



توسعه مناطق 1 و 3 باعث حجیم تر شدن رسوب انباشته شده و افزایش سرعت در منطقه 4 باعث عمیق تر شده چاله فرسایشی و فرسایش شدید سواحل می شود که بتدریج ایجاد مئاندر و جابجایی موقعیت سه شاخه را به همراه دارد. ضمن اینکه ورود جریان گردابی مشکلات فراوانی را برای کشتیرانی ایجاد می کند از اینرو در سالهای اخیر مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی البته محدودی برای شناخت بیشتر الگوی جریان و وضعیت رسوب گذاری در محل تلاقی انجام شده است که آخرین مطالعه انجام شده در این زمینه به مطالعه قبادیان (1) اشاره کرد. در این مطالعه تاثیر پارامترهای مختلفی چون نسبت دبی، عدد فرود و زاویه تلاقی بر شرایط هیدرولیکی جریان و همچنین بر عمق چاله فرسایشی مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفته است. از جمله نتایج بدست آمده از این مطالعه این است که با افزایش نسبت دبی، مقدار بی بعد ارتفاع نهائی تپه رسوبگذاری در محل تلاقی، افزایش می یابد.

با وجود مطالعات برای شناخت الگوی جریان و فرسایش در محل تلاقی، مطالعاتی برای کنترل آبستنگی انجام نشده است. ادگار و همکاران [3] پدید آورندگان ایده استفاده از صفحات مستغرق هستند، کاربرد این صفحات را در محل تلاقی رودخانه ها به صورت شماتیک نیز ارائه کرده اند ولی تاکنون کارایی این صفحات مورد مطالعه آزمایشگاهی یا صحرایی قرار نگرفته است. صفحات مستغرق، پره های مستغرق هستند که کاربرد موثر آنها تاکنون در تغییر الگوی جریان و تنش برشی بستر به منظور کنترل فرسایش موضعی قوسهای خارجی و در تغییر الگوی حرکت رسوب به منظور کنترل رسوب ورودی به آبگیرها مورد مطالعه بسیاری از محققین قرار گرفته است.

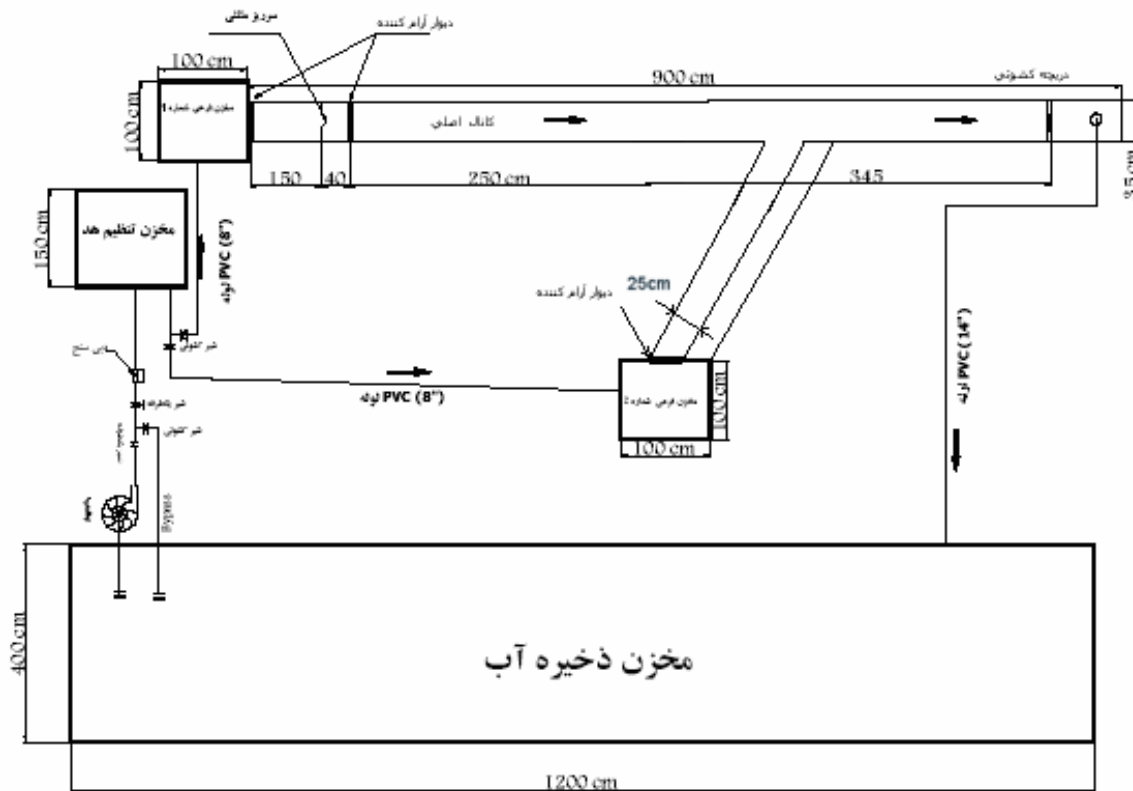
بنابراین در این مطالعه برای اولین بار از صفحات مستغرق به منظور کنترل فرسایش استفاده گردید.

با توجه به حساس بودن منطقه تلاقی به تغییر شرایط هیدرولیکی، ابتدا بهترین مکان جهت نصب صفحات بدست آمد و در انتها، به بررسی تاثیر نسبت دبی و همچنین عدد فرود جریان بر میزان راندمان کارایی صفحات پرداخته شد.

### مواد و روشها

در این قسمت ابتدا تجهیزات آزمایشگاهی و سپس شیوه اجرای آزمایشات بیان می گردد.

تجهیزات آزمایشگاهی: تجهیزات آزمایشگاهی که در این تحقیق بکار رفته است شامل حوضچه مکش، ایستگاه پمپاژ و متعلقات، مخزن تامین هد، مخزن فرعی، وسایل اندازه گیری دبی و عمق جریان و نهایتاً وسایل تنظیم دبی و عمق جریان میباشد. شماتیک این تجهیزات در شکل 2 ارائه شده است.



شکل 2 - شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده



در تمام آزمایشات از رسوب با قطر ثابت 1,95 میلی متر استفاده گردید. برای ساخت مدل صفحات مستغرق از ورقه های آلومینیوم به ضخامت 1 میلی متر استفاده گردید. این ورقه ها در ابعاد مورد نظر توسط دستگاه برش برقی موجود در کارگاههای آلومینیم کاری، برش داده شد تا از هر گونه خم شدن لبه ها جلوگیری گردد. جهت نصب ورقه ها در بستر فلوم از ورقه پلکسی گلاس به ضخامت 10 میلی متر استفاده گردید. ابتدا بر روی ورقه پلکسی گلاس، خطوط مناسب، که بیانگر مکان قرار گرفتن ورقه ها می باشد، توسط مداد مشخص گردید و با استفاده از دستگاه اره نوکی، شیارهایی در ورقه پلکسی گلاس ایجاد گردید و ورقه های آلومینیوم در این شیارها با فشار قرار داده شد تا از هر گونه تکان خوردن جلوگیری بعمل آید. در ادامه صفحه پلکسی گلاس همراه با ورقه های آلومینیوم در بستر فلوم در مکان مورد نظر قرار گرفتند و رسوبات بر روی ورقه پلکسی به ارتفاع مورد نظر ریخته می شد.

روش انجام آزمایشات در کل به این صورت می باشد که پس از تنظیم شیرهای ورودی به فلومها و شیر اصلی ورودی به سیستم، پمپ روشن شده و فلومها با دبی کم پر می شوند تا از شسته شدن رسوبات جلوگیری بعمل آید. در ادامه دبی اصلی مورد نظر وارد فلومها گردیده و با استفاده از دریچه انتهایی پایین دست، سطح آب به گونه ای تنظیم گردیده که عدد فرود مطلوب، ایجاد گردد. در انتهای آزمایش نیز سطح بستر رسوبات با استفاده از عمق سنج برداشت گردیده و بیشترین عمق فرسایش نیز ثبت گردید.

این مطالعه شامل دو فاز می باشد.

با توجه به اینکه تاکنون هیچ مطالعه ای در زمینه کنترل فرسایش در محل تلاقی رودخانه ها با استفاده از صفحات مستغرق انجام نگرفته است و هیچ گونه دیدگاهی از مکان نصب صفحات وجود نداشت، فاز اول مطالعه به پیدا کردن بهترین مکان جهت نصب صفحات اختصاص داده شد. در فاز دوم با قرار دادن صفحات در مکان بدست آمده از فاز اول، به بررسی اثر تغییر شرایط هیدرولیکی بر روی راندمان کارایی صفحات در کنترل چاله فرسایشی پرداخته شده است.

لازم به ذکر است که معیار انتخاب بهترین مکان و یا بهترین شرایط هیدرولیکی، مقایسه عمق فرسایش در حالت با وجود صفحات مستغرق و در حالت بدون وجود صفحات می باشد.

شرایط مقدماتی لازم برای شروع آزمایشات: جهت شروع آزمایشات فاز یک، باید شرایط هیدرولیکی یکسانی بر تمامی آزمایشات حاکم باشد تا بتوان نتیجه منطقی از آزمایشات بدست آورد. همچنین، نیاز به یک مدل اولیه از صفحات مستغرق و در نهایت نیاز به یک مکان مناسب جهت نصب صفحات برای شروع آزمایشات می باشد.

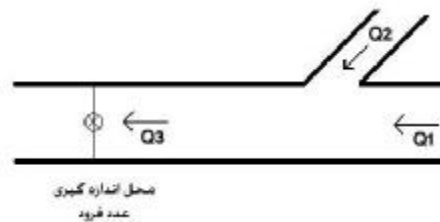
انتخاب شرایط هیدرولیکی جهت شروع آزمایشات فاز یک:

با توجه به اینکه پارامتر اصلی در طراحی صفحات مطابق الگوی ادگارد، عمق جریان می باشد لذا از آزمایشات انجام شده توسط شفافی بجستان و قبادیان [1] تعداد 5 آزمایش، که در زاویه تلاقی 60 درجه انجام گرفته، انتخاب گردید. آزمایشات انتخاب شده دارای امتیازات مناسبی بودند. از جمله اینکه دامنه مناسبی از عدد فرود پایین دست و همچنین نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل را در بر داشتند. جدول زیر بیانگر شرایط هیدرولیکی حاکم بر این آزمایشات می باشد.

نام آزمایش	دبی شاخه فرعی	دبی شاخه اصلی	عدد فرود پایین دست
N1	13,33	6,66	0,4
N2	10	10	0,4
N3	6,66	13,33	0,4
N4	10	10	0,58
N5	10	10	0,7

جدول 1 - شرایط هیدرولیکی آزمایش شده بدون استفاده از صفحات جهت انتخاب شرایط هیدرولیکی شروع آزمایشات

در شکل شماتیک زیر، جریان شاخه اصلی و شاخه فرعی و همچنین محل اندازه گیری عدد فرود جریان نشان داده شده است.



شکل 3 - معرفی پارامترهای هیدرولیکی

در شکل فوق،  $Q_1$  دبی شاخه اصلی،  $Q_2$  دبی شاخه فرعی و  $Q_3$  دبی کل که مجموع دبی شاخه اصلی و فرعی می باشد و برای تمامی آزمایشات 20 لیتر در ثانیه می باشد.



با توجه به اینکه پارامتر اولیه در الگوی طراحی ادگارد، عمق جریان می باشد، لذا اعماق مورد نیاز برای اعداد فرود مورد نظر در جدول زیر مشاهده می گردند.

0,7	0,58	0,4	عدد فرود جریان
8,8	9,9	12,7	عمق جریان (cm)

جدول 2 - عمقهای جریان ایجاد شده برای هر عدد فرود مورد آزمایش

جهت برداشت توپوگرافی بستر، از محورهای مختصات مطابق شکل 4 استفاده گردید.



شکل 4 - مختصات لازم برای برداشت توپوگرافی های ایجاد شده

نتایج حاصل از آزمایشات فوق، که شامل بیشترین عمق فرسایش و همچنین مکان رخ دادن آنها می باشد، در جدول زیر مشاهده می گردد.

بیشترین عمق فرسایش و مکان رخ دادن (مکان بحرانی)			نام آزمایش
Z	Y	X	
4,1	27,5	2,5	N1
5,2	27,5	2,5	N2
7,2	27,5	7,5	N3
8,6	27,5	5	N4
8,7	27,5	0	N5

جدول 3 - بیشترین عمقهای فرسایش در آزمایشات مقدماتی

در جدول فوق Z عمق فرسایش می باشد، همچنین اعداد فوق بر حسب سانتی متر می باشند. مشاهده می گردد که در آزمایش N5 بیشترین عمق فرسایش رخ می دهد. لذا شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش N5 جهت شروع آزمایشات فاز یک انتخاب گردید (جدول 1) و مکان رخ دادن این فرسایش، یعنی مختصات (0 و 27,5) بعنوان مکان بحرانی معرفی می گردد که این مکان در مرحله نتیجه گیری آزمایشات، نقش مهمی ایفا می کند.

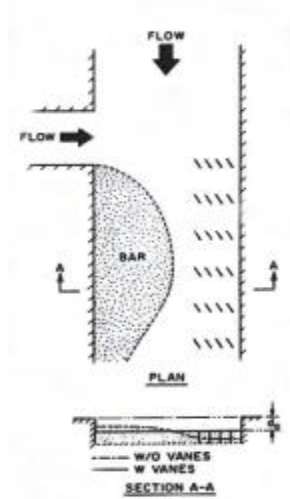
لازم به ذکر است که در تمامی آزمایشات این مطالعه دو نوع مقایسه جهت تعیین میزان کارایی صفحات مستغرق انجام می گیرد: مقایسه اول: در این مقایسه، عمقهای فرسایش در مکان بحرانی با هم مقایسه می شوند. یعنی عمق فرسایش در مکان بحرانی در حالت بدون وجود صفحات مستغرق (که همان بیشترین عمق فرسایش در حالت بدون وجود صفحات مستغرق می باشد) و در حالت با وجود صفحات مستغرق (یعنی عمق فرسایش در حالت با وجود صفحات مستغرق در مکان بحرانی) با یکدیگر مقایسه می شوند و میزان اختلاف این دو عمق تا حدودی میزان کارایی صفحات را بیان می کند. عدد حاصل از مقایسه اول بیانگر تفاضل بیشترین عمق فرسایش در حالت بدون وجود صفحات و عمق فرسایش در مکان بحرانی در حالت با وجود صفحات می باشد. هر چه این عدد بیشتر باشد راندمان کارایی صفحات بالاتر است.

مقایسه دوم: در این مقایسه، بیشترین عمق فرسایش در حالت بدون وجود صفحات (که همان عمق فرسایش در مکان بحرانی می باشد) با بیشترین عمق فرسایش در حالت با وجود صفحات (که ممکن است در هر مکانی رخ دهد) با هم مقایسه می گردند. میزان اختلاف این دو عمق، تا حدود زیادی بیانگر میزان کارایی صفحات می باشد. عدد حاصل از این مقایسه بیانگر تفاضل بیشترین عمق فرسایش در حالت بدون وجود صفحات و بیشترین عمق فرسایش در حالت با وجود صفحات - در هر مکانی که رخ بدهد - می باشد.

البته جهت بررسی دقیق میزان کارایی صفحات، علاوه بر دو مقایسه فوق، اشکال کلی توپوگرافی بستر در حالت بدون وجود صفحات و در حالت با وجود صفحات، با هم مقایسه می شوند.

مکان اولیه جهت نصب صفحات:

ادگارد و همکاران [4] در انتهای مطالعه ای که انجام دادند و الگوی طراحی صفحات را ارائه دادند، پیشنهاد کردند که جهت کنترل فرسایش در محل تلاقی رودخانه ها، صفحات به صورت آنچه که در شکل (5) نشان داده شده است قرار گیرند.



شکل 5 - مکان پیشنهادی جهت نصب صفحات

لذا مکان فوق بعنوان مکان اولیه جهت نصب صفحات انتخاب گردید.

مدل اولیه صفحات مستغرق :

قبل از شروع آزمایشات لازم بود مدل مناسبی از صفحات که با هم با الگوی طراحی ادگارد و هم با فلوم و شرایط آزمایشگاهی تطابق داشته باشد ساخته شود. بنابراین زاویه و طول و ارتفاع صفحات از الگوی ادگارد انتخاب گردید ، اما بعلا محدودیتهای طولی فلوم ، فاصله طولی خارج از الگوی طراحی ادگارد انتخاب گردید.

جزئیات توصیه های ادگارد جهت طراحی صفحات و همچنین اعداد انتخاب شده جهت شروع آزمایشات در جدول زیر مشاهده می گردند.

میزان استفاده در این مطالعه	توصیه ادگارد	
0,3	0,2 – 0,4	$\frac{H}{y}$
3	20 – 30	$\frac{L}{H}$
20	15 – 25	$a^\circ$
---	15 – 30	$\frac{d}{H}$

جدول 4 - توصیه های ادگارد جهت طراحی صفحات و مقادیر استفاده شده در این مطالعه

در جدول فوق  $y$  بیانگر عمق جریان ،  $H$  بیانگر ارتفاع صفحات ،  $L$  بیانگر طول صفحات ،  $a$  بیانگر زاویه قرار گیری صفحات و  $d$  بیانگر فاصله طولی صفحات می باشد.

در مورد فاصله طولی ، با توجه به محدودیتهای آزمایشگاهی ، فاصله طولی برابر 20 سانتی متر انتخاب گردید. در نتیجه ، با در نظر گرفتن اینکه شرایط هیدرولیکی آزمایش N5 برای شروع آزمایشات انتخاب گردید و با توجه به جدول (2) ، یعنی عدد فرود برابر 0,7 ، عمق جریان در این حالت 8,8 سانتی متر می باشد ، پارامتر های طراحی صفحات ، با توجه به عمق جریان ذکر شده و مقادیر انتخاب شده فوق ، در جدول 5 مشاهده می شوند :

پارامتر	H (cm)	L (cm)	$a^\circ$	d (cm)
مقدار	2,6	8	20	20

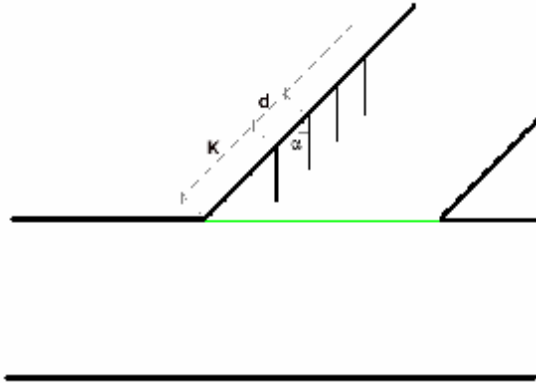
جدول 5 - پارامترهای صفحات جهت طراحی مدل اولیه

همچنین تعداد صفحات برای شروع آزمایشات ، 6 عدد و در یک ردیف ، در نظر گرفته شد .

بنابراین با داشتن مدل اولیه از صفحات و شرایط هیدرولیکی حاکم بر جریان و مکان نصب صفحات ، آزمایشات فاز یک انجام گرفت. تعداد آزمایشهای انجام شده و روش انجام هر آزمایش بطور مفصل قبلا ارائه شده است (زینی وند و شفاعی بجستان 1386) و تنها نتیجه نهایی ارائه می گردد.



فاز 1 شامل سه بخش و تعداد 10 آزمایش بود. در بخش اول صفحات در فلوم اصلی، در بخش دوم صفحات هم در فلوم اصلی و هم در فلوم فرعی و در بخش سوم صفحات در موقعیتی متفاوت قرار گرفتند. نتایج این آزمایشات در جدول (7) مشاهده می گردند. پس از بررسی جدول و شکل‌های ایجاد شده، بهترین مکان جهت قرارگیری صفحات بدست آمد که در شکل (8) مشاهده می گردد.



شکل 8- نتیجه نهایی بهترین مکان جهت نصب صفحات

عنوان پارامتر	K	d	$a^\circ$	L	تعداد صفحات
مقدار مورد استفاده	6,8	2,8	45	4	4

جدول 6- میزان پارامترهای موجود در شکل 8

در جدول فوق L همان طول صفحات می باشد. تنها پارامتری که نیاز به توضیح دارد پارامتر K در آزمایشات بخش سوم می باشد. این پارامتر به گونه ای انتخاب گردید تا فاصله عمودی انتهای نزدیکترین صفحه با خط امتداد ساحل پایین دست برابر 2 سانتی متر باشد تا از تاثیر جریان در شاخه اصلی بر روی فرسایش در محل این صفحه، کاسته شود و از این به بعد در تمامی آزمایشات این مقدار ثابت است.

R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	
8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	V1
6	5,6	4,6	7,3	6,9	7,4	7	6	5,4	5,5	V2
7	8,9	9,5	8,1	7,2	9	9,7	8,5	10	7,2	V3
31	35,6	47,4	16,1	20,7	14,9	19,5	31	37,9	36,8	% R1
19,5	-2,3	-9,2	6,9	17,2	-3,4	-11,5	2,3	-14,9	17,2	% R2

جدول 7- نتایج حاصل از آزمایشات فاز اول

در جدول (7) و دیگر جداول موجود در این مطالعه، V1 بیانگر بیشترین عمق فرسایش در حالت بدون وجود صفحات، V2 بیانگر عمق فرسایش با وجود صفحات در مکان بحرانی، V3 بیانگر بیشترین عمق فرسایش با وجود صفحات در حالت کلی، % R1 بیانگر درصد راندمان کارایی صفحات در مقایسه اول و % R2 بیانگر درصد راندمان کارایی صفحات در مقایسه دوم می باشند که نحوه محاسبه آنها به شرح زیر می باشد. در بررسی های انجام شده بر روی هر دو نوع راندمان کارایی صفحات، مشاهده می گردد که در بعضی آزمایشات، % R1 از راندمان آزمایش آخر بیشتر است. اما لازم به ذکر است که با بررسی شکل سه بعدی این آزمایشات، می بینیم که آشفتگی بسیاری در بستر رسوبات در این آزمایشات ایجاد گردیده، اما در آزمایش آخر، تمامی آشفتگی در محدوده بسیار کوتاهی صورت گرفته و این نیز یکی از امتیازات این مکان جهت نصب صفحات، می باشد.

$$\% R1 = \frac{V1 - V2}{V1} \times 100$$

$$\% R2 = \frac{V1 - V3}{V1} \times 100$$

فاز دوم:

در این فاز جهت بررسی راندمان کارایی صفحات، تعداد 5 شرایط هیدرولیکی متفاوت موجود در جدول 3 بر روی مدل اجرا گردید (البته با ثابت نگاه داشتن مکان نصب صفحات که در فاز یک بدست آمد) و تاثیر این شرایط بر روی میزان کارایی صفحات بدست آمد. در جدول زیر مقایسه اول و مقایسه دوم و راندمان کارایی صفحات نشان داده شده اند.

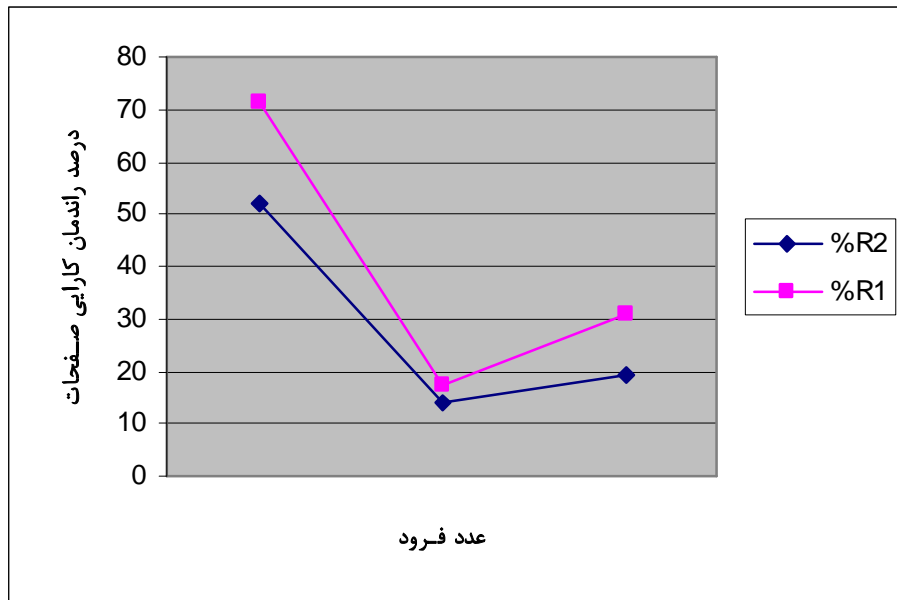


% R 2	% R 1	مقایسه دوم	مقایسه اول	شرایط هیدرولیکی		
				Fn	Q2	Q1
34,1	63,4	1,4	2,6	0,4	6,66	13,33
51,9	71,1	2,7	3,7	0,4	10	10
52,7	66,6	3,8	4,8	0,4	13,33	6,66
13,9	17,4	1,2	1,5	0,58	10	10
19,5	31	1,7	2,7	0,7	10	10
<u>56,9</u>	<u>77,8</u>	4,1	5,6	0,4	13,33	6,66

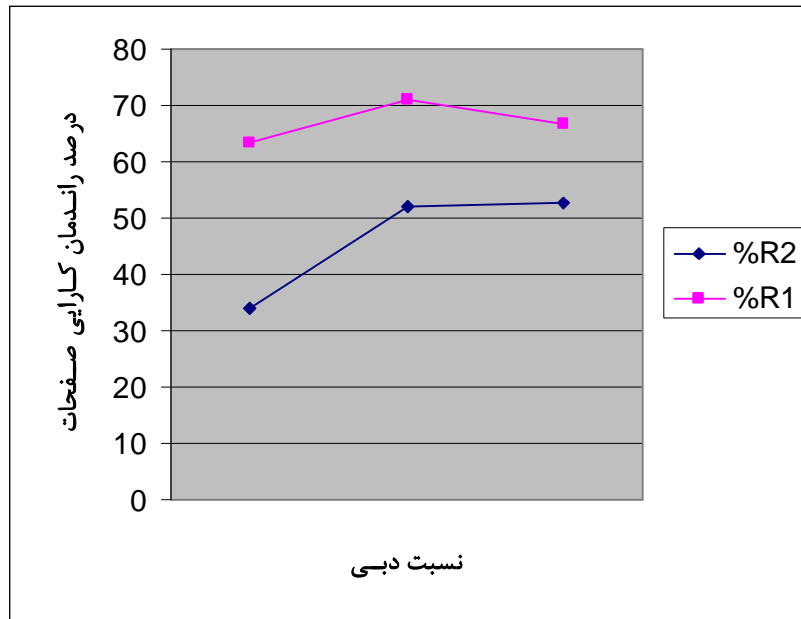
جدول 8 - نتایج حاصل از آزمایشات فاز دوم

لازم به ذکر است که منظور از نسبت دبی ، میزان دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی می باشد. اهم نتایج حاصل از فاز 2 به شرح زیر است:

- 1- همانگونه که در جدول 9 مشاهده می گردد ، هرگاه دبی شاخه اصلی 6,66 و دبی شاخه فرعی 13,33 لیتر در ثانیه باشد و عدد فرود پایین دست 0,4 باشد صفحات مستغرق بیشترین کارایی را در کنترل چاله فرسایشی دارند . تکرار این شرایط در آزمایش آخر نیز موید این مطلب می باشد.
- 2- با ثابت نگاه داشتن نسبت دبی ، می توان به بررسی تاثیر عدد فرود بر میزان کارایی صفحات پرداخت و نتیجه این بررسی در شکل 9 مشاهده می گردد. همانگونه که مشاهده می گردد ، در نسبت دبی ثابت ، هر چه میزان عدد فرود پایین دست کمتر باشد ، راندمان کارایی صفحات بیشتر است .
- 3- با ثابت نگاه داشتن عدد فرود پایین دست ، می توان به بررسی تاثیر نسبت دبی بر میزان کارایی صفحات مستغرق پرداخت. شکل 10 نتیجه این بررسی را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد R1% در نسبت دبی واحد بیشترین مقدار می باشد . همچنین R2% در نسبت های دبی یک و دو ، تقریبا مساوی و از نسبت های دبی کمتر ، بیشتر می باشند..



شکل 9 - نمودار راندمان کارایی صفحات بر حسب عدد فرود در نسبت دبی مساوی



شکل 10 - نمودار راندمان کارایی صفحات بر حسب نسبت دبی در عدد فرود مساوی

#### نتیجه گیری

صفحات مستغرق، سازه های ساده و کم هزینه ای هستند که کارایی بسیاری می توانند داشته باشند. تاکنون این صفحات در محل قوس خارجی رودخانه ها جهت کنترل فرسایش و همچنین در محل آبگیرها جهت کنترل رسوب ورودی به دهانه آبگیر مورد استفاده واقع می شدند. در تحقیق حاضر ملاحظه گردید که این صفحات می توانند جهت کنترل فرسایش در محل تلاقی رودخانه ها نیز بکار گرفته شوند. در این تحقیق بهترین موقعیت صفحه و آرایش آن ارائه گردید.

#### قدردانی

بدینوسیله از دفتر تحقیقات و استاندارد شبکه های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان بخاطر حمایت مالی این پروژه، تشکر و قدردانی می گردد.

#### منابع

- 1- شفاعی بجستان، م. و قبادیان، ر. (1386) " بررسی هیدرولیک جریان و رسوب در محل تلاقی رودخانه ها " گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، ارائه شده به کمیته تحقیقات آب سازمان آب و برق خوزستان.
- 2- زینی وند، م. و شفاعی بجستان، م. (1386) " بررسی آزمایشگاهی کاربرد صفحات مستغرق در محل تلاقی رودخانه ها " ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهر کرد، 385-393.
- 3 - Odgaard,A.J.,and Wang,Y.(1991a). "sediment management with submerged vanes.I:Theory." J.Hydr.Engng. ASCE, 117(3) , 267,283
- 4 - Odgaard,A.J.,and Wang,Y.(1991b). "sediment management with submerged vanes. Applications." J. Hydr. Engng. ASCE,117(3),284,302