

# مطالعه آزمایشگاهی تاثیر دیوار ضد گرداب بر ناپایداری گرداب های شکل گرفته در آبگیرهای نیروگاه سد کارون ۳

حامد سرکرده<sup>۱</sup>، خداداد صفوی<sup>۲</sup>، عبدالرضا کریمی نژاد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، موسسه تحقیقات آب

۳- کارشناس مهندسی عمران، موسسه تحقیقات آب

hamed\_sarkardeh@yahoo.com

## خلاصه

امروزه استفاده از پتانسیل آب جهت تولید برق در بیشتر کشورها شناخته شده است. در این راستا نیروگاه های برق آبی بسیاری در کنار سدها اجرا و مورد بهره برداری قرار گرفته است. تشکیل گرداب بر روی دهانه آبگیر نیروگاه ها، پیامدهای مخربی را بدنبال دارد. دیوار قائم و صفحات ضد گرداب از جمله راهکارهای موجود برای مستهلک کردن گرداب ها به شمار می روند.

سد و نیروگاه کارون ۳ با ظرفیتی معادل ۲۰۰۰ مگاوات بر روی رودخانه کارون در استان خوزستان، واقع شده است. آب مورد نیاز این نیروگاه توسط ۳ آبگیر تامین می شود. این سد از نوع بتنی دو قوسی با ارتفاعی برابر با ۲۰۵ متر از پی و ۱۸۵ متر از کف رودخانه می باشد.

در تحقیق حاضر با استفاده از یک مدل فیزیکی ناپایداری گرداب های مختلف شکل گرفته بر روی دهانه آبگیرهای افقی نیروگاه سد کارون ۳ با حضور دیوار ضد گرداب، مورد مطالعه قرار گرفته است. عملکرد دیوار قائم شیاردار به عنوان گزینه ضد گرداب در میزان ناپایداری انواع گرداب های شکل گرفته مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تحلیل نتایج و تشخیص عملکرد دیوار ضد گرداب، در هر آزمایش نوع گرداب، زمان پایداری و تکرار آنها ثبت و تاثیر دیواره ضد گرداب در کاهش قدرت گرداب و ناپایداری آن ها محاسبه گردید تا در نهایت بتوان محل نصب دیواره را تعیین نمود.

برای تعیین نوع گرداب شکل گرفته بر روی آبگیر از مواد رنگی استفاده شد. نتایج آزمایش ها نشان داد که گرداب های تشکیل شده بر روی دهانه آبگیرها در حضور دیواره ناپایدار بوده و نوع گرداب مرتباً تغییر می کند. دو تراز قرارگیری دیواره ضد گرداب در سه سطح آبگیری مختلف مخزن مورد آزمایش قرار گرفت تا عملکرد دو سطح قرار گیری مورد ارزیابی قرار گیرد. انتخاب تراز قرارگیری بهینه با توجه به میانگین فراوانی وقوع و همچنین میانگین مدت پایداری گرداب های مختلف تعیین شد.

واژه های کلیدی: نیروگاه برق آبی، آبگیر نیروگاه، سد کارون ۳، گرداب، دیوار ضدگرداب، ناپایداری گرداب

## مقدمه

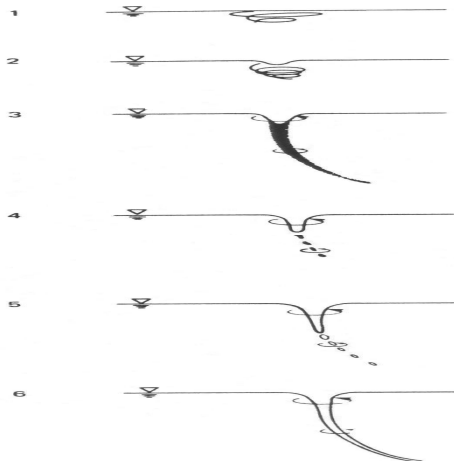
یکی از اهداف سد سازی استفاده از انرژی آب جهت تولید برق می باشد. در این راستا نیروگاه های برق آبی بسیاری در کنار سدهای مختلف در سرتاسر دنیا اجرا و مورد بهره برداری قرار گرفته است. استفاده بهینه و مطلوب از این انرژی پاک که با هزینه های سنگین بدست می آید به عهده مهندسين طراح سدها و نیروگاه ها می باشد. عملکرد هیدرولیکی سازه ها و همچنین وسایل مکانیکی موجود در سد و نیروگاه می تواند تاثیر بسزایی بر برق تولیدی نیروگاه داشته باشد.

یکی از شرایط کار مطلوب یک نیروگاه برق آبی عدم تشکیل جریان های گردابی در ورودی آبگیرهای نیروگاه می باشد. هنگامی که حرکت ذرات سیال به گونه ای باشد که در آن خطوط جریان به شکل منحنی های بسته باشند، جریان گردابی شکل می گیرد. در این حرکت چرخشی گروهی از ذرات سیال حول یک مرکز عمومی دوران می کنند. اکثر گرداب های شکل گرفته در دهانه آبگیرها دارای هسته ای هستند که شبیه جسم صلب دوران می کند و در فواصل دورتر از هسته دارای جریانی تقریباً غیر چرخشی می باشند. [۱]

وجود جریان های گردابی و یا به عبارت صحیح تر گرداب، موجب کاهش راندمان توربین ها، وارد کردن ارتعاش در سیستم، افزایش افت هیدرولیکی در دهانه آبگیر نیروگاه، افزایش مشکلات عملیاتی مانند انسداد مجاری آشغالگیر در اثر مکش هوا و مواد شناور روی سطح آب و در نهایت کاهش عمر توربین ها می شود. [۲]

## طبقه بندی انواع گرداب ها

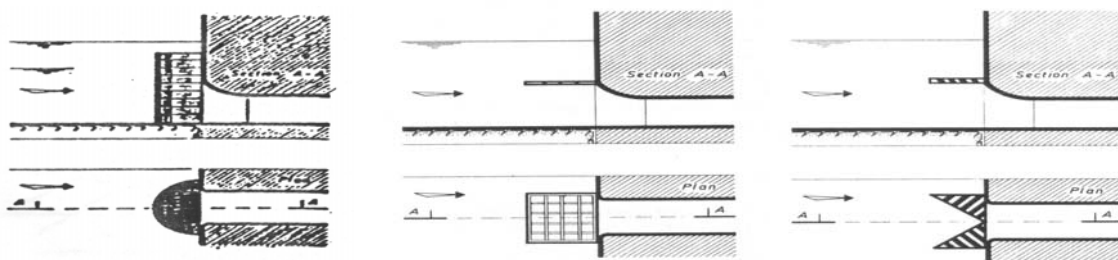
طبقه بندی گردابه ها بر اساس قدرت گردابه در سال ۱۹۸۱ توسط Hecker ارائه شد [۶]. در این طبقه بندی گردابه ها به شش گروه طبقه بندی می شوند. گردابه های نوع ۱ محدود به چرخشهای سطحی می شود. در گردابه های نوع ۲ فرورفتگی کوچکی نیز در سطح آب مشاهده می شود اما مسیر چرخش ماده رنگی را نمی توان مشاهده کرد. در گردابه های نوع ۳، با ریختن ماده رنگی به داخل جریان مخروط چرخشی ماده رنگی مشاهده می گردد. در گردابه های نوع ۴ ذرات شناور نیز به داخل گردابه و در نتیجه مجرا کشیده می شوند. در گردابه های نوع ۵ علاوه بر اجسام شناور حباب های هوا نیز به داخل مجرا کشیده می شود و در شدیدترین حالت در گردابه نوع ۶ که به گرداب رانکین معروف است، یک هسته هوا از سطح آزاد آب تا مجرای آبگیر مشاهده می گردد. (شکل ۱)



شکل ۱- تفکیک انواع گرداب ها براساس قدرت آن ها

## روش های جلوگیری از تشکیل گرداب در دهانه آبگیرها

به منظور جلوگیری از تشکیل گرداب در دهانه آبگیرهای نیروگاهی می توان عمق استغراق دهانه را افزایش داد. ولی انجام این کار، به دلیل عدم امکان استفاده از حجم قابل توجهی از مخزن، معمولاً غیراقتصادی است. اصلاح هندسی کانال تقرب و محل قرارگیری دهانه آبگیر به منظور جلوگیری از تشکیل مناطق ساکن و از بین بردن عوامل غیریکنواخت کننده جریان نزدیک شونده به سمت آبگیر نیز می تواند از تشکیل گرداب ممانعت به عمل آورد. ولی مطمئن ترین روش در تضعیف یا جلوگیری از تشکیل گرداب، استفاده از ابزارهای ضدگرداب در دهانه آبگیر می باشد. این ابزار بطور عمده با کاهش سرعت جریان در نزدیکی های آبگیر، طولانی تر کردن مسیر جریان بین سطح آزاد آب و دهانه آبگیر و نیز پراکنش انرژی گرداب، باعث از بین رفتن گرداب می گردند. معمولاً برای حذف و یا تضعیف گرداب از صفحات افقی یا دیوارهای عمودی و یا ترکیبی از آنها به شکل های مختلف استفاده می شود. تاکنون از گزینه های مختلفی برای مقابله با تشکیل گرداب ها بر روی دهانه آبگیرهای افقی استفاده شده است. (شکل ۲)



شکل ۲- از راست به چپ، شبکه افقی پره دار در سد Dinerwich در انگلیس، صفحه افقی مشبک در سد Mt.Elbert در آمریکا، شبکه نیم استوانه ای در سد Grand Coulee در آمریکا

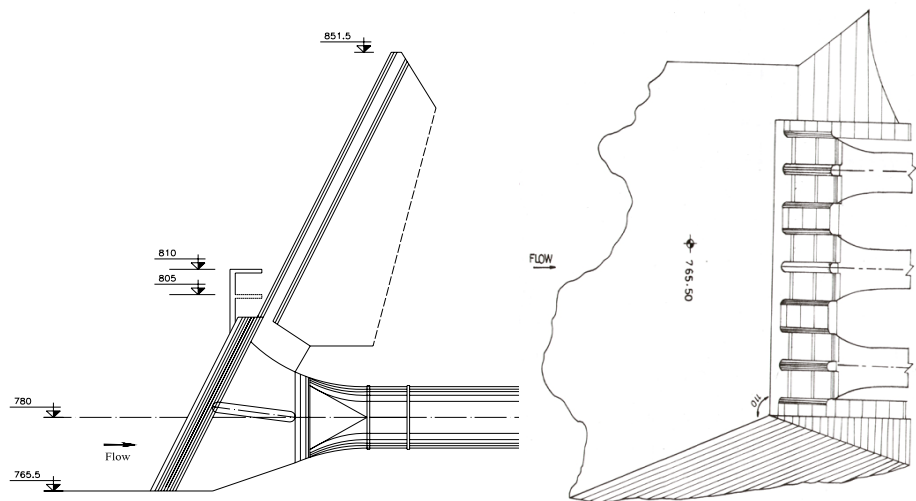
شناخت عامل شکل گیری گرداب، پارامتر مهم و تأثیرگذاری در انتخاب نوع گزینه ضدگرداب می باشد، چراکه هر یک از این گزینه ها، با مکانیزم متفاوتی نسبت به گزینه دیگر باعث جلوگیری از تشکیل گرداب می شوند. به طور مثال صفحه افقی مشبک، با یکنواخت کردن جریان و قطع مخروط گرداب توسط عناصر شبکه باعث استهلاک گرداب می گردد در صورتی که صفحه افقی یکپارچه، با پوشانیدن محدوده تشکیل گرداب و انتقال آن به منطقه ای دورتر باعث طولی تر شدن خطوط جریان بین دهانه آبگیر و سطح آب شده و موجب کاهش قدرت یا حذف گرداب می شود. همچنین دیوار قائم عمود بر

جریان نزدیک شونده به سمت آبگیر، ضمن پوشانیدن ناحیه ساکن جریان، منطقه شکل‌گیری گرداب را به دو ناحیه کوچکتر تقسیم می‌کند و باعث کاهش قدرت گرداب می‌شود.

بررسی چگونگی عملکرد سازه‌های مختلف ضدگرداب و ارائه معیارهای طراحی برای این سازه‌ها تا حدی مورد توجه محققین قرار گرفته است ولی این تحقیقات کافی نبوده و انجام مطالعات بیشتر در این زمینه ضروری است. در تحقیق حاضر سعی شده است با استفاده از یک مدل فیزیکی تاثیر دیواره قائم ضدگرداب را بر ناپایداری گرداب‌های تشکیل شده بر روی دهانه ورودی آبگیرهای نیروگاه کارون ۳ مورد مطالعه قرار گیرد. در این راستا نوع گرداب‌های تشکیل شده بر روی دهانه آبگیرها و میانگین فراوانی تکرار و همچنین میانگین زمان پایداری هر گرداب نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

### کارهای آزمایشگاهی

در این تحقیق، مطالعه گرداب بر روی مدل هیدرولیکی آبگیرهای نیروگاه سد کارون ۳ انجام گرفت. نیروگاه دارای ۸ واحد ۲۵۰ مگاواتی بوده که هر ۴ واحد از یک آبگیر مجزا تغذیه می‌شود. تونل آب بر هر کدام از آبگیرها به قطر ۱۲/۶ متر بوده که در انتها به دو شاخه به قطر ۹/۵ متر تقسیم می‌شود. ابعاد دهانه هر آبگیر ۲۴/۵ متر ارتفاع در ۸/۵ متر عرض می‌باشد. تراز کف آبگیر ۷۶۵/۵ متر از سطح دریا بوده و شکل هندسی آبگیر به گونه‌ای است که محور آبگیر در تراز ۷۸۰ متر از سطح دریا قرار می‌گیرد. (شکل ۳)



شکل ۳- از راست به چپ: پلان و مقطع آبگیرهای نیروگاه سد کارون ۳ همراه با دو سطح قرارگیری گزیننده ضد گرداب

حداکثر و حداقل تراز بهره‌برداری از مخزن به ترتیب ۸۴۰ و ۸۰۰ متر از سطح دریا بوده و تراز متوسط بهره‌برداری از نیروگاه ۸۳۱ متر از سطح دریا می‌باشد. حداکثر ظرفیت هر واحد ۱۷۸/۵ مترمکعب در ثانیه و حداکثر ظرفیت هر دهانه آبگیر برابر ۷۱۴ مترمکعب در ثانیه بوده و ظرفیت عادی هر واحد ۱۷۴ مترمکعب در ثانیه و ظرفیت عادی هر دهانه آبگیر برابر ۶۹۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

به منظور بررسی عملکرد هیدرولیکی آبگیر در دوران بهره‌برداری نیروگاه و پیش بینی مناسب رفتار جریان ورودی به آبگیر در نمونه واقعی، مدل هیدرولیکی دو آبگیر از آبگیرهای سد کارون ۳ با مقیاس ۱:۳۳/۳ ساخته شد. این مقیاس با توجه به معیارهای ارائه شده توسط انوار [۷] و همچنین جین [۸] جهت پرهیز از خطاهای مقیاسی بدست آمده است و از این رو نتایج بدست آمده براحتی قابل تعمیم به نمونه‌های واقعی است. مدل هیدرولیکی آبگیرهای کارون ۳ شامل قسمتی از دریاچه سد، کانال ورودی آبگیر، دهانه آبگیرها، تونل‌های تحت فشار، قسمت انشعاب و قسمتی از تونل‌های پایین دست بود. برای عدم تاثیر دیوارهای مخزن بر شکل کلی الگوی جریان ورودی به آبگیرها، قسمتی از دریاچه سد به طول ۲۲۶ متر و عرض ۲۴۰ متر در نمونه واقعی و همچنین قسمتی از قوس سد، از مصالح بنایی ساخته شد. به منظور مشاهده جریان در قسمت‌های مختلف، سازه آبگیر سمت چپ جریان از جنس پلکسی گلاس شفاف ساخته شد.

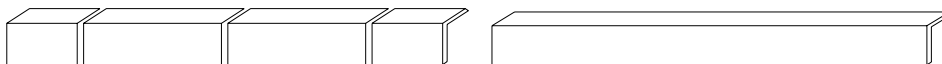
به منظور اندازه‌گیری دبی جریان در مدل هیدرولیکی، از چهار سرریز لبه تیز مستطیلی کالیبره شده برای هر واحد استفاده گردید. تراز سطح آب در مخزن نیز بوسیله یک لیمنیمتر با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در ترازهای ۸۰۰، ۸۱۰ و ۸۲۰ متر از سطح دریا و در دبی ۱۴۰۰ مترمکعب در ثانیه در نمونه واقعی انجام شده است. همچنین در تمام آزمایشات آبگیری از ۲ آبگیر تنها انجام شده است.

## ارائه نتایج

در آزمایش‌های انجام گرفته مشخص شد که به ازای ترازهای کمتر از ۸۱۰ مخزن گرداب بر روی دهانه آبگیرها تشکیل می‌شود. از آنجا که گرداب‌های نوع ۴ نسبتاً پایدار نیز مشاهده گردید لذا بهره‌برداری از آبگیرها به ازای ترازهای کمتر از ۸۱۰ متر بر روی دهانه آبگیر ممکن است خطرساز باشد. سازه‌های ضد گرداب از جمله گزینه‌های ممکن جهت حذف و یا کاهش قدرت گرداب‌ها بشمار می‌رود. در این ارتباط دو نوع دیوار ضد گرداب قائم یکپارچه و شیاردار جهت حذف و یا کاهش قدرت گرداب‌های تشکیل شده بر روی دهانه‌های نیروگاه مورد آزمایش قرار گرفت. عرض این دیوارها باندازه عرض دهانه آبگیر بوده و شامل یک سپر افقی و یک دیوار عمودی می‌باشند (شکل ۴).

تحقیقات انجام شده قبلی بر روی این آبگیرها که توسط سرکرده و همکاران انجام شد، نشان داد که عملکرد دیوار قائم شیاردار در تخفیف قدرت گرداب‌ها بهتر از عملکرد دیوار قائم یکپارچه بوده و به همین دلیل دیوار ضد گرداب شیاردار به عنوان گزینه نهایی انتخاب شد. [۹]

در تحقیق حاضر برای تعیین موقعیت قرارگیری سپر افقی دیوار ضد گرداب شیار دار، آزمایش‌هایی در سه تراز ۸۰۰ متر، ۸۱۰ متر و ۸۲۰ متر از مخزن انجام شد. در این آزمایش‌ها سپر افقی دیوار ضد گرداب به ترتیب در ترازهای ۸۰۵ متر و ۸۱۰ متر مخزن قرار داده شد. در انجام آزمایش‌ها برای تشخیص نوع گرداب تشکیل شده از مواد رنگی استفاده گردید. زمان انجام هر آزمایش ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد و در هر آزمایش، هر پنج دقیقه یکبار پارامترهایی چون نوع گرداب تشکیل شده در دهانه آبگیر، تعداد دفعات تشکیل گرداب و مدت زمان دوام هر گرداب ثبت گردید که یک نمونه از این نتایج در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. ثبت پارامترهای مورد نیاز در هر پنج دقیقه یکبار علاوه بر مشخص نمودن نوع گرداب‌های تشکیل شده، پایداری گرداب‌ها را در بازه‌های زمانی مشخص می‌کند و از این رو می‌توان در مورد میزان کارایی دیوار ضد گرداب در دو تراز مختلف قرارگیری آن اظهار نظر نمود.



شکل ۴- از راست به چپ: دیوار ضد گرداب یکپارچه و دیوار ضد گرداب شیاردار

جدول ۱- ارزیابی آماری تشکیل گرداب‌ها در ترازهای مختلف آبگیری با وجود دیوار شیاردار در تراز ۸۰۵ متر و دبی عبوری ۱۴۰۰ متر مکعب در ثانیه از

### آبگیرهای شماره ۲۰

تراز آبگیری ۸۰۰ متر						
گرداب نوع سوم		گرداب نوع دوم		گرداب نوع اول		زمان (min)
دوام (sec)	تعداد دفعات وقوع	دوام (sec)	تعداد دفعات وقوع	دوام (sec)	تعداد دفعات وقوع	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵
۰	۰	۱۰	۵	۵	۳	۱۰
۳	۲	۱۲	۴	۵	۳	۱۵
۰	۰	۴	۴	۳	۲	۲۰
۰	۰	۴	۳	۷	۶	۲۵
۰	۰	۷	۵	۴	۴	۳۰
۰	۰	۵	۸	۳	۳	۳۵
۰	۰	۷	۶	۳	۲	۴۰
۰	۰	۵	۸	۵	۷	۴۵
۰	۰	۵	۶	۳	۳	۵۰
۰	۰	۴	۶	۲	۲	۵۵
۲	۱	۷	۱۲	۳	۲	۶۰
۰	۰	۶	۴	۴	۲	۶۵

۰	۰	۶	۳	۷	۳	۷۰
۰	۰	۷	۵	۶	۲	۷۵
۰	۰	۵	۵	۲	۱	۸۰
۰	۰	۸	۴	۶	۳	۸۵
۰	۰	۵	۶	-	۲	۹۰
۰	۰	۶	۴	۵	۳	۹۵
۰	۰	۶	۳	۳	۴	۱۰۰
۳	۱	۹	۲	۴	۱	۱۰۵
۲	۱	۹	۶	۹	۲	۱۱۰
۰	۰	۶	۷	۷	۴	۱۱۵
۰	۰	۷	۸	۷	۳	۱۲۰
۳	۲	۲۰/۰۰	۱۲/۰۰	۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	حداکثر
۲	۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	حداقل
۲/۵	۱/۲۵	۶/۲۵	۵/۱۷	۴/۲۹	۲/۷۹	میانگین
تراز آبیگری ۸۱۰ متر						
۰	۰	۱۴/۰۰	۶/۰۰	۱۲/۰۰	۳/۰۰	حداکثر
۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	حداقل
۰	۰	۶/۷۰	۱/۳۵	۲/۱۷	۰/۴۳	میانگین
تراز آبیگری ۸۲۰ متر						
۰	۰	۰	۰	۵/۰۰	۲/۰۰	حداکثر
۰	۰	۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	حداقل
۰	۰	۰	۰	۲	۰/۵۸	میانگین

جدول ۲- ارزیابی آماری تشکیل گرداب‌ها در ترازهای مختلف آبیگری با وجود دیوار شیاردار در تراز ۸۱۰ متر و دبی عبوری ۱۴۰۰ متر مکعب در ثانیه از

#### آبگیرهای شماره ۲۱

تراز آبیگری ۸۰۰ متر						
گرداب نوع سوم		گرداب نوع دوم		گرداب نوع اول		زمان (min)
دوام (sec)	تعداد دفعات وقوع	دوام (sec)	تعداد دفعات وقوع	دوام (sec)	تعداد دفعات وقوع	
۰	۰	۲۰/۰۰	۱۰/۰۰	۰	۰	حداکثر
۰	۰	۳/۰۰	۲/۰۰	۰	۰	حداقل
۰	۰	۷	۳	۰	۰	میانگین
تراز آبیگری ۸۱۰ متر						
۰	۰	۱۰/۰۰	۵/۰۰	۰	۰	حداکثر
۰	۰	۵/۰۰	۰/۰۰	۰	۰	حداقل
۰	۰	۷/۵	۲/۵۷	۰	۰	میانگین
تراز آبیگری ۸۲۰ متر						
۰	۰	۰	۰	۴/۰۰	۳/۰۰	حداکثر
۰	۰	۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	حداقل
۰	۰	۰	۰	۰/۷۵	۰/۸۶	میانگین

نتایج آزمایشهای مختلف نشان داده بود که قبل از نصب دیوارهای ضد گرداب در شرایط اولیه، گردابهای پایدار از نوع ۴ و ۵ بر روی دهانه آبیگیرها تشکیل می‌شود. پس از نصب دیوارهای ضد گرداب علاوه بر اینکه نوع گرداب به ۱ یا ۲ و در برخی موارد به ۳ تخفیف پیدا کرده است، تمام گردابها نیز بصورت ناپایدار تشکیل شده‌اند. پس از نصب دیوار ضد گرداب، گردابهای ضعیف روی سطح آب تشکیل شده که پس از برخورد با دیوارهای قائم از بین می‌روند و بنابراین همواره ماهیت ناپایدار و تصادفی دارند. [۹]

با برآورد نوع، تعداد و مدت زمان پایداری گردابهای شکل گرفته در هر ۵ دقیقه، لیستی از نحوه شکل‌گیری و ناپدید شدن گردابهای مختلف تهیه گردید. با توجه به مقادیر میانگین دفعات تکرار و میانگین زمان پایداری گردابها مطابق نتایج جداول ۱ و ۲ همچنین با توجه به تجزیه و تحلیل آماری انجام شده بر روی داده‌ها، به خوبی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش رقوم سطح آب مخزن از ۸۰۰ به ۸۱۰ و سپس ۸۲۰ متر، تعداد دفعات تکرار گردابها در ۵ دقیقه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و زمان پایداری آنها با افزایش سطح آب مخزن به صفر نزدیک می‌شود. همچنین قدرت گردابها با افزایش تراز آب مخزن ضعیف شده است و در نهایت کاهش تعداد گردابها و کاهش میزان پایداری در ترازهای نزدیک به ۸۱۰ متر و بیشتر مشاهده گردید. بدین ترتیب به نظر می‌رسد که در رقوم ۸۱۰ متر، شرایط عدم ایجاد گردابهای مخرب به مرور زمان تامین می‌گردد. در نهایت با تجزیه و تحلیل اطلاعات استخراج شده از مدل هیدرولیکی می‌توان گفت که دیوار ضد گرداب شیاردار با قرارگیری تاج آن در تراز ۸۱۰ متر گزینه مناسبی برای حذف و یا تضعیف گردابهای تشکیل شده بر روی آبیگیرهای سد کارون ۳ به شمار می‌رود.

### خلاصه و نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از پتانسیل آب جهت تولید نیرو یکی از فاکتورهای مورد توجه در مسائل مربوط به سد سازی می باشد. در این راستا به وجود آمدن پدیده ای همچون گرداب می تواند موجب کاهش راندمان فرآیند تولید نیرو گردد. یکی از پارامترهایی که می تواند در خطرناک بودن یک گرداب شکل گرفته حائز اهمیت باشد، میزان پایداری یک گرداب است. در پژوهش حاضر سعی شده است با استفاده از مدل فیزیکی آبیگیرهای نیروگاه سد کارون ۳ به بررسی میزان ناپایداری گرداب های شکل گرفته در دو تراز قرارگیری دیواره ضد گرداب پرداخته شود. پس از انجام آزمایشات در دوره های ۱۲۰ دقیقه ای و ثبت نوع و دوام و تعداد دفعات تکرار هر ۵ دقیقه یک بار، امکان تجزیه و تحلیل آماری گرداب ها فراهم گردید. پس از بررسی ناپایداری های به وجود آمده در نهایت تراز قرارگیری ۸۱۰ متر به عنوان گزینه نهایی طراحی انتخاب گردید.

### مراجع

- ۱- Lugt,H.J., "Vortex Flow in Nature And Technology", Joun Wiley & Sons, ۱۹۸۳.
- ۲- Knauss,J., "Swirling Flow Problems at intakes", Balkema, ۱۹۸۷.
- ۳- Lugt,H.J., "Vortex Flow in Nature and Technology", Joun Wiley & Sons, ۱۹۸۳.
- ۴- Gordon , J.L., "Vortices at Inkaes", Water Power, 1970.
- ۵- Amphlet,M.B., "Air Entraining Vortices at Horizontal Intake", HRC Wallingford Rep., No.OD/7, 1976
- ۶- Hecker,G.E., "Model-Prototype Comparision of Free Surface Vortices", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. ۱۰۷, No. ۱۰, pp ۱۲۴۳-۱۲۵۹, ۱۹۸۱.
- ۷- Anwar,H.O., Weller,J.A. & Amphlett M.B., "Similarity of Free Vortex at Horizontal Intake", Journal of Hydraulic Research, No.2, pp 95-105, 1978
- ۸- Jain,A.K ,Raju,K.G.R & Grade,R.J., "Vortex Formation at Vertical Pipe Intake", Journal of Hydraulic Engineering , Vol. ۱۰۰, No. ۱۰, pp ۱۴۲۷-۱۴۴۵, ۱۹۸۷.
- ۹- Sarkardeh, H., Safavi, K. and Karaminejad, R., "Experimental study of vertical anti-vortex wall at power intakes of Karun III dam", ۲nd International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, ۲۰۰۸, Italy.