

می شود. بطور کلی بررسی تغییرات ضریب آبگذری نشان داد با افزایش بازشدگی دریاچه ها مقدار این ضریب، افزایش می یابد. تغییرات عدد فرود نیز نشان داد با افزایش تراز مخزن، مقادیر عدد فرود جریان افزایش یافته، و در یک تراز ثابت از مخزن، با افزایش بازشدگی دریاچه ها، مقدار عدد فرود کاهش می یابد.

واژه های کلیدی: تخلیه کننده تحتانی، دریاچه اضطرابی، دریاچه سرویس، سد، ضریب آبگذری و مدل فیزیکی.

### مقدمه

در مکانیک سیالات، به منظور تعیین دبی عبور کننده از زیر دریاچه ها، از ضریب آبگذری ( $C_d$ )، که به عواملی همچون هندسه دریاچه و لبه آن، شکل هندسی مجرای بالادست، وضعیت جریان و اندازه ارتفاع موثر آب، بستگی دارد و مبین نسبت دبی واقعی ( $Q$ ) به دبی محاسبه شده از تئوری ( $C_p$ ) می باشد، استفاده می شود:

$$C_d = \frac{Q}{Q_t} = \frac{Q}{A\sqrt{2gH}} \quad (1)$$

که در آن  $A$  سطح مقطع بازشدگی دریاچه و  $H$  تراز آب می باشد، که به دو شکل مورد محاسبه قرار می گیرد. در حالت اول، چنانچه اختلاف تراز سطح مخزن بالادست تا محور جت جریان خروجی از دریاچه مد نظر باشد، با تراز مخزن و در حالت دوم چنانچه تراز موثر در روی پیزومتر مرجع، مورد استفاده قرار گیرد، با تراز پیزومتر مرجع سنجیده می شود.

### - ویژگی های پروتوتایپ و مدل

سد مخزنی نرماشیر، یک سد سنگریزه ای با هسته بتنی است که در ۹۷ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بم بر روی رودخانه نرماشیر، با ارتفاع حدود ۱۱۶ متر احداث می شود. حداکثر ارتفاع تراز آب در این سد حدود ۱۱۰ متر خواهد بود. در مقیاس طبیعی، تخلیه کننده این سد از کانالی با مقطع مستطیلی با ابعاد  $۲ \times ۲/۵$  متر و به طول تقریبی ۳۰ متر، که به دهانه ای شیپوری متصل می باشد، تشکیل شده است. در بالادست این دهانه، تونل اصلی قرار دارد که در ابتدای آن دهانه آبگیر ورودی سد واقع می باشد. دهانه آبگیر، جریان پشت سد را وارد یک زانویی کرده و از آنجا جریان به داخل تونلی به طول ۲۴۰ متر با قطر ۶ متر هدایت می شود. در قسمت میانی تونل، نظام کنترل، شامل یک دریاچه کشویی و یک دریاچه اضطرابی قرار دارد. در پایین دست دریاچه ها نیز جریان وارد یک تونل طولانی به طول ۲۴۰

## تعیین آزمایشگاهی ظرفیت آبگذری دریاچه های سرویس و اضطرابی در مجاری تخلیه کننده تحتانی سدها (مطالعه موردی: تخلیه کننده تحتانی سد نرماشیر)

سیداحمدحسینی<sup>۱</sup> و مجتبی صانعی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۸/۰۹

### چکیده

تخلیه کننده ها، مجموعه ای از سازه ها هستند که برای انتقال آب از دریاچه سد به نقاط تخلیه در پایین دست سد به کار می روند. وجود جریان تحت فشار در بالادست دریاچه تخلیه کننده ها، وجود افت انرژی جریان به دلیل عوامل مختلف و همچنین مقادیر ناچیز نسبت بازشدگی دریاچه ی به تراز آب روی دریاچه تخلیه کننده، سبب می شود استفاده از روابط و نتایج به دست آمده از روش های نظری با خطاهای چشمگیری در تعیین عامل های مختلف مربوط به تخلیه کننده ها از جمله مقادیر ظرفیت آبگذری دریاچه ها همراه باشد. بر این اساس نیاز به انجام مطالعات آزمایشگاهی دقیق در این خصوص می باشد.

در این تحقیق پس از طراحی و ساخت مدل فیزیکی مجرا و دریاچه های سرویس و اضطرابی در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، آزمایش های لازم انجام پذیرفت. مقادیر ارتفاع معادل فشار در نقاط مختلف و میزان آبگذری دریاچه در ۶ تراز مخزن و ۱۲ بازشدگی از دریاچه ها، اندازه گیری شد.

نتایج نشان داد روند تغییرات ضریب آبگذری دریاچه سرویس در اختلاف تراز حداکثر، از بازشدگی ۲ تا ۱۰ درصد سیر افزایشی داشته، و از بازشدگی ۱۰ الی ۳۰ درصد، روند کاهشی راطی کرده و در ادامه از بازشدگی ۳۰ تا ۷۰ درصد با آهنگ تا حدودی ملایم روند افزایشی به خود می گیرد و در نهایت از بازشدگی ۷۰ درصد به بالا، سیر افزایش ضریب آبگذری، شیب تندتری به خود می گیرد. این روند در سایر ترازهای مورد آزمایش نیز دیده می شود، لذا آهنگ تغییرات ضریب آبگذری در دو تراز پایینی، از بازشدگی ۵۰ درصد به بالا آغاز

۱- نویسنده مسئول و عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری sahosseini@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

$$C_d = 0.611 \left( \frac{h-a}{h+15a} \right)^{0.072} \quad (2)$$

که در آن: h: تراز مؤثر پشت دریچه و a: ارتفاع بازشدگی دریچه می باشد.

بر کاو<sup>۱</sup>، رابطه زیر را برای محاسبه ضریب افت دریچه (واقع در مجرای تحت فشار ارایه کرده است) (سیمون، ترجمه ۱۳۷۵).

$$K_g = 0.3 + 1.9 \left[ \left( \frac{1}{a/d} \right) - \frac{a}{d} \right]^2 \quad (3)$$

a/d: نسبت بازشدگی دریچه (حاصل تقسیم ارتفاع بازشدگی به ارتفاع دریچه).

همانطور که در این رابطه مشاهده می شود، ضریب افت دریچه به صورت تابعی از بازشدگی دریچه بیان می شود و نشان می دهد این ضریب عدد ثابتی نبوده و با بازشدگی دریچه تغییر می کند. در این پژوهش رابطه ذیل به عنوان رابطه ضریب افت و ضریب آگذری دریچه استخراج گردید:

$$C_d = \sqrt{\frac{1}{1+K_g}} \quad (4)$$

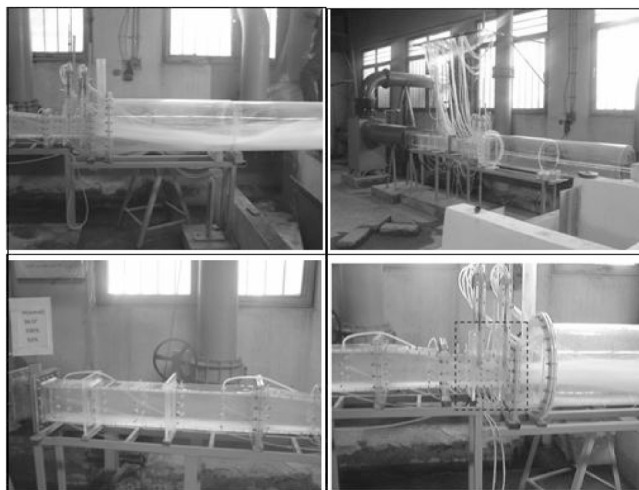
صادقی پور و همکاران [۳]، مدل دریچه ی کشویی تونل تخلیه کننده تحتانی سد مارون را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن را با مدل آیرودینامیکی مقایسه کردند. در این مطالعه از فشارهای اندازه گیری شده حاصله برای محاسبه نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دریچه استفاده شد. نتایج حاصله سازگاری بسیار خوبی با نتایج آزمایش مدل آیرودینامیکی نشان داد. صادقی حسن آبادی [۴]، با آزمایش بر روی دریچه تخلیه کننده سد، تاثیر عوامل مختلفی نظیر افزایش عرض و ارتفاع مقطع مجرا در پایین دست دریچه، وجود

متر با مقطع دایره ای به قطر ۶ متر می شود.

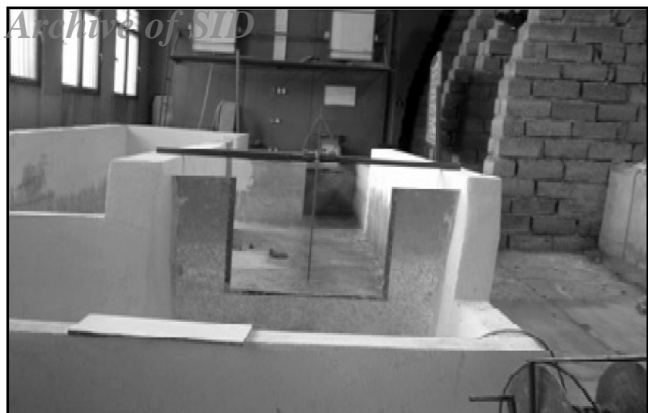
نظام مذکور پس از تشابه سازی عدد فرود، با مقیاس هندسی ۱۵:۱ از جنس پلکسی گلاس در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مدل سازی شد. مدل مجرای تخلیه کننده تحتانی این سد شامل ورودی مجرا به صورت زنگوله ای شکل، مجرای مستطیلی بالادست دریچه اضطراری، دریچه های اضطراری و سرویس از نوع کشویی، مجرای واگرای خروجی و بخشی از مجرای مدور پایین دست آن، می باشد. به منظور تامین ارتفاع آب لازم و دبی مورد نیاز، از یک مخزن استوانه ای با ارتفاع حدود ۱۸ متر، که به وسیله دو پمپ به ظرفیت هر یک ۱۰۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می شد، استفاده گردید. با نصب پیزومتر در محل های مناسب مجرا و اجزای مختلف دریچه ها شامل لبه زیرین و صفحات مقاوم داخل دریچه، امکان اندازه گیری فشار توسط شیلنگ های مانومتر، در نقاط مدنظر فراهم شد. در این مدل، به منظور مقابله با اثرات نامطلوب کاهش فشار در پائین دست دریچه ها، یک لوله هواده بلافاصله در پایین دست دریچه سرویس با قطر ۶ سانتیمتر و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و یک هواده در پایین دست دریچه اضطراری با قطر ۱۱ میلیمتر و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر تعبیه شد.

بخش های مختلفی از مدل فیزیکی تهیه شده در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

ویژگی ها پروتوتایپ: راجاراتنام [۱۰]، با استفاده از یک مدل فیزیکی برای دریچه کشویی، به تعیین ضریب فشردگی جریان، اندازه گیری شکل پروفیل خروجی جریان و سایر عامل های جریان از قبیل فشار و سرعت پرداخت. وی آزمایش های خود را بر روی یک دریچه قایم کشویی از جنس آلومینیوم با ضخامت ۶/۴ میلی متر ب لبه تیز انجام داد. او همچنین شکل پروفیل جریان خروجی را در آزمایش های مختلف برای بازشدگی های متفاوت اندازه گیری و به صورت منحنی هایی رسم کرد. سوامی [۱۲] با مطالعه بر روی جریان عبوری از زیر دریچه های کشویی در مجاری روباز، معادله ای



شکل ۱- تصاویری از بخش های مختلف مجرا، دریچه ها، پیزومترها و تونل خروجی در مدل فیزیکی ساخته شده



شکل ۳- نمایی از سرریز مستطیلی لبه تیز و point gage مربوطه

آمد. شکل (۲) نمایی از توزیع مکانی پیزومترها در مجرای مدل و دریچه‌ها را نشان می‌دهد.

در این آزمایش‌ها بمنظور محاسبه دبی بدین ترتیب عمل شد که ابتدا کلیه اندازه‌گیری‌ها در تراز بیشینه (۱۰۰/۴۷ متر)، نرمال (۹۵/۴۷ متر)، کمینه (۴۹/۰۵ متر) و سه ارتفاع مابین ارتفاع نرمال و کمینه (معادل با ۸۲/۸، ۷۱/۵۵ و ۶۰/۳ متر)، بدون در نظر گرفتن افت‌های مجرای دایروی بالادست صورت گرفت. سپس با توجه به افت‌های محاسبه شده در طول مسیر (مطابق با اشکال (۴) و (۵))، ابتدا یک دبی را فرض کرده و با کسر مقادیر تراز سرعت  $(\frac{v^2}{2g})$  و افت مسیر، از ارتفاع مخزن (در تراز بیشینه)، مقدار فشار خوانده می‌شد، که با استفاده از آن مقدار دبی از روی سرریز خوانده می‌شد. چنانچه مقدار دبی خوانده شده با مقدار فرض اولیه مطابقت داشت همان دبی به عنوان دبی واقعی در بازگشایی مربوطه مدنظر قرار می‌گرفت و در غیر این صورت با سعی و خطا این روند ادامه پیدا می‌کرد، تا نتیجه یکسان بدست می‌آمد.

برای اندازه‌گیری دبی جریان، از یک سرریز مستطیلی لبه تیز با عرض ۶۵ سانتی‌متر، که به روش وزنی کالیبره شده، استفاده شد شکل (۳). بطوریکه عمق جریان خروجی از مجرای تونل، پس از آرام شدن در کانال بتنی، با دقت مناسب توسط Point Gage نصب شده در کنار کانال و در بالادست سرریز لبه تیز اندازه‌گیری می‌شد. ارتفاع آب موثر در مخزن، توسط پمپ‌های ورودی و دو شیر تخلیه‌ی خروجی مخزن، کنترل و تنظیم می‌شد. تراز مورد نظر با استفاده از یک مانومتر قائم متصل به مخزن خوانده می‌شد. با توجه به قطور بودن نسبی این مخزن، نوسان‌های سطح آب در آن به خوبی مستهلک می‌شد و خوانش‌ها از دقت بالائی درحد میلی‌متر، برخوردار بود.

در کلیه این آزمایش‌ها پس از ثبت ارتفاع آب در مخزن، اندازه‌گیری‌های دبی و فشار در پیزومترها، به ازای دوازده بازشدگی از دریچه‌های سرویس و اضطراری (معادل با ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ... و ۱۰۰ درصد) و ترکیبی از بازشدگی دو دریچه، انجام پذیرفت.

یک پله بلافاصله پس از دریچه، برای باز و بسته شدن دریچه، و تاثیر باز و بسته شدن مجرای هوای تعبیه شده در پایین دست دریچه را در میزان آبگذری دریچه در قالب آزمایش‌های مختلف بررسی کرد. وی رابطه زیر را از طریق مدل سازی ریاضی برای آبگذری دریچه مجرای تخلیه کننده به دست آورد:

$$q = a C_c \sqrt{\frac{2g(h - a C_c)}{1 + a C_c^2}} \quad (5)$$

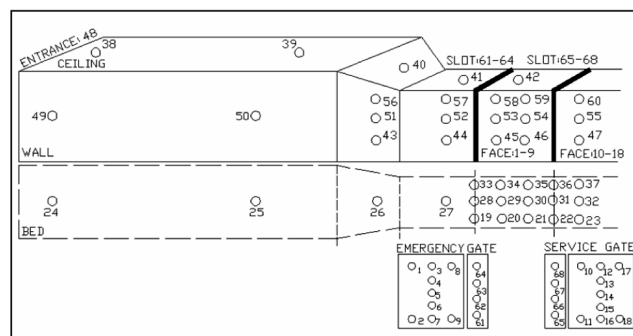
q: دبی در واحد عرض، Cc: ضریب فشردگی، a: ارتفاع بازشدگی دریچه، h: تراز مؤثر روی دریچه.

شایقی (۱۳۷۹)، به بررسی میدان فشار پایین دست یک دریچه کشویی در تخلیه کننده سد، در دو حالت بازشدگی ۳۰ و ۶۰ درصد دریچه و بدون هوادهی جریان، و بازشدگی ۳۰ و ۶۰ درصد دریچه و تزریق درصدهای مختلف هوا به داخل سیستم پرداخت و تاثیر میزان هوادهی بر روی میدان فشار پایین دست دریچه را مورد مطالعه قرار داد. نتایج ارایه شده بیانگر یک ناحیه چرخشی در پایین دست دریچه در حالت بدون هوادهی بوده که در این ناحیه فشار به شدت افت کرده و با نوسانات زیاد همراه است. در حالی که با هوادهی جریان، فشار میانگین افزایش یافته و از شدت نوسانات آن (در فاصله حدود ۵ تا ۲۰ درصد از هوادهی) تا حد زیادی کاسته می‌شود.

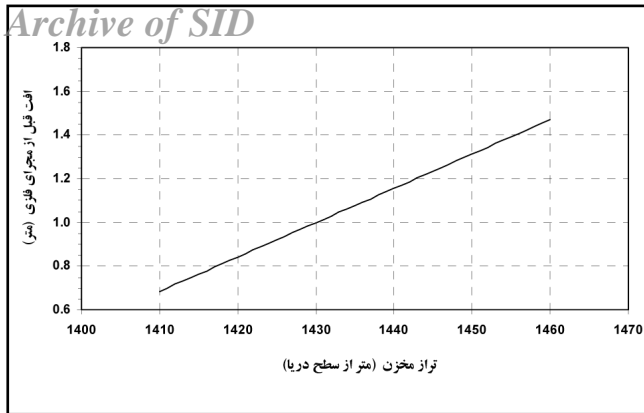
در پژوهش‌های صورت گرفته بر روی مدل‌های فیزیکی، در نظام تخلیه کننده تحتانی سد البرز (۱۳۸۲) و سدگوشان (۱۳۸۳) در داخل کشور و همچنین سدهای ایسلند (۲۰۰۷) و سد فالسیم (۲۰۰۴) توسط ارتش آمریکا در خارج از کشور، روند تغییرات ضریب آبگذری (( در بازشدگی‌های مختلف از دریچه‌ها مورد بررسی و ارزیابی آزمایشگاهی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

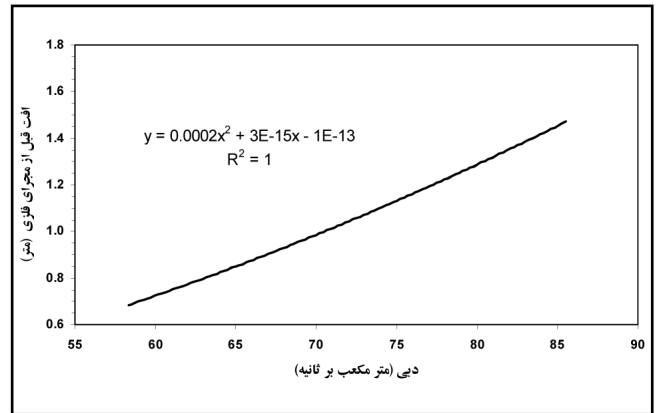
در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری مقادیر متوسط فشار، از تعداد ۶۸ پیزومتر در محل‌های مختلف مجرای مدل تخلیه کننده، با توجه به اهمیت فشار در آن نقاط شامل ورودی، بدنه دریچه‌ها، شیارهای دریچه‌ها، دیواره‌ها، سقف و کف مجرا استفاده به عمل



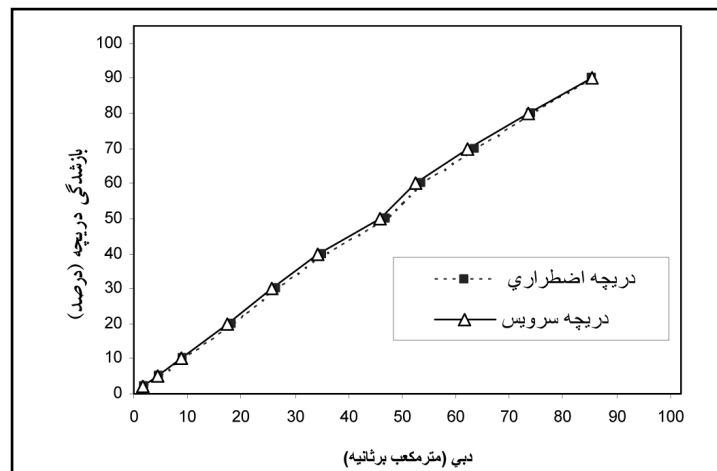
شکل ۲- توزیع مکانی و شماره پیزومترها در مجرای مدل و دریچه‌ها



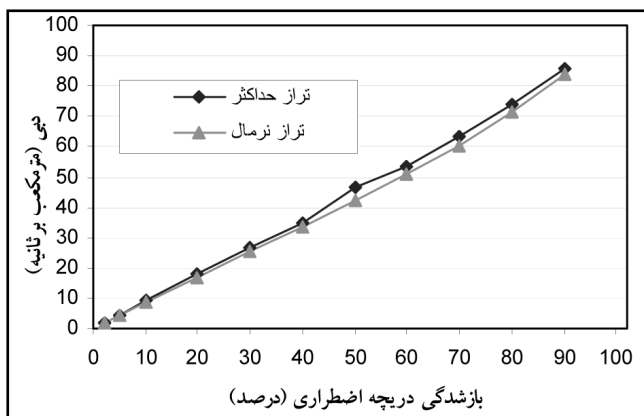
شکل ۵- میزان افت قبل از مجرای فلزی بر اساس تغییرات تراز آب در مخزن



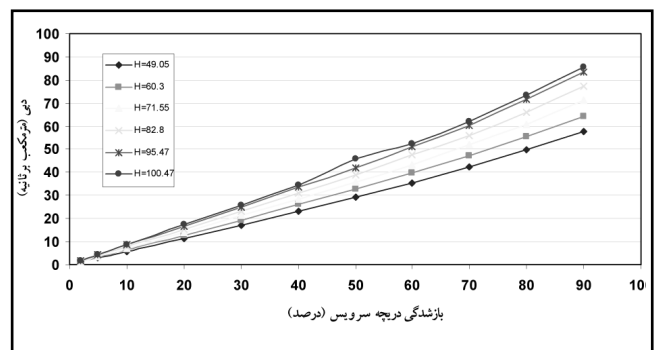
شکل ۴- میزان افت از مجرای فلزی بر اساس تغییرات دبی



شکل ۶- منحنی تغییرات آنگذری دریچه ها در بازشدگی های مختلف



شکل ۸- نمودار تغییرات دبی به ازای بازشدگی های مختلف دریچه اضطراری (در ۱۰۰ درصد بازشدگی دریچه سرویس)



شکل ۷- نمودار تغییرات دبی در ترازهای مختلف به ازای بازشدگی های مختلف دریچه سرویس (در ۱۰۰ درصد بازگشایی دریچه اضطراری)

با توجه به رابطه خطی به دست آمده بین دبی های عبوری خوانده شده و ترازهای مؤثر محاسبه شده متناظر با آن، همانطور که نمودار آن در شکل های (۷) و (۸) نیز نشان داده شده، مقادیر دبی متناظر تعیین شد.

در این پژوهش با توجه به اندازه گیری دبی توسط سرریز تعبیه شده

### بحث و نتیجه گیری

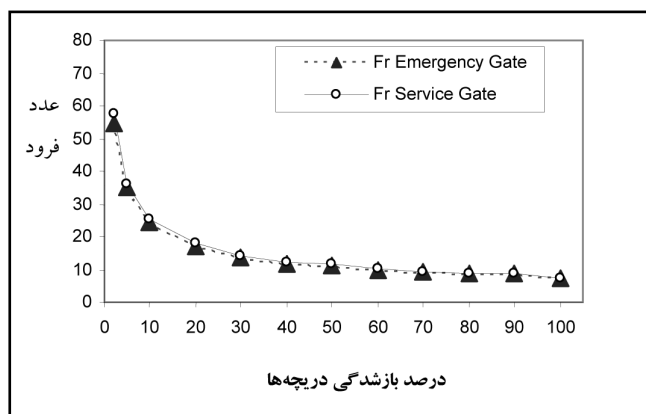
نمودار تغییرات دبی عبوری از مجرا در عملکردهای مختلف دریچه های سرویس و اضطراری در شکل (۶) آمده است. همانگونه که از این شکل ملاحظه می شود میزان دبی عبوری با افزایش بازشدگی دریچه ها، افزایش می یابد.

عدد فرود	ضریب $C_d$	دبی عبوری از دریچه اضطراری ( $m^3/s$ )	عدد فرود	ضریب $C_d$	دبی عبوری از دریچه سرویس ( $m^3/s$ )	تراز آب در مخزن (متر)	بازشدگی دریچه‌ها (درصد)
۸/۷	۰/۷۶۶	۸۵/۵۵	۸/۷	۰/۸۰۲	۸۵/۵۵	۱۰۰/۴۷	۹۰
۹/۰	۰/۷۴۴	۷۳/۹۵	۸/۹	۰/۷۷۵	۷۳/۵	۱۰۰/۴۷	۸۰
۹/۴	۰/۷۳۰	۶۳/۵۲	۹/۲	۰/۷۴۸	۶۲/۰۸	۱۰۰/۴۷	۷۰
۱۰/۰	۰/۷۲۰	۵۳/۶۷	۹/۸	۰/۷۳۹	۵۲/۵۹	۱۰۰/۴۷	۶۰
۱۱/۵	۰/۷۵۴	۴۶/۸۶	۱۱/۳	۰/۷۷۲	۴۵/۷۵	۱۰۰/۴۷	۵۰
۱۲/۱	۰/۷۰۵	۳۵/۰۷	۱۱/۸	۰/۷۲۴	۳۴/۳۵	۱۰۰/۴۷	۴۰
۱۴/۰	۰/۷۱۱	۲۶/۵۰	۱۳/۷	۰/۷۲۶	۲۵/۸۲	۱۰۰/۴۷	۳۰
۱۷/۸	۰/۷۳۷	۱۸/۳۲	۱۷/۰	۰/۷۳۹	۱۷/۵۱	۱۰۰/۴۷	۲۰
۲۵/۲	۰/۷۳۶	۹/۰۵	۲۴/۵	۰/۷۵۲	۸/۹۲	۱۰۰/۴۷	۱۰
۳۶/۲	۰/۷۴۸	۴/۶۵	۳۵/۲	۰/۷۶۳	۴/۵۲	۱۰۰/۴۷	۵
۵۷/۵	۰/۷۵۲	۱/۸۷	۵۴/۹	۰/۷۵۳	۱/۷۸	۱۰۰/۴۷	۲

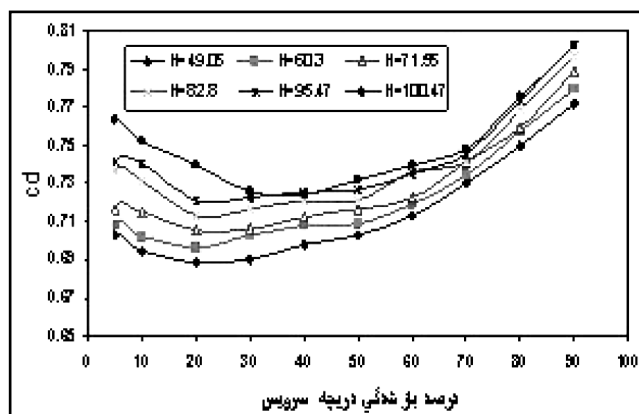
D: مقدار ارتفاع بازشدگی دریچه‌ها می‌باشد. همانگونه که از جدول (۱) ملاحظه می‌شود حداکثر ظرفیت آبگذری مجرا در تراز حداکثر آب، تا حدودی برابر با دبی طراحی پروتوتایپ معادل با ۸۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب روند تغییرات ضریب آبگذری و عدد فرود جریان، در ترازها و بازشدگی‌های مختلف، دریچه سرویس را نشان می‌دهد. همانطوریکه ملاحظه می‌شود روند تغییرات ضریب آبگذری دریچه سرویس در تراز بیشینه از بازشدگی ۳۰ تا ۱۰ درصد سیر افزایشی داشته، و از بازشدگی ۱۰ الی ۷۰ درصد، روند کاهشی را طی کرده و در ادامه از بازشدگی ۳۰ تا ۷۰ درصد با آهنگ تا حدودی ملایم روند افزایشی به خود می‌گیرد و در

در انتهای کانال، ضریب تجربی تخلیه مجرا (،) به طور مستقیم از رابطه ۱ محاسبه شد. جدول (۱) تغییرات ضریب و مقدار آبگذری مجرا در بازشدگی‌های مختلف دریچه سرویس و اضطراری را در تراز بیشینه، نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که به هنگام اندازه‌گیری ضریب برای حالت عملکرد دریچه سرویس در بازشدگی‌های مختلف، دریچه اضطراری به طور کامل باز بوده است و همچنین برای حالت عملکرد دریچه اضطراری در بازشدگی‌های مختلف، دریچه سرویس به طور کامل باز بوده است. مقادیر عدد فرود از رابطه زیر محاسبه شد.

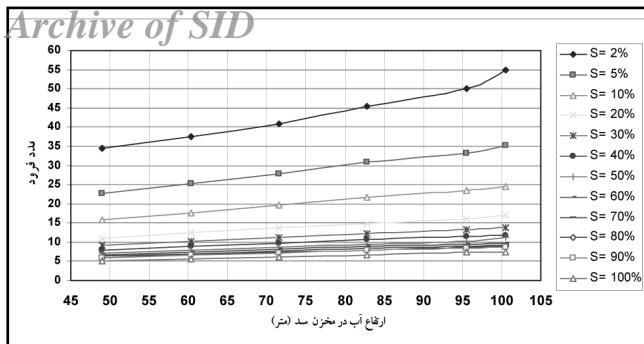
$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (۶)$$



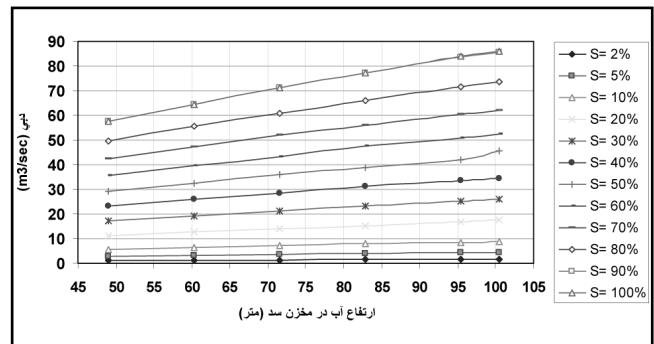
شکل ۱۰ - منحنی تغییرات عدد فرود جریان در بازشدگی‌های مختلف دریچه‌ها



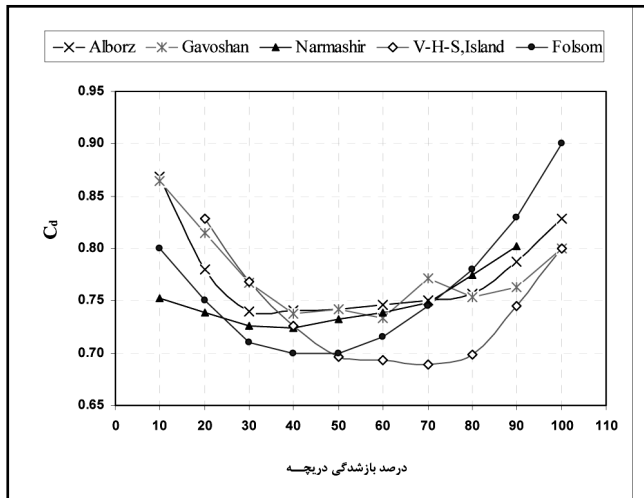
شکل ۹ - منحنی تغییرات ضریب آبگذری دریچه سرویس



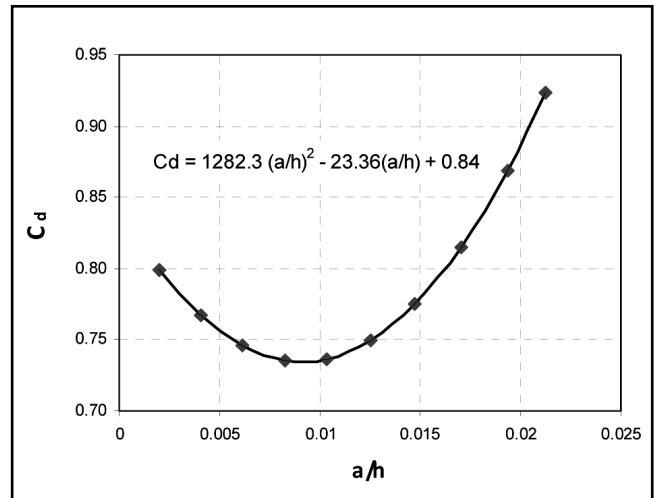
شکل ۱۲ - نمودار تغییرات عدد Fr در تراز و بازشدگی های مختلف دریاچه سرویس (در ۱۰۰ درصد بازشدگی دریاچه اضطرابی)



شکل ۱۱ - نمودار تغییرات دبی - تراز - بازشدگی دریاچه سرویس (در ۱۰۰ درصد بازشدگی دریاچه اضطرابی)



شکل ۱۴ - مقایسه بین منحنی ضریب آبگذری سد نرماشیر با سایر پژوهش‌های انجام شده



شکل ۱۳ - نمودار تغییرات ضریب آبگذری دریاچه

تکراری در نظر گرفته شد. بنابراین، دو عامل بی بعد زیر حاصل شدند:

$$f(C_d, \frac{a}{h}) = 0 \quad (8)$$

بهترین رابطه ممکن بین عامل‌های بی بعد حاصله، یک رابطه چند جمله‌ای از درجه ۲، مطابق رابطه (۹) می‌باشد:

$$C_d = 1282.3 \left(\frac{a}{h}\right)^2 - 23.36 \left(\frac{a}{h}\right) + 0.84 \quad (9)$$

شکل (۱۳)، نمودار مربوط به رابطه (۹) را نشان می‌دهد.

در شکل (۱۴) مقایسه‌ای بین ضرایب دبی به دست آمده در پروژه سد نرماشیر با ضرایب ارایه شده در سایر پژوهش‌های انجام شده در مدل فیزیکی سدهایی همچون البرز، گاوشان، فالسیم و همچنین سد واتسفلد در ایسلند، بیانگر رفتار مشابه تغییرات ضریب آبگذری در بازشدگی‌های مختلف دریاچه (به استثنای بازشدگی‌های ۲ و ۵ درصد) می‌باشد. به این ترتیب که در همه‌ی موارد تا بازشدگی حدود ۴۰ درصد، ضریب آبگذری یک روند کاهشی داشته و سپس تا بازشدگی‌های بالاتر، یک روند افزایشی را طی می‌کند. لذا بیشترین ضرایب مربوط به کمترین و بیشترین بازشدگی‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از تغییرات ضریب آبگذری با روابط ارایه شده توسط

نهایت از بازشدگی ۷۰ درصد به بالا سیر افزایش ضریب آبگذری، شیب تندتری به خود می‌گیرد. این روند در سایر ترازهای مورد آزمایش نیز دیده می‌شود، لذا آهنگ تغییرات ضریب آبگذری در دو تراز پایینی، از بازشدگی ۵۰ درصد به بالا آغاز می‌شود.

شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نمودار تغییرات دبی و عدد فرود جریان را در تراز و بازشدگی‌های مختلف از دریاچه سرویس نمایش می‌دهد. این مقادیر در ۱۰۰ درصد بازشدگی از دریاچه اضطرابی می‌باشد.

به منظور کاربردی نمودن نتایج، پس از انجام تجزیه و تحلیل ابعادی بر روی عامل‌های عمده و مؤثر در ضریب آبگذری مجرا ( $C_d$ )، مشتمل بر دریاچه و ارتفاع بازشدگی دریاچه، نسبت به استخراج رابطه بی بعد اقدام شد براین اساس:

$$f(C_d, a, h) = 0 \quad (7)$$

$C_d$ : ضریب آبگذری

$h$ : اختلاف تراز پشت دریاچه (متر)

$a$ : ارتفاع بازشدگی دریاچه (متر)

که تنها بعد طول در معادله حضور دارد، عامل  $h$ ، به عنوان عامل

سدها و تجهیزات نصب شده بر روی آن برآورد ضرایب افت انرژی می باشد.

- تأثیر عوامل دیگر نظیر تغییر شکل مقطع تخلیه کننده از مستطیل به اشکال دیگر مانند دایره، نعل اسبی و سایر عوامل بر روی میزان آب گذری دریچه، شکل جریان خروجی از دریچه و میزان افت انرژی مشخص شود.

- زوایای دیگر و همچنین اشکال دیگر لبه دریچه، با هدف رسیدن به بهترین عملکرد دریچه مورد بررسی قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه زحمات و حمایت های صورت گرفته توسط ریاست و همکاران محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهادکشاورزی تشکر به عمل می آورند.

### منابع

- ۱- سیمون، آ. ل. ترجمه کاشانیان، ح. ۱۳۷۵. مبانی علم هیدرولیک، انتشارات جزیل.
- ۲- شایقی، ا. ۱۳۷۹. تأثیر هوادهی بر نوسانات فشار در تخلیه کننده های تحتانی. پایان نامه کارشناسی ارشد تأسیسات آبیاری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- صادقی پور، م. ص. مهدی قلی، ح. کاویانی، س. ۱۳۷۷. آزمایش مدل هیدرولیکی دریچه کشویی تونل تخلیه تحتانی سد مارون. پنجمین کنفرانس دینامیک سازه ها. دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک.
- ۴- صادقی حسن آبادی، م. ۱۳۷۸. بررسی ضریب آبگذری دریچه های تخلیه کننده تحتانی با استفاده از روش تجربی و ریاضی. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت.
- ۵- مرکز تحقیقات آب. ۱۳۸۲. مدل هیدرولیکی تخلیه کننده تحتانی سد البرز. گزارش نهائی، وزارت نیرو.
- ۶- مرکز تحقیقات آب. ۱۳۸۳. مدل هیدرولیکی تخلیه کننده تحتانی سد گاوشان. گزارش نهائی، وزارت نیرو.

7- Levin. J. 1995. Hydraulic of Gates and Valves.

8- Novak, P. and Narayanam, R 1990. Hydraulic Structures, Uni win human, Academic Division, Landan.

9- Bansal, R.K. 1997 Fluid mechanics and hydraulic machines, Sixth Edition, P.K.GUPTA Pub. New Delhi- 1/0002 p.p. 750-754

10- Rajaratnam, N. 1977. Flow Immediately Below Sluice Gates. Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol.103, No.4, pp.345-355.

سوامی [۱۲] و برکاو نیز مورد مقایسه قرار گرفت. بطوریکه مشخص شد کاربرد رابطه سوامی، مقادیر ضریب  $C_d$ ، در تراز و بازشدگی های مختلف دریچه سرویس را در محدوده  $0/342$  الی  $0/599$  ارایه می دهد. بطوریکه حداقل مقدار این ضریب مربوط به تراز  $60/3$  متر و بازشدگی  $60$  درصد دریچه سرویس بوده، و حداکثر مقدار آن در تراز  $100/47$  متر و بازشدگی  $2$  درصد دریچه سرویس حادث شده است.

همچنین مقایسه ها نشان داد تغییرات مقادیر ضریب  $C_d$  با استفاده از رابطه برکاو، در تراز و بازشدگی های مختلف دریچه سرویس، در دامنه  $0/003$  الی  $0/85$  متغیر می باشد. به طوری که حداقل مقدار این ضریب در تراز  $100/47$  متر و بازشدگی  $2$  درصد دریچه سرویس به وقوع پیوسته و حداکثر مقدار آن در تراز  $49/05$  متر و بازشدگی  $90$  درصد دریچه سرویس اتفاق افتاده است.

### جمع بندی و ارایه پیشنهادات

- بررسی تغییرات دبی عبوری از مجرا نشان داد که با افزایش بازشدگی دریچه ها میزان دبی، افزایش می یابد.
- بررسی تغییرات ضریب نشان داد که با افزایش بازشدگی دریچه ها مقدار ضریب، ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد.
- روند تغییرات ضریب آبگذری دریچه سرویس در تراز بیشینه از بازشدگی  $2$  تا  $10$  درصد سیر افزایشی داشته، و از بازشدگی  $10$  الی  $30$  درصد، روند کاهشی را طی کرده و در ادامه از بازشدگی  $30$  تا  $70$  درصد با آهنگ تا حدودی ملایم روند افزایشی به خود می گیرد و در نهایت از بازشدگی  $70$  درصد به بالا سیر افزایش ضریب آبگذری، شیب تندتری به خود می گیرد. این روند در سایر ترازهای مورد آزمایش نیز دیده می شود، لذا آهنگ تغییرات ضریب آبگذری در دو تراز پائینی، از بازشدگی  $50$  درصد به بالا آغاز می گردد.
- مقایسه ی ضرایب دبی به دست آمده در این پژوهش با سایر ضرایب ارایه شده در دیگر پژوهش ها، نشان دهنده ی رفتار مشابه تغییرات ضریب آبگذری در بازشدگی های مختلف دریچه (به استثنای بازشدگی های  $2$  و  $5$  درصد) می باشد. لذا بیشترین ضرایب مربوط به کمترین و بیشترین بازشدگی ها می باشد.
- تغییرات عدد فرود نیز نشان داد با افزایش تراز مخزن، مقادیر عدد فرود جریان افزایش یافته، و در یک تراز ثابت از مخزن، با افزایش بازشدگی دریچه ها، مقدار عدد فرود کاهش می یابد.
- به منظور بسط و گسترش هر چه بیشتر پژوهش ارایه شده، در زمینه بررسی عملکرد تخلیه کننده های تحتانی سدها پیشنهادات زیر ارایه می شود.

- در حال حاضر پژوهش های جامعی در زمینه برآورد دقیق میزان افت انرژی ناشی از تجهیزات و عوامل موجود در تخلیه کننده ها همچون تبدیل و دریچه ها وجود ندارد از این رو در حل معادلات جریان نمی توان مقدار دقیق افت انرژی را برآورد کرد. لذا به نظر می رسد یکی از پژوهش های مفید در زمینه تخلیه کننده های تحتانی

14- Vischer, D.L. and W. H. Hager. 1998. Dam Hydraulics, Wiley series in water resources engineering, John Wiley & sons, England.

15- White, F. M. 1994. Fluid Mechanics, 3rd Ed., McGraw-Hill.

16- Wiggert, D.C. 1972. Transient Flow in Free-Surface, Pressurized Systems, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol.98, No.1, pp11-27

11- Reinhold, V. N. 1988. Advanced Dam Engineering; Design, Construction and Rehabilitation, 2nd Ed.

12- Swami, P. K. 1992. Sluice Gate Discharge Equation. Journal of Irrigation & drainage Engineering. ASCE.118 (1).56.60.

13- USCOE (US Army Corps of Engineering). 1980, Hydraulic Design Criteria.