و از جمله علوم مرتبط با آب و ابداع روشهای مختلف بهینه سازی، تعیین روشی که بتوان با استفاده از آن ابعاد هندسی سرریز پلکانی را به نحوی که بالاترین استهلاک انرژی را ایجاد نماید، لازم و ضروری می باشد. از جمله روشهای بهینه سازی که در سالهای اخیر مورد توجه محققین علوم آب قرار گرفته است، روش الگوریتم ژنتیک است. این الگوریتم از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی می باشد که بر اساس قوانین تکامل طبیعی عمل می نماید. با توجه به اهمیت مطالعه سرریزهای پلکانی و توانایی الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی، هدف از این تحقیق ارائه روشی جامع برای بهینه سازی سرریز پلکانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به نحوی که استهلاک نسبی انرژی بر روی سرریز پلکانی ماکزیمم گردد، می باشد.

بخش اول: سرریزهای پلکانی

۱-۱- تعریف سرریز پلکانی

سرریز پلکانی از پله هایی تشکیل می شود که، از نزدیکی تاج سرریز شروع شده و تا پنجه پایین دست سرریز ادامه دارند. سرریز پلکانی نمونه ساده ای از آبراهه با ضریب زبری بالا می باشد که از یک سری پله های متوالی با اندازه های ثابت یا متغیّر تشکیل شده است.

۱-۲- تاریخچه سرریزهای پلکانی

طرح کانالهای پله ای ریشه در عهد باستان دارد و قدیمی ترین سرریز پله ای حدود ۳۰۰۰ سال پیش ساخته شده است. سرریزهای پله ای جهت تقویت پایداری سازه و استهلاک انرژی طراحی شده اند. قدیمی ترین سرریز پله ای جهان احتمالا سرریز پله ای لبریز شونده آکارنانیا[1] در یونان می باشد که حدود ۱۳۰۰ سال قبل از میلاد مسیح ساخته شده است. سرریز پله ای قدیمی دیگر، مربوط

[1] Akarnania

به سدهای رودخانه خوسر در عراق می باشد. این سدها تقریبا ٦٩٤ سال قبل از میلاد مسیح به وسیله سینا کریپ پادشاه آشور و به منظور تامین آب شهر نینوا پایتخت شهر آشور نزدیک به موصل فعلی در شهر عراق ساخته شده اند(شمسایی و پاک نهال، ١٣٨٤).

سرریزهای پلکانی از زمان های بسیار قدیم و حدود ۳۵۰۰ سال پیش مورد استفاده قرار می گرفته ولی تاکنون برخی از جنبه های هیدرولیکی آنها ناشناخته باقی مانده اند. در دهه های اخیر شناخت تکنولوژی جدید ساخت سدها با کاربرد مصالح بتن غلطکی[1] توسعه و توجه به این سرریز را بیشتر کرده است. زیرا ساخت سرریزهای پلکانی با این نوع تکنولوژی سازگاری مناسبی داشته و همین امر باعث گردیده است، ساخت سرریزهای پلکانی از اهمیت بیشتری برخوردار باشند. در طرحهای نسبتاً جدید مانند سد نیوکورتن[2] که بین سالهای ۱۸۹۲ تا ۱۹۰٦ ساخته شده است و همچنین سد آپر استیل واتر[3] بعد از ۱۹۸۰ و نیز سد مبالی[4]، سرریز پلکانی بکار گرفته شده است (سورنسن،۱۹۸۵).

۱-۳- مزیت های سرریز پلکانی

- از جمله مهمترین مزایای سرریز پلکانی استهلاک زیاد انرژی[5] می باشد. به طوریکه نیاز به سازه پایانه جهت مستهلک نمودن انرژی را کاهش می دهد و یا حتی موجب عدم لزوم استفاده از یک سازه مستهلک کننده مانند حوضچه آرامش، در پنجه سرریز می شود که باعث صرفه جویی زیادی از نظر اقتصادی در ساخت سد می گردد(سورنسن،۱۹۸۵).
- پارامتر مهم دیگری که سرریز پلکانی را از سایر سرریزها متمایز می کند، مسأله هوا دهی جریان روی سرریز می باشد. از جمله مشکلات عمده سرریزها مسأله خلاء زایی است که در نتیجه پدیدهٔ

[1] Roller Compacted Concrete
[2] New croton
[3] Upper Stillwater
[4] M' Bali
[5] Energy dissipation

جدا شدگی جریان به علت سرعت بالای جریان عبوری از روی سرریز حاصل می شود در حالیکه در سرریزهای پلکانی به علت شکل خاص آن و قرار گیری پله ها در بدنه سرریز جریان به صورت طبیعی هوا دهی می شود(راجاراتنام،۱۹۹۰).

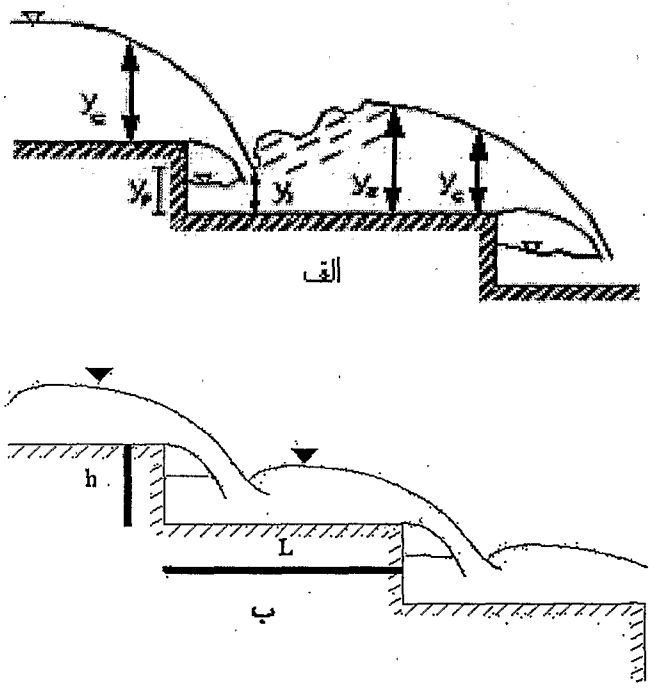
- از مزیت های دیگر سرریز پلکانی ساده بودن شکل آن و مطابقت با تکنولوژی بتن غلطکی *RCC* می باشد. تکنولوژی بتن غلطکی در ساخت سدهای بتنی وزنی بسیار کارا می باشد و باعث تسریع در ساخت سد می گردد. با استفاده از این تکنولوژی، سرریز پلکانی می تواند در طول کل سد اجرا شود. در این صورت کل طول سد در معرض جریان ریزشی قرار می گیرد و تحمل پذیرش دبی سیل بزرگ با ارتفاع آب کم را داشته و از افزایش ارتفاع سد جلوگیری می کند. شایان ذکر است که بتن غلطکی متراکم تحت عنوان بتن بدون نشست که در لایه های افقی ریخته می شود و به وسیله غلطک ویبره متراکم می گردد، نیز خوانده می شود(شمسایی و پاک نهال، ١٣٨٤).
- استفاده از سرریز پلکانی جهت تصفیه آب و ایجاد منظره های زیبا یکی دیگر از مزیتهای این سرریز می باشد(چانسون،۲۰۰۰).

۱-٤- هیدرولیک جریان در سرریزهای پلکانی

۱-٤-۱- رژیم جریان ریزشی یا تیغه ای[1]

در رژیم جریان ریزشی ارتفاع کل سرریز را می توان به تعدادی آبشار قائم تقسیم نمود. رژیم جریان ریزشی در دبی های کم و ارتفاع پله های بزرگ اتفاق می افتد. استهلاک انرژی بر اثر تماس جت جریان با هوا، اختلاط جت روی هر پله و بالاخره در اثر تشکیل جهش هیدرولیکی کامل یا ناقص روی هر پله حاصل می‌شود(شکل۱-۱).

[1] Jet flow or Nappe flow

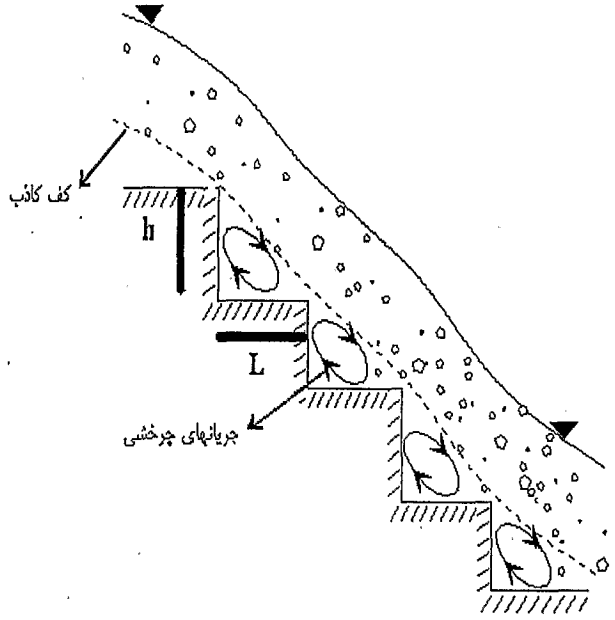


شکل۱-۱- رژیم جریان ریزشی، الف: استهلاک انرژی در نتیجه تشکیل جهش هیدرولیکی، ب: استهلاک انرژی در نتیجه تماس جت جریان با هوا و اختلاط جت روی هر پله(چانسون،۱۹۹٤a)

۱-٤-۲- رژیم جریان شبه صاف یا لغزشی[1]

در این نوع رژیم جریان یک بستر کاذب[2] که آستانه انتهایی پلکانهای متوالی را به یکدیگر متصل می سازد، تشکیل می گردد. در زیر این بستر کاذب جریانهای گردابی تشکیل می گردد، به طوریکه قسمت اعظم انرژی جنبشی جریان در این نوع رژیم، بر اثر ایجاد جریانهای چرخشی در زیر بستر کاذب از بین می‌رود(شکل۱-۲).

[1] Skimming flow
[2] Pseudo -Bottom



شکل۱-۲- رژیم جریان شبه صاف(پگرام و موترام، ۱۹۹۹)

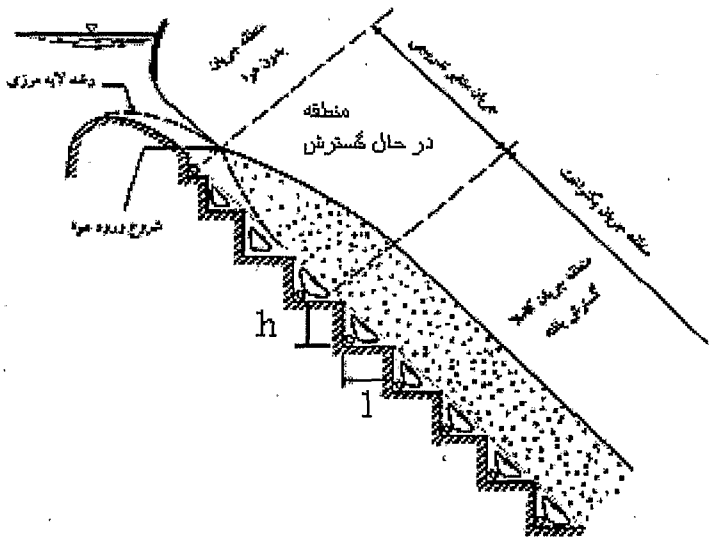
مطابق شکل۱-۳، در این نوع رژیم جریان، ۳ منطقه قابل تمایز وجود دارد:

ناحیه با جریان صاف و بدون هوا[1]

ناحیه در حال گسترش[2]

ناحیه کاملاً گسترش یافته[3]

[1] Clear water region
[2] Developing region
[3] Fully developed region



شکل۱-۳- نواحی جریان در سرریز پلکانی با رژیم شبه صاف(چانسون،b۱۹۹٤)

۱-٤-۳- رژیم جریان بینابینی یا تبدیلی

محدوده ای از رژیم جریان در یک شکل هندسی خاص از سرریز پله ای وجود دارد که واسط بین جریانهای ریزشی با دبی های کم و جریانهای شبه صاف با دبی های زیاد می باشد. این محدوده جریان تحت عنوان رژیم جریان بینابینی خوانده می شود، و حالتی گذرا بین رژیم ریزشی و شبه صاف می باشد. دو رژیم ریزشی و شبه صاف دارای اهمیت قابل توجه بوده، و در مطالعات اکثر محققین مورد بررسی قرار گرفته اند.

هدف از احداث سرریز روی سد انتقال دبی سیلاب به صورت ایمن به پایین دست می باشد، و از آن جاییکه نوع رژیم جریان بوجود آمده در این شرایط بیشتر مواقع از نوع شبه صاف می باشد، به همین دلیل بیشتر معیارها، چگونگی بوجود آمدن جریان شبه صاف را مطرح می کنند.