

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده: عمران و معماری

گروه مهندسی عمران – گرایش سازه‌های هیدرولیکی

## **بررسی آزمایشگاهی گرداب و آشغالگیر در آبگیرهای افقی**

**(مطالعه موردی نیروگاه سد گتوند)**

دانشجو: هادی گل محمدی

اساتید راهنما:

دکتر احمد احمدی

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده

استاد مشاور:

مهندس رضا روشن

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

آبان ماه ۸۹



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : عمران و معماری

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای هادی گل محمدی

تحت عنوان:

بررسی آزمایشگاهی گرداب و آشغالگیر در آبگیرهای افقی (مطالعه موردی نیروگاه سد گتوند)

در تاریخ ۱۳۸۹/۰۸/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور:	امضاء	اساتید راهنما:
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی : دکتر احمد احمدی
	مهندس رضا روشن		نام و نام خانوادگی : دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور:
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	مهندس عباس محمدی		دکتر رامین امینی
			نام و نام خانوادگی :
			دکتر سید فضل الله ساغروانی

تقدیم اثر

تقدیم بہ پدر و سوز و مادر مہربانم

بہ پاس تمامی مہربانی ہا و فداکاری ہا نشان.....

## تشکر و قدردانی

اکنون که به یاری خداوند منان توانسته‌ام این پایان نامه را به اتمام برسانم، جا دارد که از تمامی کسانی که به اینجانب در انجام این پژوهش یاری رسانده‌اند، تقدیر و تشکر نمایم.

از اساتید ارجمند آقایان دکتر احمد احمدی و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده که به عنوان اساتید راهنما زحمات فراوانی را در انجام این پژوهش برای اینجانب متحمل شده و راهنمایی‌هایشان چراغ راه من در پیشرفت این تحقیق بوده است، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از تلاش‌ها و زحمات بی‌دریغ مهندس رضا روشن به عنوان استاد مشاور که مشکلات فراوان انجام آزمایشات و تغییرات در مدل آزمایشگاهی را برطرف نموده و همواره در کنارم بوده‌اند سپاسگزار می‌کنم. بر خود لازم می‌دانم که از زحمات سایر عزیزان در گروه هیدرولیک موسسه تحقیقات آب نیز که اینجانب را در انجام پژوهش حاضر یاری رسانده‌اند تشکر نمایم.

در پایان هم از زحمات و جان‌نثاری‌های فراوان **پدر صبور، مادر مهربان** و سایر اعضای محترم خانواده‌ام که سختی‌های فراوانی را در طول دوره تحصیل اینجانب متحمل شده‌اند کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب هادی گل محمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی آزمایشگاهی گرداب و آشغالگیر در آبگیرهای افقی (مطالعه موردی نیروگاه سد گتوند) تحت راهنمایی دکتر احمد احمدی و دکتر محمد رضا جلیلی قاضی‌زاده به عنوان اساتید راهنما و مهندس رضا روشن به عنوان استاد مشاور متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه نتیجه تحقیقات اینجانب بوده در صورت استفاده از نتایج دیگران، مرجع آن را ذکر نموده‌ام.

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد.

همچنین حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیر گذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایش‌ها و نوآوری ناشی از این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب و ...) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

امروزه کشورها به دنبال یافتن راه‌هایی برای پاسخگویی به افزایش مصرف انواع انرژی، از جمله انرژی الکتریکی، بدون آسیب به محیط زیست هستند. یکی از این راه‌ها تولید این انرژی با استفاده از نیروگاه‌های برق‌آبی می‌باشد. هنگام بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی، آب توسط آبیگرهایی از مخزن به سمت توربین هدایت می‌شود که این جریان در ورودی آبیگرها در معرض خطر ایجاد گرداب قرار می‌گیرد. از آنجا که ایجاد گرداب باعث برهم زدن نظم جریان و ورود هوا و آشغال به داخل آبیگر می‌شود لذا شرایط بهره‌برداری از آبیگرها باید به گونه‌ای طراحی شود که جریان‌های گردابی به حداقل رسیده و یا از بین برود. مطالعات زیادی برای جلوگیری از شکل‌گیری گرداب در آبیگرها انجام شده و روش‌های مختلفی جهت کنترل این پدیده ارائه شده است. وجود سازه‌اشغالگیر نیز در ورودی آبیگرهای نیروگاهی لازم و ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه اشغالگیر سطح خالص ورودی آبیگر را کاهش می‌دهد، باعث ایجاد افت در مسیر جریان می‌شود که اندازه‌گیری مقدار این افت نیز جهت طراحی صحیح سازه‌های هیدرولیکی لازم به نظر می‌رسد. با توجه به پیچیده بودن پدیده گرداب و وجود دامنه تغییرات قابل توجه در نتایج به دست آمده از محققین قبلی در این زمینه لزوم بررسی مجدد آن احساس می‌شود

در پژوهش حاضر با ساخت مدل هیدرولیکی آبیگرهای نیروگاه برق‌آبی سد گتوند با مقیاس ۱:۲۵، پدیده گرداب مورد مطالعه قرار گرفته و اثر پارامترهای مختلف بر آن بررسی شده است. این مدل شامل یک مخزن، چهار آبیگر مشابه با مقطع ورودی مستطیل شکل و پمپ‌های تامین دبی می‌باشد. آزمایشات در ترازها و دبی‌های مختلف جهت بررسی پدیده گرداب انجام شده و اثر پارامترهایی چون وجود اشغالگیر، ترکیبات مختلف بهره‌برداری و تغییرات عمق استغراق در فرودهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق همچنین با ساخت ۹ اشغالگیر با درصد گرفتگی‌های مختلف و به

کمم دستگاه اندازه‌گیری فشار دینامیکی ( Transducer ) مقادیر افت آشغالگیرها اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج بدست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که با انتخاب ترکیب بهره‌برداری مناسب که در آن تقارن و یکنواختی خطوط جریان حفظ شود، می‌توان قدرت گرداب‌های احتمالی را در حدود یک درجه کاهش داد. قرار دادن راستای ورودی آبگیر در جهت جریان ورودی و یا کانال تقرب می‌تواند این شرایط را به وجود آورد. همچنین با توجه به انجام آزمایشات فراوان و تحلیل نتایج آزمایش‌های مدل‌های دیگر، روابط تجربی جدیدی بر حسب تغییرات عدد فرود برای محاسبه عمق استغراق بحرانی نسبی آبگیرهای افقی به طور کلی، و یا برای مدل‌های مشابه آبگیر گتوند ارائه شد. وجود آشغالگیر نیز قدرت گرداب‌ها را یک درجه کاهش داده و با اندازه‌گیری مقدار افت آن در گرفتگی‌های مختلف رابطه‌ای جدید بر حسب تغییرات درصد گرفتگی جهت محاسبه مقدار افت آنها ارائه شد.

کلمات کلیدی: سازه‌های هیدرولیکی، نیروگاه برق آبی، آبگیر افقی، گرداب، عمق استغراق، افت

آشغالگیر

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

تعداد مقالات استخراجی از پایان نامه تاکنون دو عدد بوده که عنوان آنها در ذیل آورده شده است. متن کامل مقالات نیز در پیوست ۱ ارائه شده است.

### **1. Investigation of Critical Submergence Depth in Horizontal Intake of Power Plant for Hydro-Electric Dams**

By: H. Golmohammadi M.R. Jalili Ghazizadeh R. Roshan A. Ahmadi

### **2. Discussion**

#### **Experimental study of energy loss through submerged trashracks**

By S. P. CLARK, J. M. TSIKATA, M. HARESIGN Journal of Hydraulic Research, Volume 48, 2010, Issue 1, pp.113-118

Discussers: M.R. Jalili Ghazizadeh, H. Golmohammadi, A. Ahmadi

## فهرست مطالب

۱	فصل اول؛ شناخت و بررسی پدیده گرداب	۱
۲	مقدمه	۲
۳	۱-۱ تعریف گرداب	۳
۴	۲-۱ مکانیزم تشکیل گرداب	۴
۶	۳-۱ انواع گرداب	۶
۹	۴-۱ عوامل موثر بر وقوع گرداب	۹
۱۰	۵-۱ انواع سازه‌های در معرض گرداب	۱۰
۱۵	۶-۱ تاثیر گرداب بر آبگیرها	۱۵
۱۵	۷-۱ عمق استغراق بحرانی	۱۵
۱۷	۸-۱ روش‌های جلوگیری از شکل‌گیری گرداب	۱۷
۱۹	۹-۱ افت‌های هیدرولیکی	۱۹
۲۲	۹-۱ خلاصه فصل اول	۲۲

۲۳	فصل دوم؛ مروری بر مطالعات انجام شده قبلی	۲۳
۲۴	مقدمه	۲۴
۲۴	۱-۲ عمق استغراق بحرانی آبگیر	۲۴
۲۹	۲-۲ تاثیر گرداب بر ضریب آبگذری آبگیر	۲۹
۳۵	۳-۲ استفاده از ابزار ضد گرداب	۳۵
۳۹	۴-۲ محاسبه افت آشغالگیر	۳۹
۴۳	خلاصه فصل دوم	۴۳

۴۴	فصل سوم؛ مجموعه آزمایشگاهی و وسایل اندازه‌گیری	۴۴
۴۵	۱-۳ شرح مدل فیزیکی و نمونه واقعی	۴۵
۴۸	۲-۳ تعیین محدوده مخزن بالادست آبگیرها	۴۸



۳-۳	نحوه انجام آزمایش	۵۱
۴-۳	معرفی ابزارهای اندازه گیری	۵۲
۱-۴-۳	اندازه گیری فشارهای لحظه ای با ترنسدیوسر	۵۳
۲-۴-۳	اندازه گیری تراز سطح آب	۵۵
۳-۴-۳	اندازه گیری دبی جریان	۵۶
۵-۳	اندازه گیری افت آشغالگیر	۵۸
۵۹	خلاصه فصل سوم	
<b>فصل چهارم؛ ارائه نتایج آزمایش های عمق استغراق بحرانی</b>		
۱-۴	بررسی تغییرات عمق استغراق بحرانی با عدد فرود	۶۱
۲-۴	نتایج آزمایشگاهی مدل هیدرولیکی سدهای دیگر	۶۷
۳-۴	تاثیر ترکیبات مختلف بهره برداری	۷۴
<b>فصل پنجم؛ ارائه نتایج آزمایش های تاثیر آشغالگیر بر گرداب</b>		
۱-۵	بررسی تاثیر وجود آشغالگیر بر گرداب	۸۴
۲-۵	محاسبه افت آشغالگیر	۸۷
<b>فصل ششم؛ نتیجه گیری و پیشنهادات</b>		
۱-۶	نتایج	۹۹
۲-۶	ارائه پیشنهاد	۱۰۰
۱۰۲	مراجع:	
۱۰۶	پیوست	

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ گرداب استوانه ای و حلزونی (lugt ۱۹۸۳) ..... ۳
- شکل ۲-۱ ناحیه جریان به سمت آبگیر (۱) و ناحیه مرده (۲) ..... ۵
- شکل ۳-۱ گردابه‌های سطحی و زیرسطحی ..... ۷
- شکل ۴-۱ تقسیم بندی گردابه‌ها بر اساس قدرت آنها ..... ۸
- شکل ۵-۱ شکل گیری گرداب a: عدم تقارن b: تغییر جهت مرزها ..... ۱۰
- شکل ۶-۱ نمونه‌ای از آبگیر نیروگاهی افقی ..... ۱۱
- شکل ۷-۱ نمونه‌ای از آبگیر تحتانی ..... ۱۲
- شکل ۸-۱ سیستم‌های مختلف پمپاژ ..... ۱۳
- شکل ۹-۱ انواع آبگیرها از لحاظ جهت آبگیری (Knauss ۱۹۸۷) ..... ۱۴
- شکل ۱۰-۱ عمق استغراق در آبگیر ..... ۱۶
- شکل ۱۱-۱ عدم تبعیت جریان از مسیر لوله در گشاد شدن ناگهانی ..... ۱۹
- شکل ۱-۲ گسترش هسته هوا در آبگیر (Lugt .۱۹۸۳) ..... ۲۵
- شکل ۲-۲ رابطه بین قدرت گرداب، عمق استغراق، ورود هوا و جریان چرخشی (Knauss ۱۹۸۷) ..... ۲۶
- شکل ۳-۲ نمودار ضریب آبگذری بر حسب عدد گردندگی (Knauss, ۱۹۸۷) ..... ۳۰
- شکل ۴-۲ نمودار ضریب آبگذری بر حسب عدد گردندگی برای نازل های مختلف (Knauss, ۱۹۸۷) ..... ۳۱
- شکل ۵-۲ نمودار ضریب آبگذری بر حسب عدد گردندگی برای لزجت‌های مختلف سیال (Knauss, ۱۹۸۷) ..... ۳۲
- شکل ۶-۲ نمودار ضریب آبگذری بر حسب جریان چرخشی (Knauss, ۱۹۸۷) ..... ۳۲

- شکل ۲-۷ نمودار ضریب آگذری بر حسب عدد رینولدز (Keulegan&Daggett, ۱۹۷۴)..... ۳۳
- شکل ۲-۸ نمودار ضریب آگذری بر حسب عدد گردندگی (Anwar et al., ۱۹۷۸)..... ۳۴
- شکل ۲-۹ مدل فیزیکی آگیرهای نیروگاه شماره ۱ سد شهید عباسپور..... ۳۶
- شکل ۲-۱۰ مقدار ضریب  $K_f$  برای میله‌های مختلف..... ۴۲
- شکل ۳-۱ الف- پلان مدل هیدرولیکی ب- تصویری از مدل هیدرولیکی ساخته شده..... ۴۶
- شکل ۳-۲ الف- پلان چهار آگیر نیروگاه ب- مقطع چهار آگیر نیروگاه..... ۴۷
- شکل ۳-۳ الگوی جریان مشرف به آگیرهای نیروگاه در تراز ۲۳۴ متر سطح آب دریاچه..... ۴۹
- شکل ۳-۴ نقشه جانمایی دهانه‌های آگیر و محدوده مخزن مدل..... ۵۰
- شکل ۳-۵ نمایی از مخزن مدل - صفحات مشبک آرام کننده جریان..... ۵۱
- شکل ۳-۶ طرح شماتیک دستگاه اندازه‌گیری نوسانات فشار..... ۵۴
- شکل ۳-۷ تصویر دستگاه اندازه‌گیری فشار دینامیکی..... ۵۵
- شکل ۳-۸ نمایی از لمینیمتر جهت اندازه‌گیری تراز سطح جریان..... ۵۶
- شکل ۳-۹ نمایی از سرریز مستطیلی جهت اندازه‌گیری دبی..... ۵۷
- شکل ۳-۱۰ نمای ورودی آگیرها با آشغالگیر..... ۵۸
- شکل ۳-۱۱ محل پیزومترهای مورد آزمایش..... ۵۹
- شکل ۴-۱ تغییرات نسبت عمق استغراق بحرانی به قطر با عدد فرود برای روابط مختلف..... ۶۱
- شکل ۴-۲ محدوده ترازهای مورد آزمایش..... ۶۲
- شکل ۴-۳ گرداب نوع ۴ در فرود ۰.۴۰۳..... ۶۳
- شکل ۴-۴ گرداب نوع ۴ در فرود ۰.۴۳۶..... ۶۴
- شکل ۴-۵ گرداب نوع ۳ در فرود ۱.۷..... ۶۴

- شکل ۴-۶ تغییرات نسبت  $h_c/d$  با عدد فرود برای نتایج آزمایش و رابطه ۴-۱ ..... ۶۶
- شکل ۴-۷ الف:مقطع ورودی آبگیر نیروگاه دوم شهید عباسپور(کارون ۱) ب:تصویری از مدل هیدرولیکی اجرا شده ..... ۶۸
- شکل ۴-۸ الف: آبگیر نیروگاه سد کارون ۳ در نمونه واقعی ب:تصویر مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه سد کارون ۳ ..... ۶۹
- شکل ۴-۹ الف:مقطع آبگیر نیروگاه سد سیمره ب: آبگیر نیروگاه سد سیمره در مدل ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۰ الف- مقطع آبگیرهای نیروگاه سد سیاه بیشه ب- تصویر مدل هیدرولیکی آبگیرهای نیروگاه سد سیاه بیشه ..... ۷۱
- شکل ۴-۱۱ مقایسه داده‌های آزمایشگاهی با روابط محققین گذشته ..... ۷۲
- شکل ۴-۱۲ منحنی برازش داده شده (رابطه ۴-۳) با داده‌های آزمایشگاهی ..... ۷۳
- شکل ۴-۱۳ گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری همزمان از آبگیرهای ۱ و ۲ در تراز ۱۸۵ ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۴ گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری همزمان از آبگیرهای ۲ و ۳ در تراز ۱۸۵ ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۵ گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری همزمان از آبگیرهای ۳ و ۴ در تراز ۱۸۵ ..... ۸۰
- شکل ۴-۱۶ گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری از آبگیرها به صورت منفرد در تراز ۱۸۵ ..... ۷۳
- شکل ۵-۱ مشخصات صفحه آشغالگیر نصب شده در ورودی آبگیر ..... ۸۴
- شکل ۵-۲ نمایش محل مقاطع ۱ و ۲ در رابطه ۵-۱ ..... ۸۸
- شکل ۵-۳ آشغالگیر شماره ۱ با گرفتگی ۲۲٪ ..... ۹۰
- شکل ۵-۴ آشغالگیر شماره ۲ با گرفتگی ۳۲٪ ..... ۹۰
- شکل ۵-۵ آشغالگیر شماره ۳ با گرفتگی ۴۲٪ ..... ۹۱
- شکل ۵-۶ آشغالگیر شماره ۴ با گرفتگی ۵۴٪ ..... ۹۱
- شکل ۵-۷ آشغالگیر شماره ۵ با گرفتگی ۶۰٪ ..... ۹۲

شکل ۵-۸ آشغالگیر شماره ۶ با گرفتگی  $2/73\%$ ..... ۹۲

شکل ۵-۹ آشغالگیر شماره ۶ با گرفتگی  $2/84\%$ ..... ۹۳

شکل ۵-۱۰ آشغالگیر شماره ۶ با گرفتگی  $91\%$ ..... ۹۳

شکل ۵-۱۱ نمودار تغییرات مقدار افت با درصد گرفتگی..... ۹۴

شکل ۵-۱۲ تغییرات ضریب بدون بعد افت  $K$  با درصد گرفتگی  $P$ ..... ۹۶

شکل ۵-۱۳ تغییرات  $K$  با درصد گرفتگی  $P$  برای رابطه ۵-۵ و ۲-۱۳..... ۹۶

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲ روابط تجربی محاسبه عمق استغراق بحرانی..... ۲۸
- جدول ۱-۴ اعداد فرود مورد آزمایش و دبی معادل آنها..... ۶۳
- جدول ۲-۴ نتایج آزمایشات اندازه‌گیری عمق استغراق بحرانی..... ۶۵
- جدول ۳-۴ خلاصه‌ای از مشخصات آبگیر سدهای مورد مطالعه..... ۶۷
- جدول ۴-۴ نتایج آزمایشگاهی اندازه‌گیری عمق استغراق نسبی..... ۷۲
- جدول ۴-۵ نتایج آزمایش‌های تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری (دبی ۴۰۰، تراز ۱۸۵)..... ۷۵
- جدول ۴-۶ نتایج آزمایش‌های تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری (دبی ۴۰۰، تراز ۱۹۰)..... ۷۶
- جدول ۴-۷ نتایج آزمایش‌های تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری (دبی ۴۰۰، تراز ۲۰۵)..... ۷۷
- جدول ۱-۵ مقایسه گردابها در ترکیبات مختلف بهره‌برداری با و بدون آشغالگیر (تراز ۱۸۵ دبی ۴۰۰)..... ۸۵
- جدول ۲-۵ مقایسه گردابها در ترکیبات مختلف بهره‌برداری با و بدون آشغالگیر (تراز ۱۹۰ دبی ۴۰۰)..... ۸۶
- جدول ۳-۵ درصد گرفتگی‌های متفاوت آشغالگیرهای مورد آزمایش..... ۸۷
- جدول ۴-۵ نتایج اندازه‌گیری افت آشغالگیر..... ۹۴
- جدول ۵-۵ ضرایب اندازه‌گیری افت در گرفتگی‌های مختلف..... ۹۵

## فهرست علائم

$A_n$	سطح خالص آشغالگیر
$A_n$	سطح ناخالص آشغالگیر
$b$	فاصله بین میله‌های آشغالگیر
$C$	ضریب دبی
$c = \Gamma / 2\pi$	ثابت گردندگی
$D$	قطر مجرای آبگیر
$d$	قطر نازل
$C_d$	ضریب تخلیه سرریز
$f$	ضریب افت دارسی ویسباخ
$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$	عدد فرود
$g$	شتاب گرانش زمین
$H_L$	هد افت
$h$	عمق استغراق در آبگیر
$H_{Lr}$	افت هیدرولیکی آشغالگیر
$\frac{h_c}{D}$ و $S_{cr}$	عمق استغراق بحرانی آبگیر
$k$	ضریب بدون بعد افت
$K_f$	ضریب شکل میله‌های آشغالگیر
$L$	عرض سرریز یا عرض کانال - طول لوله
$N_\Gamma$	عدد بی بعد گردندگی
$p$	درصد گرفتگی آشغالگیر

$P_i$	فشار در نقطه $i$
$Q$	دبی ورودی به آبگیر
$Re = \frac{vd}{\nu}$	عدد رینولدز
$r$	فاصله شعاعی از مرکز گرداب
$t$	ضخامت میله‌های آشغالگیر
$\vec{v}$	بردار سرعت جریان
$We = v \sqrt{\frac{\rho d}{\sigma}}$	عدد وبر
$z$	شیب دیواره بالادست آبگیر
$Z_i$	هد ارتفاع در نقطه $i$
$\beta$	زاویه میله‌های آشغالگیر نسبت به افق (درجه)
$\Gamma$	ثابت گردندگی
$\gamma$	وزن مخصوص آب
$\theta$	زاویه آشغالگیر
$\vec{\xi}$	بردار گردندگی
$\vec{\omega}$	بردار سرعت زاویه‌ای
$\varphi$	زاویه آبگیر نسبت به افق
$\nu$	لزجت سینماتیک سیال
$\sigma$	کشش سطحی سیال
$\rho$	جرم حجمی سیال
$\eta$	ضریب شکل ورودی آبگیر
$\sum h_f$	مقدار کل افت
$\Delta h_{ft}$	افت خالص ناشی از آشغالگیر



**فصل اول**

# **شناخت و بررسی پدیده گرداب**

## مقدمه

افزایش روزافزون انرژی الکتریکی به عنوان یکی از اساسی‌ترین نیازهای زندگی بشر، باعث تولید فراوان این انرژی از روشهای متفاوتی شده است. یکی از پاکترین این روشها، استفاده از نیروگاههای برق آبی می‌باشد. ساخت و بهره‌برداری از نیروگاههای برق آبی در پشت سدها انجام می‌شود، لذا جهت تولید انرژی الکتریکی از این طریق وجود سد بر روی رودخانه ضروری می‌باشد. در کشور ایران ۴۲ سد بزرگ با ظرفیت ذخیره ۳۳ هزار میلیون متر مکعب در حال بهره‌برداری می‌باشد. تمامی نیروگاههای در حال بهره‌برداری در ایران ظرفیتی در حدود ۴۸۰۰۰ مگا وات دارند که تنها ۱۰ درصد برق تولیدی کشور توسط نیروگاههای برق آبی تولید می‌شود.

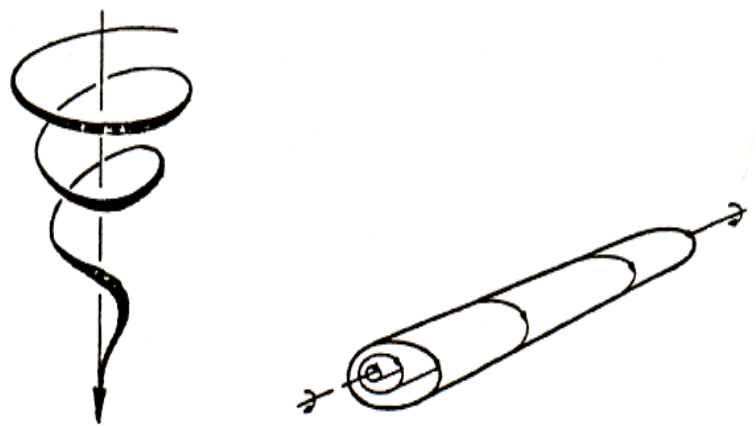
طراحی صحیح سازه‌های هیدرولیکی وابسته به نیروگاههای برق آبی یکی از فعالیتهای مهم در ساخت آنها می‌باشد. در این نیروگاهها، آب توسط آبگیرهایی به سمت توربین هدایت می‌شود لذا این آبگیرها از اجزای اصلی بهره‌برداری از نیروگاه بوده و باید به گونه‌ای طراحی شوند که بیشترین بازدهی و کمترین آسیب پذیری را داشته باشند. جریان آب هنگام انتقال از مخزن به سمت توربینها در ورودی آبگیرها، در معرض خطر ایجاد پدیده گرداب قرار دارد که باعث برهم زدن نظم جریان و ورود هوا و آشغال به داخل تونل آبگیر و صدمه زدن به توربین و سازه‌های مرتبط با آن می‌شود. طراحان این آبگیرها برآنند که این آبگیرها و سازه‌های هیدرولیکی مربوطه را طوری طراحی کنند که زمینه ایجاد پدیده گرداب در آنها به حداقل رسیده و یا از بین برود.

## ۱-۱- تعریف گرداب<sup>۱</sup>

گرداب پدیده‌ای آشنا، اما پیچیده در مطالعات علم هیدرولیک می‌باشد. به طور کلی گرداب، حرکت چرخشی ذرات حول یک مرکز مشخص می‌باشد. در مکانیک سیالات، حرکت ذرات سیال که در آن خطوط جریان به شکل منحنی حول یک محور مرکزی باشند را جریان گردابی<sup>۲</sup> می‌گویند.

گردابها می‌توانند صفحه‌ای یا فضایی باشند. اگر نمایش خطوط گرداب و منحنی مسیر ذرات در هر صفحه عمود بر محور چرخش یکسان باشند، گرداب استوانه‌ای، و از این رو این گردابها را گرداب صفحه‌ای می‌نامند، اما اکثر گردابهای موجود در طبیعت ساختار فضایی دارند یعنی خطوط مسیر عمود بر محور چرخش نیستند اما مولفه‌ای موازی آن دارند و همچنین خطوط مسیر بسته نمی‌باشند. گردابهای حلزونی شکل چنین ساختاری دارند (lugt ۱۹۸۳).

نمونه‌ای از گردابهای صفحه‌ای و فضایی (حلزونی) در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) گرداب استوانه‌ای و حلزونی (lugt ۱۹۸۳)

<sup>۱</sup> -Vortex

<sup>۲</sup> -Vortex flow

جریان‌های گردابی را می‌توان به دو دسته چرخشی<sup>۳</sup> و غیر چرخشی<sup>۴</sup> تقسیم کرد. منظور از جریان غیر چرخشی این نیست که المانهای سیال در مسیر مستقیم حرکت می‌کنند. در هر دو نوع جریان معمولاً المانهای سیال روی مسیرهای انحنادار در حال حرکت هستند. مبنای تشخیص این دو نوع جریان این است که در جریان چرخشی، ذرات سیال حول محورهای آنی خود دوران ولی در جریان غیر چرخشی ذرات سیال حول محورهای آنی خود دورانی ندارند.

برای تشخیص جریان‌های چرخشی و غیرچرخشی یک میدان برداری به نام گردندگی<sup>۵</sup> در داخل سیال تعریف می‌شود که عبارت است از (Kundu, ۱۹۹۰):

$$\vec{\xi} = \text{curl} \vec{v} = 2\vec{\omega} \quad (1-1)$$

در رابطه فوق  $\vec{\xi}$  بردار گردندگی،  $\vec{v}$  بردار سرعت جریان و  $\vec{\omega}$  بردار سرعت زاویه‌ای می‌باشد. اگر  $\vec{\xi}$  صفر باشد جریان غیرچرخشی و در غیر این صورت جریان چرخشی در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که یک میدان گردندگی حتماً ملزم به داشتن یک گرداب نیست (lugt, ۱۹۸۳).

## ۱-۲- مکانیزم تشکیل گرداب

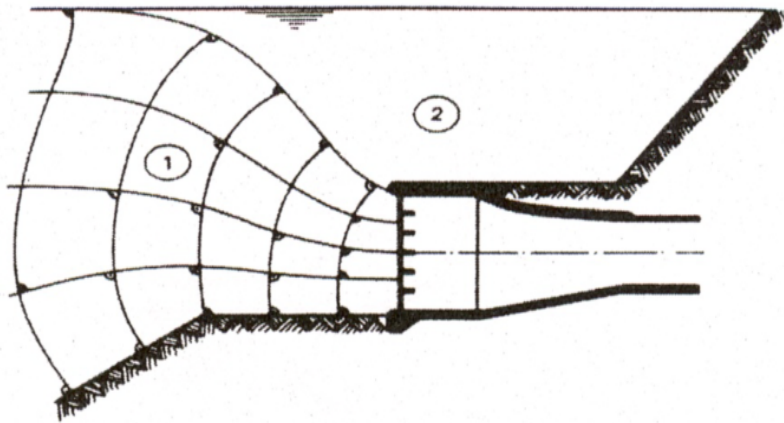
با وجود مطالعات و تحقیقات فراوان در مورد گرداب، هنوز هم مکانیزم تشکیل این پدیده در دهانه آبگیرها به طور کامل و دقیق شناخته شده نیست. گفته می‌شود جریان چرخشی قوی در نزدیکی آبگیرها موجب تشکیل گرداب با هسته هوا می‌گردد که این پدیده به اثر متقابل و پیچیده بین هندسه اطراف آبگیر، سرعت جریان و خصوصیات سیال (مانند ویسکوزیته و کشش سطحی) بستگی دارد.

<sup>3</sup> -Rotational

<sup>4</sup> -Irrotational

<sup>5</sup> -Circulation

حرکت توده آب در اطراف آبگیر یکنواخت نبوده و در آن می‌توان دو ناحیه مجزا را تشخیص داد. جریان در ناحیه اول مستقیماً به سمت دهانه ورودی حرکت می‌کند و در ناحیه دوم عملاً جریانی به سمت ورودی مشاهده نمی‌شود. این قسمت به صورت یک منطقه مرده و ساکن عمل می‌نماید (شکل ۱-۲). اختلاف در توزیع سرعت دو ناحیه مذکور باعث ایجاد تنش‌های برشی در مرز دو ناحیه شده و به تشکیل گرداب می‌انجامد (Knauss, ۱۹۸۷). این بیان اگرچه صحیح به نظر می‌رسد ولی بیانگر کلیت آنچه به وقوع می‌پیوندد نیست. در واقع، تشکیل گرداب در دهانه آبگیرها، در نتیجه بقای مومنتوم زاویه‌ای در محل تبدیل جریان از حالت سطح آزاد به حالت تحت فشار می‌باشد. مومنتوم زاویه‌ای یک ذره با سرعت زاویه‌ای آن و فاصله آن از مرکزی که دوران حول آن صورت می‌پذیرد وابسته است.



شکل (۱-۲) ناحیه جریان به سمت آبگیر (۱) و ناحیه مرده (۲)

با وقوع گرداب سیال با سرعت‌های مماسی بالا وارد آبگیر می‌شود و در نتیجه فشار در اطراف محور دوران کاهش یافته و سطح آب پایین می‌افتد. اگر کاهش فشار زیاد باشد هسته هوا در عمق آب

پایین تر می‌رود و با کاهش بیشتر، فشار در دهانهٔ آبگیر به فشار زیر اتمسفر، هستهٔ هوا گسترش یافته و به داخل آبگیر می‌رسد.

### ۱-۳- انواع گرداب

گردابه‌های تشکیل شده در دهانهٔ آبگیرها بر اساس معیارهای مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که از جمله این تقسیم‌بندی‌ها بر اساس سه معیار زیر است (Knauss ۱۹۸۷):

- محل وقوع گرداب نسبت به آبگیر
- از لحاظ وابستگی به زمان (مدت زمان تشکیل و پایداری گرداب)
- بر اساس شکل یا قدرت گرداب

- گردابه‌ها بر اساس محل وقوع به دو دستهٔ زیر تقسیم می‌شوند:

الف- گردابه‌های سطحی<sup>۶</sup> که گردابه‌هایی هستند که از سطح آب تشکیل شده و می‌توانند باعث ورود هوا به داخل جریان شوند.

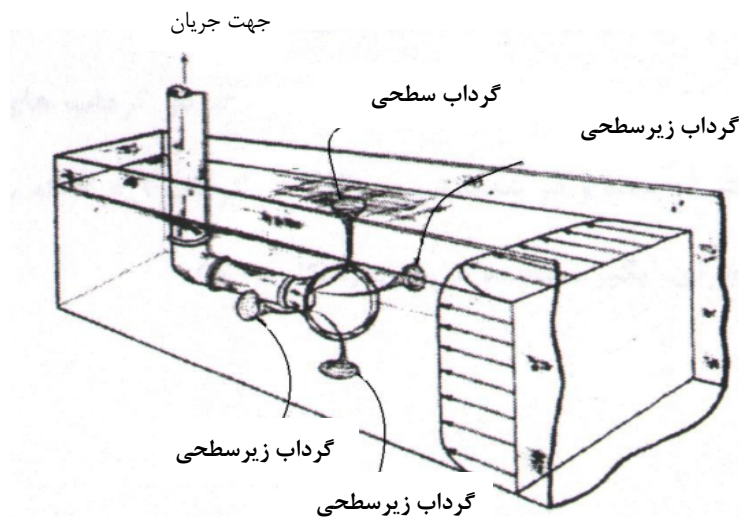
ب- گردابه‌های زیرسطحی<sup>۷</sup> یا مستغرق که از کف یا دیواره‌های مستغرق آغاز شده و فقط جریان چرخشی را به داخل آب می‌برند.

در شکل (۱-۳) انواع گردابه‌های سطحی و زیر سطحی نشان داده شده است.

---

<sup>6</sup> - Surface vortices

<sup>7</sup> -Subsurface vortices



شکل (۱-۳) گردابه‌های سطحی و زیرسطحی

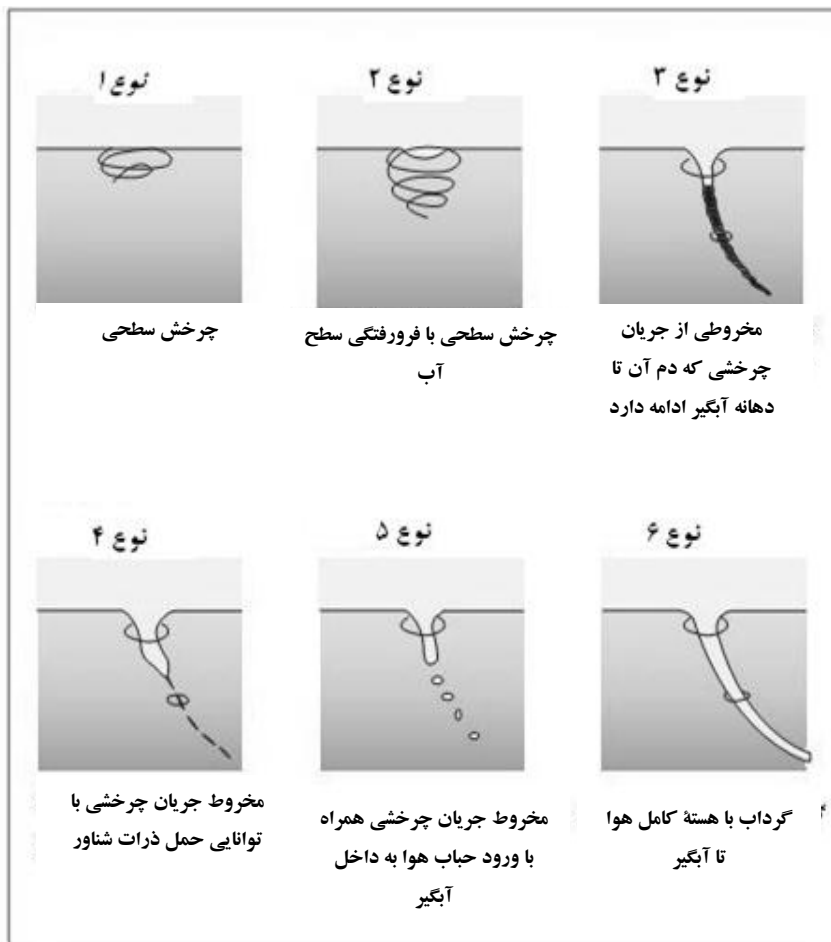
- از نظر وابستگی به زمان، گردابها به دو دسته گردابه‌های پایدار و یا ناپایدار تقسیم می‌شوند که گردابه‌های پایدار، گردابه‌هایی هستند که تکامل یافته بوده و تقریباً شکل یکنواختی به خود گرفته‌اند. این گروه از گردابها معمولاً در مناطق دور از دیواره‌ها، مثلاً در دهانه آبگیری که در وسط مخزن قرار دارد تشکیل می‌شوند. گردابه‌های ناپایدار گردابه‌هایی هستند که مدام شکل گرفته و از بین می‌روند و نمی‌توان آنها را برای مدت کوتاهی به طور مستمر مشاهده کرد. این نوع گرداب معمولاً با یک حرکت منحنی شکل همراه است.

- طبقه‌بندی گرداب بر اساس قدرت آنها در سال ۱۹۸۱ توسط Hecker انجام شد که در این طبقه‌بندی، گردابها به شش گروه طبقه‌بندی می‌شوند که شرح آنها به صورت زیر است:

- گردابه‌های نوع یک محدود به چرخش‌هایی در سطح آب می‌شوند.
- در گردابه‌های نوع دو فرورفتگی‌های کوچکی در سطح آب مشاهده می‌شود اما مسیر چرخش مواد رنگی را نمی‌توان مشاهده کرد.
- در گردابه‌های نوع سه فرورفتگی در سطح آب همراه با نمایان بودن مسیر چرخش با کمک ماده رنگی می‌باشد.

- گردابه‌های نوع چهار توانایی کشیدن ذرات شناور به داخل آبگیر را نیز دارا می‌باشند.
- در گردابه‌های نوع پنج علاوه بر کشیدن ذرات شناور، حباب‌های هوا نیز به داخل آبگیر کشیده می‌شوند.
- گرداب نوع شش که قویترین نوع گرداب در این تقسیم‌بندی می‌باشد و به گرداب مرکب رانکین معروف است، قادر به تشکیل یک تونل جریان چرخشی با هستهٔ هوا<sup>۸</sup> از سطح آب تا دهانهٔ آبگیر و یا حتی تا داخل تونل آبگیر می‌باشد.

در شکل (۴-۱) انواع گردابها بر اساس قدرت آنها نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) تقسیم بندی گردابها بر اساس قدرت آنها (Knauss, ۱۹۸۷)

<sup>8</sup> -Air core



## ۱-۴- عوامل موثر بر وقوع گرداب

از میان عوامل متعدد موثر بر تشکیل گرداب شاید بتوان مهمترین آنها را عدم تقارن جریان ورودی<sup>۹</sup> و تغییر در جهت مرزها و کم بودن عمق استغراق دانست. در شکل ۱-۵ تغییر در جهت مرزها و عدم تقارن جریان ورودی ملاحظه می‌شود. البته در مواردی که هندسه آبگیر کاملاً متقارن و جریان ورودی توزیع یکنواخت دارد نیز امکان تشکیل گرداب وجود دارد.

از جمله عوامل موثر در تشکیل گرداب در دهانه آبگیرها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. جریان نزدیک شونده به آبگیر به صورت نامتقارن

۲. ناپیوستگی در مرزها

۳. توسعه لایه مرزی

۴. نیروهای برشی در مرزها

۵. جریان در نقطه ایست کامل

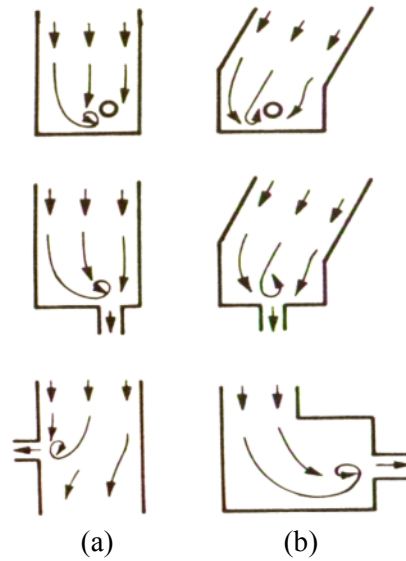
۶. جریان ثانویه

۷. کم بودن عمق استغراق بحرانی

از میان عوامل ذکر شده کاهش عمق استغراق نیز نقش تاثیر گذاری را نسبت به سایر موارد دارد و در ساخت آبگیرها سعی می‌شود تا آبگیر در محلی طراحی و ساخته شود که حداکثر عمق استغراق را داشته باشد. از طرف دیگر در طراحی و ساخت آبگیر باید عوامل دیگری چون ورود رسوبات و..... را نیز در نظر گرفت، لذا برای افزایش عمق استغراق محدودیتهای جدی ممکن است وجود داشته باشد.

---

<sup>۹</sup> -Approach flow



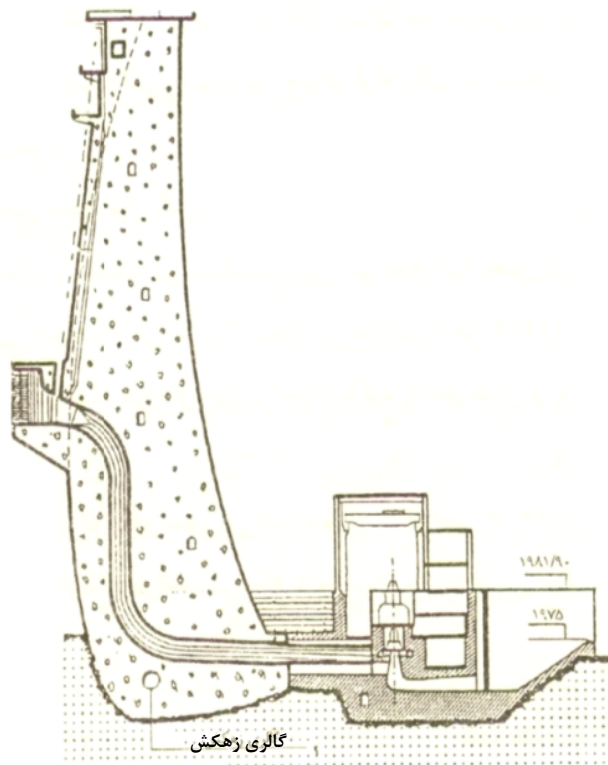
شکل (۵-۱) شکل‌گیری گرداب a: عدم تقارن b: تغییر جهت مرزها

## ۵-۱- انواع سازه‌های در معرض گرداب

انواع مختلف آبگیرها، که به اهداف مختلفی ساخته می‌شوند، در معرض خطر گرداب قرار دارند که در ادامه موارد با اهمیت شرح داده می‌شوند.

### الف- آبگیرهای نیروگاهی

این آبگیرها که موضوع اصلی بحث در این پایان نامه نیز می‌باشند مستقیماً به وسیله یک لوله تحت فشار به توربین وصل می‌شوند و به منظور تامین انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند و ممکن است به دو صورت افقی و یا قائم ساخته شوند. در شکل (۶-۱) آبگیر نیروگاهی افقی قرار گرفته در بدنه یک سد نشان داده شده است.



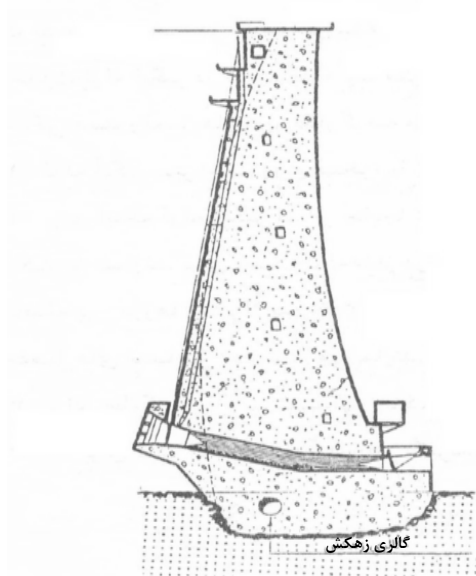
شکل (۱-۶) نمونه‌ای از آبگیر نیروگاهی افقی

### ب- آبگیرهای انتقالی

این آبگیرها، آبگیرهایی هستند که آب را مستقیماً به توربین نمی‌برند بلکه آن را به یک سازه انتقالی مانند کانال، نهر و یا تونل منتقل می‌کنند.

### ج- آبگیرهای تحتانی از مخزن

در مواردی که عمق آب در مخزن سد زیاد باشد، برای مصارف آب در پایین دست و همچنین جهت تخلیه سد در موارد اضطراری و گاهی برای تخلیه رسوبات انباشته شده در مخزن سد از این آبگیرها استفاده می‌شود که هنگام بهره‌برداری ممکن است در معرض خطر گرداب قرار گیرند. در شکل (۱-۷) یک نمونه آبگیر تحتانی نشان داده شده است.



شکل (۷-۱) نمونه‌ای از آبگیر تحتانی

#### د- آبگیر سیستم‌های پمپاژ

چنانچه آبگیری از مخزن به صورت پمپاژ انجام شود، این کار ممکن است به یکی از سه حالت

نشان داده شده در شکل ۸-۱ انجام شود. در شکل ۸-۱،

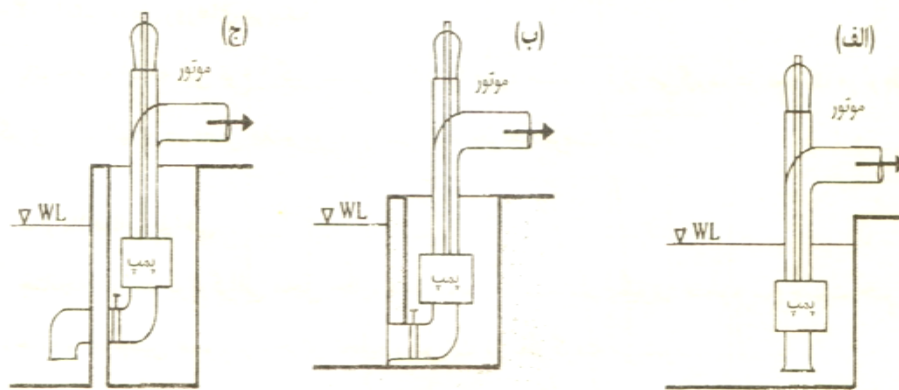
شکل (الف): آبگیری در حالتی که دهانه آبگیر و پمپ در داخل مخزن قرار دارند انجام می‌شود.

شکل (ب): آبگیری در حالتی که دهانه آبگیر و پمپ در خارج مخزن قرار دارند انجام می‌شود.

شکل (ج): آبگیری در حالتی که دهانه آبگیر در داخل مخزن و پمپ در خارج از مخزن قرار دارند

انجام می‌شود،

را نشان می‌دهد.



شکل (۸-۱) سیستمهای مختلف پمپاژ

در این نوع آبیگری باید با توجه به موقعیت قرارگیری پمپ و قدرت آن، طراحی می‌بایست به صورتی انجام شود تا از ورود هوا و تشکیل گردابه‌های مخرب جلوگیری گردد.

آبیگرها می‌توانند بر اساس جهت آبیگری و ورود یا عدم ورود لوله آبیگر به داخل مخزن نیز تقسیم‌بندی شوند.

بر اساس جهت آبیگری، آبیگرها مطابق شکل ۱-۹ به پنج دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند

(Knauss ۱۹۸۷):

الف- آبیگرهای قائم رو به پایین که در مواردی مانند سرریزهای نیلوفری استفاده می‌شوند.

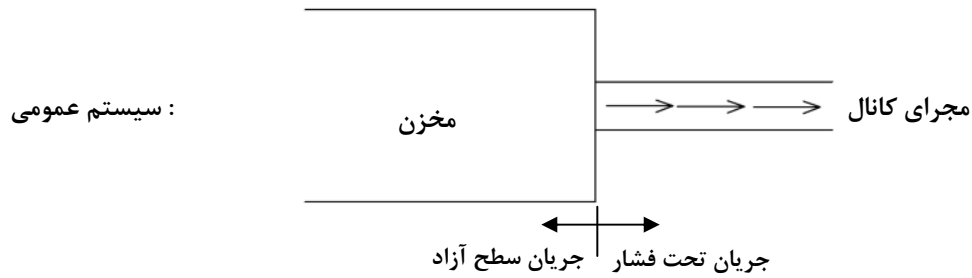
ب- آبیگرهای شیب دار به سمت پایین

ج- آبیگر افقی که بیشترین استفاده را در آبیگری از سدها و آبیگرهای نیروگاهی دارد.

د- آبیگرهای شیب دار به سمت بالا

ه- آبیگرهای قائم روبه بالا که در پمپ‌ها استفاده می‌شود.

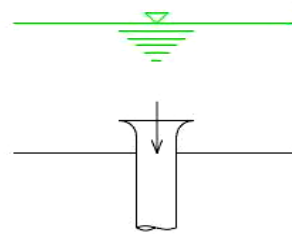
در شکل (۹-۱) انواع آبیگرها از لحاظ جهت آبیگری به ترتیب نشان داده شده است.



### تمایز ساختمانی

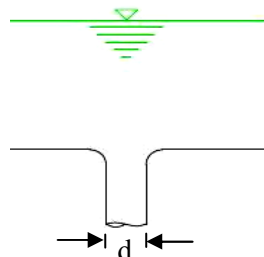
(a)

آبیگر به صورت پیش رونده به داخل مخزن می باشد



(b)

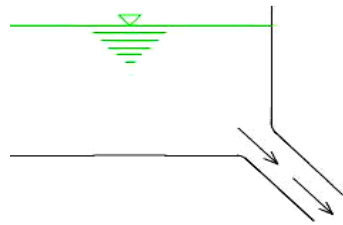
آبیگر در دیواره یا کف مخزن واقع شده است



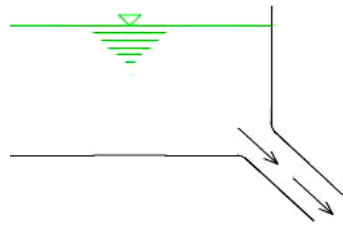
طبقه بندی عمومی از

لحاظ جهت آبیگر

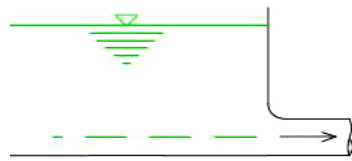
۱- عمودی به سمت پایین



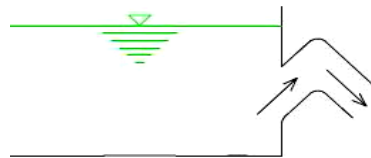
۲- شیب دار سمت پایین



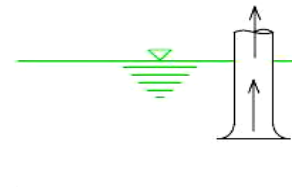
۳- افقی



۴- شیب دار سمت بالا



۵- عمودی به سمت بالا



شکل (۹-۱) انواع آبیگرها از لحاظ جهت آبیگری (Knauss ۱۹۸۷)

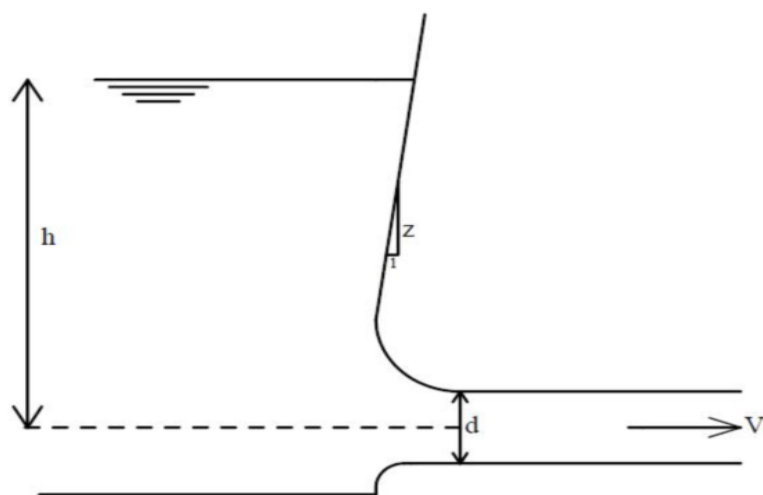
## ۱-۶- تاثیر گرداب بر آبگیرها

تشکیل گرداب بر روی آبگیر نیروگاهها و پمپها مشکلاتی را ایجاد می کند که این مشکلات را می توان به صورت زیر خلاصه کرد (Knauss ۱۹۸۷):

- ۱- کاهش میزان آبگیری و یا دبی آبگیر و افزایش افت انرژی.
  - ۲- نیاز به اعمال هد اضافی در دهانه آبگیر جهت تامین دبی مورد نظر و جلوگیری از تشکیل گرداب، و بلا استفاده ماندن حجمی از مخزن.
  - ۳- مکش اجسام شناور به داخل مجرا که می تواند باعث آسیب دیدن دهانه، مجرا و یا توربین شود.
  - ۴- کاهش راندمان آبگیری ناشی از جریان گردابی و یا به علت تمهیدات لازم برای جلوگیری از وقوع گردابها.
  - ۵- ایجاد ارتعاش و سروصدا در توربین و آسیب رساندن به نشیمن گاهها.
  - ۶- کاهش راندمان توربین به علت ورود هوا یا جریان چرخشی.
  - ۷- اعمال بار غیرمتقارن به پره های پمپ یا توربین به علت جریان چرخشی و امکان تخریب آنها.
- پیامدهای ذکر شده ناشی از ایجاد گرداب، باعث می شود تا مهندسیین برای از بین بردن و یا ایجاد نشدن گرداب تمهیداتی را انجام دهند.

## ۱-۷- عمق استغراق بحرانی

معمولا منظور از عمق استغراق در آبگیرهای افقی فاصله بین محور آبگیر تا سطح آب می باشد که در شکل (۱-۱۰) نشان داده شده است. در این شکل  $h$  نشان دهنده عمق استغراق،  $D$  نشان دهنده قطر آبگیر و  $Z$  شیب دیواره بالادست آبگیر می باشد.



شکل (۱۰-۱) عمق استغراق در آبگیر (Golmohammadi et al., ۲۰۱۰)

برای جلوگیری از تشکیل گرداب در آبگیرها و یا کاهش قدرت آن روشهای متفاوتی وجود دارد که یکی از این روشها می تواند مواجه شدن گرداب با حجم زیادی از آب باشد. بدیهی است که اگر قدرت چرخش گرداب بر نیروی لازم برای حرکت توده آب فائق آید گرداب به وقوع می پیوندد و در غیر این صورت گرداب اتفاق نمی افتد. فاصله محور آبگیر تا سطح آب که تامین کننده حجم آب برابر با قدرت گرداب می باشد، عمق استغراق بحرانی آبگیر « $S_{cr}$ » نامیده می شود. عمق استغراق بحرانی برای هر آبگیر بسته به شرایط هندسی و جهت آبگیری آن متفاوت خواهد بود. در واقع عمق استغراق بحرانی، حداقل عمق استغراقی است که در آن گرداب با هسته هوا اتفاق نمی افتد.

اگر قدرت گرداب کم و یا عمق استغراق زیاد باشد ممکن است در سطح آب فقط یک فرورفتگی ایجاد شود (گرداب نوع ۱ و ۲)، برای گردش قوی تر یا عمق استغراق کمتر فرورفتگی به یک هسته هوا تبدیل خواهد شد (گرداب نوع ۵ و ۶).



اگر در یک حداکثر تراز مشخص، هسته هوا از سطح آب به داخل آبگیر کشیده شود، عمق استغراق بحرانی مشخص می‌شود، پس از آن هوا وارد جریان شده و گرداب قوی با هسته هوا (نوع شش) تشکیل می‌گردد.

## ۱-۸- روشهای جلوگیری از شکل‌گیری گرداب

با توجه به پیچیده بودن مکانیزم تشکیل گرداب، روشهای مختلفی برای از بین بردن و یا جلوگیری از این پدیده پیشنهاد شده است. از جمله روش‌های از بین بردن و یا کاهش قدرت گرداب، اصلاح هندسی کانال تقرب و محل قرارگیری دهانه آبگیر جهت از بین بردن عوامل غیر یکنواخت کننده جریان نزدیک شونده به سمت آبگیر می‌باشد.

از دیگر روش‌های جلوگیری و یا کاهش قدرت گرداب، استفاده از انواع مختلف ابزار ضد گرداب در دهانه آبگیر می‌باشد. این ابزار معمولاً با کاهش سرعت جریان در مجاورت آبگیر و طولانی‌تر کردن مسیر جریان بین سطح آزاد و دهانه ورودی آبگیر، باعث تضعیف یا حذف گرداب می‌شوند. ابزارهای ضد گرداب مختلفی با عملکردهای متفاوت برای انواع آبگیرها وجود دارد که با توجه به عوامل شکل-گیری گرداب و نحوه تضعیف یا حذف، هر یک از این روش‌ها، انتخاب می‌شوند.

از انواع مختلف ابزار ضد گرداب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- سقف شناور با سطح صاف

۲- سقف شناور با سطح زبر

۳- شبکه شناور

۴- سرپوش مشبک ثابت شده بر روی پیشانی آبگیرها

۵- دیواره قائم عمود بر جریان نزدیک شونده به آبگیر

۶- دیواره قائم موازی با جریان نزدیک شونده به آبگیر

۷- دیواره قائم به صورت زاویه‌دار نسبت به جریان نزدیک شونده به آبگیر

۸- سازه نیم استوانه‌ای شکل مشبک در جلوی دهانه آبگیر

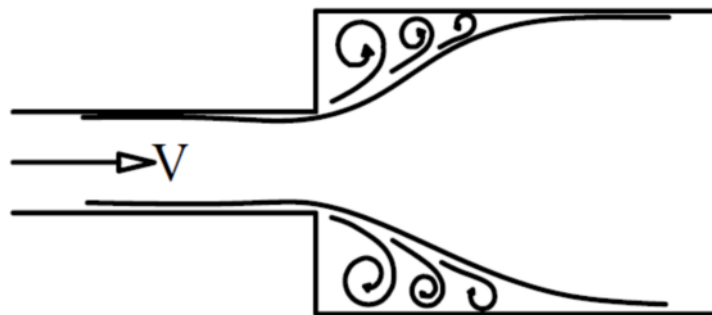
۹- سازه نیم استوانه‌ای شکل با تیغه‌های عمودی در جلوی دهانه آبگیر

به طور مثال صفحه افقی مشبک، با یکنواخت کردن جریان و قطع مخروط گرداب توسط عناصر شبکه باعث استهلاک گرداب می‌گردد در صورتی که صفحه افقی یکپارچه، با پوشاندن محدوده تشکیل گرداب و انتقال آن به محدوده‌ای دورتر باعث طولانی‌تر شدن خطوط جریان بین دهانه آبگیر و سطح آب شده و موجب کاهش قدرت یا حذف گرداب می‌شود.

یکی دیگر از روشهای تضعیف و یا حذف پدیده گرداب، مواجهه این پدیده با حجم زیادی از آب و یک مسیر طولانی برای رسیدن به دهانه آبگیر می‌باشد که این کار با افزایش عمق استغراق (قرار گیری آبگیر در ترازهای پایینتر) امکان پذیر است. از طرف دیگر عمق استغراق زیاد باعث بلا استفاده ماندن حجم زیادی از آب مخزن در جهت تولید انرژی می‌شود. از طرفی ساخت آبگیر در ترازهای پایین‌تر هزینه و مشکلات بیشتری را در بر دارد (Gulliver et al., ۱۹۸۶). لذا باید حداقل عمق استغراق بحرانی جهت جلوگیری از گرداب به طور دقیق تعیین شود. حداقل عمق استغراق بحرانی می‌تواند با کمک روشهای آزمایشگاهی و یا روابط تجربی تعیین و در طراحی حداقل تراز بهره‌برداری مورد استفاده قرار گیرد تا جنبه اقتصادی طرح نیز رعایت شود.

## ۱-۹- افتهای هیدرولیکی

جریان آب هنگام عبور از مخزن به تونل آبگیر دچار افت هد می‌شود. افتها به طور کلی به دو دسته افتهای موضعی و یا افتهای اصطکاکی تقسیم می‌شوند. افتهای اصطکاکی ناشی از تماس ذرات با جداره های مقطع می‌باشد که در مواقعی که هیچ گونه پدیده موضعی نیز در مسیر جریان موجود نباشد وجود دارند، افت موضعی نیز در مقاطع بسته در جریان تغییر شکل مقطعی که جریان برقرار است ایجاد می‌شود که این تغییر شکل می‌تواند تغییر قطر مقطع، جهت آن و یا وجود یک عامل موضعی دیگر در داخل مقطع باشد که در ادامه به صورت خلاصه ذکر می‌شوند. در این شرایط تبعیت نکردن جریان عبوری از تغییر شکل مقطع علت اصلی ایجاد افت می‌باشد که در شکل ۱-۱۱ نمونه‌ای از این عدم تبعیت نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۱- عدم تبعیت جریان از مسیر لوله در گشاد شدن ناگهانی

مهمترین افت‌های موضعی عبارتند از :

- (۱) افت ورودی
- (۲) افت خروجی
- (۳) افت زانویی
- (۴) افت انبساطی

(۵) افت انقباضی

(۶) افت شیر فلکه

(۷) افت آشغالگیر

که هر کدام از این عوامل در ایجاد افت‌های موضعی موثرند.

برای محاسبه افت هد از معادله انرژی به صورت زیر می‌توان استفاده کرد:

$$\frac{p_1}{\gamma_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \quad (۲-۱)$$

که در آن

$$\frac{P}{\gamma} = \text{هد فشار}$$

$$Z = \text{هد ارتفاع}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \text{هد سرعت}$$

$$H_L = \text{هد افت}$$

و  $P$  فشار آب،  $Z$  ارتفاع از یک نقطه مشخص و  $V$  سرعت جریان عبوری می‌باشند.

افت اصطکاکی را می‌توان از فرمول دارسی ویسباخ به صورت زیر محاسبه کرد:

$$H_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (۳-۱)$$

که در آن  $L$  طول لوله،  $D$  قطر مجرا و  $f$  ضریب دارسی ویسباخ می‌باشد ( $f$  از نمودار مودی به

دست می‌آید). فرمول عمومی محاسبه افت‌های موضعی نیز به صورت زیر می‌باشد:

$$H_l = k \frac{v^2}{2g} \quad (4-1)$$

که در آن  $v$  سرعت متوسط جریان در مجرا و  $k$  ضریب افت می‌باشد.

با توجه به مشخص بودن  $v$ ، برای محاسبه افت‌های موضعی باید ضریب  $k$  را محاسبه کرد که این ضرایب تجربی برای انواع افت‌های موضعی توسط محققین ارائه شده است. افت آشغالگیر یک مورد از افت‌های موضعی است که در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین در تحقیق حاضر عوامل مختلف موثر در تشکیل گرداب، از جمله تاثیر دیواره‌های مجاور آبگیرها، تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری از آبگیرها، تاثیر عمق استغراق در فرودهای مختلف و تاثیر آشغالگیر بر شکل‌گیری گرداب به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مقادیر افت آشغالگیر در درصد گرفتگی‌های مختلف محاسبه شده است.

## خلاصه فصل اول

در این فصل ابتدا اصول و مفاهیم ابتدایی مربوط به پدیده گرداب، علل به وجود آمدن آن و اثرات نامطلوب این پدیده بر سازه‌های مختلف هیدرولیکی ذکر شد سپس انواع مختلف آبگیرهای در معرض آسیب معرفی شدند، در ادامه نیز روش‌های مختلف مقابله با این پدیده تشریح شد. معرفی انواع افت‌ها (موضعی و اصطکاکی) و به طور ویژه افت آشغالگیر نیز در پایان این فصل آمده است.

در فصل دوم مروری بر مطالعات انجام شده قبلی به تفکیک موضوع ارائه شده است. فصل سوم مدل آزمایشگاهی تشریح شده و در فصل چهارم نتایج آزمایشگاهی ارائه شده است. در فصل پنجم نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری تحقیق ذکر شده است.

**فصل دوم**

**مروری بر مطالعات انجام شده قبلی**

## مقدمه

در بحث پدیده گرداب تحقیقات متفاوتی توسط محققین مختلف انجام شده است که خلاصه از آنها در اینجا ذکر می شود. این تحقیقات درباره موضوعات مختلف گرداب از جمله عمق استغراق بحرانی و تاثیر گرداب بر ضریب آبگذری آبگیرها می باشند که در ادامه به طور کامل ذکر خواهند شد.

افت آشغالگیر نیز در سالهای دور مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است که خلاصه ای از نتایج این تحقیقات در ادامه ذکر خواهد شد.

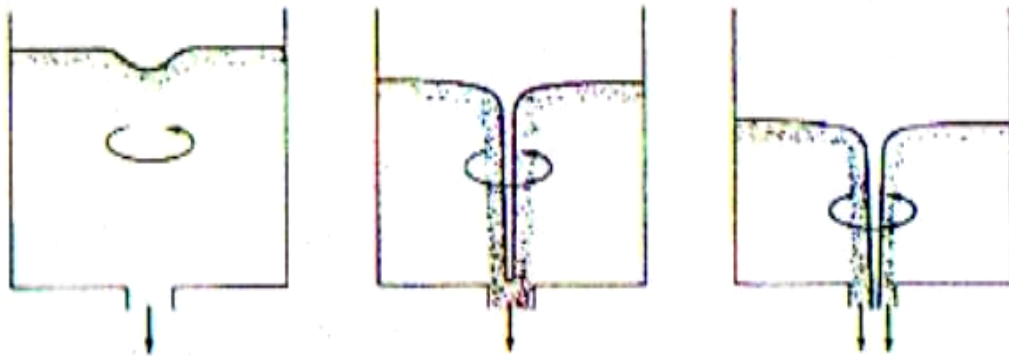
## ۲-۱- عمق استغراق بحرانی آبگیر

منظور از عمق استغراق در آبگیرهای افقی، فاصله بین محور آبگیر تا سطح آب می باشد. در شکل (۱-۱۰)،  $h$  نشان دهنده عمق استغراق آبگیر می باشد.

همانطور که در فصل ۱ شرح داده شد برای جلوگیری از تشکیل گرداب در آبگیرها و یا کاهش قدرت آنها روشهای متفاوتی وجود دارد. یکی از این روشها (که نیاز به تجهیزات و سازه خاصی ندارد) می تواند مواجهه کردن گرداب با حجم زیادی از آب باشد. بدیهی است که اگر قدرت چرخش گرداب بر نیروی لازم برای حرکت توده آب فائق آید، گرداب به وقوع می پیوندد و در غیر این صورت گردابی ایجاد نمی شود. فاصله بین محور آبگیر تا سطح آب که به این حجم از آب مربوط می شود، عمق استغراق بحرانی آبگیر ( $h_c$ ) نامیده می شود که برای هر آبگیر بسته به شرایط هندسی و جهت آبگیری متفاوت خواهد بود. در واقع عمق استغراق بحرانی آبگیر حداقل عمق استغراقی است که در آن گرداب با هسته هوا (تیپ ۵و۶) اتفاق نمی افتد.



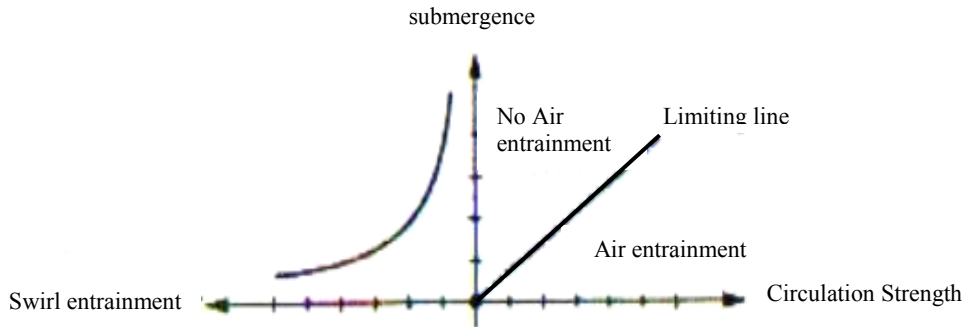
Lugt بیان کرده است که اگر مقداری آب در یک ظرف چرخانده شود و اجازه داده شود که آب از دهانه‌ای در مرکز کف ظرف جریان یابد، گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که شکلشان از بین پارامترهای مختلف، به قدرت چرخش و به ارتفاع ستون آب از کف یعنی همان عمق استغراق بستگی دارد (Lugt ۱۹۸۳). اگر قدرت گرداب کم و یا عمق استغراق زیاد باشد، در سطح آب فقط یک فرورفتگی ایجاد می‌شود. برای گردش قوی‌تر یا عمق استغراق کمتر، فرورفتگی به یک هسته هوا تبدیل خواهد شد. اگر هسته هوا به کف ظرف کشیده شود، عمق استغراق بحرانی مشخص می‌شود. پس از این مرحله هوا وارد جریان شده و گرداب قوی با هسته هوا (گرداب نوع شش) تشکیل می‌شود (شکل ۱-۲).



شکل (۱-۲) گسترش هسته هوا در آبگیر (Lugt ۱۹۸۳)

عمق استغراق بحرانی با افزایش قدرت گردش افزایش می‌یابد. مطابق نمودار شکل ۲-۲ به منظور اجتناب از ورود هوا به داخل آبگیر، می‌توان عمق استغراق موجود را افزایش داد. در این نمودار محور قائم، عمق استغراق، محور افقی در سمت چپ مقدار جریان چرخشی ورودی و محور افقی در سمت راست قدرت جریان چرخشی می‌باشد که تغییرات آن به صورت خطی می‌باشد. این نمودار

همچنین نشان می‌دهد که میزان جریان چرخشی در داخل آبگیر نیز با افزایش عمق استغراق کاهش می‌یابد.



شکل (۲-۲) رابطه بین قدرت گرداب، عمق استغراق، ورود هوا و جریان چرخشی (Knauss ۱۹۸۷)

محققین مختلف با تحلیل ابعادی به این نتیجه رسیده‌اند که عمق استغراق بحرانی نسبی آبگیر  $\left(\frac{h_c}{D}\right)$  می‌تواند به اعداد بی‌بعد زیر بستگی داشته باشد:

$$\frac{h_c}{D} = f\left(\varphi, \frac{V}{\sqrt{gd}}, \frac{VD}{v}, V\sqrt{\frac{\rho D}{\sigma}}, \frac{\Gamma}{2\pi VD}\right) \quad (1-2)$$

در این رابطه  $V$  سرعت ورودی جریان،  $D$  قطر آبگیر،  $\varphi$  زاویه آبگیر نسبت به افق،  $v$  لزجت سینماتیک سیال،  $\sigma$  کشش سطحی سیال،  $\rho$  جرم حجمی سیال و  $\Gamma$  گردندگی است. رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$\frac{h_c}{D} = f(\varphi, Fr, Re, We, N_\Gamma) \quad (2-2)$$

$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$  عدد فرود،  $Re = \frac{vd}{\nu}$  عدد رینولدز و  $We = v\sqrt{\frac{\rho d}{\sigma}}$  عدد وبرمی‌باشند که اعدادی بی-

بعد می‌باشند.  $N_\Gamma$  نیز عدد گردندگی گرداب است که نشان دهنده اثر گردندگی تولید شده بر روی

شرایط بحرانی جریان است که به صورت زیر تعریف می‌شود: (Anwar et al. 1978, Jain et al. 1978, Knauss 1987, Yildirim et al. 2009)

$$N_{\Gamma} = \frac{\Gamma}{2\pi VD} = \frac{c}{VD} = \frac{\Gamma D}{8Q} \quad (3-2)$$

در رابطه فوق،  $Q$  دبی ورودی به آبگیر و  $C$  ثابت گردندگی و  $\Gamma$  گردندگی است. لازم به ذکر است که تعیین ثابت گردندگی یکی از مشکلات اصلی موجود در روی تحقیق بر روی پدیده گرداب در آبگیرها می‌باشد.  $N_{\Gamma}$  در برخی موارد به صورت  $\frac{\Gamma D}{Q}$  و یا  $\frac{\Gamma}{VD}$  نیز تعریف می‌گردد. با صرف نظر از اثرات ویسکوزیته و کشش سطحی (در حالتی که مقدار آنها از محدوده‌های مشخص شده توسط انوار کمتر باشد) رابطه عمق استغراق به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$\frac{h_c}{D} = f(\varphi, Fr, N_{\Gamma}) \quad (4-2)$$

با ترکیب دو عدد  $N_{\Gamma}$  و  $Fr$  به صورت حاصل ضرب این دو عدد، عدد بی‌بعد جدیدی به وجود می‌آید که به مشخصه جریان چرخشی معروف بوده و برابر با مقدار زیر می‌باشد:

$$N_{\Gamma} \cdot Fr = \frac{c}{\sqrt{gD^2}} \quad (5-2)$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$\frac{h_c}{D} = f\left(\varphi, \frac{c}{\sqrt{gD^2}}\right) \quad (6-2)$$

مقدار زاویه  $\varphi$  برای انواع مختلف آبگیرها به صورت زیر در نظر گرفته شده است (۱۹۸۷):  
Knauss:

$\varphi = 0$  : آبگیر قائم رو به پایین:

$\varphi = \pi$  : آبگیر قائم رو به بالا:

$\varphi = \frac{\pi}{2}$  : آبگیر افقی:

در سالهای ۱۹۶۵ تاکنون مطالعات جامعی توسط محققین در زمینه پیش بینی عمق استغراق بحرانی آبگیرها انجام شده است. با رعایت این معیارهای طراحی، می توان تا حدی از تشکیل گرداب در دهانه آبگیرها اجتناب نمود. البته تامین عمق استغراق مورد نیاز تنها راه چاره برای بهبود شرایط آبگیری نبوده و همانطور که در فصل اول ذکر شد، ایجاد الگوی مناسب برای جریان ورودی به آبگیر نیز در تضعیف یا حذف گرداب موثر است. به هر حال ملاحظه هر دو شرط عمق استغراق مناسب و ایجاد الگوی مطلوب جریان در مراحل طراحی، از وقوع گرداب و مشکلات آن جلوگیری خواهد نمود.

بیشترین مطالعات انجام شده در مورد پدیده گرداب در آبگیر پمپها صورت گرفته است و می توان گفت که در حال حاضر روش جامعی برای پیش بینی تشکیل گرداب در دهانه آبگیرهای نیروگاهی وجود ندارد.

در بیشتر روابط ارائه شده عمق استغراق نسبی به طور مستقیم به سرعت متوسط جریان در دهانه آبگیر یا عدد فرود آبگیر ربط داده شده است که برخی از مهمترین این روابط برای آبگیرهای افقی در جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول (۱-۲) روابط تجربی محاسبه عمق استغراق بحرانی نسبی

Equation	Ref.
$h_c/d=3.95Fr^{0.5}-0.5$	Amphlett ۱۹۷۶
$h_c/d=2.3Fr$	Gordon ۱۹۷۰
$h_c/d=2Fr+0.5$	Knauss ۱۹۷۸
$h_c/d=2.25Fr+1.5$	Novak ۱۹۹۰
$h_c/d=2.3Fr+1$	Sinijer ۱۹۹۳

$h_c/d=2(1/z)^{0.008}Fr^{0.334}$	Sarkardeh ۲۰۰۸
$h_c/d=4.4V^{0.54}/d^{0.73}$	Nagarka ۱۹۸۸
$h_c/d=1.474V^{0.48}/d^{0.24}$	Rohan ۱۹۶۵
$h_c/d=M_R + Fr$	$0.5 < M_R < 1$ Reddy & Pickford ۱۹۷۲

در این جدول  $h_c$  عمق استغراق بحرانی و  $Z$  شیب دیواره بالادست آبگیر می‌باشد. سایر پارامترها قبلاً معرفی شده‌اند.

## ۲-۲- تاثیر گرداب بر ضریب آبگذری آبگیر

راندمان آبگیری مفهومی است که به ارتفاع آب بالای آبگیر و دبی عبوری از آن در شرایط پایایی ثابت مربوط می‌شود. به بیان دیگر در ارتفاع آب برابر، آبگیری که در شرایط پایایی یکسان، دبی عبوری بیشتری را از خود عبور دهد، راندمان بیشتری دارد. وقوع جریان گردابی در دهانه آبگیرها باعث افت راندمان آبگیری می‌شود. اثر گرداب بر روی بازده، توسط ضریب آبگذری تشریح می‌شود. ضریب آبگذری یا ضریب بی‌تخلیه، نسبت سرعت واقعی جریان در مجرای آبگیر به سرعتی است که طبق ارتفاع آب موجود، انتظار داریم در مجرا وجود داشته‌باشد. ضریب آبگذری در مورد آبگیری که خروجی مجرای آن به اتمسفر تخلیه می‌شود به صورت زیر تعریف می‌شود:

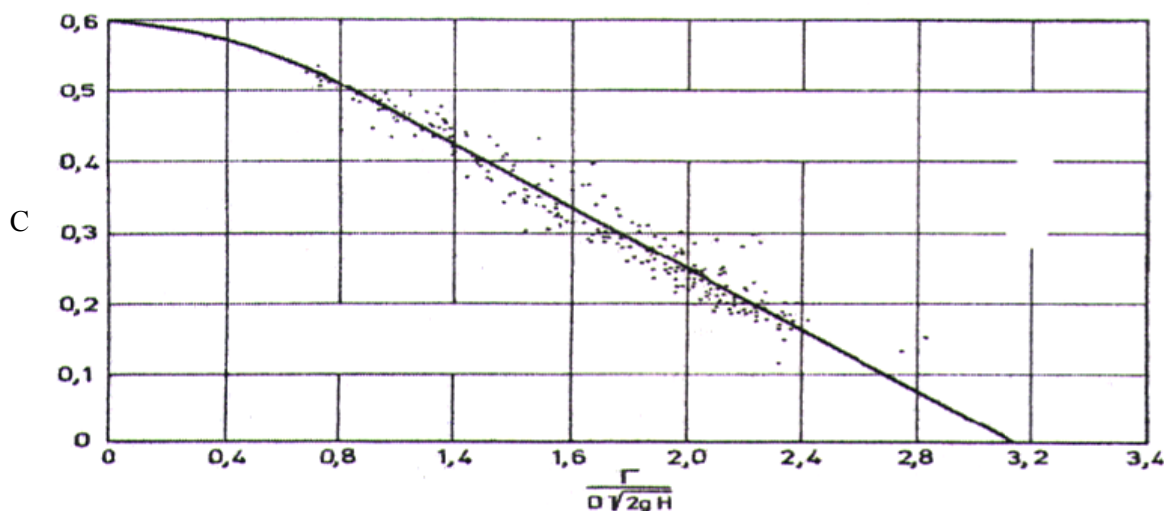
$$C = \frac{V}{\sqrt{2gh}} = \frac{4Q}{\pi D^2 \sqrt{2gh}} \quad (۷-۲)$$

این ضریب که در واقع نسبت دبی حقیقی به دبی تئوری را نشان می‌دهد، در بحث گرداب تابعی از اعداد بدون بعد گردندگی، رینولدز و وبر می‌باشد و در حالتی که بتوان از اثرات ویسکوزیته و کشش سطحی صرف نظر نمود، تنها به عدد گردندگی بستگی خواهد داشت. در مورد تاثیر جریان گردابی بر روی ضریب آبگذری آنگیر تحقیقاتی انجام شده است که در این بخش برخی از آنها شرح داده خواهد شد.

شکل ۲-۳ یک رابطه خطی بین ضریب آبگذری و عدد گردندگی تعریف شده به صورت

$$N_{\Gamma} = \frac{\Gamma}{D\sqrt{2gh}} \text{ را به ازای } 0.8 < N_{\Gamma} < \pi \text{ نشان می‌دهد (Stevens and Kolf 1951). در}$$

آزمایش‌های این محققین خروجی به شکل یک روزنه لبه تیز بوده است. در این نمودار  $h$  عمق استغراق آنگیر می‌باشد.



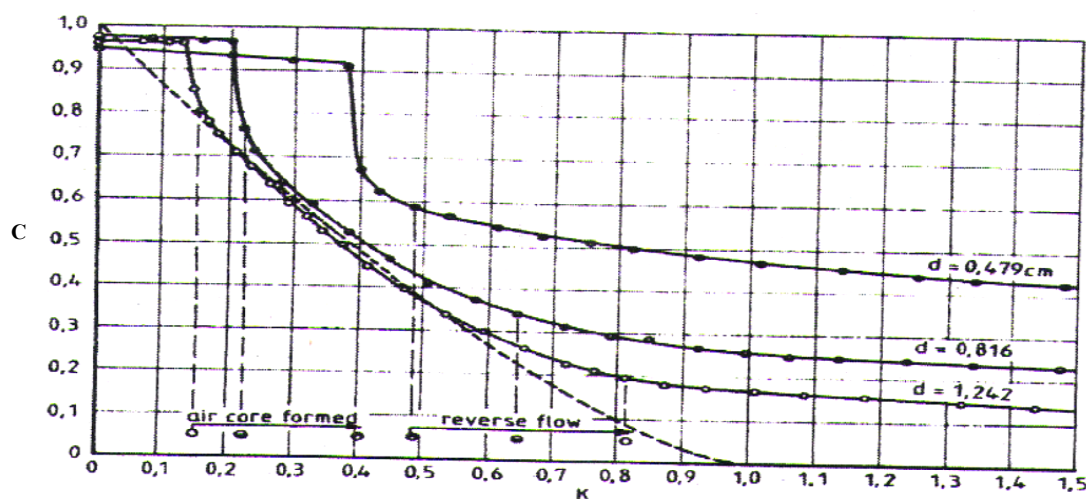
شکل (۲-۳) نمودار ضریب آبگذری بر حسب عدد گردندگی (Knauss, ۱۹۸۷)

Kamel در سال ۱۹۶۴ نمودارهایی را برای نازل‌هایی با ابعاد گوناگون به دست آورده است که نمونه‌هایی از آنها در شکل‌های ۲-۴ و ۲-۵ آورده شده است. محور افقی در این دو نمودار عدد گردندگی است که در اینجا به صورت زیر تعریف شده است:

$$K = \frac{2\Gamma}{d\sqrt{2gh}} \quad (۸-۲)$$

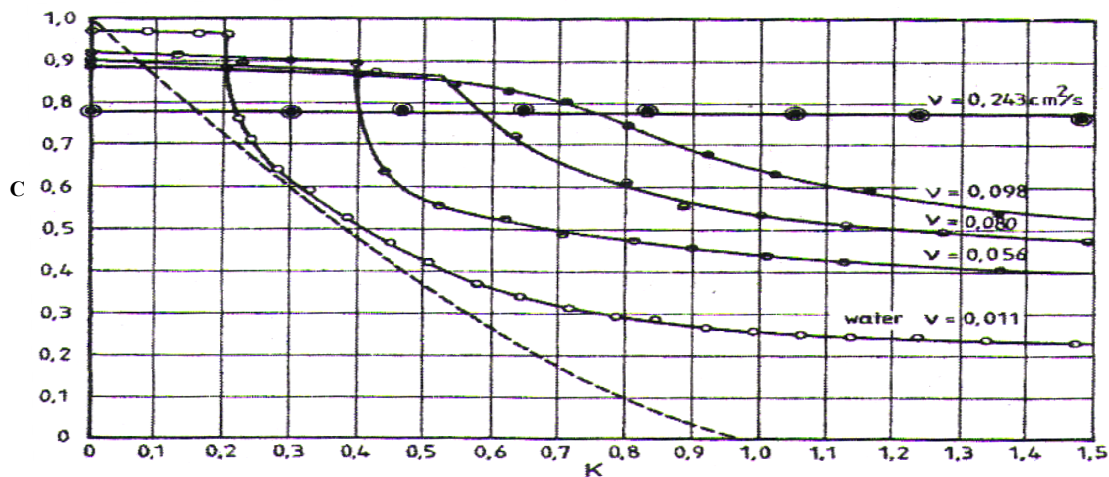
در این رابطه  $d$  قطر نازل و  $h$  عمق استغراق می‌باشد.

این محقق نتایج خود را با نتایج به دست آمده از تئوری غیر لزج Harris و Binnie (۱۹۵۱) که در نمودارها به صورت خط چین نشان داده شده است، نیز مقایسه کرده‌اند. همانطور که در نمودارها ملاحظه می‌گردد، در این حالت  $C$  در  $K=1$  به صفر رسیده است. چون هد استاتیک کل باید به طور کامل، به منظور دادن سرعت مماسی به سیال استفاده شود بنابراین سرعت محوری را صفر می‌کند.



شکل (۴-۲) نمودار ضریب آبگذری بر حسب عدد گردندگی برای نازل‌های مختلف (Knauss, ۱۹۸۷)

البته در عمل این امر اتفاق نمی‌افتد و Kamel بیان کرده است که این به دلیل وجود جریان لایه مرزی می‌باشد. نمودارهای شکل ۴-۲ برای نازل‌هایی با قطرهای مختلف و نمودار شکل (۵-۲) برای مایعاتی با لزجت‌های مختلف به دست آمده‌اند.



شکل (۲-۵) نمودار ضریب آنگذری بر حسب عدد گردندگی برای لزجت‌های مختلف سیال (Knauss, ۱۹۸۷)

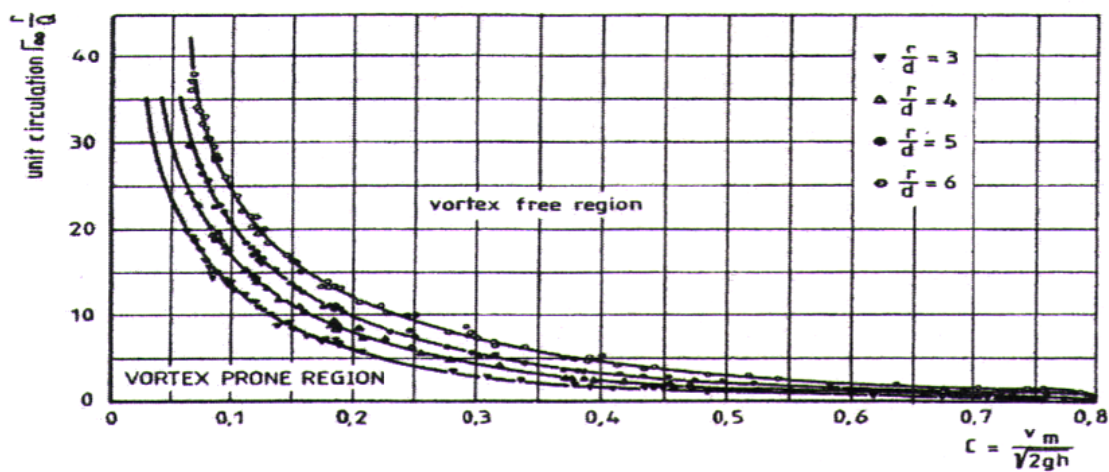
Anwar (۱۹۶۶) تحقیقاتی را دربارهٔ ضریب آنگذری انجام داده که نتایج آنها در شکل ۲-۶

نشان داده شده است. در این شکل محور X ضریب آنگذری و محور Y جریان چرخشی می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود، زمانیکه  $\frac{\Gamma r}{Q}$  که نوعی عدد گردندگی است افزایش می‌یابد، C به

صورت خطی کاهش نمی‌یابد بلکه به سمت یک مقدار حدی میل می‌کند. ( $\Gamma$  فاصله شعاعی از مرکز

گرداب، D قطر نازل و H عمق استغراق می‌باشد).



شکل (۲-۶) نمودار ضریب آنگذری بر حسب جریان چرخشی (Knauss, ۱۹۸۷)



Daggett و Keulegan (۱۹۷۴) در ادامه مطالعاتی که بر روی جریان‌های چرخشی در

روزنه و با استفاده از سیالات مختلف انجام داده‌اند، نشان داده‌اند که با فرض  $Re = Q/r_0v >$

$5 \times 10^4$  (که  $r_0$  شعاع روزنه می‌باشد) می‌توان ضریب دبی را از فرمول زیر محاسبه کرد.

$$C = 0.921 \quad N_{\Gamma} \leq 0.1 \quad (9-2)$$

$$C = 0.966 - 0.45N_{\Gamma} \quad N_{\Gamma} > 0.1 \quad (10-2)$$

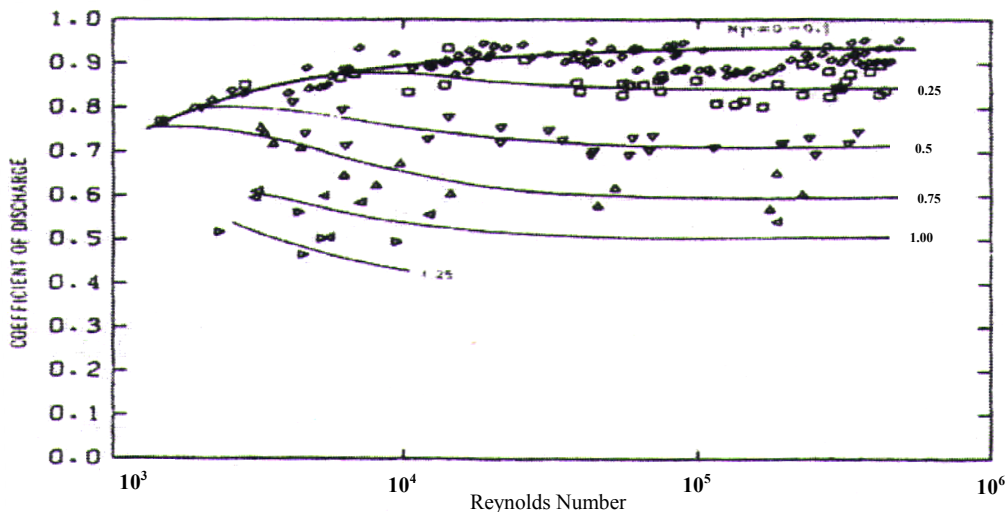
در رابطه فوق  $N_{\Gamma}$  عدد گردندگی است که در اینجا به صورت  $\frac{\Gamma D}{2Q}$  تعریف شده است. شکل ۷-۲

که توسط این دو محقق برای سیالات مختلف به دست آمده است تاثیر عدد رینولدز را بر ضریب

آبگذری نشان می‌دهد. این دو محقق دریافته‌اند که به ازای  $Re = Q/r_0v < 10^4$  اثر ویسکوزیته

مهم بوده و موجب کاهش در میزان دبی می‌شود و به طوری که در شکل شماره ۷-۲ نشان داده شده

است در این محدوده ضریب آبگذری تابعی از عدد رینولدز خواهد بود.

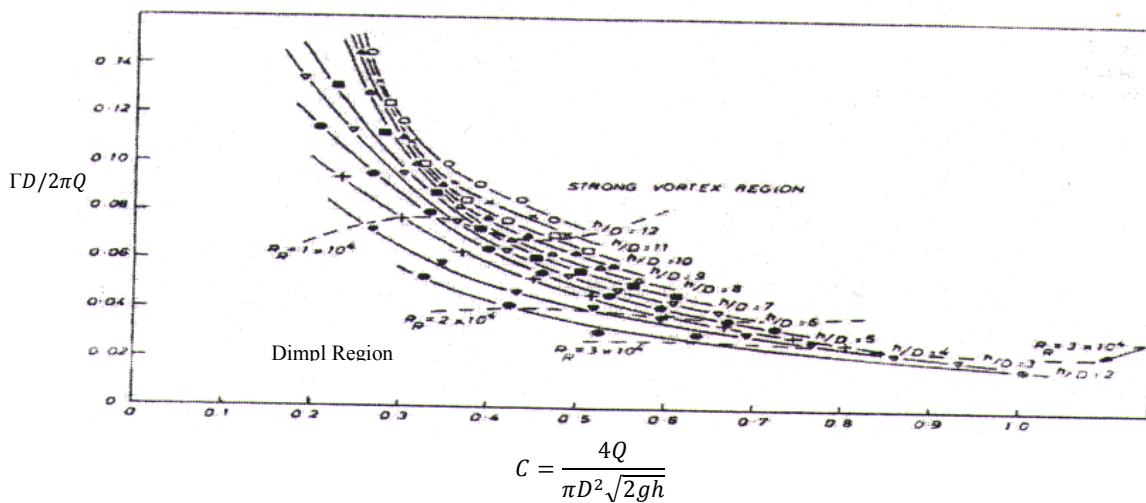


شکل (۷-۲) نمودار ضریب آبگذری بر حسب عدد رینولدز (Keulegan & Daggett, ۱۹۷۴)

Anwar و همکاران (۱۹۷۸) بر اساس مطالعات تجربی خود بر روی تشکیل گرداب در آبگیرهای افقی نموداری را که در شکل ۲-۸ مشاهده می‌شود ارائه کرده‌اند. در این نمودار که  $h$  عمق استغراق آبگیر می‌باشد، عدد گردندگی اندازه گیری شده در مقابل ضریب آبگذری آبگیر برای مقادیر مختلف عمق استغراق نسبی رسم شده است. از این نمودار می‌توان به منظور تعیین قدرت گرداب سطحی و پیش‌بینی نوع گرداب محتمل در آبگیرهای افقی استفاده کرد. زمانیکه مقادیر محاسبه شده پارامترهای بی‌بعد، نقطه‌ای را در بالای خط  $h/D$  مربوطه نشان دهد، وقوع یک گرداب قوی (نوع شش) محتمل خواهد بود. همچنین نقاط پایین خط یک فرورفتگی در سطح آب و نقاط روی منحنی آغاز یک گرداب با ورود هوا را نشان می‌دهد.

Anwar و همکاران همچنین به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از دهانه لب زنگی در آبگیرهای افقی، راندمان آبگیری را بهبود نمی‌بخشد.

Anwar و Amphlett (۱۹۸۰) آزمایش‌هایی را با یک آبگیر عمودی رو به بالا انجام داده و نتیجه گرفته‌اند که برای مقدار ثابتی از عدد گردندگی، زمانی که عمق استغراق زیاد می‌شود، ضریب آبگذری افزایش می‌یابد.



شکل (۲-۸) نمودار ضریب آبگذری بر حسب عدد گردندگی (Anwar et al., ۱۹۷۸)

Odgaard پس از انجام آنالیزهای ریاضی و بررسی‌های تجربی زیاد، ارتباط بین ضریب آبگذری آبگیر و عدد گردندگی را در آبگیرهای عمودی رو به پایین در قالب رابطه زیر به دست آورده است (Odgaard ۱۹۸۶):

$$C = 12.2 \left(\frac{h}{D}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{vD}{Q}\right)^{1/2} N_{\Gamma}^{-1} \quad (11-2)$$

در رابطه فوق  $N_{\Gamma}$  عدد گردندگی است که در اینجا به صورت  $\Gamma D/Q$  تعریف می‌شود.

## ۲-۳- استفاده از ابزار ضد گرداب

بررسی چگونگی عملکرد گزینه‌های مختلف ضد گرداب و ارائه معیارهای طراحی برای آنها کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. با این وجود، با مروری بر تحقیقات صورت گرفته می‌توان پژوهش‌هایی را در زمینه ابزار ضد گرداب یافت که در زیر به دو مورد از آنها که در داخل کشور و بر روی آبگیرهای افقی انجام شده است اشاره می‌شود.

### پژوهش روشن

در سال ۱۳۷۴ پژوهشی توسط روشن بر روی مدل فیزیکی آبگیرهای نیروگاه شماره ۱ و ۲ سد شهید عباسپور (کارون ۱) انجام شد. در این پژوهش عملکرد ابزار مختلف ضد گرداب که می‌توانند در آبگیرهای افقی به کار برده شوند مورد بررسی قرار گرفته است و گزینه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند (روشن ۱۳۷۴).



شکل (۲-۹) مدل فیزیکی آبیگرهای نیروگاه شماره ۱ سد شهید عباسپور

روش کار در این پژوهش بدین صورت بوده است که عمق‌های استغراق مختلفی که در آنها وقوع هر نوع جریان گردابی (نوع یک تا شش) در دهانه آبیگر مدل وجود داشته است، در نظر گرفته شده و با نصب گزینه ضدگرداب مورد نظر و تزریق ماده رنگی و مشاهده تأثیر آن بر روی نوع گرداب گزارش شده است. همچنین با روش سعی و خطا ابعاد مناسب هر گزینه برای آبیگرهای نیروگاهی سد شهید عباسپور پیشنهاد شده است. گزینه‌های ضد گرداب مختلفی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند به شرح زیر می‌باشند.

- سقف شناور با سطح صاف
- دیواره قائم عمود بر جریان
- سقف شناور با سطح زبر
- دیواره قائم موازی جریان
- شبکه شناور
- دیواره قائم زاویه دار
- صفحه مشبک
- شبکه نیم استوانه

خلاصه‌ای از نتایج و پیشنهادات ارائه شده در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱- در گزینه‌های صفحه شناور، بحث شناور نگه داشتن آنها در ترازهای مختلف مخزن و نیز حرکات آنها در اثر موج و جریانات جانبی و همچنین امکان گیر کردن این صفحات، مشکلات عمده‌ای را در بهره‌برداری از آنها پدید می‌آورد که باعث می‌شود ضمن داشتن عملکرد مناسب در از بین بردن گرداب‌ها، در اولویت‌های اولیه انتخاب قرار نگیرند.

۲- گزینه صفحه مشبک بر روی پیشانی آبگیر، با قطع کردن قسمت پایینی مخروط گرداب، در صورتی که فاصله بین چشمه‌های آن بهینه شده باشد می‌تواند به طور کامل گرداب را از بین ببرد. این گزینه ضمن عملکرد مطلوب در مستهلک ساختن قدرت گرداب، از قابلیت و سهولت اجرایی بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها در نمونه واقعی برخوردار می‌باشد، زیرا می‌تواند توسط کابلهایی به طور ثابت بر روی پیشانی آبگیر مستقر شده و در مواقع لزوم خارج گردد. همچنین کاربرد این گزینه به علت دارا بودن ابعاد کوچکتر نسبت به سایر گزینه‌ها، اقتصادی‌تر می‌باشد.

۳- دیواره‌های قائم عملکرد چندان مطلوبی را در از بین بردن گرداب‌ها از خود نشان نمی‌دهند و جز در مواردی خاص نظیر دیواره‌های عمود بر جریان که با استقرار در فاصله‌ای معادل نصف عمق استغراق از جداره آبگیر، می‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد، در دیگر حالات قادر به حذف گرداب‌ها نمی‌باشد. حتی در همین حالت اخیر نیز چنانچه شرایط جریان تغییر کند، مثلاً عمق استغراق کم یا زیاد شود، نیاز به تغییر دیواره خواهد بود که این امر مشکلات بهره‌برداری آن را زیاد می‌کند.

۴- گزینه شبکه نیم استوانه‌ای در جلوی دهانه آبگیر، با ایجاد مانع بر سر راه جریان نزدیک شونده به سمت آبگیر، اولاً از سرعت آن کاسته و ثانیاً می‌تواند باعث ورود یکنواخت جریان به آبگیر شود. لذا در آبگیرهایی که عدم یکنواختی و سرعت زیاد جریان علت تشکیل گرداب می‌باشد، استفاده از این گزینه مناسب خواهد بود.

## پژوهش امیری

در سال ۱۳۸۵ نیز پژوهشی به منظور تعیین چگونگی تغییر قدرت گرداب‌های نوع شش تشکیل شده در آبگیرهای نیروگاهی با تغییر عوامل مختلف موثر بر آن و نحوه عملکرد صفحات ضد گرداب افقی و مشبک و یکپارچه و ارائه ابعاد مناسب برای آنها با توجه به قدرت گرداب‌ها بر روی یک مدل فیزیکی به عرض ۱.۳ متر، طول ۲ متر و ارتفاع ۲ متر و آبگیری به قطر ۱۶ سانتی-متر انجام شد که نتایج بدست آمده از این پژوهش برای صفحات ضد گرداب بدین شرح است.

- ۱- ابعاد صفحه ضد گرداب مشبک تاثیر چندانی در استهلاک گرداب ندارد
- ۲- درصد بازشدگی صفحه ضد گرداب مشبک تاثیر زیادی در استهلاک گرداب دارد به طوری که کاهش حدود ۴ درصد در میزان بازشدگی باعث افزایش قابل توجهی در کاهش قدرت گرداب‌های نوع شش شده است. صفحه مشبک با بازشدگی ۵۰ درصد توانسته است کلیه گرداب‌های نوع شش را مستهلک کند.
- ۳- ضخامت صفحه ضد گرداب مشبک تا حدی در استهلاک گرداب موثر است که با کاهش میزان بازشدگی صفحه بیشتر می‌شود.
- ۴- ابعاد صفحه ضد گرداب یکپارچه تاثیر زیادی در استهلاک گرداب دارد. در محدوده آزمایش-های انجام شده در این پژوهش، اندازه مناسب برای بعد عرضی این صفحه (در راستای دهانه آبگیر) ۲D و برای بعد طولی آن (پیشامدگی صفحه در داخل مخزن) ۱.۵D به دست آمده است.

## ۲-۴- محاسبه افت آشغالگیر

وجود آشغالگیر بر روی یک آبگیر به اندازه دریچه آبگیر، اندازه اشغال‌های طبیعی، میزان استفاده آب، لزوم جدا کردن اشغال‌های ریز از آبگیرها و عوامل دیگر وابسته است. این فاکتورها نوع آشغالگیر و اندازه بازشدگی را تعیین می‌کنند.

درجایی که یک آبگیر از یک مجرای کوچک با یک شیر کنترل تشکیل شده است، فاصله میله‌های آشغالگیر به حدی است که اشغال‌های ریز را جدا می‌کند. اگر آبگیر از یک مجرای بزرگ با دریچه بزرگ لغزان مواجه باشد، آشغالگیرها می‌توانند فضاهای بزرگ‌تری داشته باشند. اگر خطر گرفتگی یا آسیب اشغال‌های کوچک وجود نداشته باشد، آشغالگیر ممکن است از پایه‌ها و میله‌های ساده برای جلوگیری از تنه‌های درخت و اجسام معلق مشابه تشکیل شده باشد.

آرایش (ترکیب) آشغالگیر باید بر اساس قابلیت دسترسی برای برداشتن اشغال‌های جمع شده باشند. بنابراین یک آشغالگیر که به ندرت بدون آب می‌ماند (در عمق پایینی قرار دارد) باید نسبت به مواردی که نزدیک سطح آب هستند بیشتر مورد توجه قرار گیرند. به طور مشابه یک آبگیر که می‌تواند با اشغال‌های جمع شده بین میله‌های آشغالگیر مسدود شود، باید یک شبکه محکم‌تری نسبت به آنهایی که امکان بسته شدن ندارند، داشته باشد.

میله‌های آشغالگیر معمولاً از میله‌های فولادی تخت نازک تشکیل شده‌اند که ۷.۵ تا ۱۵ سانتیمتر (۳ تا ۶ اینچ) روی لبه کناری قرار می‌گیرند و در یک الگوی شبکه‌ای ساخته می‌شوند. سطح آشغالگیرها با یک محدودیت سرعت جریان از میان میله‌های آن تعیین می‌شود. در محل‌هایی که آشغالگیرها برای پاک کردن در دسترس نباشند، سرعت از میان آشغالگیر معمولاً نباید از ۰.۶۱ متر بر ثانیه (۲ فوت بر ثانیه) تجاوز کند. برای آشغالگیرهایی که جهت تمیز کردن در دسترس هستند، یک

سرعت تقریباً بالای ۱.۵ متر بر ثانیه قابل تحمل باشد. ساختار آشغالگیرها ممکن است بر اساس چگونگی نصب یا چگونگی شبکه در ساختار آبگیر، شکل‌های مختلفی داشته باشد.

آشغالگیرها برای یک آبگیر قائم رو به پایین معمولاً از یک قفس توری بر روی ورودی آبگیر شکل گرفته‌اند. در برخی مخزن‌ها ممکن است نصب توری سیمی جلوی ورودی آبگیر برای جلوگیری از ورود ماهی به داخل آبگیر مطلوب و لازم باشد. چون توری‌های سیمی یا آشغالگیرهای با شبکه‌های کوچک به راحتی با خار و خاشاک مسدود می‌شوند، لذا باید تدارکات لازم برای برداشتن دوره‌ای آشغالها از روی آنها با جاروب کردن یا توسط جت آب مهیا باشد.

سرعت جریان در آشغالگیرها از ۰.۶۱ تا ۱.۵۳ متر بر ثانیه در فضای ناخالص پیشنهاد شده است. سرعت در فضای خالص تا حدی بیشتر است اما معمولاً نتایج، افت هد قابل توجهی را نشان نمی‌دهد مگر اینکه آشغالگیر بسته شود. میزان افت آشغالگیر برای ارزیابی پتانسیل آشغالگیر مسدود شده که افت آن افزایش می‌یابد مهم است. در جایی که بسته شدن آشغالگیر ممکن است تکرار شود، مقدار افت انرژی ممکن است لزوم آشغالگیرهای بزرگ، فضاها بزرگ بین میله‌های آشغالگیرها و تجهیزات پاک‌کننده آشغالگیر را تصدیق کند.

افت هد آشغالگیر در جلوی آبگیر به پارامترهایی بستگی دارد که بعضی از آنها به شرح زیر است:

- ضخامت میله‌های آشغالگیر
- فضای بین میله‌های آشغالگیر
- عمق میله‌ها
- شکل مقطع میله‌ها
- نسبت فضای خالص به کل فضا
- زاویه آشغالگیر نسبت به افق، اگر قائم نباشد



○ کارایی و نوع سیستم پاک کننده آشغالگیر

تحقیقات مختلفی برای محاسبه افت آشغالگیر بر اساس پارامترهای مختلف انجام شده است که منجر به ارائه روابطی برای محاسبه آن شده است. یکی از روابط مطرح برای محاسبه افت آشغالگیرهای تمیز توسط *Thoma* و *Kirschmer* در سال ۱۹۲۶ به صورت زیر می باشد:

$$H_{Lr} = K_f \left(\frac{t}{b}\right) \sin\beta \frac{V_0^2}{2g} \quad (12-2)$$

که در این رابطه:

$$H_{Lr} = \text{افت هیدرولیکی آشغالگیر (m)}$$

$$K_f = \text{ضریب شکل میله‌ها بر اساس شکل ۲-۱۰}$$

$$V_0 = \text{سرعت جریان (m/s)}$$

$$t = \text{ضخامت میله‌ها}$$

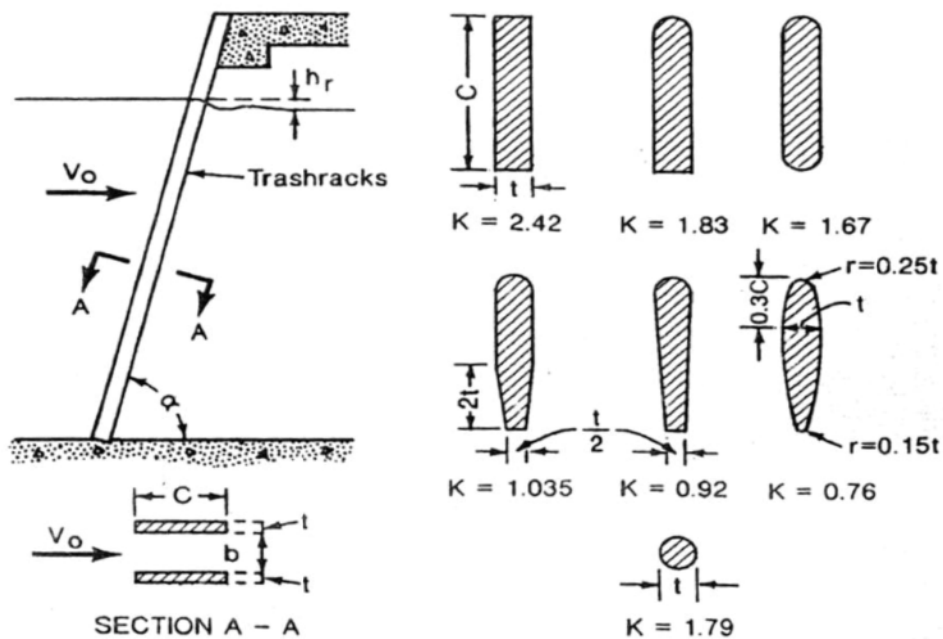
$$b = \text{فاصله بین میله‌ها}$$

$$\beta = \text{زاویه میله‌ها نسبت به افق (درجه)}$$

شکل ۲-۱۰ مقدار  $K_f$  برای شکلهای مختلف میله‌های آشغالگیر و برای نسبت عمق به ضخامت

۵ ( $C/t = 5$ ) به استثناء میله‌های مدور نشان داده شده است. این مطالعات نشان می‌دهد که

آشغالگیرهای مایل افت کمتری نسبت به نوع قائم آن (در یک سرعت یکسان) دارند.



شکل (۱۰-۲) مقدار ضریب  $K_f$  برای میله‌های مختلف

دو فرمول دیگر که توسط USACE<sup>۱۰</sup> (۱۹۸۷) برای تعیین مقدار افت آشغالگیر استفاده می‌-

شود به صورت زیر است:

$$H_{Lr} = \left\{ 1.45 - 0.45 \left( \frac{A_n}{A_g} \right) - \left( \frac{A_n}{A_g} \right)^2 \right\} \frac{V^2}{2g} \quad (۱۳-۲)$$

در این رابطه  $A_n$  و  $A_g$  به ترتیب سطح خالص و سطح ناخالص آشغالگیر می‌باشند و  $V$

سرعت در سطح خالص می‌باشد.

$$H_{Lr} = 0.11 \left( \frac{tV}{d} \right)^2 \sin\beta (\sec\theta)^{\frac{15}{8}} \quad (۱۴-۲)$$

در این رابطه  $t$  و  $H$  مانند قبل بوده و:

$d$ : فاصله مرکز تا مرکز میله‌های آشغالگیر،  $V$ : سرعت از میان آشغالگیر و  $\theta$ : زاویه آشغالگیر می‌باشند.

<sup>10</sup> - United States Army Corps of Engineers, Vicksburg MS

USACE یک رابطه تجربی نیز که برای نرخ سرعت‌های پایین که معمولاً در آشغالگیرها رخ می‌دهد به صورت یک هشتم مجذور سرعت بر حسب فوت بر ثانیه از میان آشغالگیر ارائه کرده است.

$$H_{Lr} = \frac{v^2}{8} \quad (15-2)$$

اخيراً نیز رابطه‌ای توسط Clark et al., ۲۰۱۰ به صورت زیر پیشنهاد شده است.

$$H_l = 7.43\eta(1 + 2.44\tan^2\theta)p^2 \frac{v^2}{2g} \quad (16-2)$$

که در آن  $\eta$  ضریب شکل ورودی آبگیر (=۱ برای آبگیرهای مستطیلی) و  $p$  درصد گرفتگی آشغالگیر می‌باشد.

## خلاصه فصل دوم

پس از تشریح مفاهیم اساسی پدیده گرداب و آشغالگیر رد فصل اول، در این فصل خلاصه‌ای از مطالعات قبلی انجام شده بر روی پدیده گرداب از جمله عمق استغراق بحرانی آبگیرها، اثر گرداب بر ضریب آبگذری و استفاده از ابزار ضد گرداب ارائه شد. نحوه محاسبه افت آشغالگیر و نتایج محققین گذشته در این زمینه نیز مورد بررسی قرار گرفت.

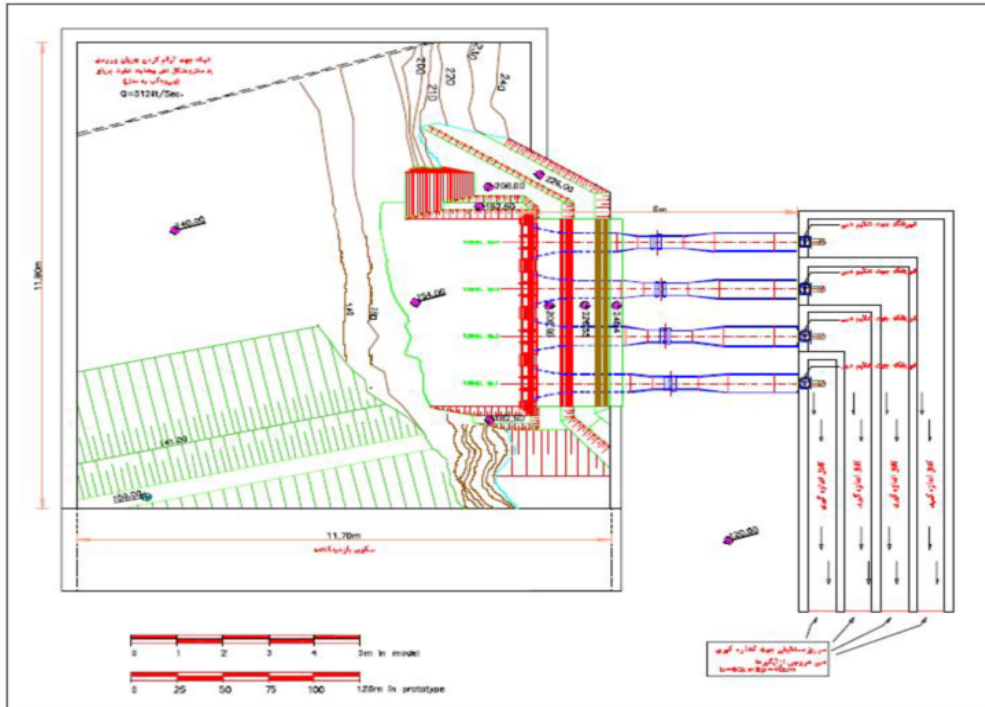
فصل سوم

## مجموعه آزمایشگاهی و وسائل اندازه‌گیری

### ۳-۱- شرح مدل فیزیکی و نمونه واقعی

سد و نیروگاه گتوند علیا در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان شوشتر و ۱۲ کیلومتری بالا دست سد تنظیمی گتوند در دست اجرا می‌باشد. سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی و از بستر به ارتفاع ۱۸۰ متر و گنجایش دریاچه ۴.۵۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. هدف از اجرای سد، تولید سالانه ۴۲۵۰ میلیون کیلووات ساعت انرژی برق آبی و کنترل سیلاب‌های فصلی رودخانه کارون و دبی خروجی از سدهای بالا دست است. سیستم تخلیه سیلاب سد سرریز دریاچه‌دار مشتمل بر چهار دهانه هر کدام به عرض خالص ۱۵ متر، تراز آستانه سرریز ۲۱۸ متر و دبی حداکثر سیلاب عبوری از سرریز ۱۷۰۰۰ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. در سمت چپ دریاچه سد مشرف به بالا دست کانال ورودی سرریز، آبگیرهای نیروگاه مشتمل بر چهار دهانه به ازای دبی ثابت (۱۶۰۰=۴×۴۰۰) طراحی گردیده است. حداقل تراز بهره برداری ۱۸۵ متر و حداکثر ۲۳۰ متر می‌باشد. به منظور مشاهده، بررسی، تدقیق و حصول اطمینان از عملکرد چهار آبگیر نیروگاه، ساخت مدل فیزیکی بر اساس تشابه عدد فرود (Anwar et al. 1978, Hite and Mih 1994) شامل جزئی از دریاچه سد، سکوی آبگیرها، دهانه چهارگانه آبگیر، طولی از آبگیرها تا بعد از دریاچه اضطراری با مقیاس ۱:۲۵ طراحی و ساخته شده است. آبگیرها از سطح ورودی تا طولی مناسب بعد از دریاچه اضطراری به طور کامل از جنس شفاف پلکسی گلاس بوده و به منظور اعمال و تنظیم ترازهای بهره‌برداری سطح آب مخزن، انتهای هر آبگیر یک واحد شیر فلکه نصب گردید. دبی ثابت هر آبگیر به طور جداگانه در پایاب با استفاده از سرریز مستطیلی اندازه‌گیری می‌گردید. مخزن مدل محدود به چهار آبگیر نیروگاه به ابعاد ۱۱.۷×۱۱.۹×۵ متر- طول عرض ارتفاع، با مصالح ساختمانی اجرا گردید. مخزن شامل طولی از دریاچه، سکو و محدوده کامل مشرف به چهار آبگیر در سمت راست و ابتدای کانال ورودی سرریز می‌باشد. پوشش سطوح داخل مخزن با سیمان زبر، سطح سکوی مشرف به دهانه آبگیرها با سیمان نرم و سطوح بالادست

آبگیرها با فلز و پوشش رنگ روغنی اجرا گردیده است. پلان مدل هیدرولیکی و تصویری از مدل اجرا شده در شکل شماره ۳-۱-الف و ب نشان داده شده است.

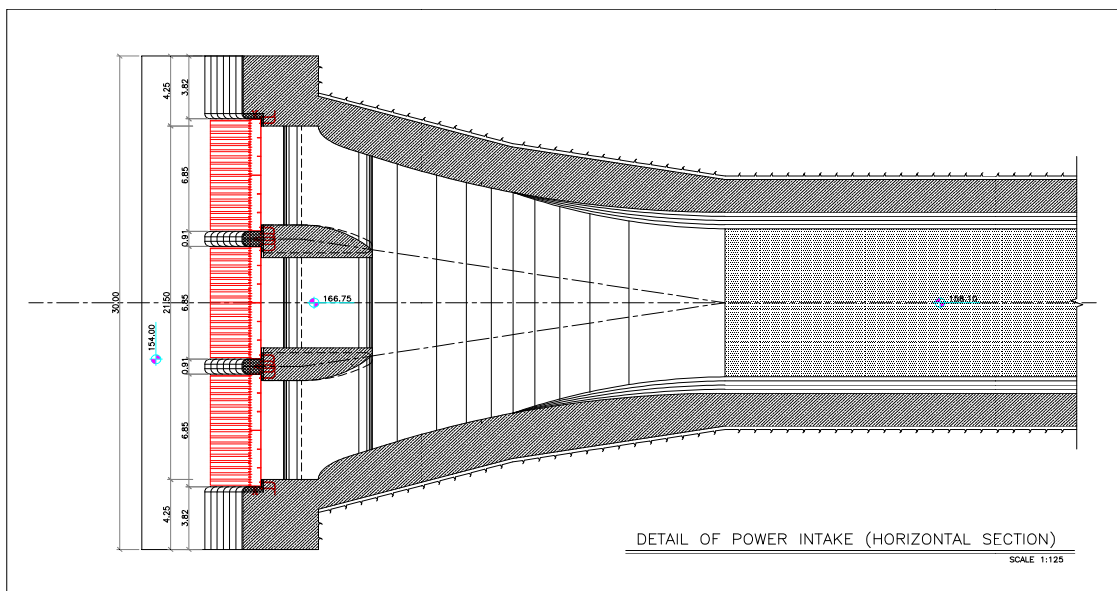


شکل ۳-۱-الف- پلان مدل هیدرولیکی ساخته شده

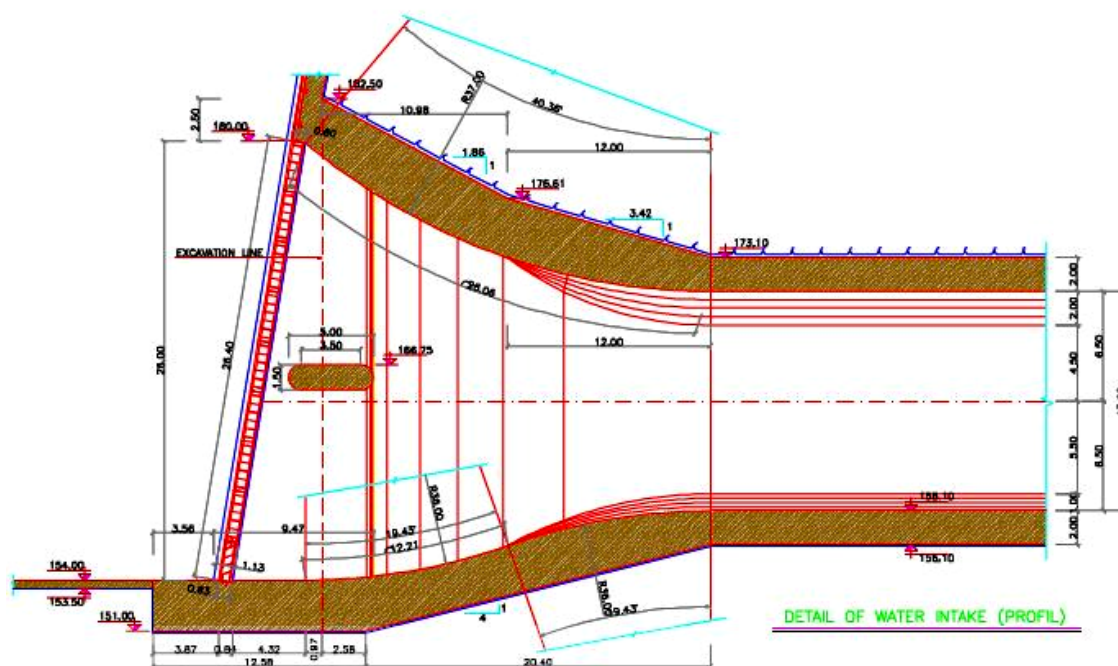


شکل ۳-۱-ب- تصویری از مدل هیدرولیکی ساخته شده

چهار آبگیر نیروگاه شامل دهانه ورودی، قسمت تبدیل، مجرای دو دریچه، تبدیل بعد از دریچه و طولی مناسب از تونل با قطر ثابت ۱۱ متر اجرا شده است که پلان و مقطع این آبگیرها در شکل شماره ۳-۲-الف و ب نشان داده شده است.



شکل ۳-۲-الف - پلان آبگیرهای نیروگاه



شکل ۳-۲-ب - مقطع آبگیرهای نیروگاه

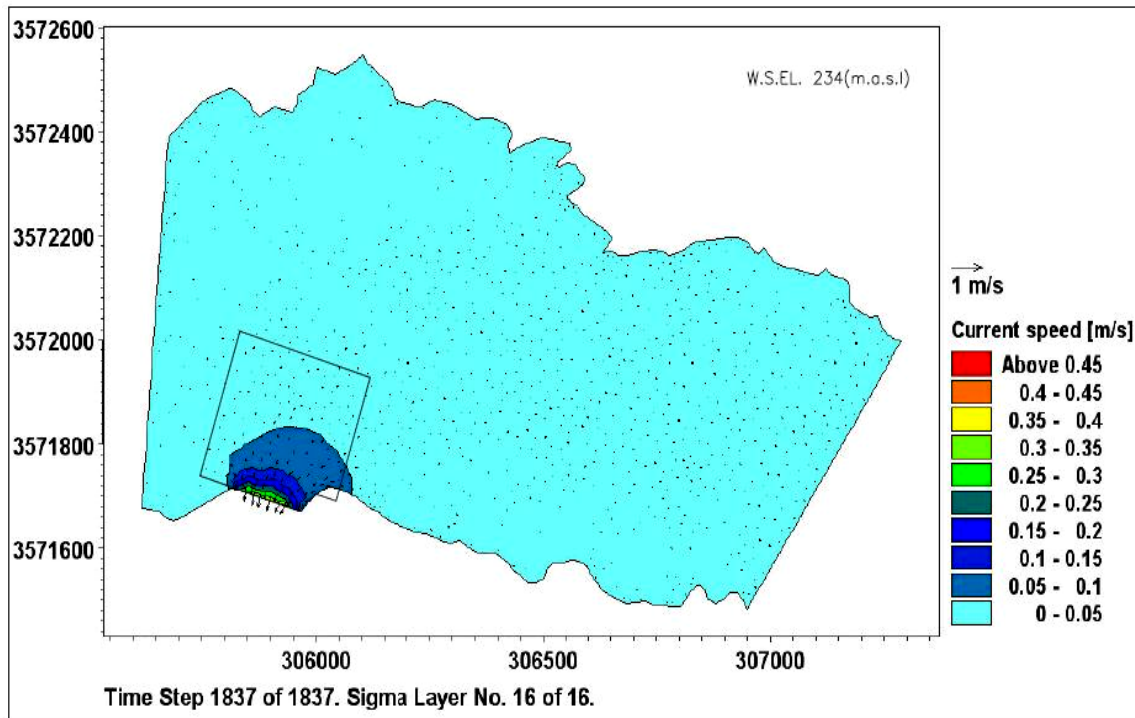
همانطور که در شکل ۲-۳ ملاحظه می‌شود زاویهٔ مقطع ورودی آبگیرها با خط قائم ۹ درجه می‌باشد و ابعاد ورودی در مدل  $۱۰۶ \times ۰.۸۶$  متر معادل  $۲۶.۴ \times ۲۱.۵$  متر در نمونهٔ واقعی می‌باشد.

### ۲-۳- تعیین محدودهٔ مخزن بالادست آبگیرها

علل مختلفی برای تشکیل گرداب در بالادست آبگیرها وجود دارد. همانطور که در فصل اول اشاره شد موقعیت نامناسب آبگیرها و شرایط نامتقارن جریان ناشی از هندسهٔ محدودهٔ بالادست و توزیع غیر یکنواخت سرعت از جملهٔ این عوامل بودند.

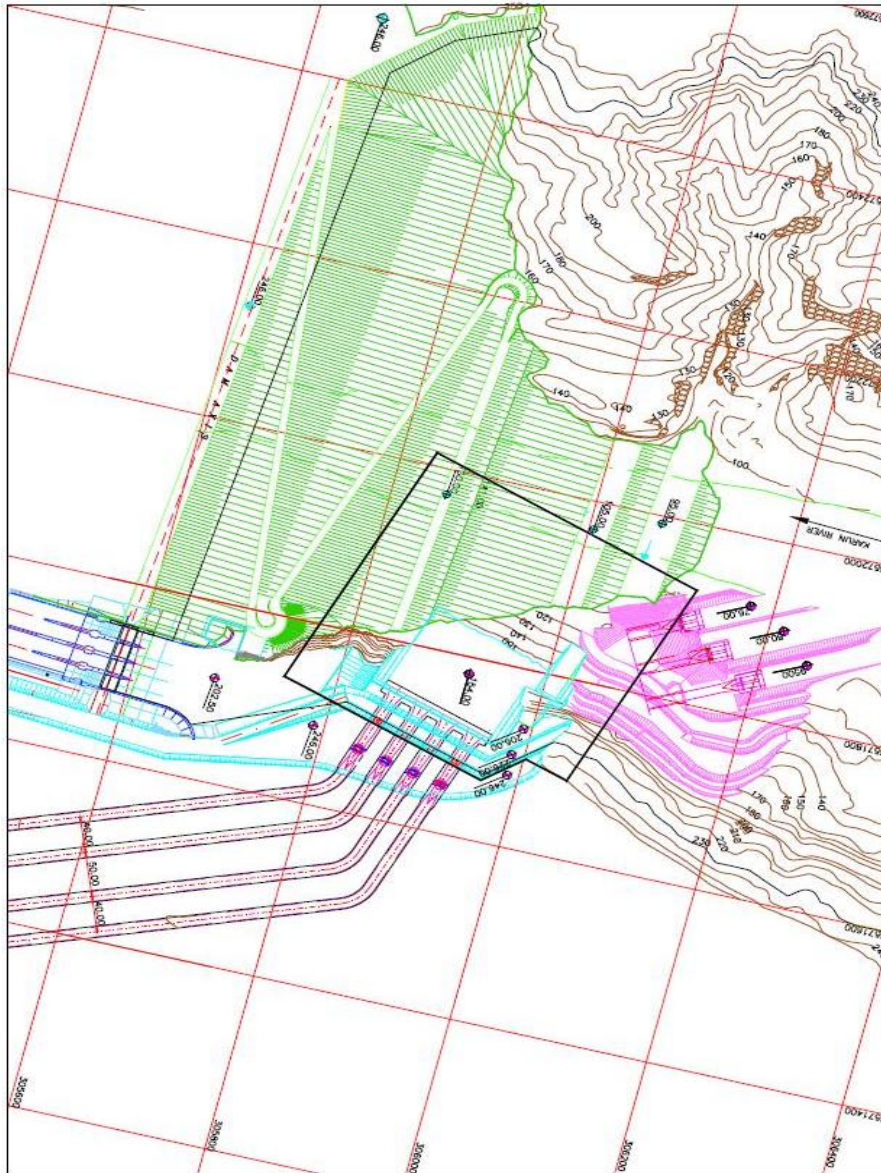
آبگیرهای نیروگاه سد گتوند، محدودهٔ سد و دریاچهٔ آن در نمونهٔ واقعی بسیار بزرگ و نامنظم بوده و ساختن مدل کامل آن اقتصادی نمی‌باشد، لذا در ساخت مدل سعی شده است تا قسمتی از مخزن سد در بالادست آبگیرها انتخاب شود که شرایط واقعی را به خوبی شبیه سازی کند. جهت مدل کردن شکل و ابعاد مخزن سد و ایجاد شرایط جریان مطابق با نمونهٔ واقعی، داشتن الگوی جریان در مخزن سد، بالادست و محدودهٔ آبگیرها ضروری است، زیرا پدیدهٔ گرداب متاثر از الگو و توزیع سرعت جریان می‌باشد، لذا الگوی جریان در مخزن سد گتوند توسط کارشناسان موسسه تحقیقات آب با استفاده از مدل ریاضی در نرم افزار Mike مدل‌سازی شده که در شکل (۳-۳) این الگو در تراز ۲۳۴ متر مشاهده می‌شود.





شکل ۳-۳- الگوی جریان مشرف به آبیگرهای نیروگاه در تراز ۲۳۴ متر سطح آب دریاچه

جریان غالب در مخزن بالادست کم سرعت بوده و حداکثر سرعت آن کمتر از ۰/۰۵ متر بر ثانیه برآورد می‌شود و در محدوده بالادست آبیگرها نیز حداکثر به ۰/۴ متر بر ثانیه می‌رسد، از این رو محدوده‌ای به ابعاد ۱۱×۱۲ متر در مدل (معادل ۲۷۵×۳۰۰ در نمونه واقعی) برای مخزن بالادست آبیگرها در نظر گرفته شد که این محدوده در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل ۳-۴- نقشه جانمایی دهانه‌های آبیگر و محدوده مخزن مدل

جهت ایجاد تشابه دقیق الگوی جریان، مدل طوری ساخته شد تا جریان از سمت چپ (نسبت به جهت جریان) و بالادست آبیگرها از بین صفحات مشبک عمود بر خطوط جریان با بازشدگی ۵۰ درصد عبور کند تا الگوی جریان به خوبی شبیه سازی شود. در شکل ۳-۵ صفحات مشبک آرام کننده جریان نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- نمای از مخزن مدل - صفحات مشبک آرام کننده جریان

### ۳-۳- نحوه انجام آزمایش

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی احتمال وقوع پدیده گرداب در شرایط مختلف بهره‌برداری از آبگیرها در ترازهای مختلف و همچنین در دبی‌های متفاوت (اعداد فرود مختلف) می‌باشد. برای ایجاد شرایط مختلف بهره‌برداری از آبگیرها مطابق نمونه واقعی، مدل باید طوری ساخته شود که امکان بهره‌برداری از آبگیرها به صورت منفرد، دوتایی و هر چهار آبگیر با هم وجود داشته باشد.

با توجه به بزرگ بودن مقیاس مدل و نظر به اینکه دبی عبوری از هر آبگیر در نمونه واقعی ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه (معادل ۱۲۸ لیتر بر ثانیه در مدل) می‌باشد، جهت تامین دبی مورد نظر برای برقراری جریان در شرایط بهره‌برداری از یک آبگیر، از یک پمپ با قدرت مکش ۱۷۵ لیتر بر ثانیه در بهترین شرایط استفاده شد و در شرایط آگیری همزمان از دو آبگیر و چهار آبگیر به ترتیب از ۲ و ۳ پمپ استفاده می‌شد.

نحوه برقراری جریان در مدل بدین صورت است که ابتدا مخزن مدل را تا یک تراز معین مورد نظر پر کرده و سپس با اندازه گیری و تثبیت دبی خروجی با استفاده از سرریز مستطیلی، دبی ورودی را نیز تغییر داده تا تراز سطح آب در مخزن ثابت بماند. در چنین شرایطی دبی ورودی و خروجی ثابت بوده و شرایط جریان مشابه با نمونه واقعی در مدل جهت بررسی و مشاهده پدیده گرداب و اندازه گیری سایر پارامترهای هیدرولیکی ایجاد شده است.

### ۳-۴- معرفی ابزارهای اندازه گیری

آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش به دو بخش آزمایش‌های مشاهده‌ای و آزمایش‌های اندازه گیری دقیق فشار در آبگیرها با استفاده از دستگاه فشار دینامیکی (ترنسدیوسر) تقسیم بندی می‌شوند.

آزمایش‌های مشاهده‌ای جهت بررسی احتمال وقوع پدیده گرداب در شرایط مختلف بهره‌برداری و با تغییرات مختلف انجام شده‌اند که در این آزمایش‌ها پس از برقراری جریان با دبی مورد نظر در یک تراز مشخص با استفاده از مواد رنگی و یا خاک اره از داخل مخزن مدل، خطوط جریان روی سطح آب و گرداب‌های تشکیل شده احتمالی به صورت چشمی مشاهده می‌شدند.

آزمایش‌های اندازه‌گیری دقیق فشار در آبگیرها جهت اندازه‌گیری افت آشغالگیر در گرفتگی‌های مختلف انجام شده است که برای اندازه‌گیری مقادیر دقیق فشار از دستگاه ترنسدیوسر (که در ادامه شرح داده خواهد شد) استفاده شده است.

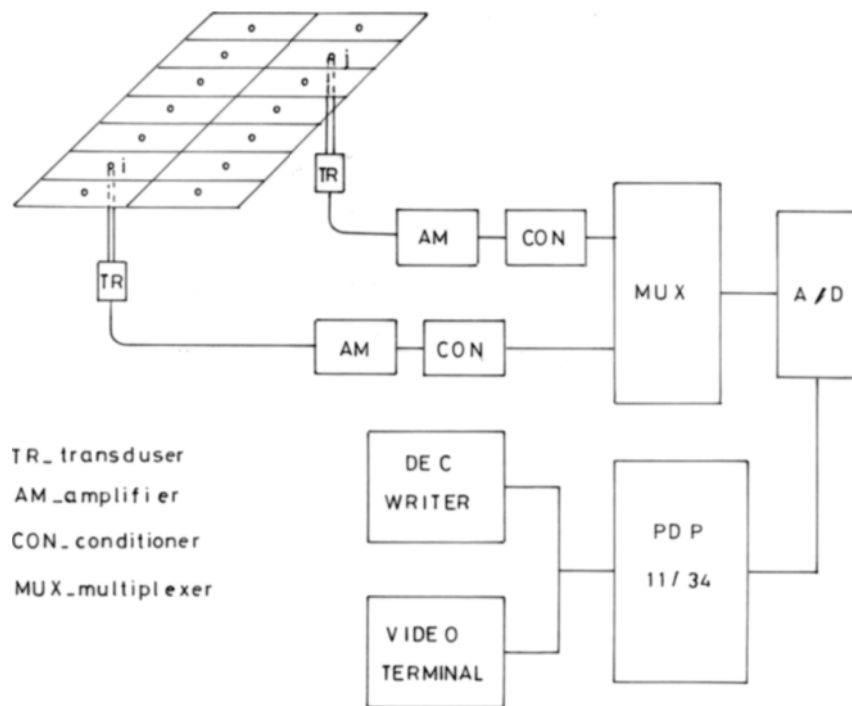
سایر ابزار اندازه‌گیری در انجام این آزمایش‌ها شامل سرریز مستطیلی (جهت اندازه‌گیری دبی خروجی)، و اشل میله‌ای ( برای اندازه‌گیری تراز سطح آب) در ادامه تشریح خواهند شد.

### ۳-۴-۱- اندازه گیری فشارهای لحظه‌ای با ترانسدیوسر (فشارهای دینامیکی)

در نقاطی مهم از سازه فشار بصورت لحظه ای ثبت می‌گردد. برای اندازه‌گیری فشارهای دینامیکی، پیزومترها به گیرنده‌های حساس به تغییر فشار متصل و توسط سیم‌های رابط به دستگاه مبدل و از آنجا به سیستم کامپیوتری و نرم افزار پردازش اطلاعات مرتبط میگردند. جهت اندازه‌گیری نوسان‌های فشار که شامل برداشت اطلاعات و ضبط صحیح تغییرات لحظه‌ای فشار و سری زمانی مربوط در محل‌های مورد نظر می‌باشد، از تجهیزات خاصی استفاده می‌شود که بطور شماتیک در شکل شماره ۳-۶ نشان داده شده است.

تجهیزات اصلی مورد نیاز عبارتند از:

- ۱- ترانسدیوسر یا مبدل فشار
- ۲- آمپلی فایر یا تقویت کننده
- ۳- صافی
- ۴- ادغام کننده
- ۵- پردازش گر
- ۶- تجهیزات ضبط و نمایش اطلاعات



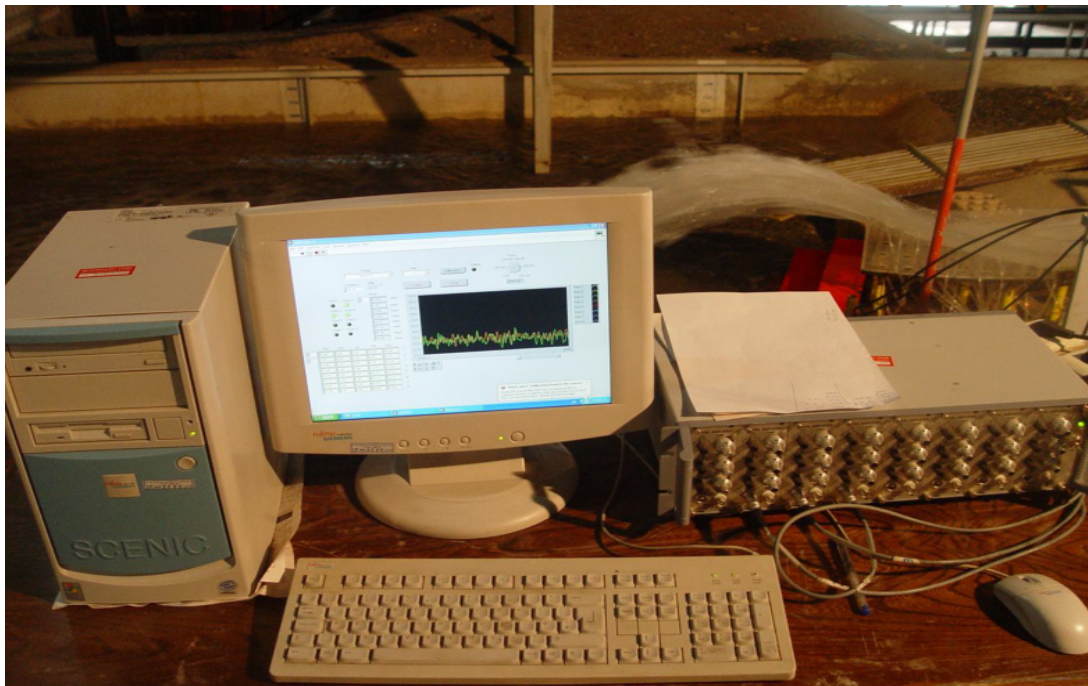
شکل ۳-۶- طرح شماتیک دستگاه اندازه‌گیری نوسانات فشار

نوسانات فشار توسط ترانسدیوسر (مبدل فشار) به سیگنالهای الکتریکی تبدیل می‌شود. این سیگنالها توسط آمپلی فایر (تقویت کننده) تشدید شده و توسط صافی، پارازیت‌ها و اغتشاشات آن حذف می‌گردد این سیگنالها از چند مبدل فشار مختلف به یک دستگاه ادغام کننده منتقل و از آنجا به سیستم پردازش‌گر به طور همزمان منتقل شده و در تجهیزات ضبط و نمایش قابل رویت است. در اینجا با نرم افزارهای خاصی این سیگنالها به اطلاعات کاربردی مهندسی تبدیل می‌شود و سری زمانی نوسانات فشار برای نقاط مختلف بدست می‌آید.

ابتدا سنسورها در یک تراز مشخص روی صفحه سنسور نصب می‌شوند و سپس پیزومترها از یک طرف به مقطع مورد نظر جهت برداشت فشار متصل شده و از طرف دیگر به صفحه سنسور متصل می‌شوند. در این مرحله شلنگ‌ها با دقت تمام کنترل شده تا حباب هوا در آنها وجود نداشته باشد. در صورت مشاهده حباب هوا باید هواگیری شده و دوباره در جای خود نصب شوند. سپس آمپلی فایر فشارسنج را روشن کرده و کلیه کانال‌ها با توجه به دستورالعمل موجود برای آن تنظیم می‌شود.



نمایشگر دیجیتالی آمپلی فایر در هر لحظه می‌تواند همه کانال را نشان دهد. محل نصب پیزومترها و شماره کانال هر سنسور فشار در یک دفترچه یادداشت می‌شود. سپس با روشن کردن کامپیوتر و راه‌اندازی نرم افزار مربوطه، سیستم اندازه‌گیری آماده ثبت اطلاعات می‌گردد. در شکل ۳-۷ تصویر دستگاه اندازه‌گیری فشار دینامیکی نشان داده شده است.



شکل ۳-۷- تصویر دستگاه اندازه‌گیری فشار دینامیکی

### ۳-۴-۲- اندازه‌گیری تراز سطح آب

برای اندازه‌گیری تراز سطح آب در قسمت‌های مختلف مدل از دو روش استفاده شده است. در روش اول با استفاده از اشل میله‌ای، خطکش و همینطور مدرج کردن دیواره سازه در قسمت‌های مورد نیاز، تراز سطح آب قرائت شده است. با اندازه‌گیری تراز سطح آب و با داشتن تراز ایستگاه مورد نظر، عمق آب در نقاط مذکور تعیین شده است. شکل ۳-۹ نمایی از اشل میله‌ای (لمینیمتر) جهت اندازه‌گیری تراز سطح جریان را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸- نمایی از لمینیمتر جهت اندازه‌گیری تراز سطح جریان

در روش دوم برای قرائت تراز سطح آب از ترنسدیوسر استفاده شده است. در این روش با توجه به شرایط فیزیکی مدل و همچنین شرایط بهره‌برداری آن یکی از سنسورهای ترنسدیوسر را به آبگیری که در آن جریان برقرار نمی‌باشد متصل کرده و تراز آب قرائت می‌شده است.

### ۳-۴-۳- اندازه‌گیری دبی جریان

دبی هر آبگیر در طول آزمایش‌ها به طور جداگانه در پایاب پس از عبور از یک کانال انتقال آب به طول ۸ متر و عرض ۰/۶ متر با استفاده از یک سرریز مستطیلی لبه تیز به عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۴ متر اندازه‌گیری می‌شود.

رابطه کلی اندازه‌گیری دبی جریان روی این سرریزها عبارت است از:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L h^{\frac{3}{2}} \quad (1-3)$$

تغییرات  $C_d$  که تابعی از  $\frac{h}{p}$  است، صورت زیر ارائه شده است:



$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{h}{p} \quad (2-3)$$

که این رابطه برای  $\frac{h}{p} \leq 5$  کاربرد دارد.

در این روابط:

Q- دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه)

$C_d$ - ضریب تخلیه سرریز

h- فاصله لبه سرریز تا بالاترین تراز آب پشت سرریز (متر)

L- عرض سرریز یا عرض کانال (۰/۶ متر)

p- فاصله تاج سرریز تا کف کانال بالادست (متر)

در شکل ۳-۱۰ سرریز مستطیلی اجرا شده در مدل جهت اندازه گیری دبی نشان داده شده است.



شکل ۳-۹- نمایی از سرریز مستطیلی جهت اندازه گیری دبی

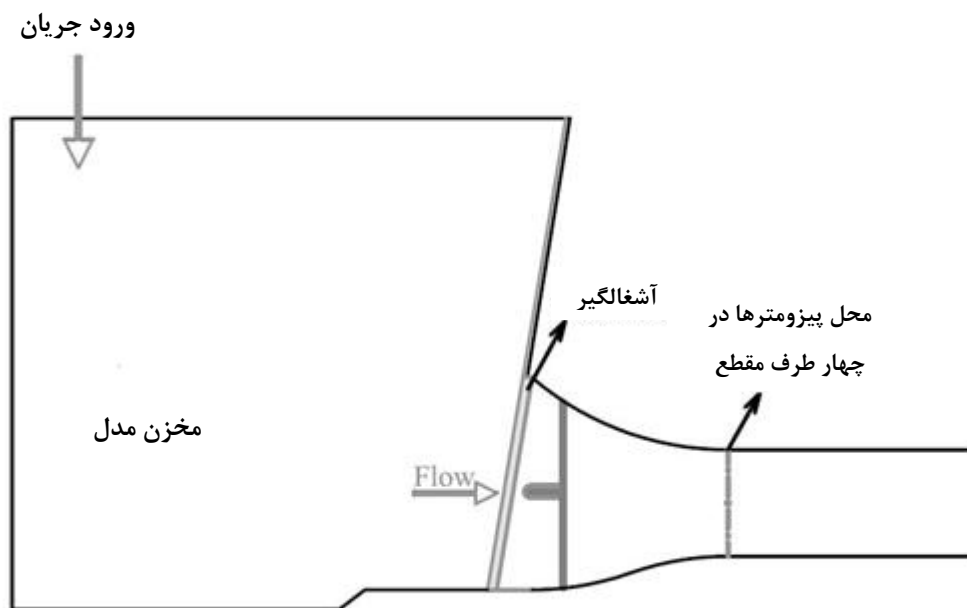
### ۳-۵- اندازه‌گیری افت آشغالگیر

همانطور که در فصل اول اشاره شد در جریان انتقال آب از مخزن به سمت پایین دست، افت اصطکاکی و انواع مختلف افت‌های موضعی وجود دارد که یکی از این افت‌های موضعی افت ناشی از وجود آشغالگیر در ورودی آبگیر می‌باشد. برای محاسبه افت آشغالگیر در این پژوهش از آبگیر با مقطع مستطیلی به ابعاد ۰.۸۶×۱.۰۶ متر استفاده شده است. پلان و مقطع این آبگیر در شکل ۳-۲-الف و ب نشان داده شده است. نمای ورودی آبگیرها نیز در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۰- نمای ورودی آبگیرها با آشغالگیر

جهت اندازه‌گیری افت آشغالگیر، از پیزومترهایی در تونل اسفاده شده است که در انتهای تبدیل مقطع قرار داشتند. محل این پیزومترها در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱- محل پیزومترهای مورد آزمایش

در شرایط متفاوت وجود یا عدم وجود آشغالگیر مقدار کل افت با کمک دستگاه ترنسدمیتر و با استفاده از رابطه برنولی محاسبه شده و با تفاضل این دو، مقدار افت آشغالگیر در هر گرفتگی محاسبه می‌شود.

### خلاصه فصل سوم

در این فصل پس از معرفی کامل مدل آزمایشگاهی و شرح مشخصات آن، ابزار اندازه‌گیری مورد استفاده در آزمایش‌ها و نحوه استفاده از آنها تشریح شده است. صحت سنجی دستگاه اندازه‌گیری فشار دینامیکی نیز جهت کالیبره کردن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

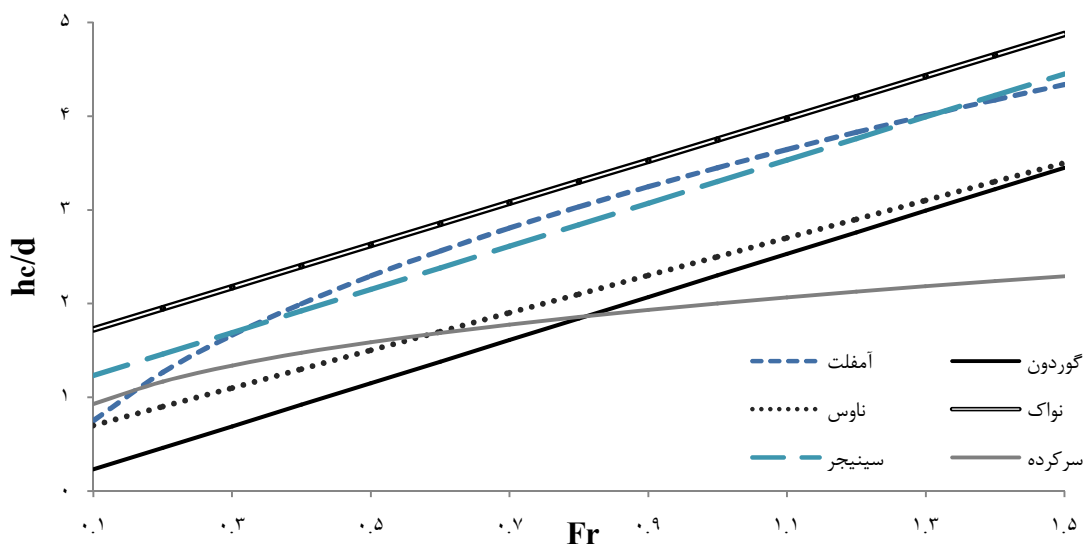
## فصل چهارم

# ارائه نتایج آزمایش‌های عمق استغراق بحرانی

در این فصل تغییرات عمق استغراق بحرانی با عدد فرود مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری عمق استغراق چند نیروگاه دیگر نیز در این فصل مورد ارزیابی قرار گرفته و رابطه‌ای جامع برای اندازه‌گیری عمق استغراق بحرانی ارائه شده است. همچنین نتایج آزمایش‌های مربوط به بررسی وضعیت شکل‌گیری و قدرت پدیده گرداب در حالات مختلف بهره‌برداری از آبگیرهای مورد مطالعه و ارائه راهکار جهت کاهش یا حذف خطرات این پدیده، از دیگر مباحث مورد مطالعه در این فصل می‌باشد.

#### ۴-۱- بررسی تغییرات عمق استغراق بحرانی با عدد فرود

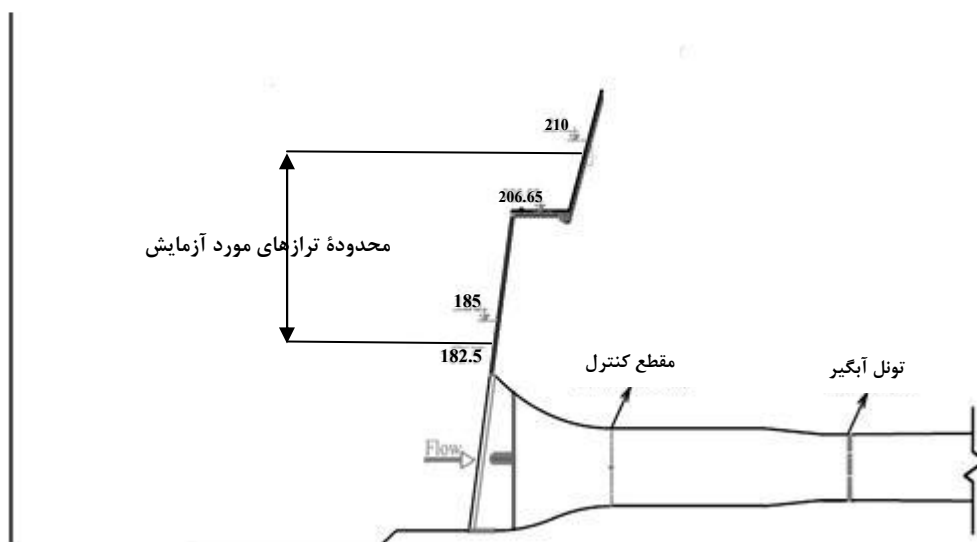
در فصل دوم روابط ارائه شده توسط محققین مختلف، برای محاسبه عمق استغراق بحرانی نسبی، ارائه شد (جدول ۲-۱). برخی از این روابط (که مستقیماً با عدد فرود در ارتباط هستند) در شکل ۴-۱ ترسیم شده است. در این شکل تغییرات عمق استغراق بحرانی نسبی (نسبت عمق استغراق به قطر تونل) در مقابل تغییرات عدد فرود برای روابط مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱- تغییرات نسبت عمق استغراق بحرانی نسبی به قطر با عدد فرود برای روابط مختلف

همانطور که از شکل ۴-۱ مشخص است، روابط مذکور اختلاف قابل توجهی با یکدیگر دارند این شاید یکی از دلایلی باشد که طراحان نیروگاه‌های برق‌آبی، با توجه به جدی بودن خطرات ناشی از شکل‌گیری پدیده گرداب در آبگیرها، هنوز هم جهت پیش‌بینی عمق استغراق بحرانی به ساخت مدل‌های فیزیکی روی می‌آورند. شکل ۴-۱ نشان می‌دهد که هنوز یک رابطه جامع از بین روابط ذکر شده جهت پیش‌بینی پدیده گرداب مورد توافق قرار نگرفته است.

در این پژوهش مقادیر عمق استغراق بحرانی آبگیر نیروگاه سد گتوند علیا با استفاده از نتایج مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این آزمایش‌ها جریان بالاترین تراز بهره‌برداری در مدل برقرار می‌شد. پس از تثبیت دبی و تراز آب در مدل، با ثابت نگه داشتن دبی به کمک شیر فلکه خروجی، شرایط ایجاد پدیده گرداب مورد مشاهده قرار می‌گرفت. سپس تراز آب مخزن تغییر داده می‌شد و گرداب‌های تشکیل شده احتمالی در بالای آبگیر در مدت زمان ۵ تا ۱۰ دقیقه مشاهده و ثبت می‌شد. روند کاهش تراز آب و مشاهده جریان‌های گردابی در سطح آب تا رسیدن تراز آب به حداقل تراز بهره‌برداری، ادامه می‌یافت. شکل ۴-۲ محدوده ترازهای مورد آزمایش از تراز ۱۸۲/۵ تا تراز ۲۱۰ متر به طور شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- شکل شماتیک محدوده ترازهای مورد آزمایش

مشاهده گردابها بر روی آبگیر با استفاده از ماده رنگی و خاک اره بوده و شناسایی نوع آنها نیز بر اساس قدرت گرداب و اینکه جریان چرخشی به داخل آبگیر ادامه می‌یابد، و یا توانایی حمل ذرات شناور به داخل آبگیر را دارد انجام می‌شد.

در جدول ۴-۱ دبی‌ها و اعداد فرود معادل آنها که در آزمایش‌ها اندازه‌گیری شد، ارائه شده است. اعداد فرود در مقطع ثابت تونل اندازه‌گیری شده است.

جدول ۴-۱- اعداد فرود مورد آزمایش و دبی معادل آنها

عدد فرود	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۸۴	۱/۰۲	۱/۲۵
دبی معادل (lit/s)	۱۱۵/۲	۱۲۷/۱	۱۳۷/۸	۱۶۹/۷	۲۱۵/۸	۲۶۴/۱	۳۲۱/۴	۳۹۴/۴

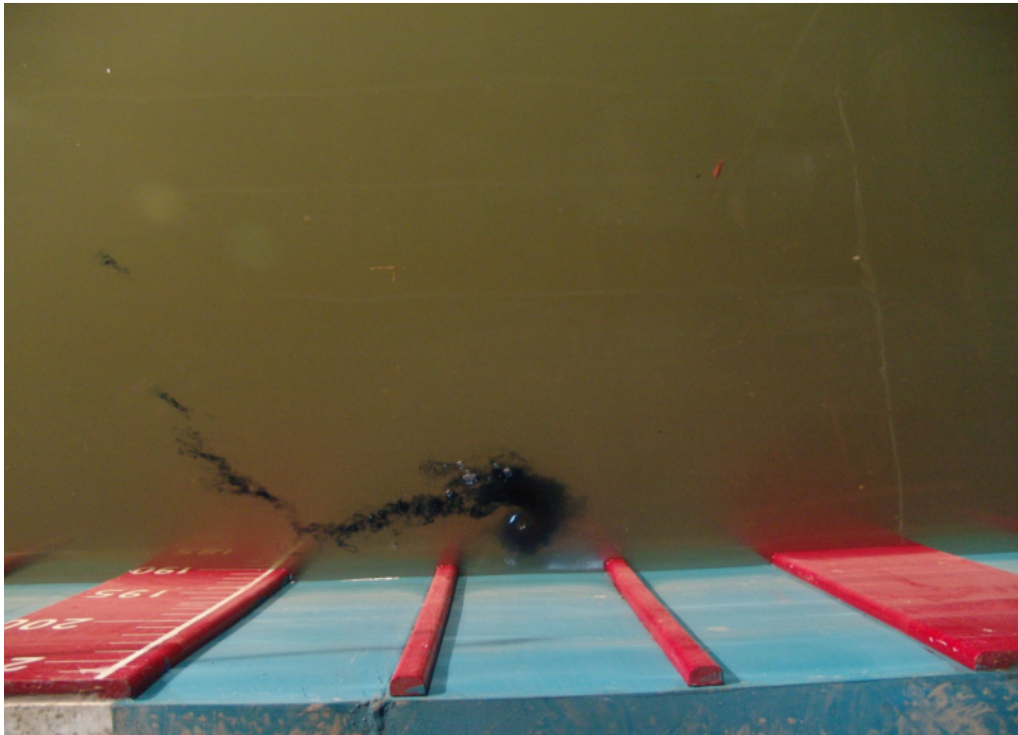
دبی در این آزمایش‌ها برای اعداد فرود ۰/۳۶ تا ۰/۴۴ با استفاده از یک پمپ، برای اعداد فرود ۰/۵۴ تا ۰/۸۴ با استفاده از دو پمپ و در اعداد فرود بالاتر با استفاده همزمان از سه پمپ تامین می‌شد.

در اشکال ۴-۳ تا ۴-۵ گردابهای ایجاد شده در اعداد فرود مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- گرداب نوع ۴ در فرود ۰/۴۰۳





شکل ۴-۴-گرداب نوع ۴ در فرود ۰/۴۳۶



شکل ۴-۵-گرداب نوع ۳ در فرود ۱/۷

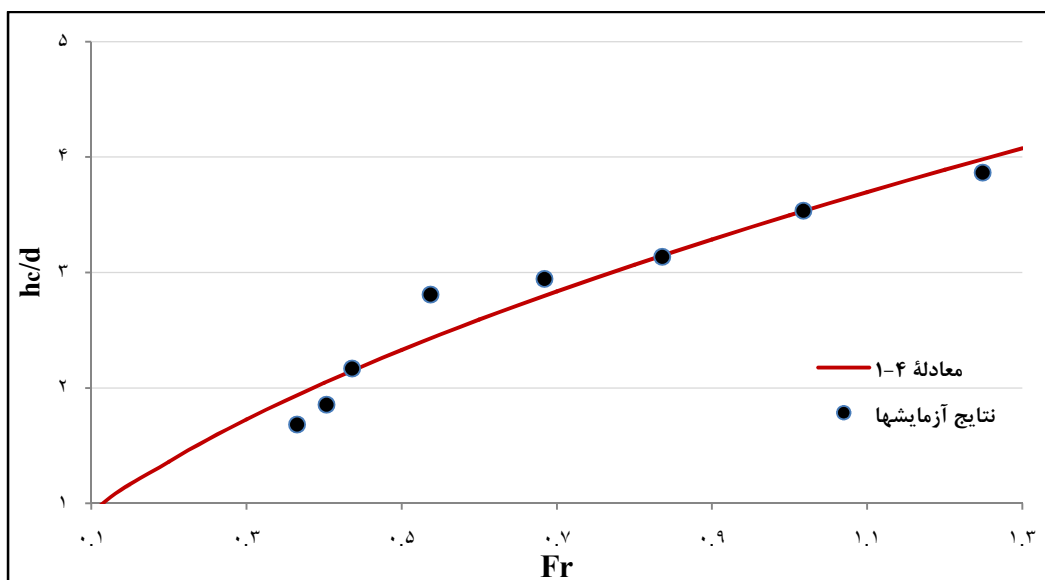


همانطور که در فصل ۱ اشاره شد، عمق استغراق بحرانی یک آبگیر حداقل عمق استغراقی است که در آن گرداب با هسته هوا اتفاق نیفتد لذا برای اعداد فرود مختلف با کاهش عمق استغراق به صورت تدریجی مقادیر عمق استغراق بحرانی اندازه‌گیری شد. در جدول شماره ۴-۲ نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری عمق استغراق بحرانی در اعداد فرود مختلف ارائه شده است. با تقسیم عمق استغراق بحرانی به دست آمده از آزمایش بر قطر تونل، مقدار عمق استغراق بحرانی نسبی ( $h_c/d$ ) آبگیر نیروگاه سد گتوند محاسبه می‌شود که در در جدول مذکور آمده است.

جدول ۴-۲- نتایج آزمایشات اندازه‌گیری عمق استغراق بحرانی

عدد فرود	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۸۴	۱/۰۲	۱/۲۵
عمق استغراق بحرانی (متر)	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۹۵	۱/۲۴	۱/۳۰	۱/۳۸	۱/۵۶	۱/۷
تراز معادل عمق استغراق بحرانی (متر)	۱۸۳	۱۸۴/۹	۱۸۸/۳	۱۹۵/۴	۱۹۶/۹	۱۹۹	۲۰۳/۴	۲۰۷
عمق استغراق نسبی ( $h_c/d$ )	۱/۶۸	۱/۸۵	۲/۱۷	۲/۸۱	۲/۹۴	۳/۱۴	۳/۵۴	۳/۸۶

بر اساس نتایج آزمایش‌ها همانطور که پیش بینی می‌شد با افزایش عدد فرود، عمق استغراق بحرانی نیز افزایش می‌یافت. شکل ۴-۶ تغییرات عمق استغراق بحرانی نسبی ( $h_c/d$ ) با عدد فرود به دست آمده از نتایج آزمایش‌های حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶- تغییرات نسبت  $h_c/d$  با عدد فرود برای نتایج آزمایش و رابطه ۱-۴

با توجه به آزمایش‌های انجام شده می‌توان رابطه‌ای برای محاسبه عمق استغراق نسبی ( $h_c/d$ ) بر اساس عدد فرود ارائه کرد. رابطه زیر برای برآورد مقدار  $h_c/d$  بهترین برازش را با نتایج آزمایشگاهی داشت که توسط نرم افزار SPSS به دست آمد:

$$\frac{h_c}{d} = 3.495Fr^{0.586} \quad (1-4)$$

که در این معادله  $h_c/d$  عمق استغراق نسبی بحرانی و  $Fr$  عدد فرود می‌باشد. شایان ذکر است که ضریب همبستگی معادله بالا ۰/۹۷ می‌باشد که نشانگر تطابق خوب این رابطه با نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. در شکل ۴-۶ منحنی رابطه ۱-۴ نمایش داده شده است.

لازم به توضیح است که با توجه به اینکه پدیده گرداب به عوامل مختلفی غیر از عمق استغراق بحرانی نیز بستگی دارد لذا رابطه ۱-۴ برای آبگیرهایی که شرایط مشابهی با آبگیر نیروگاه سد گتوند دارند می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲-۴- نتایج آزمایشگاهی مدل هیدرولیکی سدهای دیگر

در بخش ۴-۱ بر اساس نتایج آزمایشگاهی مدل آبگیرهای سد گتوند، رابطه‌ای جهت اندازه-گیری عمق استغراق بحرانی به منظور جلوگیری از ایجاد پدیده گرداب استخراج شد که این رابطه برای آبگیرهای مشابه مناسب است. جهت تحصیل یک نتیجه جامع‌تر برای اندازه‌گیری عمق استغراق بحرانی لازم است که انواع مختلف آبگیرها با هندسه‌های بالادست و ابعاد متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته و با جمع‌بندی داده‌های آنها به یک نتیجه دقیق‌تر و کلی‌تر دست یافت. در این بخش نتایج آزمایشگاهی چندین سد از جمله، مدل‌های هیدرولیکی آبگیر نیروگاه سدهای کارون ۱ (نیروگاه اول و دوم)، کارون ۳، سیمره، سیاه بیشه و گذارلندر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

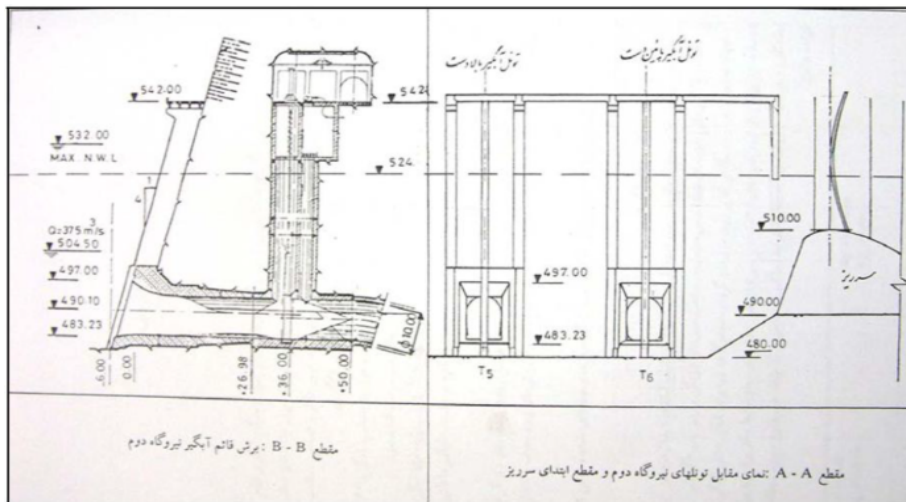
در جدول ۴-۳ خلاصه‌ای از مشخصات آبگیرهای مذکور ارائه شده است.

جدول ۴-۳- خلاصه‌ای از مشخصات آبگیر سدهای مورد مطالعه

سد						شرح
گذارلندر	سیاه بیشه	سیمره	کارون ۳	کارون ۱ نیروگاه دوم	کارون ۱ نیروگاه اول	
۲۷ کیلومتری مسجد سلیمان	۱۵ کیلومتری شمال تونل کندون- چالوس	۴ کیلومتری شمال دره شهر ایلام	۲۷ کیلومتری شمال شهر ایذه	۵۵ کیلومتری شمال مسجد سلیمان	۵۵ کیلومتری شمال مسجد سلیمان	مکان اجرای سد
سنگریزه‌ای	خاکی	بتنی قوسی	بتنی قوسی	بتنی قوسی	بتنی قوسی	نوع سد
۱۷۰	۸۴	۱۳۰	۲۰۵	۲۰۳	۲۰۳	ارتفاع سد (متر)
--	۳.۵	۳۲۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	گنجایش دریاچه سد (میلیون کیلومتر)
۲۱۷۰۰	۱۸۰		۱۶۰۰۰	۱۶۵۰۰	۱۶۵۰۰	حداکثر دبی تخلیه سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)
	سمت چپ بالادست کانال ورودی به سرریز	سمت چپ روی ارتفاع مشرف به بدنه سد	سمت راست مشرف به سرریز	بدنه سد سمت چپ مشرف به سرریز	بدنه سد سمت چپ مشرف به سرریز	مکان آبگیر نیروگاه
۴	۲	۱	۳	۲	۲	تعداد دهانه آبگیر نیروگاه
۳۷۵	۱۳۰	۴۶۰	۷۰۰	۳۷۵	۱۸۵	دبی عبوری از هر دهانه نیروگاه (متر مکعب بر ثانیه)
۱۰	۵.۷	۱۱	۱۲.۶	۹	۶.۴	قطر تونل آب‌بر بعد از دریچه (متر)
۱:۶۶۶۶	۱:۲۰	۱:۵۰	۱:۳۳	۱:۳۰	۱:۱۸	مقیاس مدل هیدرولیکی
م‌تاون ۱۳۷۱	م‌تاون ۱۳۸۶	م‌تاون ۱۳۷۸	م‌تاون ۱۳۷۷	م‌تاون ۱۳۷۳	م‌تاون ۱۳۷۰ <sup>۱۱</sup>	مرجع

<sup>۱۱</sup> - مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو

در شکل‌های ۷-۴ تا ۱۰-۴ تصاویری از آبگیرهای ذکر شده در جدول ۴-۴، به ترتیب برای سدهای کارون ۱، کارون ۳، سیمره و سیاه‌بیشه نشان داده شده است. در شکل ۷-۴ الف مقطع ورودی و در شکل ۷-۴ ب تصویر مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه دوم شهید عباسپور و در شکل ۸-۴ الف آبگیرهای نیروگاه سد کارون ۳ در نمونه واقعی و در ۸-۴ ب تصویر مدل هیدرولیکی آنها نشان داده شده است. شکل ۹-۴ الف مقطع آبگیرهای نیروگاه سد سیمره و شکل ۹-۴ ب تصویر مدل هیدرولیکی آبگیر آن را نشان می‌دهد. مقطع آبگیرها و تصویر مدل آبگیرهای سد سیاه‌بیشه نیز به ترتیب در شکل‌های ۱۰-۴ الف و ب نشان داده شده است.



شکل ۷-۴ الف: مقطع ورودی آبگیرهای نیروگاه دوم شهید عباسپور (کارون ۱)



شکل ۷-۴ ب: تصویر مدل هیدرولیکی اجرا شده نیروگاه دوم شهید عباسپور (کارون ۱)

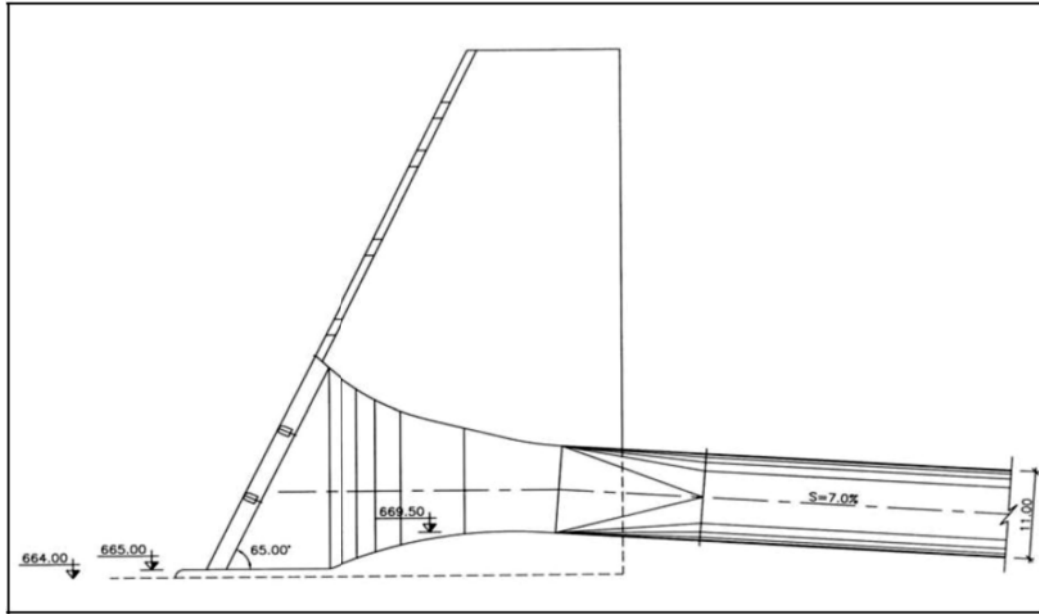


شکل ۴-۸-الف: آبگیرهای نیروگاه سد کارون ۳ در نمونه واقعی



شکل ۴-۸-ب: تصویر مدل هیدرولیکی آبگیرهای نیروگاه سد کارون ۳

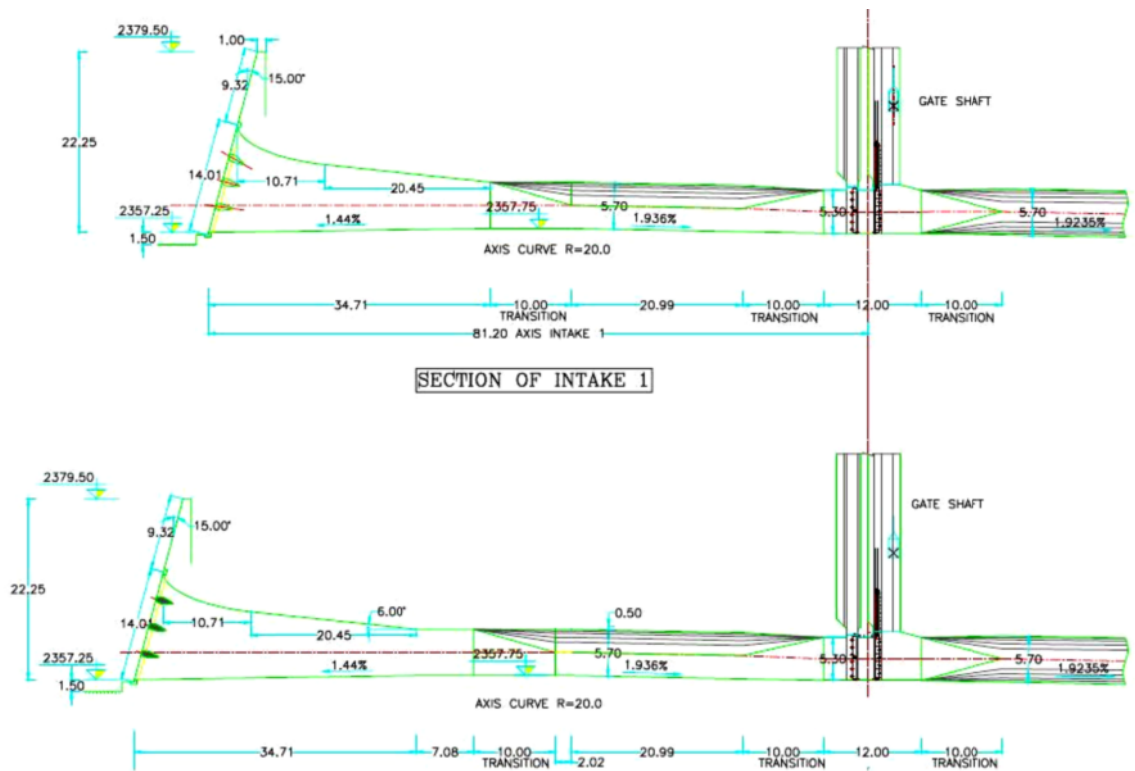




شکل ۴-۹- الف: مقطع آبگیر نیروگاه سد سیمره



شکل ۴-۹- ب: آبگیر نیروگاه سد سیمره در مدل هیدرولیکی



شکل ۴-۱۰-الف مقطع آبگیرهای نیروگاه سد سیاه بیشه



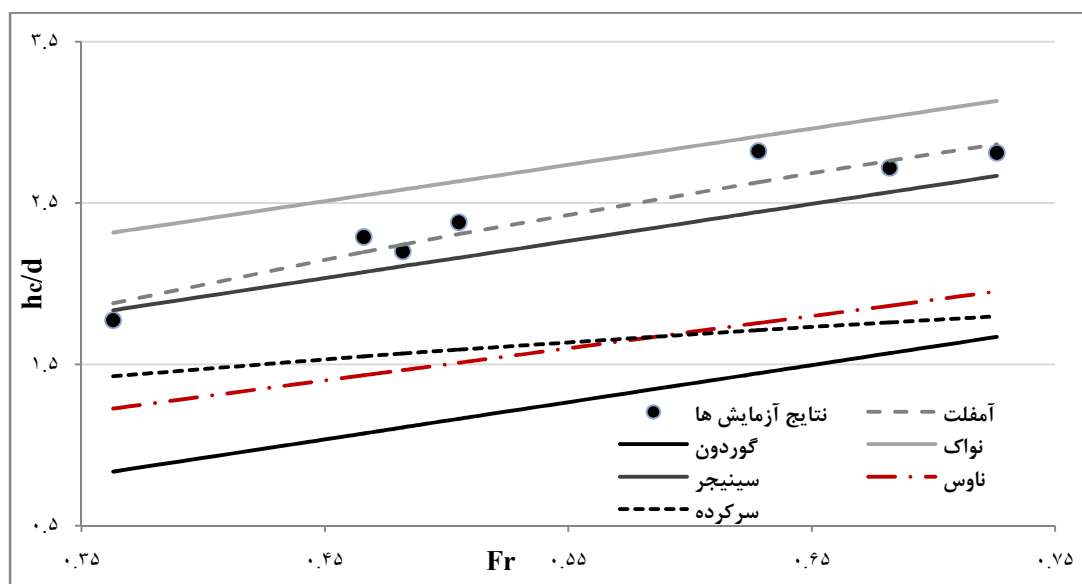
شکل ۴-۱۰-ب تصویر مدل هیدرولیکی آبگیرهای نیروگاه سد سیاه بیشه

آزمایش‌های بررسی پدیده گرداب بر روی هریک از مدل‌های مذکور در جدول ۴-۳، در موسسه تحقیقات آب انجام شده و عمق استغراق بحرانی نسبی هریک از آنها اندازه‌گیری شده است که این نتایج در جدول ۴-۴ آمده است.

جدول ۴-۴- نتایج آزمایشگاهی اندازه‌گیری عمق استغراق نسبی

سِد و نیروگاه	کارون ۱_۱	کارون ۲_۱	کارون ۳	گتوند	سیمره	سیاه بیشه	گذارلندر
Fr	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۶۸	۰/۴۸
عمق استغراق بحرانی نسبی $h_c/d$	۲/۸۱	۸۲.۲	۲/۳۸	۱/۷۷	۲/۲۹	۲/۷۲	۲/۲

نتایج اندازه‌گیری عمق استغراق بحرانی نسبی بر روی آبگیرهای مختلف و نمودارهای روابط مختلف محققین قبلی در شکل ۴-۱۱ ارائه شده است.



شکل ۴-۱۱- مقایسه داده‌های آزمایشگاهی با روابط محققین گذشته

همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود روابط محققین گذشته برآزش مناسبی با نتایج آزمایشگاهی ندارد. با توجه به ساخت مدل‌های آزمایشگاهی در ابعاد و مقیاس‌های متفاوت و اندازه‌گیری نتایج آنها و با توجه به مقیاس مدلها، که همگی مدل‌های بزرگ مقیاس از سدهای عظیم



محسوب می‌شوند یک رابطه جدید، با برازش بهتر نسبت به روابط گذشته به صورت زیر پیشنهاد شد (Golmohammadi. et. al 2010).

$$\frac{h_c}{d} = 1.522\text{Ln}(\text{Fr}) + 3.376 \quad (2-4)$$

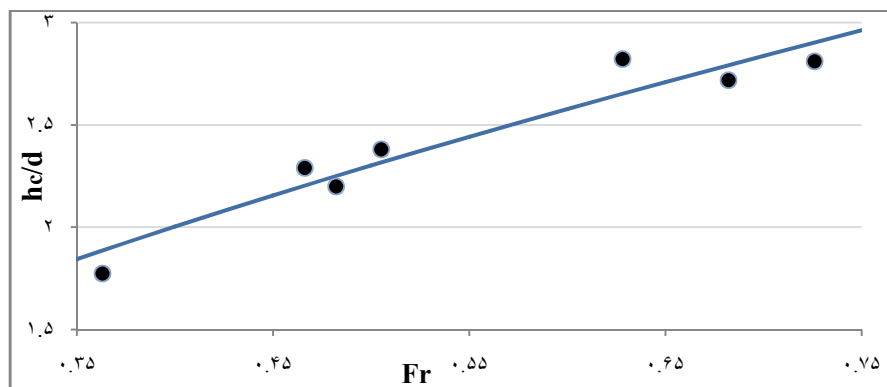
ضریب رگرسیون این منحنی ۰/۹۴ می‌باشد.

لازم به ذکر است که رابطه آمفلت با نتایج آزمایشگاهی برازش نسبتاً مناسبی دارد، اما از آنجا که در این رابطه شرط مرزی در  $\text{Fr}=0$  رعایت نشده است، می‌توان معادله‌ای جدید که برازش مناسب‌تری با داده‌های آزمایشگاهی داشته و شروط مرزی را نیز ارضا کند، ارائه کرد.

پس از ارائه مقاله فوق در کنفرانس *ISHPF2010*، داده‌های آزمایشگاهی مجدداً و این بار با استفاده از نرم افزار *SPSS* مورد ارزیابی قرار گرفته و با در نظر گرفتن شرایط مرزی در  $\text{Fr}=0$ ، رابطه‌ای دیگر با دقت بیشتر و به شکل ساده‌تر برای محاسبه عمق استغراق نسبی آبگیرهای افقی نیروگاه‌ها به صورت زیر پیشنهاد شد.

$$\frac{h_c}{d} = 3.543\text{Fr}^{0.622} \quad (3-4)$$

ضریب رگرسیون این رابطه ۰/۹۹ می‌باشد که با توجه به در نظر گرفتن شرایط مرزی رابطه مناسب‌تری می‌باشد. در شکل ۴-۱۲ منحنی رابطه ۳-۴ با نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲- منحنی برازش داده شده (رابطه ۳-۴) با داده‌های آزمایشگاهی

### ۴-۳- تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری

با توجه به وجود چهار آبگیر مشابه در کنار هم در نیروگاه سد گتوند، امکان استفاده از هر یک از این آبگیرها و یا تعدادی از آنها با توجه به شرایط بهره‌برداری وجود دارد که در این پژوهش چند حالت از ترکیبات مختلف بهره‌برداری در ترازهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. این ترکیبات به شرح زیر است:

الف- بهره‌برداری از هر آبگیر به تنهایی

ب- بهره‌برداری از دو آبگیر مجاور

ج- بهره‌برداری از هر چهار آبگیر با هم

آزمایش‌ها در هر یک از حالت‌های مذکور و در ترازهای ۱۸۵، ۱۹۰ و ۲۰۵ و در دبی ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه (معادل ۱۲۸ لیتر بر ثانیه در مدل آزمایشگاهی) انجام شده و نتایج آنها در جداول ۴-۵، ۴-۶ و ۴-۷ ارائه شده است.

جدول ۴-۵- نتایج آزمایش‌های تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری (دبی ۴۰۰، تراز ۱۸۵)

نوع گرداب مشاهده شده				شرح	شرایط بهره‌برداری
آبگیر (شماره ۴)	آبگیر (شماره ۳)	آبگیر (شماره ۲)	آبگیر (شماره ۱)		
----	----	نوع ۲ به ۳	نوع ۱ به ۲	کارکرد دو آبگیر همجوار با هم گرداب در آبگیر راست موافق عقربه ساعت و در آبگیر چپ مخالف عقربه ساعت است.	تراز سطح آب دریاچه ۱۸۵ متر از سطح دریا دبی عبور از هر آبگیر ۴۰۰ متر مکعب در ثانیه
----	نوع ۲ و ۳ متماثل به ۴	نوع ۱ به ۲	----		
نوع ۱، ۳ و ۲	نوع ۱ به ۲	----	----	تشکیل گرداب کمتر از یک دقیقه و با قطع کامل مجدداً گرداب تشکیل میشود و این حرکت به صورت متناوب برقرار است.	
----	----	----	نوع ۱ به ۲	کارکرد هر آبگیر به تنهایی گردش گرداب خلاف عقربه ساعت گرداب ناپایدار	
----	----	نوع ۱ به ۲	----		
----	نوع ۱، ۳ و ۲	----	----		
نوع ۱، ۳ و ۲	----	----	----		
نوع ۱ و ۲	بدون گرداب	بدون گرداب	نوع ۱ و ۲	کارکرد هر چهار آبگیر با هم	

جدول ۴-۶- نتایج آزمایشات تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری (دبی ۴۰۰، تراز ۱۹۰)

نوع گرداب مشاهده شده				شرح	شرایط بهره‌برداری
آبگیر (شماره ۴)	آبگیر (شماره ۳)	آبگیر (شماره ۲)	آبگیر (شماره ۱)		
----	----	نوع ۱	چرخش سطحی	<p><b>کارکرد دو آبگیر همجوار با هم</b></p> <p>گرداب در آبگیر راست موافق عقربه ساعت و در آبگیر چپ مخالف عقربه ساعت است.</p> <p>تشکیل گرداب کمتر از یک دقیقه و با قطع کامل مجدداً گرداب تشکیل میشود و این حرکت به صورت متناوب برقرار است.</p>	<p>تراز سطح آب دریاچه ۱۹۰ متر از سطح دریا دبی عبور از هر آبگیر ۴۰۰ متر مکعب در ثانیه</p>
----	نوع ۱ به ۲	چرخش سطحی	----		
نوع ۱، ۳ و ۲	نوع ۱	----	----		
----	----	----	بدون گرداب	<p><b>کارکرد هر آبگیر به تنهایی</b></p> <p>گردش گرداب خلاف عقربه ساعت، گرداب ناپایدار و چرخش سطحی در آبگیر ۱ و ۴</p>	
----	----	نوع ۱ به ۲	----		
----	نوع ۱	----	----		
بدون گرداب	----	----	----		
چرخش سطحی	بدون گرداب	بدون گرداب	چرخش سطحی با گرداب نوع ۱	<p><b>کارکرد هر چهار آبگیر با هم</b></p>	

جدول ۴-۷- نتایج آزمایشات تاثیر ترکیبات مختلف بهره‌برداری (دبی ۴۰۰، تراز ۲۰۵)

نوع گرداب مشاهده شده				شرح	شرایط بهره‌برداری
آبگیر (شماره ۴)	آبگیر (شماره ۳)	آبگیر (شماره ۲)	آبگیر (شماره ۱)		
----	----	بدون گرداب	بدون گرداب	کارکرد دو آبگیر همجوار با هم گرداب در آبگیر راست موافق عقربه ساعت و در آبگیر چپ مخالف عقربه ساعت است. تشکیل گرداب کمتر از یک دقیقه و با قطع کامل مجدداً گرداب تشکیل میشود و این حرکت به صورت متناوب برقرار است.	تراز سطح آب دریاچه ۲۰۵ متر از سطح دریا دبی عبور از هر آبگیر ۴۰۰ متر مکعب در ثانیه
----	چرخش سطحی	بدون گرداب	----		
بدون گرداب	چرخش سطحی	----	----	کارکرد هر آبگیر به تنهایی گردش گرداب خلاف عقربه ساعت گرداب ناپایدار	
----	----	----	بدون گرداب		
----	----	بدون گرداب	----		
----	چرخش سطحی	----	----		
چرخش سطحی	----	----	----	کارکرد هر چهار آبگیر با هم	
هیچ گونه گرداب و چرخش سطحی وجود نداشت					

در اشکال ۴-۱۳ تا ۴-۱۶ تصاویر گرداب‌های ایجاد شده در شرایط مختلف بهره‌برداری مشاهده

می‌شود.



شکل ۴-۱۳- گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری همزمان از آبگیرهای ۱ و ۲ در تراز ۱۸۵

الف- گرداب نوع ۲ در آبگیر شماره



ب- گرداب نوع ۳ در آبگیر شماره ۳



ج- گرداب نوع ۴ در آبگیر شماره ۳



شکل ۴-۱۴- گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری همزمان از آبگیرهای ۲ و ۳ در تراز ۱۸۵

الف- گرداب نوع ۱ در آبگیر شماره ۳



ب- گرداب نوع ۳ در آبگیر شماره ۴

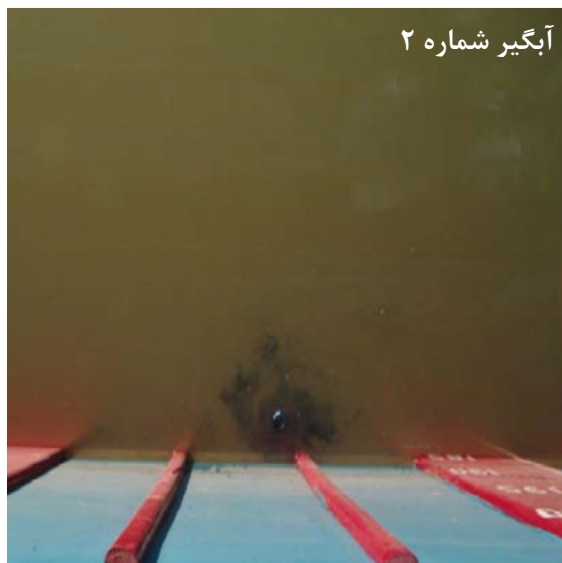


شکل ۴-۱۵- گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری همزمان از آبگیرهای ۳ و ۴ در تراز ۱۸۵





آبگیر شماره ۱



آبگیر شماره ۲



آبگیر شماره ۳



آبگیر شماره ۴

شکل ۴-۱۶- گرداب‌های تشکیل شده در بهره‌برداری از آبگیرها به صورت منفرد در تراز ۱۸۵

نتایج جداول ۴-۵ تا ۴-۷ نشان می‌دهد که جریان گردابی در هنگام بهره‌برداری از هر چهار آبگیر با هم حداقل بوده و و تنها در تراز ۱۸۵ گرداب‌های ناپایداری از نوع ۱ و ۲ بر روی آبگیرهای ۱ و ۴ ایجاد می‌شوند. اما در هنگام بهره‌برداری از دو آبگیر با هم و یا هر آبگیر به تنهایی در همین تراز به ترتیب گرداب‌های قوی‌تری شکل می‌گیرد. علت این اتفاق یکنواختی کامل خطوط جریان در کل

مقطع ورودی آبگیرها در هنگام باز بودن هر چهار آبگیر با هم می‌باشد که در هنگام بهره‌برداری از دو یا یک آبگیر این یکنواختی وجود ندارد.

در ترکیبات بهره‌برداری که در آنها تقارن خطوط جریان از نظر هندسی وجود دارد گردابه‌های ضعیف‌تری شکل می‌گیرد که در این مدل ترکیبات بهره‌برداری آبگیرهای ۴و۱ یا ۳و۲ و ۱و۲و۳و۴ شامل این شرایط می‌شوند.

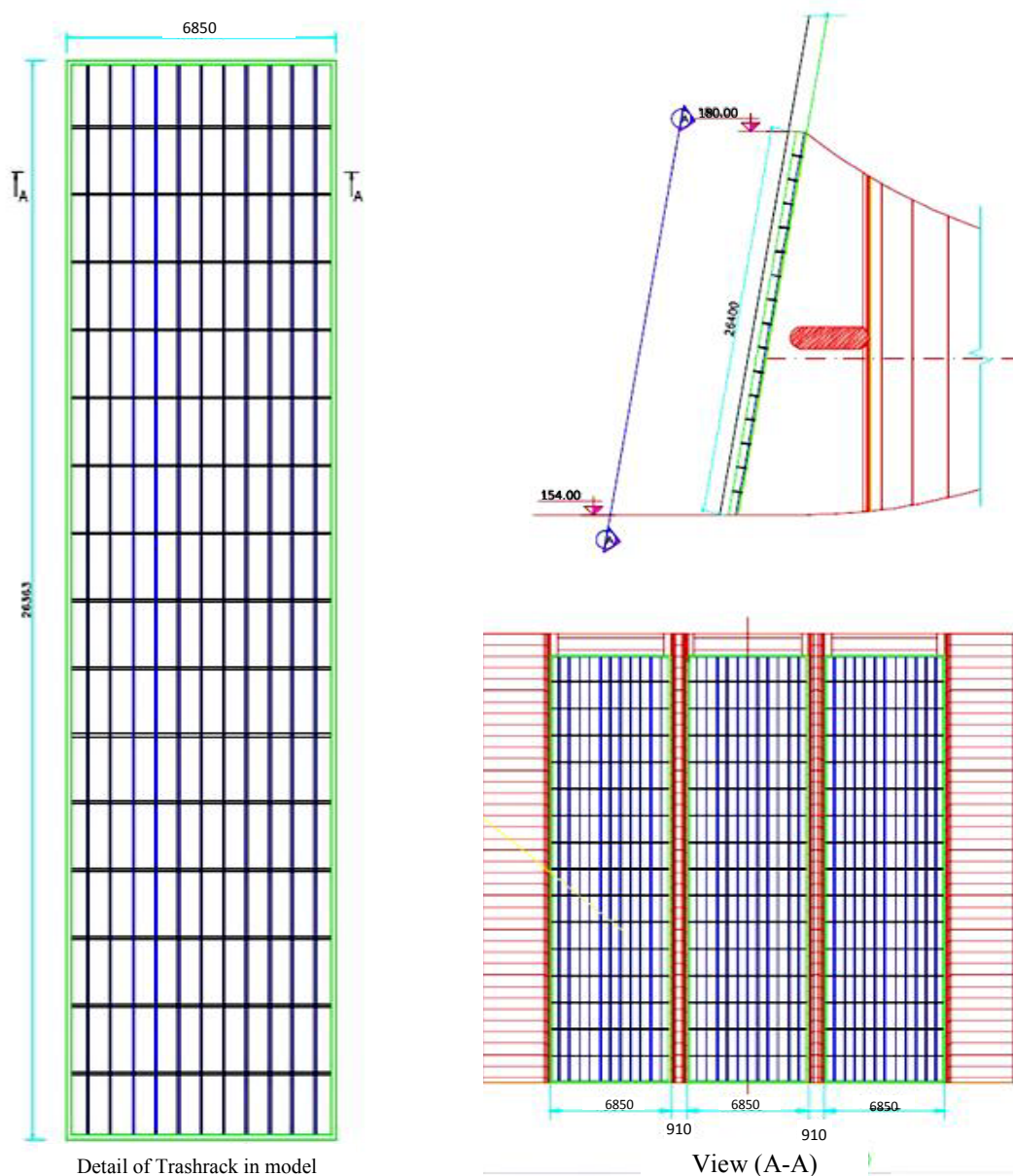
اگر جریان ورودی به آبگیرها، با توجه به هندسه بالادست آنها طوری تنظیم شود که یکنواختی کامل در خطوط جریان وجود داشته باشد و یا جریان به طور مستقیم و بدون هیچ‌گونه انحرافی از کانال انتقال به آبگیر وارد شود، احتمال ایجاد گرداب‌ها کاهش یافته و یا از قدرت آنها کاسته می‌شود.

## فصل پنجم

# ارائه نتایج آزمایش‌های تاثیر آشغالگیر بر گرداب

## ۵-۱- بررسی تاثیر وجود آشغالگیر بر گردابها

جهت جلوگیری از ورود اشیاء شناور به داخل مجرای آبگیر و آسیب رساندن به سازه‌های هیدرولیکی پایین دست، صفحه آشغالگیر در جلوی دهانه آبگیرها مستقر می‌گردد. آشغالگیر نصب شده در این بخش از مطالعه حاضر با استفاده از صفحات پلکسی گلاس به ضخامت ۲ میلیمتر و با باز شدگی ۰.۷۸٪ ساخته شده است. مشخصات صفحه آشغالگیر در شکل شماره ۵-۱ ارائه شده است.



شکل ۵-۱- مشخصات صفحه آشغالگیر نصب شده در ورودی آبگیر

آزمایش‌های مشاهده پدیده گرداب به ازای ترکیبات مختلف بهره‌برداری و در ترازهای ۱۸۵ و ۱۹۰ متر با وجود آشغالگیر نیز مجدداً انجام شد. جهت مشاهده تاثیر آشغالگیر بر قدرت گرداب، نتایج آزمایش‌ها با وجود آشغالگیر و بدون آن در جدول‌های ۵-۱ و ۵-۲ آمده است.

جدول ۵-۱- مقایسه گردابها در ترکیبات مختلف بهره‌برداری با و بدون آشغالگیر (تراز ۱۸۵ دبی ۴۰۰)

نوع گرداب مشاهده شده با آشغالگیر				نوع گرداب مشاهده شده بدون آشغالگیر				شرایط بهره‌برداری
آبگیر شماره (۴)	آبگیر شماره (۳)	آبگیر شماره (۲)	آبگیر شماره (۱)	آبگیر شماره (۴)	آبگیر شماره (۳)	آبگیر شماره (۲)	آبگیر شماره (۱)	
----	----	نوع ۱ و ۲	نوع ۱ و ۲	----	----	نوع ۲ به ۳	نوع ۱ به ۲	بهره‌برداری همزمان از ۲ آبگیر
----	نوع ۱ و ۲	چرخش سطحی و نوع ۱	----	----	نوع ۲ و ۳ متمایل به ۴	نوع ۱ به ۲	----	
نوع ۱ و ۲	نوع ۱ و ۲	----	----	نوع ۱، ۳ و ۲	نوع ۱ به ۲	----	----	
----	----	----	نوع ۱ و ۲	----	----	----	نوع ۱ به ۲	بهره‌برداری از هر آبگیر به صورت منفرد
----	----	چرخش سطحی و نوع ۱	----	----	----	نوع ۱ به ۲	----	
----	چرخش سطحی و نوع ۱	----	----	----	نوع ۱، ۳ و ۲	----	----	
نوع ۱، ۲	----	----	----	نوع ۱، ۳ و ۲	----	----	----	
چرخش سطحی و نوع ۱	بدون گرداب	بدون گرداب	چرخش سطحی و نوع ۱	نوع ۱ و ۲	بدون گرداب	بدون گرداب	نوع ۱ و ۲	بهره‌برداری همزمان از ۴ آبگیر

جدول ۵-۲- مقایسه گردابها در ترکیبات مختلف بهره‌برداری با و بدون آشغالگیر (تراز ۱۹۰ دبی ۴۰۰)

نوع گرداب مشاهده شده با آشغالگیر				نوع گرداب مشاهده شده بدون آشغالگیر				شرایط بهره‌برداری
آبگیر (شماره ۴)	آبگیر (شماره ۳)	آبگیر (شماره ۲)	آبگیر (شماره ۱)	آبگیر (شماره ۴)	آبگیر (شماره ۳)	آبگیر (شماره ۲)	آبگیر (شماره ۱)	
----	----	بدون گرداب	بدون گرداب	----	----	نوع ۱	چرخش سطحی	بهره‌برداری همزمان از ۲ آبگیر
----	چرخش سطحی و گرداب نوع ۱	بدون گرداب	----	----	نوع ۱ به ۲	چرخش سطحی	----	
چرخش سطحی و گرداب نوع ۱	چرخش سطحی	----	----	نوع ۱، ۲ و ۳	نوع ۱	----	----	
----	----	----	بدون گرداب	----	----	----	بدون گرداب	بهره‌برداری از هر آبگیر به صورت منفرد
----	----	نوع ۱	----	----	----	نوع ۱ به ۲	----	
----	چرخش سطحی و گرداب نوع ۱	----	----	----	نوع ۱	----	----	
چرخش سطحی و گرداب نوع ۱	----	----	----	بدون گرداب	----	----	----	
چرخش سطحی و گرداب نوع ۱	بدون گرداب	بدون گرداب	گردش سطحی	چرخش سطحی	بدون گرداب	بدون گرداب	چرخش سطحی با گرداب نوع ۱	بهره‌برداری همزمان از ۴ آبگیر

همانطور که نتایج جداول فوق نشان می‌دهد، اجرا و نصب صفحات آشغالگیر در روند کاهش گرداب در دهانه آبگیر موثر بوده و عملاً با ایجاد افت انرژی باعث کاهش نیروی گرداب می‌شود. این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که وجود آشغالگیر قدرت گرداب را در حدود یک درجه کاهش می‌دهد. به طور مثال در بهره‌برداری در تراز ۱۸۵ از دو آبگیر شماره ۱ و ۲، در آبگیر شماره ۲ گرداب نوع ۳ به نوع ۲ و در بهره‌برداری از دو آبگیر شماره ۳ و ۲، در آبگیر شماره ۳ گرداب نوع ۴ به نوع ۲ تبدیل می‌شود.

## ۵-۲- محاسبه افت آشغالگیر

در نیروگاه‌های برق آبی جهت تولید انرژی الکتریکی، آبگیرهایی در مخزن ساخته شده تا آب را از آنجا به سمت توربین هدایت کند. جهت جلوگیری از ورود ذرات شناور به داخل توربین، استفاده از صفحات مشبک آشغالگیر در ورودی آبگیرها لازم و ضروری می‌باشد.

همانطور که در فصل اول اشاره شد، با توجه به نتایج محققین گذشته مقدار افت آشغالگیر به درصد گرفتگی آشغالگیر و عوامل دیگری چون زاویه آشغالگیر نسبت به افق، نوع شبکه‌های آشغالگیر، و شکل لبه‌های آنها و... بستگی دارد که بیشترین اثر مربوط به درصد گرفتگی آن می‌باشد. در این پژوهش اثر درصد گرفتگی آشغالگیرها بر روی آبگیر شماره ۳ مدل آبگیرهای سد گتوند مورد مطالعه قرار گرفته است.

در آزمایش‌های حاضر دبی عبوری از تونل آبگیر ۱۴۰/۴ لیتر بر ثانیه بوده است. مقادیر افت فشار در این آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فشار دینامیکی (ترنسدیوسر) برداشت شده است. همچنین روش محاسبه مقدار افت با استفاده از معادله برنولی انجام شده است که در ادامه تشریح خواهد شد.

در جدول ۵-۳ درصد گرفتگی‌های آشغالگیرهای مختلف نشان داده شده است.

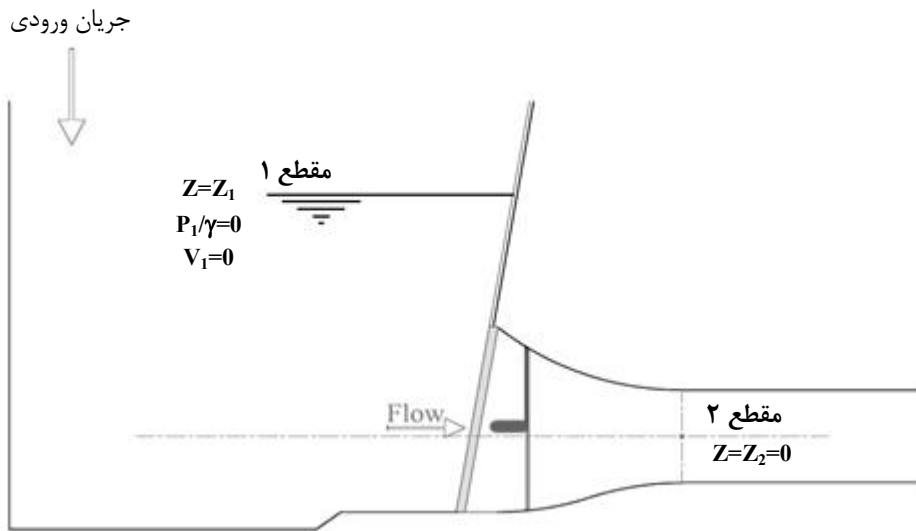
جدول ۵-۳- درصد گرفتگی آشغالگیرهای مورد آزمایش

شماره آشغالگیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
درصد گرفتگی	۲۲	۳۲	۴۲	۵۴	۶۰	۷۳/۲	۸۴/۲	۸۶/۷	۹۱

برای محاسبه افت آشغالگیر، در ابتدا مقدار کل افت مسیر از مخزن تا محل پیزومترهای نشان داده شده در شکل ۳-۱۲ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f \quad (1-5)$$

در این رابطه  $Z$  تراز مقطع مورد نظر،  $\frac{V_1^2}{2g}$  ارتفاع نظیر سرعت،  $\frac{P_1}{\gamma_1}$  ارتفاع نظیر فشار و  $\sum h_f$  مقدار کل افت می‌باشد. در شکل ۲-۵، مقطع ۱ مخزن مدل و مقطع ۲ محل پیزومترها نشان داده شده است.



شکل ۲-۵- نمایش محل مقاطع ۱ و ۲ در رابطه ۱-۵

مقادیر  $\frac{P_1}{\gamma_1}$  و  $\frac{V_1^2}{2g}$  در مخزن (مقطع ۱) و  $Z_2$  در مقطع ۲ برابر صفر می‌باشد، لذا رابطه ۱-۵ به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f \quad (2-5)$$

با جابجایی در رابطه ۲-۵، مقدار کل افت از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\sum h_f = Z_1 - \frac{P_2}{\gamma_2} - \frac{V_2^2}{2g} \quad (3-5)$$



$Z_1$  اختلاف تراز سطح آب و مقطع ۲ می‌باشد که به وسیله یکی از سنسورهای دستگاه ترنسدیوسر قرائت می‌شود.  $\frac{P_2}{\gamma_2}$  نیز ارتفاع نظیر فشار در مقطع ۲ می‌باشد که با میانگین‌گیری از داده‌های چهار سنسور که به اطراف مقطع ۲ متصل هستند به دست می‌آید.  $\frac{V_2^2}{2g}$  نیز در همه آزمایش‌ها ثابت است.

پس از محاسبه مقدار کل افت از ورودی تا مقطع پیزومترها، انواع آشغالگیرها با درصد گرفتگی‌های متفاوت در ورودی آبگیر نصب شده و مقدار افت به روش مذکور محاسبه می‌شود. مقدار افت آشغالگیر نیز از رابطه ۴-۵ به شکل زیر محاسبه می‌شود.

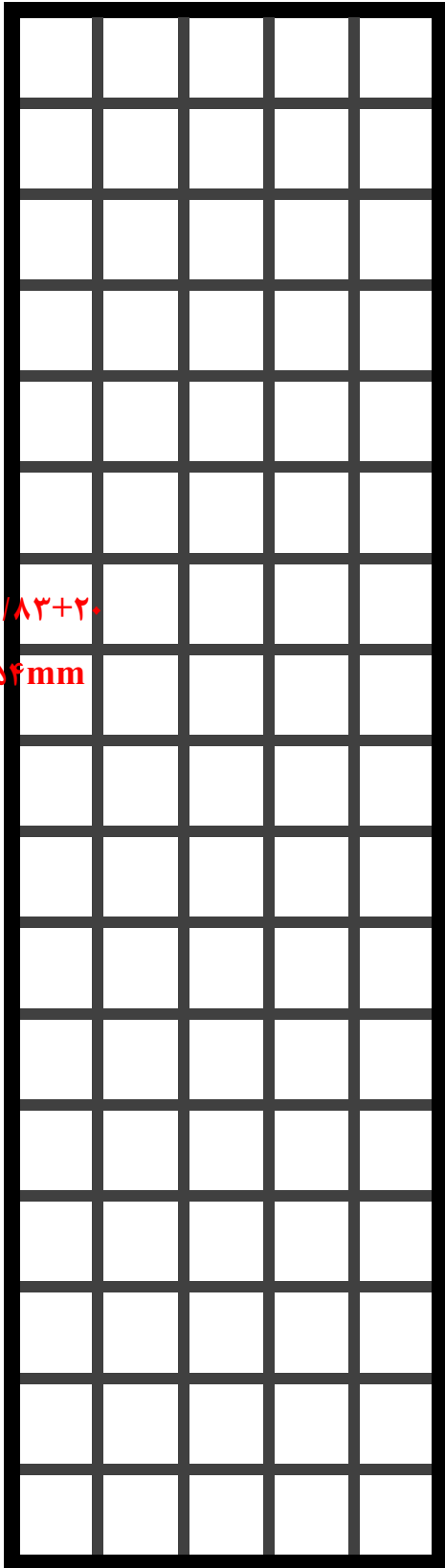
$$\Delta h_{ft} = \sum h_{f_2} - \sum h_{f_1} \quad (4-5)$$

در این رابطه  $\Delta h_{ft}$  مقدار افت خالص ناشی از آشغالگیر،  $\sum h_{f_1}$  مقدار کل افت بدون آشغالگیر و  $\sum h_{f_2}$  مقدار کل افت با آشغالگیر می‌باشد.

آزمایش‌های اندازه‌گیری افت آشغالگیر برای درصد گرفتگی‌های مختلف به همین روش انجام شده و مقدار افت هر آشغالگیر محاسبه شده است که نتایج آنها در ادامه ارائه خواهد شد.

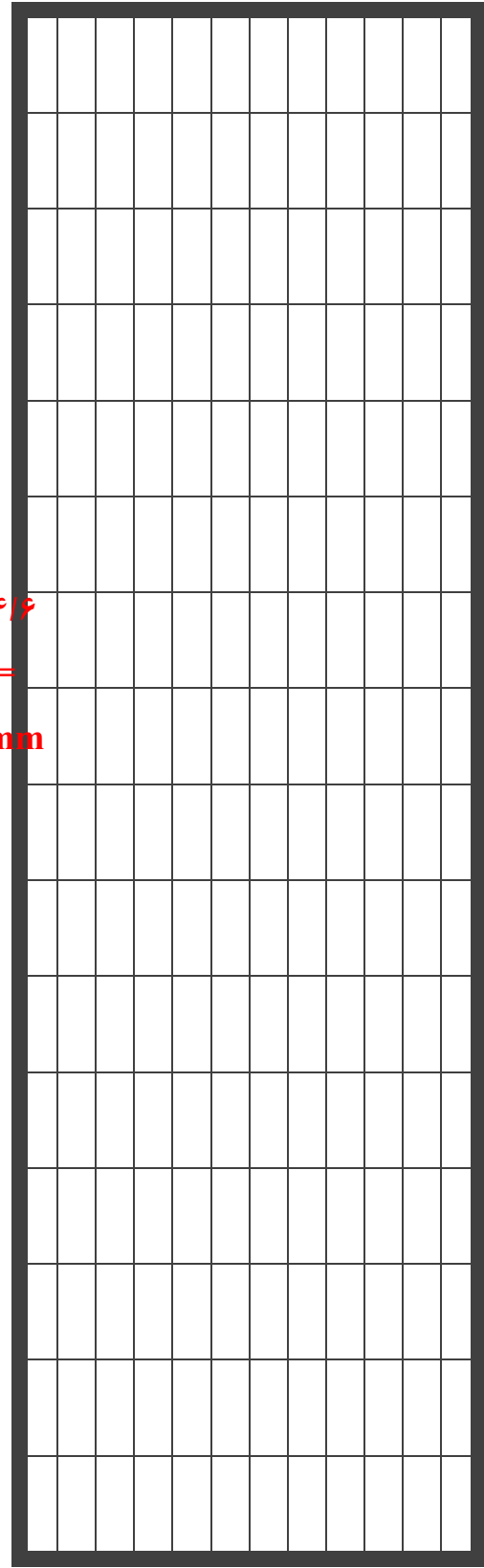
در اشکال ۳-۵ تا ۱۰-۵ انواع آشغالگیرهای مختلف آزمایش شده در این پژوهش نشان داده شده است. آشغالگیرهای شماره ۱، ۲، ۳ و ۶ به صورت مجزا ساخته شدند. همانطور که در اشکال ۳-۵ تا ۷-۵ مشاهده می‌شود شبکه‌های آشغالگیرهای شماره ۱ تا ۵ مستطیلی و آشغالگیر شماره ۶ دایره‌ای می‌باشد، آشغالگیرهای شماره ۷ تا ۹ نیز با تغییر در آشغالگیر شماره ۶ ساخته شدند که جزئیات شکل و ابعاد آنها در شکل‌های مذکور نشان داده شده است. در آشغالگیرهایی که با تغییر در یک آشغالگیر دیگر ساخته شده‌اند، حتی‌المقدور سعی شده است که تقارن در آشغالگیر حفظ شود.

$$5 \times 5 + 2 = 27 \text{ mm}$$



$$17 \times 6 + 183 + 2 = 1054 \text{ mm}$$

$$12 \times 20 + 183 + 2 = 270 \text{ mm}$$

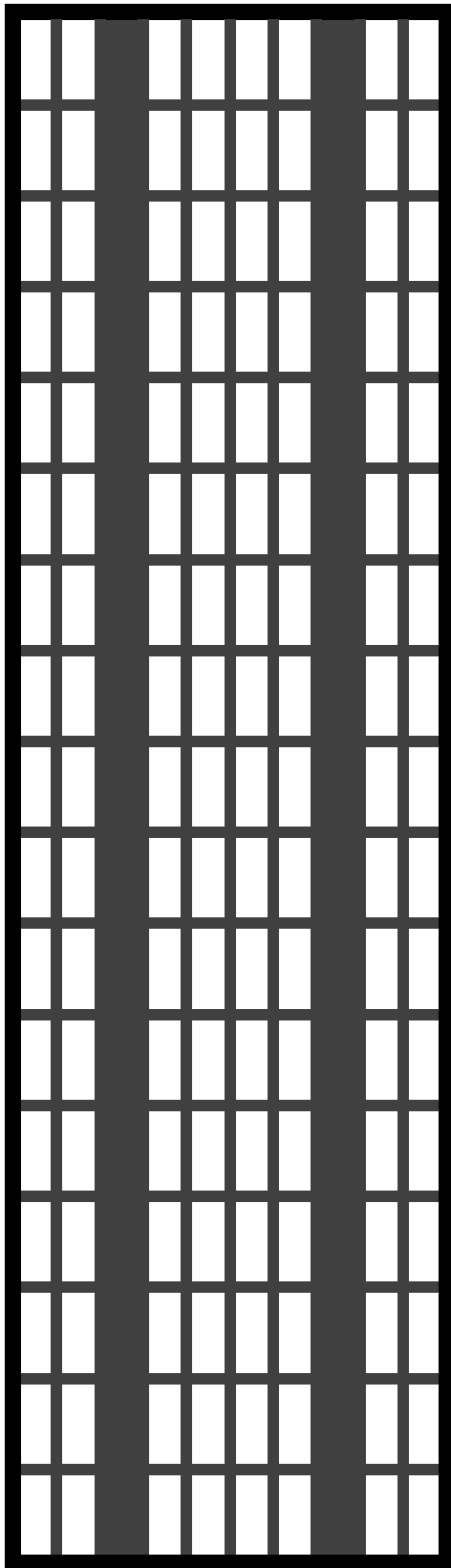


$$16 \times 64 + 2 = 1054 \text{ mm}$$

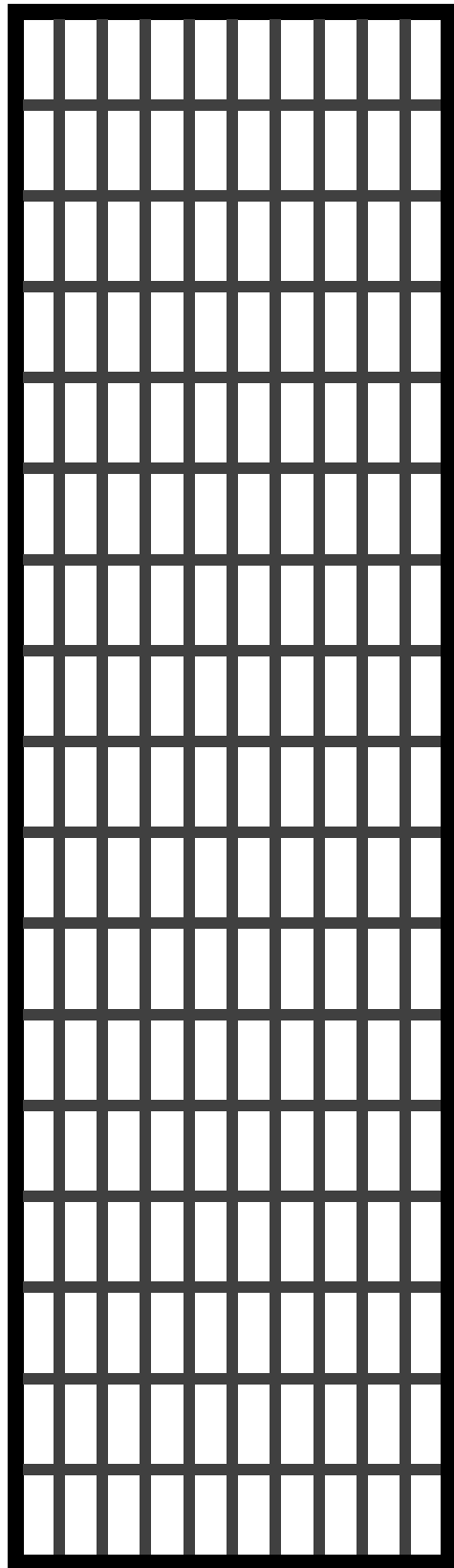
شکل ۵-۴- آشغالگیر شماره ۲ با گرفتگی ۳۲٪

شکل ۵-۳- آشغالگیر شماره ۱ با گرفتگی ۲۲٪

$$10 \times 25 + 20 = 270 \text{ mm}$$



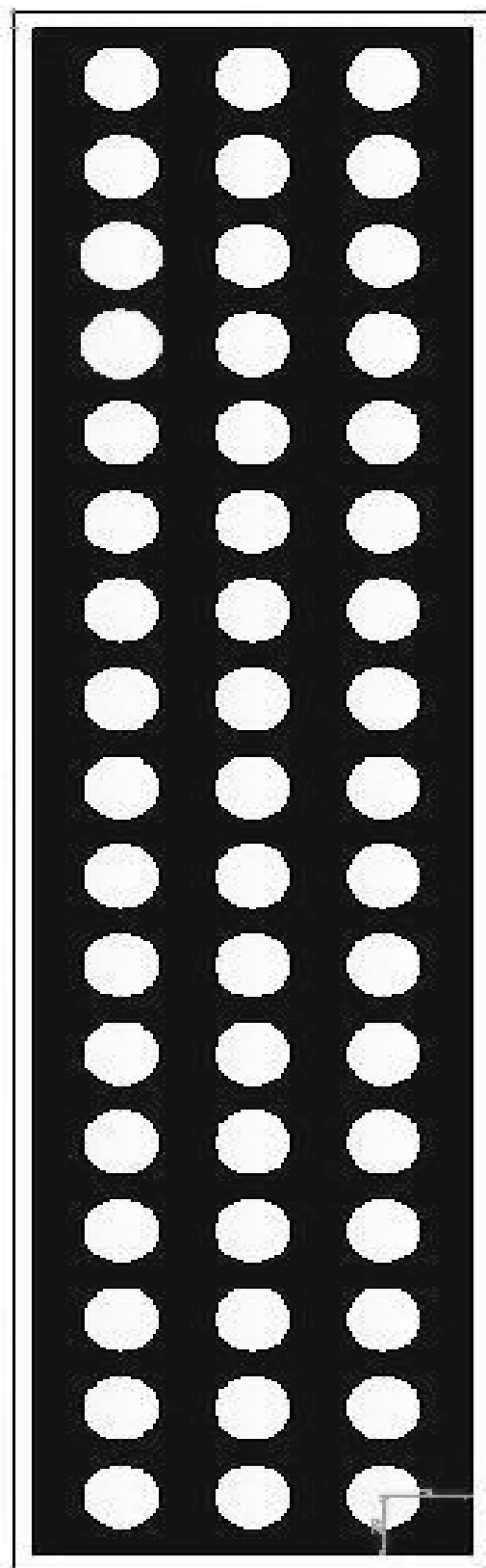
$$10 \times 25 + 20 = 270 \text{ mm}$$



شکل ۵-۶- آشغالگیر شماره ۴ با گرفتگی ۵۴٪

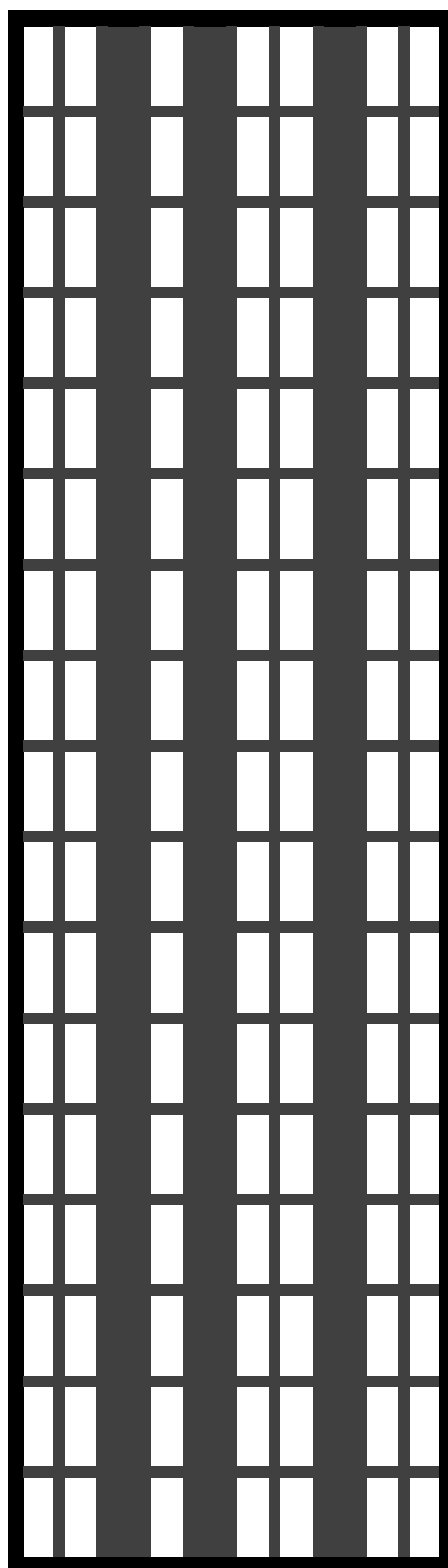
شکل ۵-۵- آشغالگیر شماره ۳ با گرفتگی ۴۲٪

۲۷۰mm

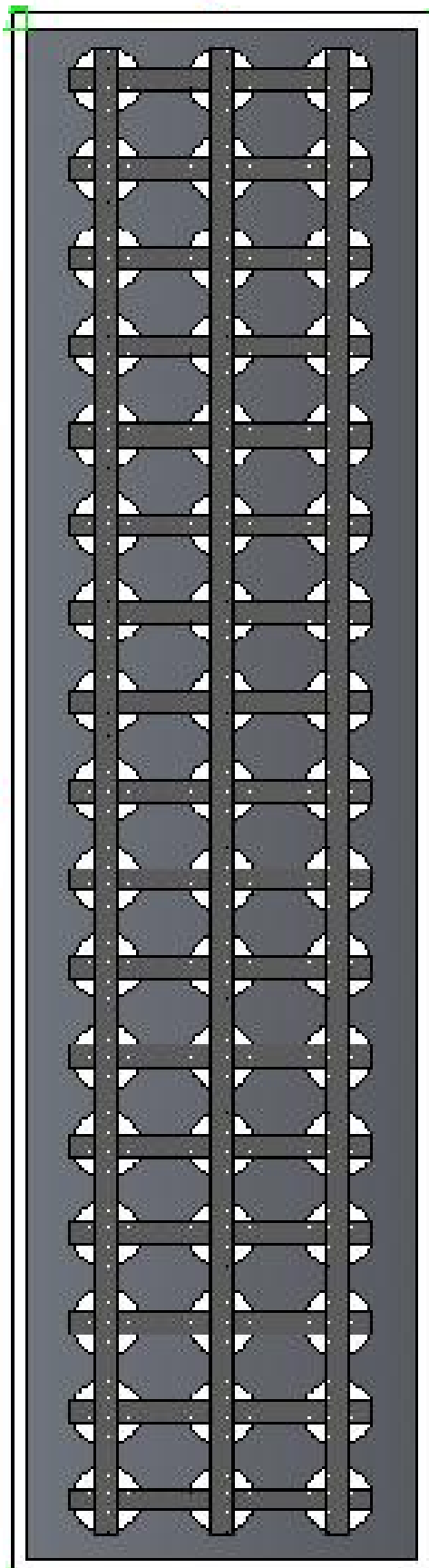


شکل ۵-۸- آشغالگیر شماره ۶ با گرفتگی ۷۳/۲٪

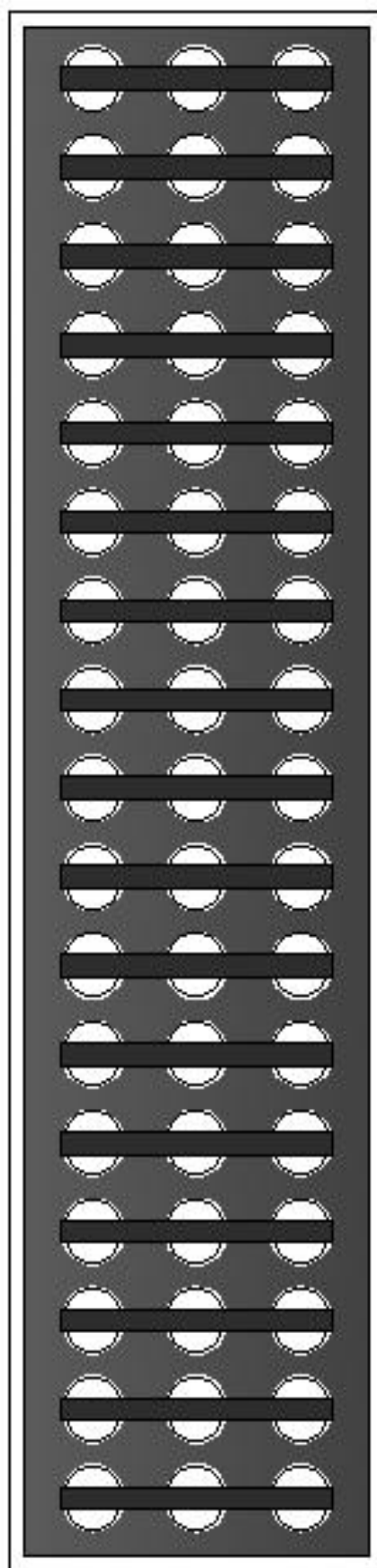
$10 \times 25 + 20 = 270 \text{ mm}$



شکل ۵-۷- آشغالگیر شماره ۵ با گرفتگی ۶۰٪



شکل ۵-۱۰- آشغالگیر شماره ۹ با گرفتگی ۹۱٪



شکل ۵-۹- آشغالگیر شماره ۷ با گرفتگی ۸۴٪

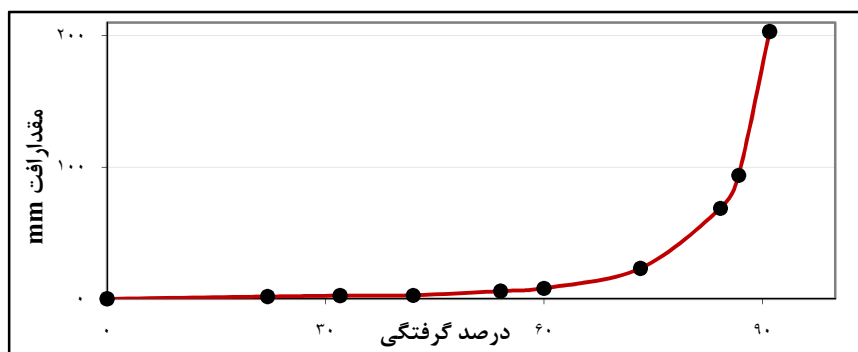
نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری افت بر روی آشغالگیرهای مختلف، در جدول ۴-۵ نشان داده شده است.

جدول ۴-۵- نتایج اندازه‌گیری افت آشغالگیر

شماره آشغالگیر	بدون آشغالگیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
درصد گرفتگی آبگیر	۰	۲۲	۳۲	۴۲	۵۴	۶۰	۷۳/۲	۸۴/۲	۸۶/۷	۹۱
مقدار کل افت mm	۳/۴	۵/۱	۵/۸	۶/۱	۹/۲	۱۱/۵	۲۶/۴	۷۳/۲	۹۷/۳	۲۰۶/۴
افت خالص آشغالگیر (mm)	۰	۱/۷	۲/۴	۲/۷	۵/۸	۸/۱	۲۳	۶۸/۹	۹۳/۹	۲۰۳

همانطور که جدول ۴-۵ نشان می‌دهد افت مسیر در حالتی که آشغالگیر در ورودی آبگیر وجود ندارد (درصد گرفتگی صفر است) ۳/۴ میلیمتر بوده که ناشی از افت اصطکاکی و افت‌های موضعی از مخزن تا محل پیزومترها می‌باشد. مقدار افت ناشی از آشغالگیر از تفاضل مقادیر به دست آمده از آزمایش با این عدد بدست می‌آیند.

در شکل ۵-۱۱ روند تغییرات مقدار افت با درصد گرفتگی به دست آمده از نتایج آزمایش‌ها نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش درصد گرفتگی مقدار افت آشغالگیر زیاد شده و در گرفتگی‌های بالا به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد.



شکل ۵-۱۱- نمودار تغییرات مقدار افت با درصد گرفتگی

از آنجا که معادلات اندازه گیری افت بر اساس ضریبی از  $\frac{V^2}{2g}$  که  $v$  سرعت در مقطع ثابت

کانال می باشد، ارائه می شوند، نتایج افت های به دست آمده را بر  $\frac{V^2}{2g}$  تقسیم کرده تا ضریب

$K = \frac{\Delta h_{ft}}{V^2/2g}$  به عنوان ضریب بدون بعد اندازه گیری افت آشغالگیر تعریف شود.

در آزمایش های حاضر مقدار  $\frac{V^2}{2g}$  به صورت زیر محاسبه شده است:

$$Q = 140.4 \frac{lit}{s}$$

$$A = 0.27 \times 1.0545 \times 3 = 0.854145 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{140.4}{0.854145} \times 10^{-3} = 0.164 \frac{m}{s}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{0.16437^2}{2 \times 9.81} = 1.38 \text{ mm}$$

در جدول ۵-۵ مقادیر ضرایب بدون بعد اندازه گیری افت ارائه شده است.

جدول ۵-۵- ضرایب اندازه گیری افت در گرفتگی های مختلف

۹۱	۸۶/۷	۸۴/۲	۷۳/۲	۶۰	۵۴	۴۲	۳۲	۲۲	۰	درصد گرفتگی آبگیر
۱۴۷/۴۱	۶۸/۱۹	۵۰/۰۳	۱۶/۷	۵/۸۸	۴/۱۹	۱/۹۶	۱/۷۴	۱/۲۱	۰	ضرب بدون بعد افت آشغالگیر

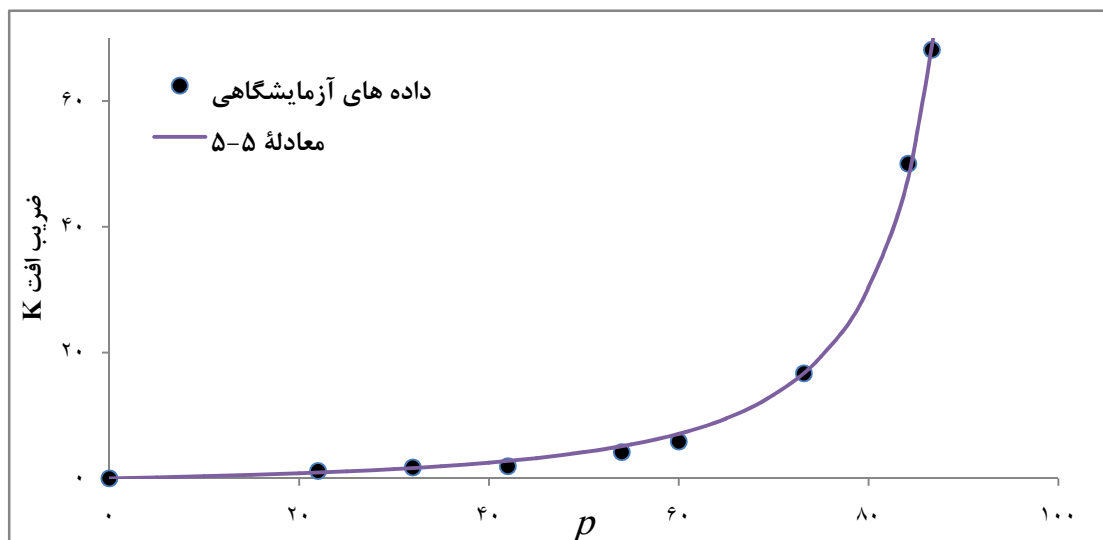
با استفاده از نتایج به دست آمده از این آزمایش ها و به کمک نرم افزار SPSS یک رابطه

جدید جهت محاسبه مقدار ضریب افت بر حسب  $\frac{V^2}{2g}$  به صورت زیر به دست آمده است ( Jalili.M.R, )

(et. Al 2010).

$$K = \frac{\Delta h}{V^2/2g} = \frac{-1.869p^2 + 3.015p}{(1-p)^2} \quad (5-5)$$

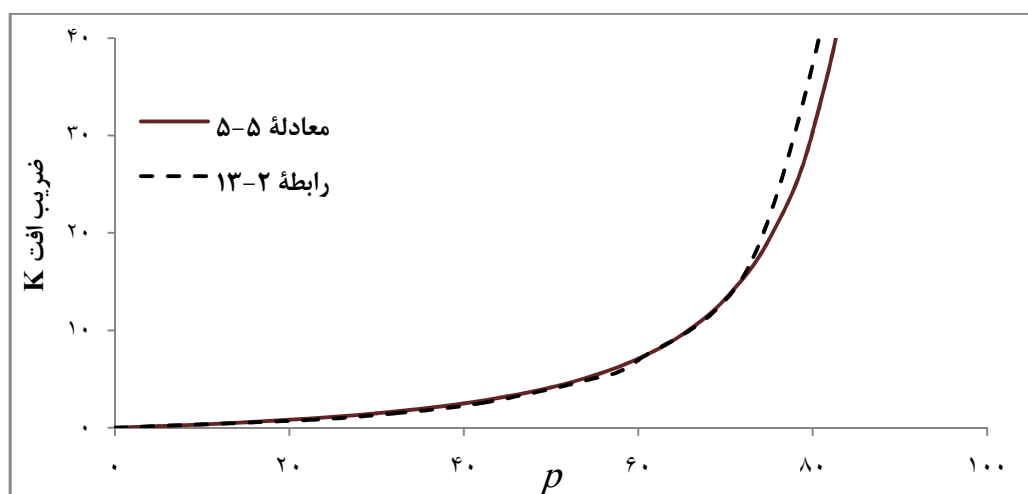
در این معادله P درصد گرفتگی آبرگیر می باشد. ضریب همبستگی معادله (5-5)، 0/97 می باشد. در شکل 5-12 نمودار معادله 5-5 به همراه نتایج آزمایش ها نشان داده شده است.



شکل 5-12- تغییرات ضریب بدون بعد افت K با درصد گرفتگی P

USACE نیز برای محاسبه مقدار افت آشغالگیر رابطه 2-13 را ارائه کرده است. در شکل 5-13

معادله پیشنهادی توسط USACE و معادله 5-5 نمایش داده شده است.



شکل 5-13- نمودار تغییرات K با درصد گرفتگی P برای رابطه 5-5 و 2-13



همانطور که در شکل فوق نشان داده شده است، اگرچه معادله USACE و معادله پیشنهادی تفاوت جزئی با یکدیگر دارند، اما روند کلی آنها یکدیگر را تایید می کند.

فصل ششم

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۶-۱- نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر

یکی از پاکترین روشهای تولید انرژی، استفاده از نیروگاههای برق آبی می باشد. در این نیروگاهها در جریان انتقال آب از مخزن به سمت توربین، آبگیرها در معرض خطر ایجاد پدیده گرداب قرار می گیرند. ایجاد این پدیده باعث بر هم زدن نظم جریان و ورود هوا و آشغال به داخل تونل آبگیر و صدمه زدن به توربین و سازههای مرتبط با آن می شود. لذا این آبگیرها و سازههای هیدرولیکی مربوطه باید طوری طراحی شوند که زمینه ایجاد پدیده گرداب در آنها به حداقل رسیده و یا از بین برود. پژوهش حاضر در راستای هدف مذکور انجام شده و نتایج آن در ادامه ذکر می شود.

در پژوهش حاضر پس از انجام آزمایشهایی بر روی مدل فیزیکی پدیده گرداب و اندازه گیری افت آشغالگیر، نتایجی به دست آمده است که در ادامه خلاصه ای از مهمترین آنها تشریح می شود.

۱- وجود سازه آشغالگیر خود می تواند به عنوان عاملی در افزایش اغتشاشات بوده و با ایجاد افت در جریان موجب کاهش قدرت گرداب شود که اثر آن برای آزمایشهای حاضر کاهش حدود یک درجه قدرت گرداب بود.

۲- عمق استغراق بحرانی به ازای اعداد فرود مختلف در مدل مورد مطالعه قرار گرفت و یک رابطه تجربی جدید (رابطه ۴-۱) بر مبنای نتایج آزمایشات انجام شده در این زمینه ارائه شد.

۳- با جمع آوری نتایج آزمایشهای اندازه گیری عمق استغراق بحرانی در سدهای مختلف و ارزیابی نتایج به دست آمده، در نهایت یک رابطه جامع (رابطه ۴-۲) برای محاسبه عمق استغراق بحرانی ارائه گردید.

۴- با انجام آزمایشها در ترکیبات مختلف بهره برداری این نتیجه حاصل شد که در مدل آبگیرهای سد گتوند در هنگام بهره برداری از ترکیبهایی که در آنها تقارن خطوط

جریان حفظ شود (ترکیبات بهره‌برداری ۲و۳و۴ یا ۱و۴ و یا ۲و۳، بخش ۴-۳)

گرداب‌های ضعیف‌تری نسبت به سایر ترکیبات بهره‌برداری ایجاد می‌شود.

۵- نتایج آزمایش‌های حاضر نشان داد که با افزایش درصد گرفتگی در آشغالگیر، مقدار

افت نیز افزایش می‌یابد که روند این افزایش افت در گرفتگی‌های بیشتر از ۶۰ درصد

بیشتر از درصد گرفتگی‌های کمتر است (شکل ۵-۱۴).

۶- با نتایج به دست آمده از آزمایشات اندازه‌گیری افت آشغالگیر در دهانه آبگیر به کمک

ترنسدیوسر و تحلیل آنها یک رابطه تجربی (رابطه ۵-۵) جهت محاسبه افت آشغالگیر

ارائه شد.

## ۶-۲-۲- ارائه پیشنهاد

پیشنهادات زیر برای تکمیل تحقیق بر روی موضوع مورد پژوهش قابل ارائه می‌باشد.

۱- با توجه به اهمیت شرایط جریان ورودی به آبگیر (هندسه مخزن) در تشکیل گرداب،

پیشنهاد می‌شود که توپوگرافی مخزن سدهای مختلف در تشکیل گرداب مورد توجه

قرار گیرد.

۲- بررسی اثر طول تونل آب‌بر و چگونگی عملکرد خم‌های موجود در مسیر، بر استهلاک

جریان‌های چرخشی و گرداب‌های ورودی از دهانه آبگیر به سمت توربین، جای تحقیق

و پژوهش دارد.

۳- مطالعه تأثیر گرداب‌ها بر توربین در صورت رسیدن هوا و جریان چرخشی به توربین و

بررسی اثر اعمال بارهای نامتقارن به پره‌های آن.

۴- مطالعه بیشتر بر روی انواع سازه‌های ضد گرداب و میزان اثر آنها در کاهش قدرت

گردابها و بررسی صرفه اقتصادی آنها در پروژه‌ها.

۵- بررسی اثر پارامترهایی چون شکل میله‌ها، زاویه آشغالگیر نسبت به افق و عمق آشغالگیر در مقدار افت آن.

۶- مطالعه بیشتر بر روی دیگر پارامترهای موثر بر عمق استغراق بحرانی همچون زاویه آشغالگیر نسبت به افق و مقدار گردندگی.

## فهرست منابع

- Amphlett, M.B. (1976), "Air-entraining vortices at a Horizontal Intake", *HRS Wallingford*, U.K., Report No. OD/7.
- Anwar, H.O., Weller, J.A., Amphlett, M.B. (1978), "Similarity of free-vortex at horizontal intake", *J. of Hydraulic Research*, Vol. 16, No. 2, pp. 95-105.
- Anwar, H.O, Amphlett, M.B.(1980),"Vortices at Vertically Inverted Intakes", *J. of Hydraulic Research*, Vol.18, No.2, pp 123-136
- Anwar, H. O, 1966, "Formation of Weak Vortex ", *J.of Hydraulic. Research.*, Vol. 4, No 1,pp 1-16
- Binnie, A.M., Harris., 1951. Water hammer in a pumping main and its prevention. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 165, 43–52, 65–73.
- Dagget,L.L. Keulegan,G.H.(1974),"Similitude in Free-Surface Vortex Formation" *J. of Hydraulic Engineering*, Vol.100.pp 1564-1580
- Golmohammadi, H., Jalili Ghazizadeh, M., Roshan, R., Ahmadi, A. (2010). Investigation of critical submergence depth in horizontal intake of power plant for hydro-electric dams. *Intl. Symp. Hydraulic modeling and field investigation*, Nanjing, China.
- Gulliver, J.S, Rindels, A.J. & Lindblom.K.C.(1986), "Designing Intakes to Avoid Free-Surface Vortices", *Water Power & Dam Construction*. Vol.38,No.9,pp 232-242
- Gordon, J. L. (1970), "Vortices at intake structures", *Water Power*, No. 4, 137-138
- Hecker,G.E.(1981),"Model-Prototype Comparison of Free Surface Vortices", *J. of Hydraulic Engineering*, Vol.107, No.3,pp284-297

Hite, J.E., Mih, W.(1994). Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. ", *J. of Hydraulic Engineering*. 120(3), 284–297.

Jain, A.K, Ranga Raju,K.G., Garde, R.J. (1978).Vortex formation at vertical pipe intake. *J.of Hydraulic Engineering*. 104(10), 1429–1445.

Kamel M.Y.M. 1964. The Flow of Swirling Water Through a Convergent-Divergent Nozzle, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 3, Pt. 3.

Kirschmer, O. (1926). Untersuchungen uber den Gefallsverlust an Rechen. Hydraulics Institute Mitteilung 1, D. Thoma, ed., Technische Hochschule, Mu"nchen, [in German].

Knauss, J. (1987), "Swirling Flow Problems at Intakes", IAHR Hydraulic Structures Manual, Balkema, Rotterdam.

Kundu, p.(1990), "*Fluid Mechanics*" ,Academic Press,

Lugt,H.J.(1983),"Vortex Flow in Nature And Technology", Joun Wiley & Sons

Meusburger, H., Volkart, P., Minor, H.-E. (2001). A new improved formula for calculating trashrack losses. Proc. *29th IAHR Congress*, Beijing, China, 4, 804–809.

Nagarka, P.k,(1988), Submergence criteria for Hydro-Electric Intakes, *ASCE Journal of Hydraulic Divn.*

Novak, P, A.I.B Moffat, C. Nalluri, R. Narayanan, (1990), *Master eBook ISBN10 : 0-203-24651-9*

Odgaard, A.J. (1986), "Free Surface Air Core Vortex", *J. of Hydraulic Engineering*. Vol.112, No.7, pp. 610-620

Reddy, Y.R., & Pickford, J.A.(1972), "Vortices at Intake in Conventional Sumps", *Water Power*, No.3.

Rohan, k.(1965), Conditions of similarity for a drain vortex. *Simposia CWPRS*. Poona, vol.2

Sarkardeh, H, Zarrati. A.R, Roshan. R, (2010)," Effect of intake head wall and trash rack on vortices", *J. of Hydraulic Research* Vol. 48, No. 1 (2010), pp. 108–112

Sinniger, Richard Relié(1993), "Constructions hydrauliques" *Presses polytechniques et universitaires romandes*,

Clark, S.P., Tsikata, J.M., Haresign, M.(2010), *J. of Hydraulic Research*, Volume 48, Issue 1, pp.113-118

USACE (1987). Open channel flow trash rack losses, Sheet 010-7. *Hydraulic design criteria*. Coastal and Hydraulics Laboratory. United States Army Corps of Engineers, Vicksburg MS

Yildirim, N., Tastan, K., Arslan, M.M. (2009). "Critical submergence for dual pipe intakes". *J. of Hydraulic Research*. 47(2), 242–249.

امیری س.م.، (۱۳۸۵)، پایان نامه ارشد: "جلوگیری از تشکیل گرداب بر روی آبگیرهای افقی"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

دائمی ع.ر.، (۱۳۷۸)، "پیش‌بینی تشکیل گرداب در دهانه آبگیر"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران، ص ۱۰۵، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دائمی ع.ر.، (۱۳۸۲)، "پیش‌بینی تشکیل گرداب در نیروگاه مسجد سلیمان"، کنفرانس ملی نیروگاه‌های آبی کشور ایران، ص ۱۱۴۹، تهران

روشن ر.، (۱۳۷۸)، "روش‌های جلوگیری از تشکیل جریان‌های گردابی"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران، ص ۱۱۵، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

روشن ر.، (۱۳۷۴)، پایان نامه ارشد: "بررسی عملکرد گزینه‌های ضد گرداب در استهلاک جریان‌های گردابی با استفاده از آزمایش‌های مدل فیزیکی"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

سرکرده ح.، (۱۳۸۷)، پایان نامه ارشد: "تاثیر گرداب مخزن بر وضعیت جریان در تونل آب‌بر نیروگاه"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر



روشن ر. سرکرده ح. زرانی ا.ر، (۱۳۸۸)، " محاسبه حداقل تراز بهره برداری در سدهای نیروگاهی"،

مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، دانشگاه تهران

مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۸۸) - گزارش مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه سد گتوند .

مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۰) - گزارش مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه اول سد شهید عباسپور.

مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۸۶) - گزارش مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه سد سیاه بیشه .

مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۷) - گزارش مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه سد کارون ۳.

مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۴) - گزارش مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه سد گذارلندر (مسجد سلیمان).

مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۸) - گزارش مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه سد سیمره.

مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۳۷۳) - گزارش مدل هیدرولیکی آبگیر نیروگاه دوم شهید عباسپور.

## پیوست ۱

### کالیبراسیون ترنسدیوسر

دستگاه ترنسدیوسر مورد استفاده در این پژوهش دارای ۸ سنسور می‌باشد که این سنسورها قابلیت اندازه‌گیری فشار در محدوده صفر تا ۱۵۰ سانتیمتر آب را دارا هستند. جهت اندازه‌گیری مقدار فشار در مقطعی مشخص از آبگیر، سنسورها به چهار طرف آن مقطع متصل شده و با میانگین‌گیری، فشار در مرکز تونل اندازه‌گیری می‌شد. همچنین یک سنسور جهت اندازه‌گیری تراز سطح آب به تونلی که در آن جریانی برقرار نبود متصل می‌شد. پس در این آزمایشات از پنج سنسور استفاده شده است. با توجه به اینکه ترنسدیوسر در مدل‌های مختلف و مکرراً مورد استفاده قرار گرفته بود، لذا احتمال تغییر رفتار اندکی در آنها نسبت به حالت اولیه‌شان پیش بینی می‌شد و جهت اطمینان از صحت داده‌های این دستگاه، آزمایش‌های کالیبره سنسورها (صحت سنجی) به شرح زیر در دستور کار قرار گرفت.

برای کالیبراسیون سنسورها از مخزن یک مدل پژوهشی که جنس مخزن آن از پلکسی شفاف بود استفاده شد. روش انجام کار به این صورت بود که پس از نصب دستگاه فشار دینامیکی بر روی آبگیر این مخزن در حالی که تراز آب در آن ثابت و هیچ‌گونه جریانی برقرار نبود، مقادیر فشار آب بالای هر سنسور، هم به صورت چشمی (با استفاده از دوربین تراز یاب افقی نیوو) و هم با استفاده از خود سنسورها اندازه‌گیری شد. از آنجا که جریانی در مخزن برقرار نبود لذا هیچ‌گونه افتی نیز وجود نداشته و باید این دو مقدار اندازه‌گیری شده با هم مساوی باشند.

این آزمایش‌ها در بارهای آبی مختلف بر روی سنسورها از ۱۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر انجام شد که نتایج آن در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-۳- نتایج آزمایشات کالیبره برای ۵ سنسور مورد استفاده

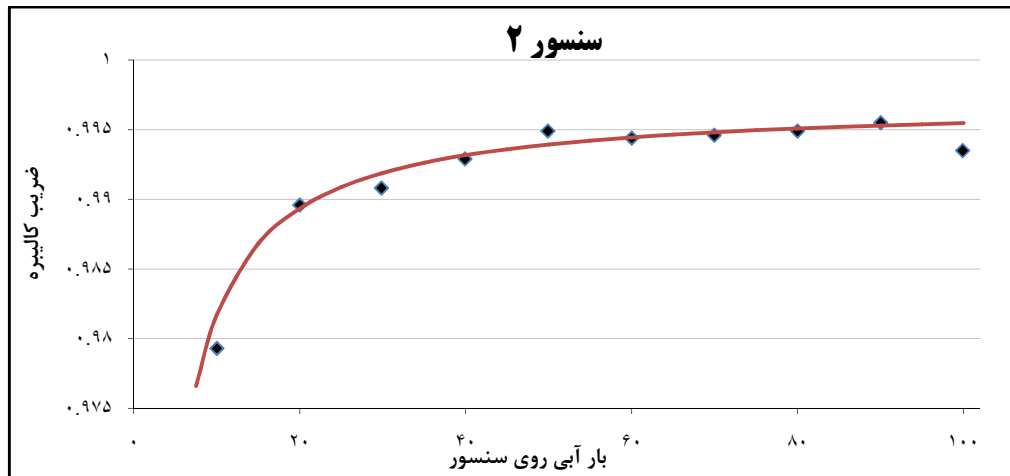
شماره سنسور	Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4		Sensor 5		Sensor 6
بار آبی (Cm)	1	2	1	2	1	2	1	2	1
10	10.21	10.17	10.72	10.50	10.79	10.75	10.32	10.34	9.74
20	20.21	20.20	20.80	20.71	20.82	20.81	20.39	20.43	19.76
30	30.28	30.26	30.91	30.93	30.90	30.89	30.42	30.53	29.77
40	40.28	40.29	40.91	41.11	40.95	40.95	40.47	40.57	39.74
50	50.26	50.30	51.25	51.28	51.11	50.99	50.42	50.62	49.73
60	60.34	60.33	61.21	61.45	61.06	61.04	60.51	60.67	59.74
70	70.38	70.37	71.39	71.62	71.13	71.10	70.56	70.72	69.75
80	80.41	80.39	81.55	81.76	81.19	81.14	80.55	80.75	79.71
90	90.41	90.33	91.68	91.79	91.21	91.10	90.59	90.70	89.74
100	100.65	100.41	102.07	101.96	101.48	101.22	---	100.75	99.76

همانطور که در جدول ۱-۳ مشخص است، سنسورهای شماره ۱ تا ۵ مقادیر فشار را بیشتر از مقدار واقعی و سنسور شماره ۶ کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. جهت اصلاح داده‌های به دست آمده از ترنسدیوسر، آنها را در یک ضریب که از تقسیم مقادیر واقعی بر داده‌های سنسورها به دست می‌آید، ضرب کرده تا عمل کالیبراسیون به درستی انجام شده باشد. این ضرایب در جدول ۲-۳ محاسبه و ارائه شده‌اند.

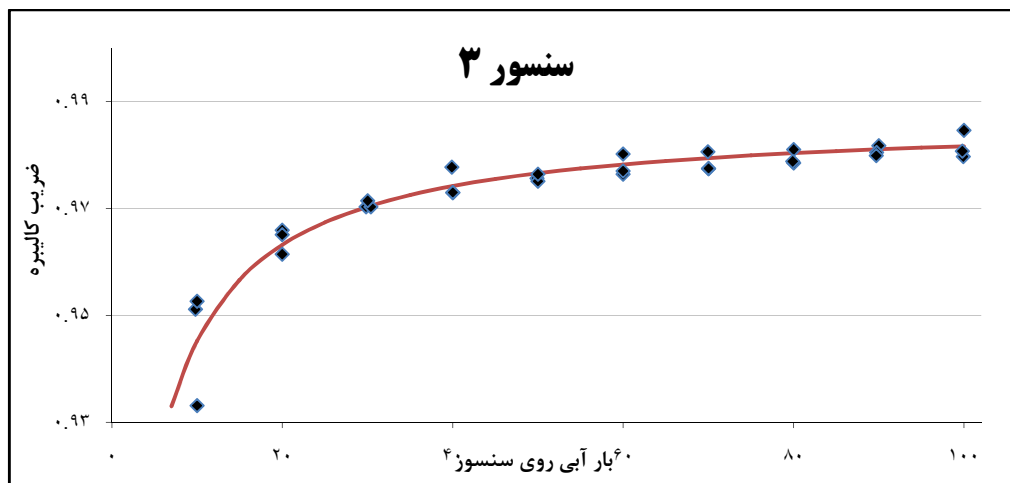
جدول ۲-۳- ضرایب کالیبره سنسورها

شماره سنسور	Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4		Sensor 5		Sensor 6
بار آبی (Cm)	1	2	1	2	1	2	1	2	1
10	0.9793	0.9838	0.9331	0.9520	0.9267	0.9306	0.9686	0.9673	1.0264
20	0.9896	0.9900	0.9614	0.9659	0.9608	0.9613	0.9811	0.9790	1.0121
30	0.9909	0.9913	0.9705	0.9699	0.9707	0.9711	0.9864	0.9827	1.0079
40	0.9930	0.9928	0.9778	0.9729	0.9769	0.9768	0.9884	0.9859	1.0065
50	0.9949	0.9940	0.9757	0.9751	0.9783	0.9806	0.9917	0.9878	1.0054
60	0.9944	0.9945	0.9802	0.9764	0.9827	0.9829	0.9915	0.9890	1.0043
70	0.9946	0.9948	0.9806	0.9774	0.9841	0.9845	0.9920	0.9899	1.0036
80	0.9949	0.9952	0.9810	0.9785	0.9854	0.9859	0.9932	0.9907	1.0036
90	0.9955	0.9964	0.9817	0.9805	0.9868	0.9879	0.9935	0.9923	1.0029
100	0.9935	0.9959	0.9797	0.9807	0.9854	0.9880	---	0.9926	1.0024

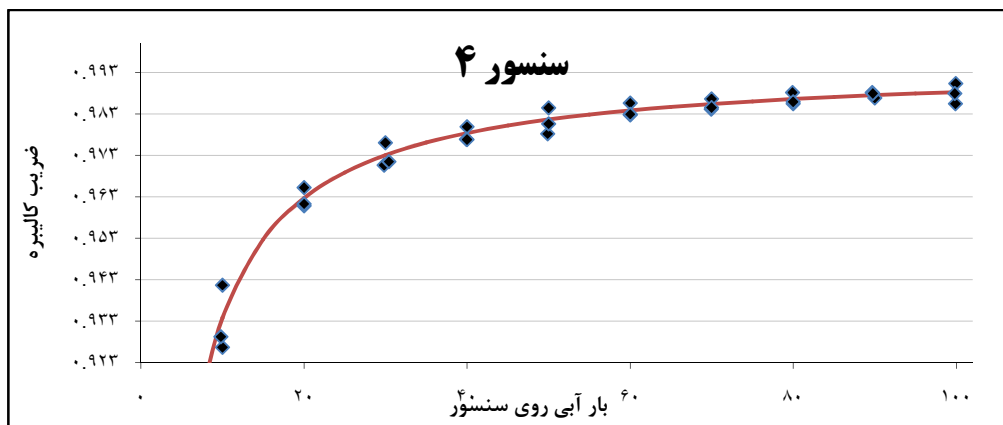
با استفاده از نتایج جدول ۳-۲، برای هر سنسور یک منحنی ضرایب کالیبره در بارهای آبی مختلف به دست آمد که با استفاده از آنها می‌توان در هر بار آبی ضریب کالیبره متناظر با آن را بدست آورد. این منحنی‌ها را در اشکال ۳-۸-۱ تا ۳-۸-۵ می‌توان دید.



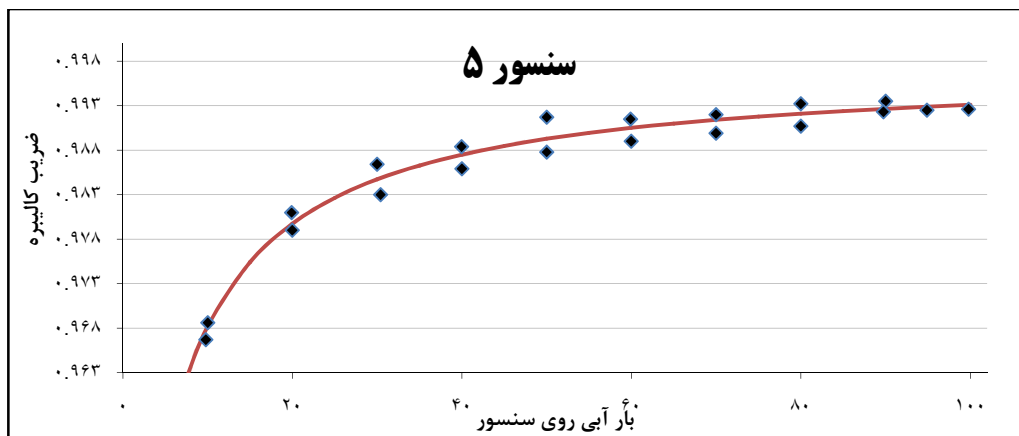
شکل ۳-۸-۱- منحنی ضرایب کالیبره سنسور شماره ۲



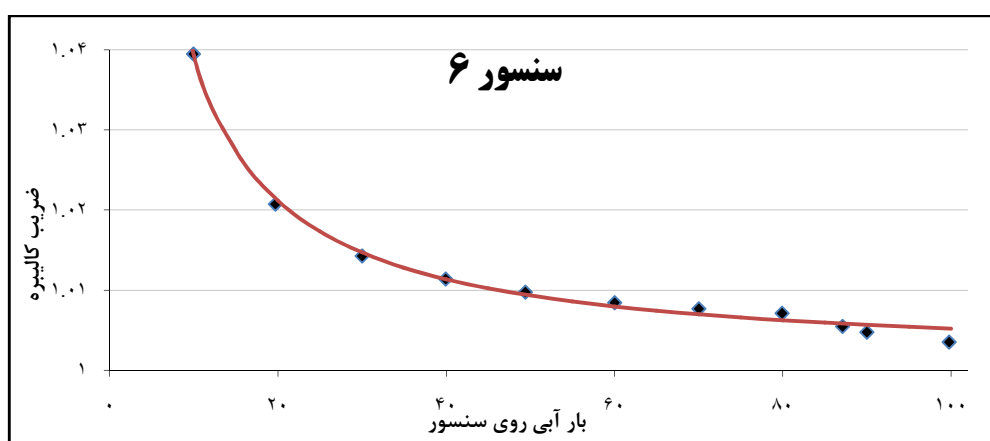
شکل ۳-۸-۲- منحنی ضرایب کالیبره سنسور شماره ۳



شکل ۳-۸-۳- منحنی ضرایب کالیبره سنسور شماره ۴



شکل ۴-۸-۳- منحنی ضرایب کالیبره سنسور شماره ۵



شکل ۵-۸-۳- منحنی ضرایب کالیبره سنسور شماره ۶

## Summery

Countries are now looking for environment-friendly ways of producing electricity. For many years hydro-power plants have been used for producing electricity. During the operation of plant, water is taken from reservoir to turbines via the intakes. It is normally likely that the entering flow create vortex at the entrance, causing the air and floating trash to enter the power plant. The intake of plant should be designed so that no vortex forms near the entrance. During the recent years, many investigations have been performed with the aim of controlling this phenomenon. A trashrack structure is normally used at the intakes entrance to prevent the trashes of entering the plant. This structure reduces the net intake area and causes extra head loss for entering flow. Because of the complexity of the vortex phenomena and wide range of results from previous investigation, further studies are necessary.

In this study, a 1:25 scale model of Gotvand dam's hydro-electric power plant was used and the effect of various parameters on vortex formation and energy loss was investigated. The model concluded four similar intakes with rectangular cross-section. Tests were carried out in different reservoir water levels and discharges, during which the effects of different parameters such as the existence of trashrack at the entrance, various combinations of operations and variations of submergence depth were investigated. By measuring dynamic pressure using a transducer, the head loss caused by installing the trashrack was calculated for different blockage percentage.

The results showed that a suitable combination of intakes operation with symmetrical and uniform streamlines could reduce the power of vortices to one lower degree. In these experiments, the above conditions were achieved by choosing the intake entrance direction in the some direction of flow in approaching channel. The results of present study along with those of other researchers were analyzed and a new relationship for the prediction of critical submergence depth for different Froude numbers of the horizontal intakes was introduced. The result for measuring the head loss due to the existance of trashrack at the entrance was also employed and a new empirical equation for prediction of head loss at different blockage percentage was suggested.

Key words: hydraulic structures, hydro-electric power plant, horizontal intake, vortex, submergence depth, trashrack loss



**Shahrood University of Technology**

**Faculty Civil Engineering**

**Experimental Investigation of Vortex and Trashrack in Horizontal  
Intake (Case study Power plant of Gotvand Dam)**

**Hadi Golmohammadi**

Supervisors:

**Dr Ahmad Ahmadi**

**Dr Mohammad Reza Jalili Ghazizadeh**

**November 2010**