

## تجزیه و تحلیل شبیه فیزیکی سرریز سطحی (منحنی پیوند) ، آرام کننده ی جامی، و حوضچه ی آرامش سد سلمان فارسی

امید طیاری<sup>۱\*</sup> و ایمان رستمی راوری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۲ تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۴

### چکیده

سرریز ها و حوضچه های آرامش از مهم ترین سازه ها در ساختمان سد بشمار می روند که بی توجهی به آنها زیان هایی جبران ناپذیر را در پی دارد . نخستین بررسی آبی سد سلمان فارسی واقع در استان فارس به وسیله ی مهندسان مشاور نشان داد که سازه ی سرریز و جریان در رژیم آن بایستی مورد مطالعه قرار گیرند ، لذا یک شبیه فیزیکی- آبی از بخشی از سرریز سطحی و آرام کننده ی جامی آن در نهر پایه دار آزمایشگاه هیدرولیک ساخته شد و با عبور دادن جریان با بده های گوناگون از روی سازه و اندازه گیری عوامل آبی ، رژیم جریان روی سازه تعیین گردید. نتایج حاکی از آنند که سرریز و آرام کننده ی جامی متصل به آن بایستی مورد مطالعه ای ژرف تر و بازنگری قرار گیرند.

واژه های کلیدی: شبیه های فیزیکی ، سرریز های سطحی ، آرام کننده های جامی ، حوضچه های آرامش ، سد سلمان فارسی

<sup>۱</sup> - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

<sup>۲</sup> - کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی و مدرس مجتمع فنی بعثت کرمان

\* نویسنده ی مسوول مقاله email:rostamiiman@yahoo.com

## پیشگفتار:

با ساخت شبیه آبی سرریز منحنی پیوند به بررسی معادله ی جلوی منحنی سرریز منحنی پیوند پرداختند. آن‌ها پس از بررسی‌های بسیار و انجام آزمایش‌های گوناگون به معادله ی چند جمله ای درجه ی ۶ با بیشترین ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۹۹۸ به عنوان بهترین معادله ی جلوی منحنی سرریز منحنی پیوند دست یافتند (دستغیب و عشایری ۱۳۸۵). پینتو (۱۹۹۰) با توجه به تجربیات خود در مورد جدا خوردگی و پیش بینی هوا دهی سرریز اعلام داشت بدون استفاده از شبیه آبی نمی توان با اطمینان لازم به بررسی مطالعات پرداخت. پاگلیارا و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه در مورد میزان آبشستگی اعلام داشتند که حرکت مواد بستر به دلیل عدم استهلاک کارمایه ی فوران باعث ایجاد حفره ی آبشستگی می گردد که در صورت توسعه ممکن است منجر به شکست سد یا سرریز آن گردد و لزوم مطالعه را در مورد شبیه سازی پیش از احداث سازه یادآور شدند.

## جمع آوری داده ها:

یکی از مهمترین مراحل انجام طرحهای پژوهشی، جمع آوری داده ها و آمار اولیه می باشد. در حقیقت تمام طرحهای مهم، بویژه در زمینه ی سازه های آبی که با هزینه هایی بسیار سنگین احداث می گردند نیاز به داده های جامع و کامل از محیط و منابع موجود دارند (شفاعی بجزستان ۱۳۸۴). داده های مورد نیاز جهت ساخت شبیه سرریز سد سلمان فارسی از شرکت سهامی آب منطقه ای فارس تهیه شد. ویژگی های سد سلمان فارسی بر اساس زیر است:

سد مخزنی سلمان فارسی (قیر) در استان فارس و جنوب شیراز، بر رودخانه قره آغاج که از کوههای زاگرس سرچشمه می گیرد در محل تنگه ی کارزین در حال احداث می باشد. دسترسی به محل از طریق راه اختصاصی آسفالت به طول ۱۳ کیلومتر، منشعب از کیلومتر ۱۲ جاده ی قیر به فیروزآباد صورت می گیرد. فاصله ی محل احداث سد تا شیراز نزدیک به ۲۰۰ کیلومتر و از شهرهای فیروزآباد و جهرم نیز به ترتیب نزدیک به ۷۵ و ۱۰۰ کیلومتر می باشد. از نظر جغرافیایی، محدوده ی سد بین ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه عرض

با پیشرفت فناوری، ساخت سازه های عظیم آبی در راستای توسعه ی منابع آب پیشرفت شایان توجهی نموده است. هزینه ی زیاد و مدت زمان طولانی احداث سازه های آبی و توجه به این حقیقت که شبیه سازی، دقیق ترین روش در بررسی مسائل و مشکلات این گونه سازه هاست، پژوهشگران و طراحان را بر آن داشته تا با ساخت شبیه فیزیکی از سازه ی طراحی شده و انجام آزمایش ها از جنبه های پنهان پدیده در شرایط گوناگون آگاه شوند. از این راه صرفه جویی های لازم صورت گرفته و کاستی ها و اشکالات طرح اصلاح می گردد. شایان ذکر است که سرریزها متداول ترین نوع شبیه های آبی می باشد. در این پژوهش سعی شده است تا با ساخت شبیه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد مرودشت و قرار دادن آن داخل یک نهر پایدار، تاثیرات انواع گوناگون جریان و بده های گوناگون آن را پس از گذشتن از روی این سازه مورد محاسبه قرار داد.

## دست آوردها و لزوم ساخت شبیه های آبی سال های اخیر در ایران و جهان:

مرکز تحقیقات آب (۱۳۷۳) با ساخت و مطالعه در مورد شبیه آبی سرریز مسجد سلیمان به پدیده ی جدایش و تشکیل ناحیه ی چرخ آب در نزدیکی دیوار هادی سمت چپ پی برد و با افزایش طول پایه و تغییر انحنای دیوار در گزینه های مختلف، هندسه ی دیوار هدایت را بهینه گرداند. این مساله در مورد شبیه های فیزیکی سرریز استور، طالقان، میرزای شیرازی، کرخه و ایلام نیز انجام شده است. مرکز تحقیقات وزارت نیرو (۱۳۷۲) با ساخت شبیه آبی سد کارون ۱ به طراحی سرریز و جام انتهایی جدید برای این سد اقدام کردند تا خسارت های به وجود آمده از طراحی گذشته را برطرف کنند. دانشمند و همکاران (۱۳۸۵) با آزمایش آبی بر دریچه ی فلپ سرریز سد شیرین دره نشان دادند که طراحی صورت گرفته از نظر شکل و چگونگی پاشش آب از روی دریچه ی یک طرفه و از نظر عرض دریچه یک طرفه، مناسب نبوده است و از همین رو پیشنهادهای لازم جهت اصلاح را ارائه کردند. دستغیب و عشایری (۱۳۸۵)

دریا می باشد (دفتر مطالعات سد سلمان فارسی ۱۳۸۶).

### مراحل ساخت شبیه

#### بدنه ی سرریز

جریان سیلاب ورودی به سرریز پس از عبور از ۷ پایه به وسیله ی دو دیواره ی هادی سراسری جداکننده به ۳ بخش تقسیم می شود و در نتیجه هنگام خروج جریان از سازه ی پرتاب کننده ی جامی ، سه فوران پرتابی مستقل تشکیل می شود. این ۳ بخش شامل دو قسمت مساوی که حاوی ۳ دهانه و دو پایه می باشند و از آنجا که عرض هر دهانه برابر با ۱۴ متر و عرض هر پایه برابر با ۴/۷۵ متر می باشد ، عرض بالای هر کدام از دو بخش مساوی ، برابر با  $3 \times 14 + 2 \times 4/75 = 51/5m$  می باشد و یک بخش دیگر حاوی ۲ دهانه و یک پایه می باشد که عرض بالای آن برابر با  $2 \times 14 + 4/75 = 32/75m$  است (دفتر مطالعات سد سلمان فارسی ۱۳۸۶). با توجه به ابعاد نهر پایدار برای شبیه کردن سرریز ، از یک قسمت از سرریز که عرض بالای تاج این قسمت از سرریز برابر با  $32/75 = 2 \times 14 + 4/75$  متر می باشد استفاده شد و با توجه به این که مقیاس پایدار سازی برابر با ۱:۸۰ بود ، عرض بالای تاج شبیه برابر  $40/9cm$  گردیده و عرض پایین سرریز نیز با توجه به مطالب و شکل موجود محاسبه و در شبیه برابر  $20/9cm$  بدست آمده است.

شمالی و ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد (دفتر مطالعات سد سلمان فارسی ۱۳۸۶).

اهداف عمده ی احداث این سد به شرح زیر است:

- تأمین آب شرب شهرهای واقع در منطقه ی طرح به میزان ۴۳ میلیون مترمکعب در سال.

- تأمین آب کشاورزی اراضی دشت های قیر و کارزین، علی آباد، افزر و لاغر روی هم نزدیک به ۳۲۰۰۰ هکتار (طرح توسعه ۱۴۰۰۰ هکتار و طرح بهبود اراضی ۱۱۰۰۰ هکتار و حفظ وضع موجود به میزان ۷۰۰۰ هکتار) در تلفیق با منابع آب زیرزمینی.

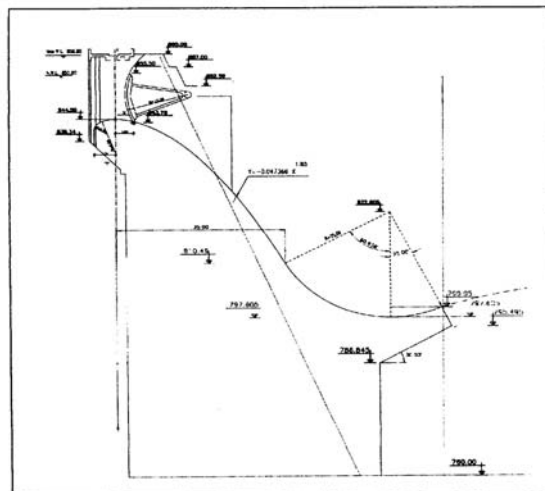
- تولید کارمایه ی برقابی به وسیله ی دو دستگاه توربین با ظرفیت هر دستگاه ۶/۵ مگاوات و تولید سالانه نزدیک به ۵۰ گیگاوات ساعت.

- مهار کردن سیلاب.

- احیای اراضی شور و قلیایی دشت های با قابلیت توسعه.

- اشتغال زایی و افزایش تولیدات کشاورزی و دامی در منطقه ی طرح.

سرریز این سد، سرریز منحنی پیوند دریچه دار با معادله ی نیمرخ  $y = -0/47366 x^{1/85}$  که منحنی آن از تاج با رقوم ۸۴۴/۵ متر از سطح دریا آغاز می شود و تا نقطه ی شروع سازه پرتاب کننده جامی ، واقع در ۳۵ متری پایین دست تاج با رقوم ۸۱۰/۴۶ متر ادامه دارد. تراز کف سازه پرتاب کننده ۷۹۷/۶۰۵ متر ، تراز لبه ی جام ۷۹۹/۹۵ متر و تراز مرکز دایره جام ۸۲۲/۶۰۵ متر از سطح



شکل ۱- نیمرخ مقطع عرضی سرریز سد سلمان فارسی

**سازه ی پرتاب کننده ی جامی :**

مقطع عرضی این سازه قوسی از دایره ای به شعاع ۲۵ متر و زاویه ی لب ۲۵ درجه نسبت به سطح افق در نظر گرفته شد (دفتر مطالعات سد سلمان فارسی ۱۳۸۶). برای شبیه کردن این بخش نیز شعاع قوسی با مقیاس ۱:۸۰ و با زاویه ی ۲۵ درجه نسبت به افق محاسبه گردید. مختصات نیمرخ محاسبه شده شبیه به همراه سازه پرتاب کننده ی جامی، به وسیله ی نرم افزار Auto cad ترسیم و از نیمرخ بدست آمده چاپ گرفته شد. این چاپ بر دو قطعه اسفنج ۱۰ میلی متری قرار داده و بر اساس نیمرخ از اسفنج جدا گردید. برای سطح عبور جریان (منحنی جلوی سرریز) از ورق گالوانیزه استفاده شد و برای اینکه جریان آب از روی سرریز باعث ایجاد

لرزش و تخریب آن نشود، در زیر آن یک زیر ساخت چوبی قرار داده شد. برای بر پا کردن شبیه ابتدا در فاصله ی ۱ متری از ابتدای نهر پایدار، قطعات پلکسی گلاس ۵ میلی متری شفاف و به صورت عمود در جهت طول نهر پایدار قرار گرفت تا جلوی آب را بگیرد و بتوان آب را تا ارتفاع تاج سرریز بالا برد، در دو سوی سرریز نیز قطعات پلکسی گلاس قرار گرفت تا جریان آب فقط بر سرریز حرکت کند و از اطراف آن بیرون نریزد. در انتهای سرریز برای جلوگیری از بازگشت آب به کناره های سازه در بخشی که بین انتهای سازه و بدنه ی نهر پایدار باقی مانده بود، به وسیله ی قطعات پلکسی گلاس کاملاً مسدود شد تا خطاهای احتمالی به کمترین حد ممکن برسد.



شکل ۲- مراحل ساخت شبیه

**حوضچه ی استغراق**

در این طرح با توجه به ابعاد نهر پایدار و فضای موجود و محاسبات مربوط به بخشی از سرریز سد و میزان تأثیر آن بر حوضچه ی استغراق، با مقیاس ۱:۸۰، حوضچه ای مکعب مستطیل به طول ۱۸۰cm و عرض ۵۰cm، که تا عمق ۱۴/۳ سانتی متر از شن دانه بندی شده با میانگین قطر ( $d_{50} = 1/0.3 \text{ cm}$ ) پر شده است، طراحی و ساخته شد. انتهای حوضچه به وسیله ی قطعه ای از پلکسی گلاس مسدود شد. حوضچه دقیقاً از انتهای سرریز آغاز شده است. همچنین دانه بندی مصالح غیرچسبنده پر شده در حوضچه ی پایاب جهت انجام مطالعات و

گزارش های آبستگي، بر مبنای میانگین فاصله ی درزه ی سنگ بستر در نمونه ی واقعی و بستر طبیعی رودخانه، با مقیاس طرح تعیین شده است. این مصالح از شن با قطر ۱/۰۳ سانتی متر، به وسیله ی الک کردن بدست آمدند و در داخل حوضچه به ارتفاع ۱۴/۳ سانتی متر قرار داده شد. پس از تعبیه حوضچه ی استغراق در داخل نهر پایدار و دقیقاً پس از انتهای شبیه سرریز، آزمایشها آغاز شد. در بده های گوناگون جریان از روی سرریز عبور داده شد و با گذشتن زمانی نزدیک به ۱۰ تا ۲۰ دقیقه و پس از آن که جریان در داخل حوضچه کاملاً یکنواخت گردید و زمانی که حفره ی داخل حوضچه به یک شکل

پایدار و تقریباً ثابت تبدیل شد ، جریان آب قطع گردید. در این بخش فاصله ی برخورد فوران آب به درون حوضچه ، ثبت گردید و پس از قطع جریان آب شکل کلی حفره برداشته شد و به وسیله ی خطکش با دقت نیم میلیمتر از ابعاد حفره ی ایجاد شده داده برداری شد. در انتها داده‌های مربوط به حفره‌های بوجود آمده وارد نرم‌افزار Surfer شد و شکل پستی و بلندی و سه بعدی هر حفره ترسیم گردید. در انتهای هر آزمایش و پس از داده برداری‌ها مصالح بستر حوضچه کاملاً داخل حوضچه و به حالت اولیه برگردانده شد تا شرایط انجام هر آزمایش کاملاً یکسان باشد.



شکل ۳- حوضچه ی استغراق ساخته شده در داخل نهر پایدار

### ویژگی های آزمایش :

در روی شبیه سرریز ۴ مقطع برای داده برداری ارتفاع بار آبی آب انتخاب شد . به دلیل اینکه نزدیک به ۲۰ سانتی متری پیش از تاج یکنواختی در موج و جریان وجود داشت و بر تاج امکان قرائت دقیق ارتفاع بار آبی آب امکان پذیر نبود، نخستین مقطع ۲۰ سانتی متر پیش از تاج سرریز انتخاب شد. دومین مقطع روی بدنه ی سرریز انتخاب گردید و سومین و چهارمین مقطع به ترتیب، کف بدنه و خروجی سرریز انتخاب شد و در تمامی این مقاطع مقدار بار آبی آب به وسیله ی خط کش و بادقت نیم میلی متر قرائت شد . برای بدست آوردن بده جریان از یک سرریز مثلثی ۶۰ درجه در انتهای نهر پایدار استفاده گردید. آزمایش در ۱۲ مرحله انجام گرفت و در هر مرحله ، شیر فلکه جریان ورودی را بیشتر باز می کردیم تا بده بیشتری ایجاد شود و ارتفاع بار آبی آب بر چهار مکان ذکر شده و دمای آب به وسیله ی دماسنج اندازه گیری می گردید . با توجه به نتایج بدست آمده در آزمایش نمودار های افت نسبی کارمایه نسبت به بده ، عمق بحرانی ، سرعت ، کارمایه و عدد رینولدز ترسیم و نتایج آنالیز گردید.

جدول ۲- نتایج آزمایش ششم.

۱	۲	۳	۴			۵			
دما درجه سانتی گراد	تعداد دور شیر	موج در بالا دست (cm)	هد روی سرریز (m)			ارتفاع روی بدنه در وسط (m)			
۲۰	۳	۰.۰۵۳	۰.۰۵			۰.۰۵			
			(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)
			۰.۰۰۵۴۴	۰.۰۴۰۹	۰.۰۴۶۴۲	۰.۰۵۴۴	۰.۰۳۲	۰.۰۳۴	۰.۰۲۳۳
			Y	Z	Y	Z	Y	Z	
			۰.۰۵	۰.۰۰۳۴۱	۰.۰۷۳	۰.۰۰۵	۰.۰۵۹	۰.۰۴۱	
			E			E			
			۰.۷۸۳۲۱۶۴۸			۰.۰۰۵۰۰۳۳۸۲			
			R	v		R	v		
			۰.۰۰۴۰۱۸	۱E-06		۰.۰۰۴۸۵	۱E-06		
			Fr	Re		Fr	Re		
			۰.۳۸۰۰۹	۱۰۴۲۰.۶		۱۵.۳۶۲۳	۱۶۳۸۱.۵		

جدول ۱- نتایج آزمایش دوم.

۱	۲	۳	۴			۵			
دما درجه سانتی گراد	تعداد دور شیر	موج در بالا دست (cm)	هد روی سرریز (m)			ارتفاع روی بدنه در وسط (m)			
۱۷	۱	۰.۰۱۸	۰.۰۱۵			۰.۰۱۷			
			(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)
			۰.۰۰۱۹۶	۰.۰۳۰۹	۰.۰۱۸۹۳۲	۰.۰۰۱۹۶	۰.۰۳۲	۰.۰۱۳۵۱۱	
			Y	Z	Y	Z	Y	Z	
			۰.۰۱۵	۰.۰۰۱۸۳	۰.۰۷۳	۰.۰۰۱۸۳	۰.۰۱۷	۰.۰۳۲۳۵	
			E			E			
			۰.۷۴۴۸۴۸۸۱			۰.۴۴۴۰۴۹۴۳۸			
			R	v		R	v		
			۰.۰۱۳۹۷	۱.۱E-06		۰.۰۰۱۶۸	۱.۱E-06		
			Fr	Re		Fr	Re		
			۰.۴۹۳۴	۲۴۳۳.۱۳		۱۶.۵۳۳۴	۳۳۰۲.۸۶		

۴	۷	۸
ارتفاع روی کف سرریز (m)	ارتفاع روی خروجی سرریز (m)	اندازه گیری هد در سرریز
۰.۰۰۷		۱۵.۲
(متر)	(متر)	
۰.۰۰۵۴۴۳۷	۰.۰۲۴	
Y	Z	
۰.۰۰۰۷	۰.۰۳۵۱۵	
E		
۰.۴۹۲۱۵۰۶۶۴		
R	v	
۰.۰۰۶۶۴۳۲	۱E-06	
Fr	Re	
۱۲.۳۶۵۲۷۹	۲۱۸۲۳	

۴	۷	۸
ارتفاع روی کف سرریز (m)	ارتفاع روی خروجی سرریز (m)	اندازه گیری هد در سرریز
۰.۰۰۲۵		۸.۶
(متر)	(متر)	
۰.۰۰۱۱۶۱۵	۰.۰۲۴	
Y	Z	
۰.۰۰۰۲۵	۰.۰۱۵	
E		
۰.۳۳۵۰۱۵۶۴		
R	v	
۰.۰۰۰۲۴۴۹	۱.۱E-06	
Fr	Re	
۱۲.۳۶۱۲۸	۲۳۵۹.۷۷	

جدول ۳- نتایج آزمایش هفتم.

۱	۲	۳	۴		۵	
دما درجه سانتی گراد	تعداد دور شیر	موج در بالا دست (cm)	هد روی سرریز (m)		ارتفاع روی بندنه در وسط (m)	
۱۷	۳.۵	۰.۵۵	۰.۵۲		۰.۱۷	
			(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)	(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)
			۰.۰۴۱۲	۰.۴۰۹	۰.۲۸۷۷۹	۰.۰۴۱۲
			Y (متر)	Z (متر)	V2/2g (متر)	Z (متر)
			۰.۰۵۲	۰.۰۴۲۲	۰.۷۳	۰.۰۰۷
			E (متر)		E (متر)	
			۰.۷۸۴۲۲۱۳۷۴		۰.۷۷۵۵۸۴۲۲	
			R	v	R	v
			۰.۰۴۱۴۶	۱.۱E-06	۰.۰۴۷۱	۱.۱E-06
			Fr	Re	Fr	Re
			۰.۴۰۲۹۶	۱۰۹۷۲.۴	۱۰۹۷۲.۴	۱۶۵۸۰۲.۸

جدول ۴- نتایج آزمایش یازدهم.

۱	۲	۳	۴		۵	
دما درجه سانتی گراد	تعداد دور شیر	موج در بالا دست (cm)	هد روی سرریز (m)		ارتفاع روی بندنه در وسط (m)	
۱۷	۱۰	۰.۷۳	۰.۶۸		۰.۱۷	
			(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)	(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)
			۰.۰۱۵۴۷	۰.۴۰۹	۰.۵۶۳۳۲	۰.۰۱۵۴۷
			Y (متر)	Z (متر)	V2/2g (متر)	Z (متر)
			۰.۰۶۸	۰.۱۶۱۷	۰.۷۳	۰.۰۱۷
			E (متر)		E (متر)	
			۰.۸۱۴۱۷۴۶۵۸		۰.۴۹۷۱۴۱۵	
			R	v	R	v
			۰.۰۵۱۰۳	۱.۱E-06	۰.۰۱۵۳۷	۱.۱E-06
			Fr	Re	Fr	Re
			۰.۶۸۹۷۱	۲۶۴۴۴.۳	۷.۰۵۲۲۵	۴۰۶۹۹.۹

۶	۷	۸
ارتفاع روی کف سرریز (m)	ارتفاع روی خروجی سرریز (m)	ارتفاع برای اندازه گیری هد در سرریز (مطلق) (cm)
۰.۰۰۸	۰.۱۵	۱۶.۱
(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)
۰.۰۰۶۱۲۰۸	۰.۰۴۶	۳.۱۸۷۹۲
Y (متر)	Z (متر)	V2/2g (متر)
۰.۰۰۸	۰.۱۵	۰.۱۷۵
E (متر)		E (متر)
۰.۶۷۵۹۸۲۲۹۷		۰.۳۸۴۲۸۶۴۴۸
R	v	R
۰.۰۰۷۵	۱.۱E-06	۰.۰۱۱۲
Fr	Re	Fr
۱۱.۳۷۹۶۱۲	۲۱۹۸۷.۷	۵.۰۸۹۶۸

۶	۷	۸
ارتفاع روی کف سرریز (m)	ارتفاع روی خروجی سرریز (m)	ارتفاع برای اندازه گیری هد در سرریز (مطلق) (cm)
۰.۰۲۱	۰.۲۷	۲۲
(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)
۰.۰۱۵۴۶۷	۰.۲۶	۳.۱۰۸۵۳
Y (متر)	Z (متر)	V2/2g (متر)
۰.۰۲۱	۰.۴۹۲۵۱	۰.۱۵
E (متر)		E (متر)
۰.۶۶۳۵۰۶۰۹۷		۰.۵۹۴۸۷۳۴۶۲
R	v	R
۰.۰۱۷۸۷۲	۱.۱E-06	۰.۰۲۱۴۶
Fr	Re	Fr
۶.۸۴۸۷۸	۵۱.۰۹۱.۴	۵.۳۹۶۶

جدول ۵- نتایج آزمایش دوازدهم

۱	۲	۳	۴		۵	
دما درجه سانتی گراد	تعداد دور شیر	موج در بالا دست (cm)	هد روی سرریز (m)		ارتفاع روی بندنه در وسط (m)	
۱۷.۵	۱۳	۰.۸۱	۰.۷۸		۰.۱۹	
			(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)	(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)
			۰.۰۱۹۸۳	۰.۴۰۹	۰.۴۲۱۶۷	۰.۰۱۹۸۳
			Y (متر)	Z (متر)	V2/2g (متر)	Z (متر)
			۰.۰۷۸	۰.۱۹۷	۰.۷۳	۰.۰۱۹
			E (متر)		E (متر)	
			۰.۶۷۴۸۱۰۶		۰.۹۱۳۴۹۰۷	
			R	v	R	v
			۰.۰۵۶۴۶	۱.۱E-06	۰.۱۶۹۸	۱.۱E-06
			Fr	Re	Fr	Re
			۰.۷۱۰۶۹	۳۴۸۳.۴	۷.۵۵۵۵۳	۵۱۵۸۱.۳



شکل ۴- فوران ورودی به حوضچه ی استغراق.

۶	۷	۸
ارتفاع روی کف سرریز (m)	ارتفاع روی خروجی سرریز (m)	ارتفاع برای اندازه گیری هد در سرریز (مطلق) (cm)
۰.۰۲۷	۰.۳	۲۳.۶
(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (سر تکبیر اولیه)	(متر) (متر اولیه)
۰.۰۱۹۸۳۳	۰.۲۶	۳.۰۶۰۵۹
Y (متر)	Z (متر)	V2/2g (متر)
۰.۰۲۷	۰.۴۷۷۴۳	۰.۱۵
E (متر)		E (متر)
۰.۶۵۴۴۰۶۴۴		۰.۷۱۶۹۶۷۲۱۱
R	v	R
۰.۰۲۰۴۱	۱.۱E-06	۰.۰۲۳۳۱
Fr	Re	Fr
۵.۹۴۸۸۶۷	۶۲۸۰.۹۹	۵.۸۳۰۶۵





شکل ۶- حفره ایجاد شده در حوضچه.

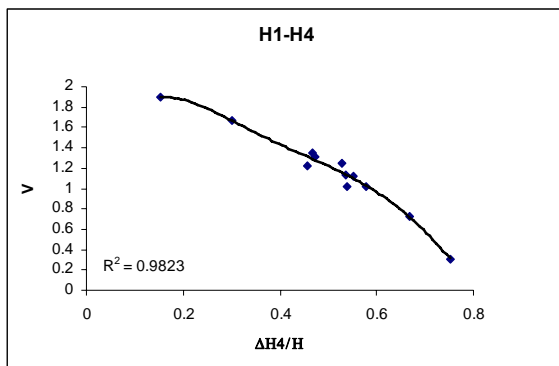


شکل ۵- جریان آشفته بر بدنه ی سرریز در آزمایش دهم

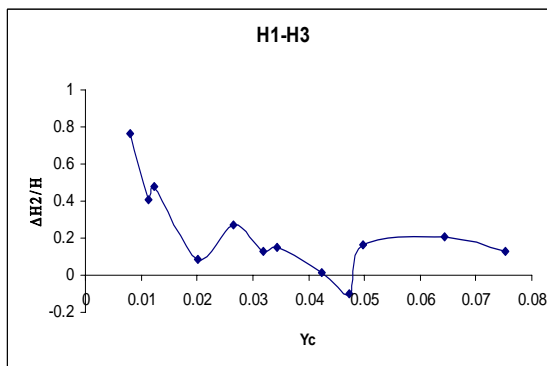
سه بخش با افزایش عمق بحرانی افت نسبی کارمایه کاهش می یابد بخش نخست که از عمق بحرانی ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۲۰ متر می باشد ، افت نسبی کارمایه با شیب بسیار زیاد کاهش می یابد. بخش دوم که بین عمق بحرانی ۰/۰۲۶ تا ۰/۰۴۷ متر است ، شیب افت نسبی کارمایه کمتر از بخش قبل می باشد. بخش سوم که از عمق ۰/۰۴۹ تا ۰/۰۷۵ متر است یک جهش و افزایش نسبی در افت کارمایه داریم که علت آن افزایش بار سرعت در این نقاط می باشد.

### نتایج:

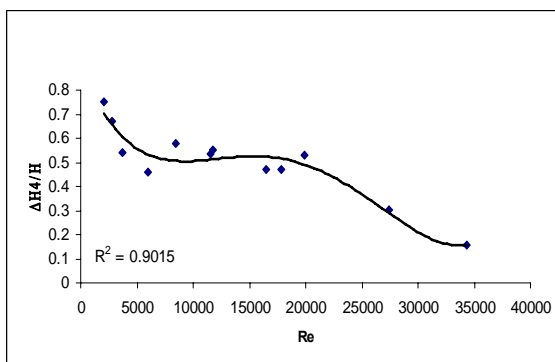
در شکل ۷ تغییرات افت نسبی کارمایه ی بین مقاطع پیش از تاج و کف بدنه ی سرریز نسبت به سرعت نمایش داده شده است. از روی این نمودار می توان دریافت که میزان تغییر افت کارمایه حالت سینوسی دارد. با توجه به رابطه ی برنولی  $h = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z$  در بده های اولیه به این دلیل که عامل موثر در میزان کارمایه ی بار ارتفاع می باشد و اختلاف ارتفاع بین تاج و کف بدنه ی سرریز زیاد است ، میزان تغییرات افت نسبی کارمایه بسیار زیاد می باشد ، ولی در بده های بعدی به دلیل این که سرعت جریان زیاد می شود و بار سرعت نقش اساسی در تغییرات افت نسبی پیدا می کند تغییرات افت نسبی کارمایه بسیار کم می شود . همان گونه که در نمودار مشخص است می توان نمودار را به ۳ بخش مجزا تقسیم کرد که در هر



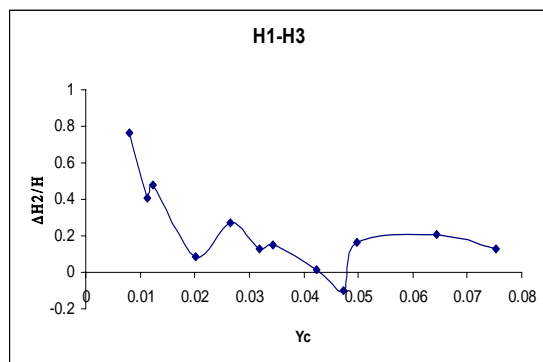
شکل ۷- تغییرات افت نسبی کارمایه بین مقاطع پیش از تاج سرریز و کف بدنه ی سرریز نسبت به سرعت



شکل ۸- تغییرات افت نسبی کارمایه بین مقاطع سرریز نسبت به عمق بحرانی



شکل ۹- تغییرات افت نسبی کارمایه نسبت به عدد رینولدز بین مقاطع یک و چهار



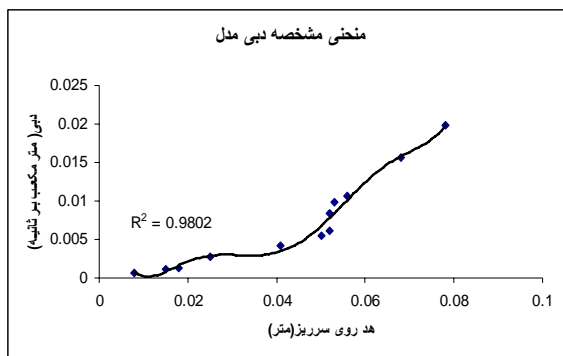
شکل ۱۰- تغییرات افت نسبی کارمایه سرریز و به سرعت کف نسبت تاج بین مقاطع یک و چهار

شکل ۸ را می توان به ۳ بخش مجزا تقسیم کرد که در هر سه بخش با افزایش عمق بحرانی ، افت نسبی کارمایه کاهش می یابد. بخش نخست از عمق بحرانی ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۲۰ می باشد که در این بخش افت نسبی کارمایه به صورت تقریباً خطی و با شیب بسیار زیاد کاهش می یابد. به گونه ای که در عمق ۰/۰۰۸ میزان افت نسبی کارمایه ۰/۷۶۴ و در عمق ۰/۰۲، برابر با ۰/۰۸۴ می باشد. بخش دوم که بین عمق بحرانی ۰/۰۲۶ تا ۰/۰۴۷ متر است ، افت نسبی کارمایه به صورت تقریباً خطی ، ولی با شیب کمتر نسبت به بخش قبل از ۰/۲۷ تا ۰/۱۰- کاهش می یابد. در بخش سوم نیز که از عمق ۰/۰۴۹ تا ۰/۰۷۵ می باشد ، مقدار کارمایه از ۰/۱۶۶ به ۰/۱۳۱ کاهش می یابد. علت جهش افت نسبی کارمایه از ۰/۰۸۴ و همچنین ۰/۱۰-

افزایش بار سرعت در این نقاط است . در نمودار (۳) تغییرات افت نسبی کارمایه نسبت به سرعت بین مقاطع یک و چهار نمایش داده شده است. همان گونه که از نمودار مشخص است ، با افزایش سرعت افت نسبی کارمایه به صورت تقریباً خطی و بسیار ملایم کاهش می یابد. به این صورت که در کمترین سرعت  $11 \text{ m/s}$  دارای بیشترین افت نسبی کارمایه و در بیشترین سرعت  $1/93 \text{ m/s}$  دارای کمترین مقدار افت نسبی کارمایه می باشیم زیرا در مقطع دوم و روی بدنه ی سرریز سرعت ، عاملی تأثیرگذار بر روی میزان کارمایه است و با افزایش سرعت در مقطع دوم که به صورت توان دوم در معادله ی کارمایه تأثیر می گذارد ، باعث افزایش کارمایه در مقاطع پس از آن می گردد و در نتیجه در کف بدنه ی



بدنه  $0/0054$  متر مکعب بر ثانیه و معادل  $0/838$  بدست آمده است. نکته ی جالب توجه این است که کمترین و بیشترین مقدار افت کارمایه برای یک بدنه ، بین مقاطع گوناگون مشاهده شده است. برای بدنه های گوناگون بین مقاطع روی تاج و وسط بدنه ی سرریز کمترین افت نسبی انجام پذیرفته است و در بیشتر بدنه ها ( بدنه  $0/0041$  متر مکعب بر ثانیه) تا انتها بیشترین افت نسبی کارمایه بین مقاطع وسط بدنه و خروجی سرریز بوقوع پیوسته است. به بیان دیگر در هنگام خروج جریان از سرریز شاهد افت نسبی کارمایه بوده ایم . بیشترین افت نسبی کارمایه در بیشترین بدنه (بدنه معادل سیلاب  $1000$  ساله طرح) بین مقاطع وسط بدنه و خروجی سرریز رخ داده است و مقدار آن  $0/351$  می باشد. در کل روند تغییرات افت نسبی کارمایه نسبت به بدنه در مقاطع گوناگون حالتی سینوسی دارد. با استفاده از شکل ۱۲ می توان با داشتن ارتفاع جریان عبوری از روی شبیه سرریز مقدار بدنه مربوطه را بدست آورد. با استفاده از شکل ۱۳ می توان با داشتن ارتفاع جریان عبوری از روی سرریز اصل ، مقدار بدنه عبوری اصل را بدست آورد.

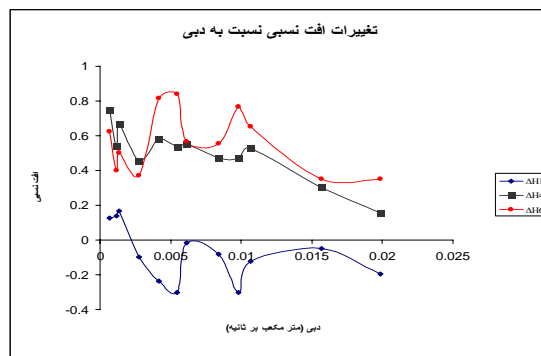


شکل ۱۲- نمودار مشخصه ی بدنه-مقیاس شبیه نمودار

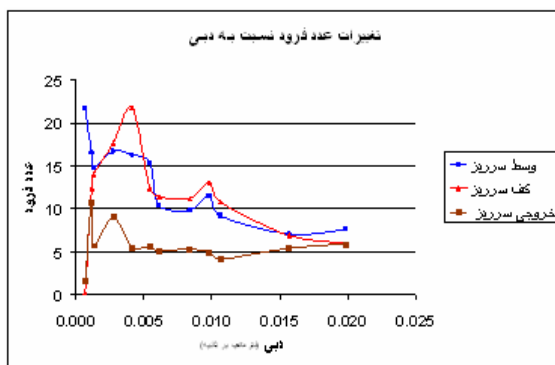
سرریز ، با افزایش سرعت میزان کارمایه افزایش می یابد و در نتیجه تغییرات افت نسبی کارمایه بین مقطع پیش از تاج و کف بدنه ی سرریز کاهش می یابد.

در شکل ۱۰ تغییرات افت نسبی کارمایه نسبت به عدد رینولدز بین مقاطع یک و چهار نمایش داده شده است. همان گونه که در نمودار مشخص است با افزایش عدد رینولدز افت نسبی کارمایه بین این دو مقطع با شیب نسبتاً ملایم کاهش می یابد، به گونه ای که در بیشترین عدد رینولدز کمترین افت نسبی کارمایه و در کمترین عدد بیشترین افت نسبی کارمایه را شاهدیم.

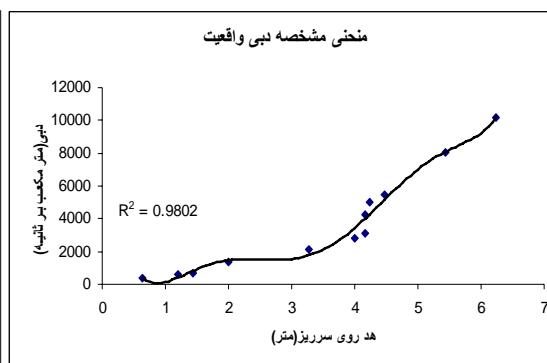
همان گونه که در شکل ۱۱ مشاهده می شود ، برای مقاطع گوناگون ، تغییرات افت نسبی کارمایه به بدنه روندی متفاوت را طی می کند ، اما در هر سه نمودار مشخص است که بیشترین افت نسبی تقریباً برای کمترین بدنه به وقوع می پیوندد . همچنین در بدنه های بالا افت نسبی به مقادیر کم خود می رسد. در بین سه مقطع نمودار بالا ، کمترین مقدار افت نسبی کارمایه بین مقاطع تاج و وسط بدنه ی سرریز و برای بدنه  $0/0054$  متر مکعب بر ثانیه و معادل  $0/303$  بدست آمده است. بیشترین افت نسبی کارمایه بین مقاطع وسط و خروجی سرریز و برای



شکل ۱۱- نمودار کلی تغییرات افت نسبی کارمایه نسبت به بدنه



شکل ۱۴- نمودار تغییرات عدد فرود نسبت به دبی



شکل ۱۳- نمودار مشخصه ی بده-مقیاس شبیه نمودار

پرتاب کننده ی جامی موجب ایجاد نوسان های شدید فشارهای هیدرودینامیکی و توزیع نامتقارن آن می گردد که خود منشاء وقوع ارتعاش های سازه ای روی کف و دیواره های پرتاب کننده ی جامی خواهد بود. ضمن آن که فوران پرتابی خروجی را درهم ریخته و ناموزن می نماید. شدت این امواج متلاطم در شبیه آبی و در بده های بزرگتر به حدی است که مانع از اندازه گیری عمق آب روی سازه ی پرتاب کننده ی جامی می شود. وقوع این پدیده ها بر سازه ی پرتاب کننده ی جامی پایانه ی سرریز سد سلمان فارسی ، با توجه به کاربری آن به عنوان سقف نیروگاه آبی سد ، پدیده ای نابهین و غیرقابل پذیرش است. این اشکال ها بیشتر مربوط به تشکیل الگوهای جریان درهم ریخته و امواج متلاطم روی سازه ی پرتاب کننده ی جامی و تشدید آنها در بده های بیش از ۳۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه و تشکیل فوران های پرتابی درهم ریخته و نامتقارن بوده است . از نتایج مطالعات شبیه آبی این گونه استنباط می شود که ابعاد سازه ی سرریز موجود اعم از عرض مفید تاج، ارتفاع سرریز از تاج تا لبه جام و نیز شعاع عمل خم سازه ی پرتاب کننده ی جامی، به منظور عبور مطمئن بده سیلاب های خروجی مورد انتظار (۹۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه) کافی نبوده و دلیل اصلی ایجاد اختلالات میدانی حین عبور جریان بشمار می رود. با این مشاهدات می توان استنباط نمود که شعاع انحنای سازه ی پرتاب کننده ی جامی در سرریز سد سلمان فارسی، برای عبور سیلاب طراحی آن، بسیار کوچک در نظر گرفته شده است. بنابراین افزایش شایان توجه طول خم باکت مثلا

### بررسی کلی تغییرات عدد فرود نسبت به بده

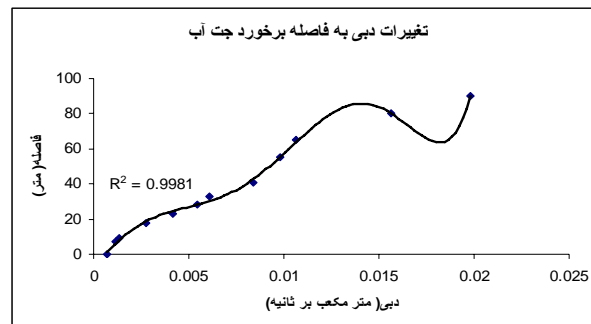
همان گونه که از منحنی موجود مشخص است ، در تمام مقاطع (غیر از نکته ی ذکر شده در مطالب گذشته) جریان در محدوده ی حالت آشفته یعنی جریان فرا بحرانی قرار دارد و در بده های بالا مقدار عدد فرود تمامی مقاطع (وسط ، کف و خروجی سرریز) نزدیک به یک عدد و در حدود  $5/8 - 7/5$  می باشد.

### نتیجه گیری کلی شبیه طراحی شده سرریز

جریان عبوری از کنار سرریز، تحت تاثیر انحنای دیواره ی آن، منجر به تشکیل گردابه ای در آستانه ی ورود به دهانه ی سرریز می شود. در نتیجه، افت شایان توجهی در سطح آب به وجود می آید و امواج فوق بحرانی ایجاد می شود که پس از انعکاس از دیواره ی مقابل به پایین دست منتقل می شود. شدت این امواج با افزایش بده افزایش می یابد. اگرچه ایجاد پدیده یاد شده در همه ی سرریزها به دلیل تغییر ناگهانی مقطع جریان ورودی ، امری متداول است ، اما شدت این امواج را با ارایه ی طرح هندسی مناسبی برای انحنای دماغه ی بالادست پایه ها (طول و معادله منحنی) می توان تا آنجا که امکان پذیر است ، کاهش داد. امواج یاد شده روی سطح سازه ی پرتاب کننده ی جامی تولید امواج متلاطم را می کنند. این امواج با افزایش بده عبوری از سرریز (بده واحد پهنا) تقویت شده و بی نظمی آن ها نیز افزایش می یابد. تشکیل این امواج ، ضمن متلاطم کردن میدان جریان روی سطح سازه

می‌شود که هرچه بده بیشتر باشد فاصله برخورد آب با حوضچه نیز بیشتر است.

باکتی با شعاع حداقل ۵۰ متر، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در این نمودار با داشتن بده عبوری از روی سرریز، محل ورود آب به حوضچه را می‌توان تخمین زد مشاهده

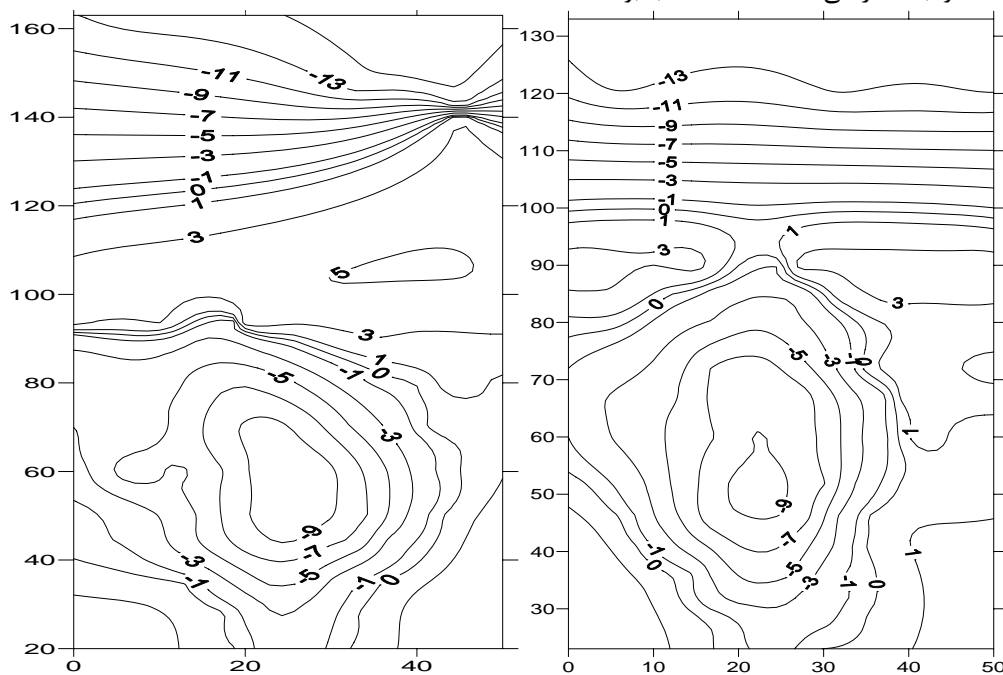


شکل ۱۵- نمودار تغییرات بده به فاصله ی برخورد فوران آب با حوضچه نسبت به بده.

این حالت از نخستین بده تا آزمایش پنجم ، یعنی بده ۰/۰۴۱۳ مترمکعب بر ثانیه در شبیه (۲۱۱۸/۸۰۶) مترمکعب بر ثانیه در اصل) به وقوع پیوسته است. در زیر شکل پستی و بلندی و سه بعدی چند آزمایش پنجم برای نمونه ارائه شده است.

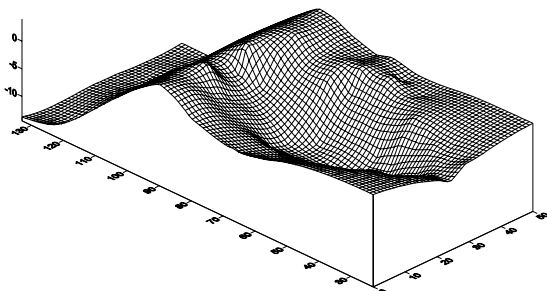
### نتایج مربوط به حفره ی ایجاد شده در حوضچه ی استغراق

حفره‌های ایجاد شده حوضچه ی استغراق طی آزمایش های انجام شده سه حالت کلی داشتند . در حالت نخست با بده عبوری در حوضچه ی استغراق مشکلی مشاهده نشد و ابعاد طراحی شده کاملاً مناسب بوده است

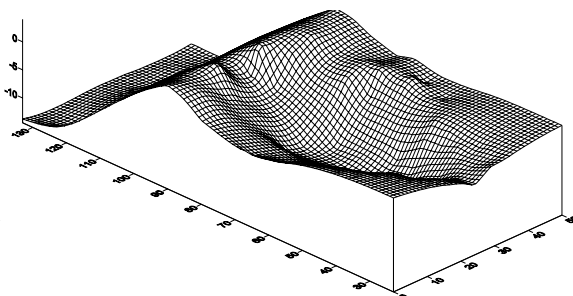


شکل ۱۷- پستی و بلندی حفره ی ایجاد شده در آزمایش شش.

شکل ۱۶- پستی و بلندی حفره ی ایجاد شده در آزمایش پنج.



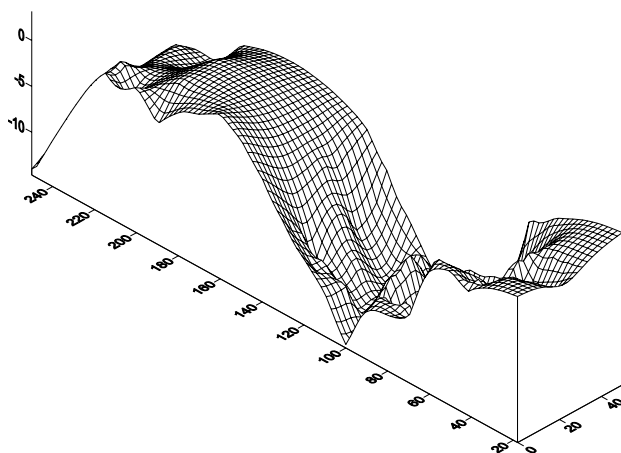
۱۹- شکل سه بعدی حفره ایجاد شده در آزمایش هفت.



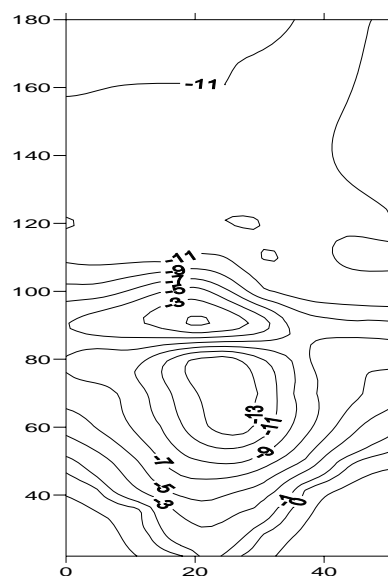
۱۸- شکل سه بعدی حفره ایجاد شده در آزمایش پنج.

موضوع بیانگر طراحی اشتباه حوضچه ی استغراق است. همچنین حفره ی ایجاد شده کاملاً به کف نهر پایدار رسیده بود. در زیر شکل پستی و بلندی آزمایش هشتم و شکل سه بعدی آزمایش دوازدهم برای نمونه آورده شده است.

در حالت سوم که از بده  $0/00836$  مترمکعب بر ثانیه در شبیه (۴۲۸۳/۶۹۹ مترمکعب بر ثانیه در اصل) تا بده سیلاب ۱۰۰۰ ساله انجام شد ، شاهد ایجاد حفره‌هایی عظیم در سطح حوضچه ی استغراق بودیم به گونه ای که حتی در بده آخر ، بیشتر دانه‌بندی حوضچه از حوضچه خارج و تا انتهای نهر پایدار رسوب کرده بود که این



۲۱- سه بعدی حفره ی ایجاد شده در آزمایش دوازده .



۲۰- پستی و بلندی حفره ی ایجاد شده در آزمایش هشت.

**منابع:**

- دانشمند. آزادی یزدی و شمس، فرهنگ. احسان و مهرزاد، ۱۳۸۵، تست هیدرولیکی بر روی دریچه فلپ سرریز سد شیرین دره.
- دستغیب ا، عشایری ح. ۱۳۸۵. بررسی و بدست آوردن معادله جلوی منحنی سرریز اوجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
- دفتر مطالعات سد سلمان فارسی. ۱۳۸۶. گزارش پیشرفت کار ماهیانه، شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس.
- شفاعی بجستان م. ۱۳۸۴. مبانی و کاربرد شبیه‌های فیزیکی - هیدرولیکی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Pinto N. 1990. Protory Aerator Measure Ments, Chapter, Univercity of raiana, Brazil.
- Chanson H. 1994. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. J. Hyd. Res. 32(2): 213-218.
- Pagliara Hager. Minor, Stefano. Willih. Erwin, 2006 Hydraulics of Plane Pool Scour, ASCE, Vol 132, No 5.
- Cassidy J. 1970 , Designing spillway crests for high-head operation, of Hyd. Div., Proc. ASCE.