

## بررسی اثر قطر لوله مستغرق بر کنترل آبشستگی اطراف آن در بستر رودخانه

فریده کرم زاده<sup>۱</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۲\*</sup>، محمد حیدر نژاد<sup>۳</sup>، امیر عباس کمان بدست<sup>۴</sup>، امین بردبار<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۶ صص: ۴۵-۵۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۰

### چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی اثر قطر لوله مستغرق در کنترل آبشستگی، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی در مسیر مستقیم انجام گرفت. در این تحقیق با قرار دادن یک لوله استوانه‌ای به همراه تیغه در زیر آن در دو حالت با وجود تیغه و بدون تیغه در زیر آنها اقدام به انجام یک سری آزمایش گردید. آزمایش‌ها با استفاده از چهار قطر مختلف لوله، چهار طول تیغه، پنج مکان قرارگیری بصورت افقی در زیر لوله در یک شدت جریان ثابت در حالت آب زلال انجام شد. در انتهای هر آزمایش طول و عمق آبشستگی در زیر لوله اندازه گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد در کلیه شرایط، مکان قرارگیری تیغه در زیر لوله و افزایش قطر لوله عامل موثر در اندازه عمق آبشستگی در اطراف آن می باشد. همچنین در کلیه شرایط استفاده از تیغه طولی در مقایسه با حالت بدون تیغه، باعث افزایش درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف لوله مستغرق می شود. بطوریکه در قطر ۱/۳ سانتی‌متر استفاده از تیغه با طول ۲/۵ سانتی‌متر و محل قرارگیری تیغه از مرکز لوله به پایین دست بطور متوسط باعث کاهش عمق آبشستگی در حدود ۷۰ درصد نسبت به حالت بدون تیغه می‌شود.

**واژه های کلیدی:** تیغه، قطر لوله، عمق آبشستگی، طول آبشستگی

<sup>۱</sup> گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۲</sup> گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۳</sup> گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۴</sup> گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>۵</sup> گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

\* نویسنده مسؤل مقاله: drmasjedi.2007@yahoo.com

## مقدمه

یکی از مسائلی که در بخش خطوط لوله انتقال سیالات (نفت، گاز، پتروشیمی، آب و ...) باید به آن توجه شود حفاظت از خطوط لوله‌های عبوری از بستر رودخانه‌ها می‌باشد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پس از استغراق لوله و نصب آن در بستر رودخانه، جریانهای یک طرفه رودخانه به مرور زمان تحت اثر فشار گرادیان هیدرولیکی ایجاد شده در بالادست و پایین دست لوله باعث ایجاد چاله آبشستگی در زیر لوله می‌شود. با گذشت زمان لوله به حالت معلق درآمده و باعث انحناء و شکستگی لوله می‌شود که این امر موجب نشر مواد در آب رودخانه و بوجود آمدن آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود. علاوه بر آن خسارات اقتصادی سنگینی را ایجاد می‌کند. یکی از روش‌های کنترل آبشستگی در اطراف لوله مستغرق استفاده از تیغه بصورت افقی می‌باشد. استفاده از تیغه در زیر لوله باعث کاهش گرادیان هیدرولیکی و بالابردن مقاومت بستر در برابر تنش برشی ناشی از جریان می‌شوند. بررسی‌های مختلفی بر روی قطر لوله، طول تیغه و موقعیت قرارگیری تیغه در زیر لوله انجام شده است. محل قرارگیری تیغه در زیر لوله باید طوری انتخاب شود که باعث تضعیف جریان‌های گردابی در اطراف لوله شود. در این روش باید در زیر لوله از تیغه‌هایی با اندازه مختلف استفاده شود. تیغه در زیر لوله به طور قابل توجهی اختلاف فشار بین بالادست و پایین دست لوله را کاهش می‌دهد. کاهش فشار باعث کاهش آبشستگی می‌شود.

برای اولین بار کجلدسن و همکارانش در سال ۱۹۷۳ به صورت آزمایشگاهی آبشستگی زیر خطوط لوله را مورد بررسی قرار دادند (۳). در سال ۱۹۸۶ ابراهیم و نالری با تصحیح مدل کجلدسن، عمق آبشستگی لوله‌ها در بستر دریا را پیش بینی کردند (۲). همچنین در سال ۱۹۸۶ مائو عمق آبشستگی زیر خط لوله را به صورت تابعی از عدد فرود جریان و فاصله بدون بعد بین لوله و بستر دست نخورده بیان کرد (۵). مازا و همکارانش در سال ۱۹۸۷ به این نتیجه رسیدند که عمق حفره آبشستگی در پایین دست خط لوله تابعی از عدد فرود، قطر لوله و طول تیغه متصل به لوله است (۶). تحقیقات چپو در سال ۱۹۹۱ آبشستگی ناشی از جریان بطور تجربی و عددی با اتصال یک تیغه طولی نفوذ ناپذیر در زیر لوله گرادیان هیدرولیکی و نیز طول آبشستگی کاهش یافته و نیز عمق آبشستگی

افزایش می‌یابد (۱). ملویل و چپو در سال ۱۹۹۹ روشی ارائه داد که در آن با نصب طوقه در اطراف پایه، جریان رو به پایین در حین برخورد به طوقه از بستر منحرف شده و باعث کاهش آبشستگی می‌شود (۷). مونکادا و آگویری در سال ۱۹۹۹ علاوه بر عمق حفره‌ی آبشستگی طول آن را نیز مورد بررسی قرار دادند (۸).

در سال ۲۰۰۵ لیانگ و چنگ اقدام به بررسی جامع از مدل سازی عددی جریان و آبشستگی در اطراف خطوط لوله ناشی از جریان انجام گردید. این پژوهشگران برای شبیه سازی آشفتگی جریان در مدل هیدرودینامیک از مدلسازی‌های متوسط زمانی و مکانی استفاده نمودند و برای محاسبه بار رسوب هر دوصورت انتقال بار بستر و معلق را در شبیه سازی لحاظ نمودند (۴).

ترگناگی و همکارانش در سال ۲۰۰۷ نیز در زمینه استفاده از آبپایه‌ها به منظور پایداری بستر رودخانه‌های شیبدار مطالعاتی انجام داده‌اند (۱۲). در سال ۲۰۱۲، یانگ و همکاران روشی به کار بردند که توانست سرعت آبشستگی را در حد چشم گیری کاهش دهد. آنها با اضافه نمودن یک ورق شکل پذیر در زیر لوله مقدار گرادیان هیدرولیکی در بالا دست و پایین دست لوله را کاهش داده و موفق به مهار نسبی آبشستگی شدند (۱۴). زو و همکاران در سال ۲۰۱۷ با شبیه سازی عددی به بررسی جریان و آبشستگی ناشی از جریان در اطراف لوله‌ای با تیغه اضافه شده بر روی آن پرداخت (۱۶). زاو و همکارانش در سال ۲۰۱۸ با بررسی عمق آبشستگی در زیر خطوط لوله دریایی هم بصورت عددی و هم آزمایشگاهی به پیش بینی حداکثر عمق آبشستگی زیر خط لوله پرداخت (۱۵).

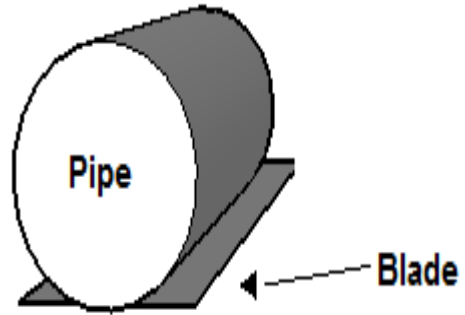
با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه ذیل بین پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی در حالت تعادل برقرار است:

$$f_1(H_{sMax}, L_{sMax}, D, e, S, d50, Gs) \quad (1)$$

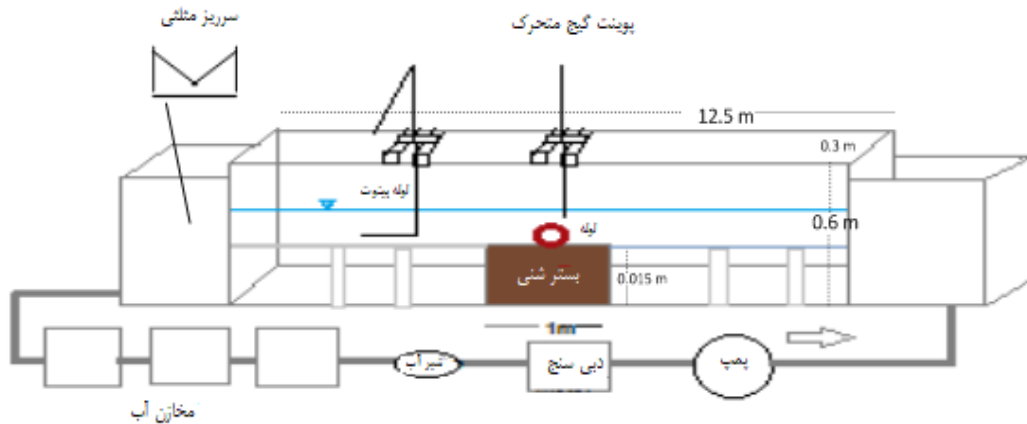
در رابطه ۱،  $H_{sMax}$  حداکثر عمق آبشستگی در اطراف لوله با حفاظ و بدون حفاظ،  $L_{sMax}$  حداکثر طول آبشستگی در اطراف لوله با تیغه و بدون تیغه،  $D$  قطر لوله،  $e$  عرض تیغه متصل به لوله،  $S$  شیب کانال اصلی،  $d50$  قطر متوسط بار بستر و  $Gs$  چگالی رسوبات می‌باشد (شکل ۱).

### مواد و روشی ها

به منظور بررسی اثر قطر لوله مستغرق با وجود تیغه در زیر لوله بر روی چاله آبشستگی اطراف آن در مسیر مستقیم، از فلوم آزمایشگاهی واقع در مرکز مطالعات رسوب سازمان آب و برق خوزستان استفاده شد. آزمایش ها در یک فلوم از جنس پلکسی گلاس مستقیم با مقطع مستطیلی، با طول ۱۲/۵ متر، عرض ۳۰ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر انجام شد. به منظور نصب لوله در رسوبات، در فاصله ۴/۵ متری از ابتدای فلوم، یک مخزن به طول یک متر و ارتفاع ۱۵ سانتی متری در کف فلوم احداث شد که بعد از پر نمودن رسوبات در آن، سطح تراز کف فلوم و رسوبات یکسان خواهند شد (شکل ۲).



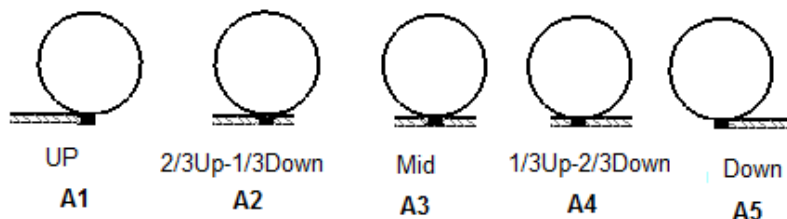
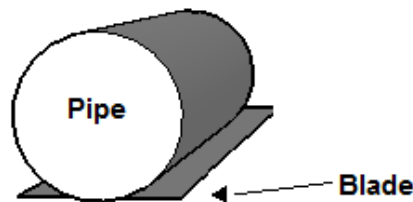
شکل ۱- لوله استوانه ای افقی



شکل ۲- پلان فلوم آزمایشگاهی

بالا و یک سوم تیغه پایین دست لوله (A2)، وسط، یک سوم تیغه بالا (A3) و دو سوم پایین دست (A4) و پایین دست لوله (A5) با چهار قطر لوله ۴، ۳/۱، ۴/۸ و ۶/۲ سانتی متر در نظر گرفته شد (شکل ۳).

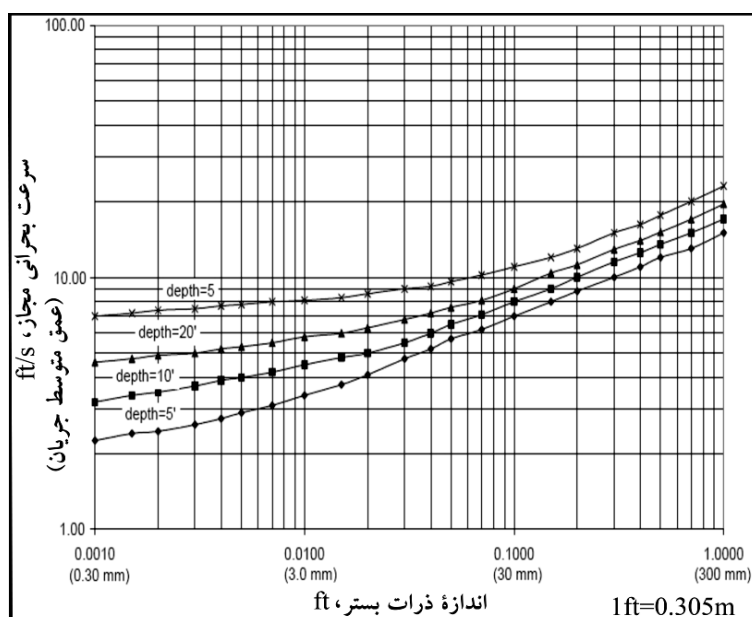
به منظور بررسی اثر قطر لوله و محل نصب تیغه در زیر لوله استوانه ای بر کنترل آبشستگی اطراف آن، چهار نوع تیغه با طول ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ سانتی متر در پنج مکان نصب تیغه در زیر لوله در بالای دست (A1)، دو سوم تیغه



## شکل ۳- نصب تیغه در زیر لوله

عمق جریان، سرعت جریان و اندازه مصالح بستر ترسیم شده اند. در حقیقت منحنی های نیل (۱۹۷۳) با بکاربردن مقادیر مختلف عدد شیلدز، از نمودار شیلدز بدست آمده اند (۱۳). در کلیه آزمایش ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی با استفاده از منحنی ۰/۸۳ انتخاب شد. لذا کلیه آزمایش ها در یک عدد فرود جریان ۰/۴۹ در شرایط زیر بحرانی آزمایش گردید.

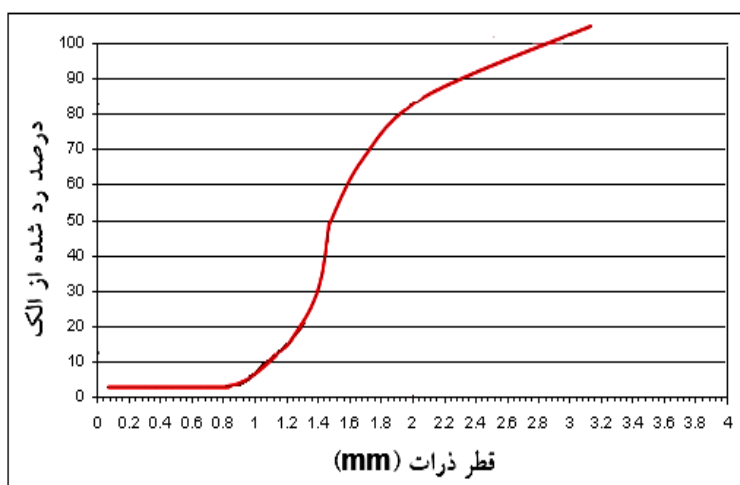
با توجه به اینکه کلیه آزمایش ها در این تحقیق در شرایط آب زلال انجام شد، لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست لوله مستغرق، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ( $u < u_c$ ) باشد. منحنی هایی که در شکل ۴ نشان داده شده اند مشخص کننده سرعت بحرانی جریان به منظور آغاز حرکت مصالح بستر می باشند. این منحنی ها بر اساس



شکل ۴- منحنی های محاسبه سرعت بحرانی به توصیه نیل، (۱۹۷۳)

ماسه طبیعی رودخانه ای با قطر متوسط معادل ۰/۷۲ میلی متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۳/۱ انتخاب و در لایه ای به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی متر جهت انجام آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵).

به توصیه راودکیوی و اتما در سال ۱۹۹۸، برای جلوگیری از تشکیل ریپل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی متر بزرگتر باشد (۱۰). همچنین برای حذف تاثیر غیریکنواختی رسوبات بر آبخستگی، انحراف معیار ذرات باید کمتر از ۱/۳ باشد. با توجه به این موارد یک لایه از



شکل ۵- منحنی دانه بندی رسوبات بستر

شده در بستر در امتداد عرضی فاصله نقاط برداشت ۲ سانتی متر و در امتداد طولی با توجه به موقعیت ۲ سانتی متر در نظر گرفته شد (شکل ۶).



شکل ۶- آبشستگی در زیر لوله مستغرق با نصب تیغه بعد از آزمایش

### بحث و نتایج

در همه آزمایش ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف لوله استوانه ای گردابه ها تشکیل و پروسه آبشستگی آغاز گردید. با شکل گیری حفره آبشستگی رسوبات برخاسته از حفره به سمت پائین دست منتقل گردیدند. پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از حفره آبشستگی به محدوده ای می رسند که تاثیر لوله استوانه ای بر آن محدوده کاهش یافته است و اثر گردابه های پشت لوله ناچیز می گردد. در این وضعیت رسوبات انتقالی از حفره آبشستگی تحت تاثیر جریان ثانویه به سمت پائین دست منتقل می گردد. مطابق جدول شماره ۱ مقادیر درصد کاهش آبشستگی برای قطر نسبی، تیغه

طبق توصیه الیوتو و هاگر در سال ۲۰۰۲ برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیشتر از ۲۰ میلی متر پیشنهاد نموده اند (۹). کلیه آزمایش ها در این تحقیق در دبی ثابت ۳۵ لیتر بر ثانیه انجام شد. دبی مورد نیاز توسط یک دبی سنج دیجیتالی قبل از فلوم و یک سرریز مثلثی ۶۰ درجه در انتهای فلوم اندازه گیری شد. در ابتدای هر آزمایش لوله بصورت جداگانه در فاصله ۵ متری از ابتدای فلوم و در رسوبات نصب و سپس با استفاده از ارابه متحرک، رسوبات بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح گردید. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت گردید تا از ایجاد ریبیل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. مدت زمان اشباع کانال بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه بود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه اندازی شد و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، دبی به میزان مورد نظر رسانده شد. سپس با تنظیم دقیق و همزمان شیر فلکه و دریچه پائین دست عمق جریان ۱۸ سانتی متر و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت ۶ ساعت، پمپ خاموش و دریچه ی انتهایی بسته گردید تا آب موجود در کانال به آرامی وارد زهکش شد تا تاثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، بوسیله عمق سنج لیزری با دقت میلی متر، توپوگرافی بستر در اطراف و زیر لوله برداشت شد. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد

نسبی و مکان نصب تیغه مختلف نسبت به حالت لوله بدون تیغه محاسبه شد. همچنین درصد کاهش عمق آبخستگی و افزایش طول آبخستگی در زیر لوله استوانه ای با چهار قطر مختلف با نصب تیغه در چهار طول مختلف و پنج حالت قرارگیری مختلف در زیر لوله نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات قطر لوله، طول تیغه، مکان نصب تیغه و آبخستگی زیر لوله استوانه ای

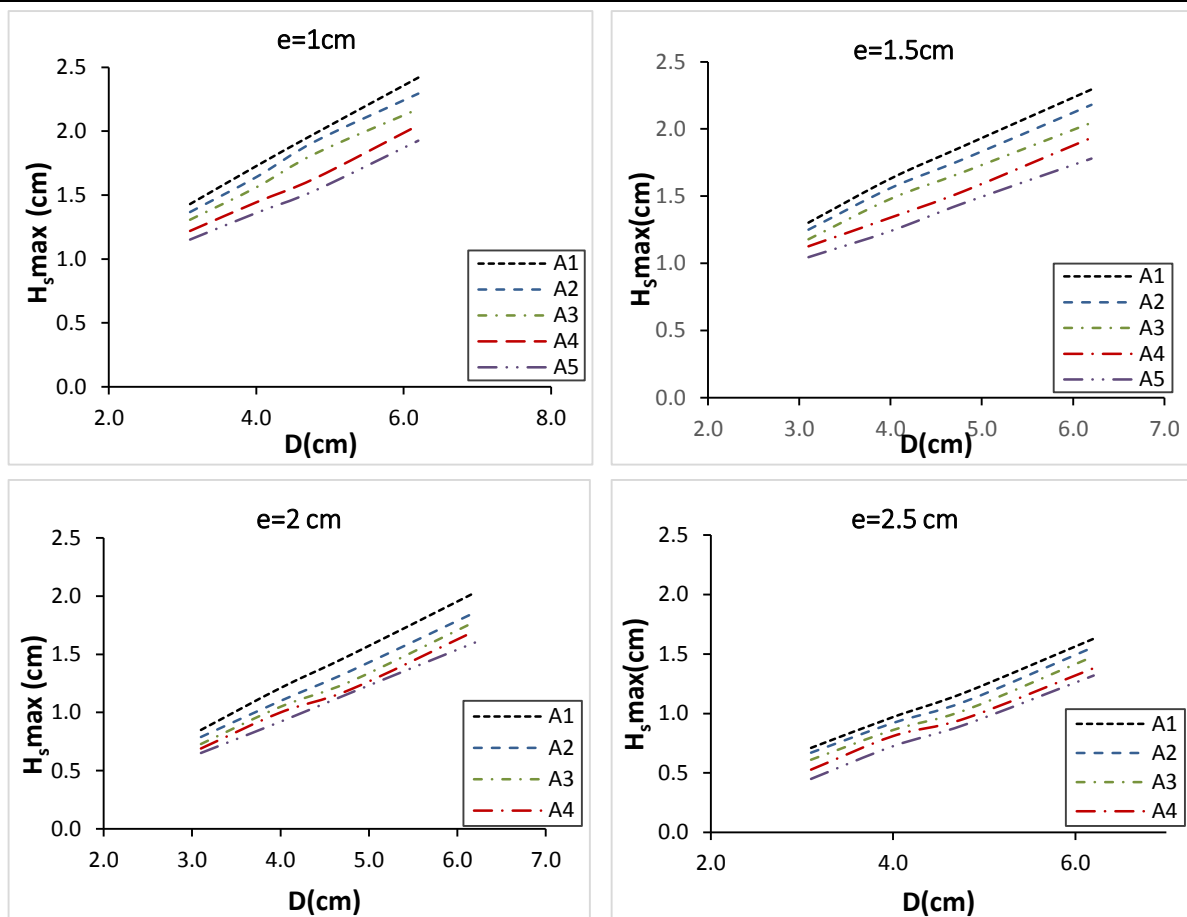
ردیف	$D$ (cm)	$e$ (cm)	مکان نصب تیغه	$Hs$ max (cm)	$Ls$ max (cm)	کاهش عمق آبخستگی (%)	افزایش طول آبخستگی (%)
1	3/1	1	A1	1/41	9/62	6	7
2	3/1	1	A2	1/37	9/88	8	10
3	3/1	1	A3	1/31	10/11	12	12
4	3/1	1	A4	1/25	10/33	16	15
5	3/1	1	A5	1/18	10/48	20	17
6	3/1	1/5	A1	1/3	10/21	13	14
7	3/1	1/5	A2	1/25	10/34	16	15
8	3/1	1/5	A3	1/18	10/42	21	16
9	3/1	1/5	A4	1/13	10/58	24	18
10	3/1	1/5	A5	1/05	10/79	30	20
11	3/1	2	A1	0/85	10/82	43	20
12	3/1	2	A2	0/79	11/02	47	23
13	3/1	2	A3	0/73	11/13	51	24
14	3/1	2	A4	0/69	11/3	54	26
15	3/1	2	A5	0/65	11/43	56	27
16	3/1	2/5	A1	0/69	10/92	54	21
17	3/1	2/5	A2	0/66	11/13	56	24
18	3/1	2/5	A3	0/62	11/3	58	26
19	3/1	2/5	A4	0/53	11/45	65	27
20	3/1	2/5	A5	0/45	11/55	70	28
21	4	1	A1	1/73	10/17	12	6
22	4	1	A2	1/64	10/43	16	9
23	4	1	A3	1/56	10/75	20	12
24	4	1	A4	1/44	11	26	15
25	4	1	A5	1/36	11/25	31	17
26	4	1/5	A1	1/68	10/68	14	11
27	4	1/5	A2	1/56	10/93	20	14
28	4	1/5	A3	1/48	11/14	24	16
29	4	1/5	A4	1/32	11/35	33	18
30	4	1/5	A5	1/24	11/63	37	21
31	4	2	A1	1/21	10/94	38	14
32	4	2	A2	1/17	11/04	41	15
33	4	2	A3	1/08	11/33	45	18
34	4	2	A4	1	11/23	49	17
35	4	2	A5	0/93	11/52	53	20
36	4	2/5	A1	0/97	11/23	51	17
37	4	2/5	A2	0/92	11/42	53	19
38	4	2/5	A3	0/86	11/64	56	21
39	4	2/5	A4	0/81	11/56	59	20
40	4	2/5	A5	0/73	11/81	63	23
41	4/8	1	A1	1/98	10/82	17	5
42	4/8	1	A2	1/92	11/02	20	7
43	4/8	1	A3	1/82	11/23	24	9
44	4/8	1	A4	1/63	11/32	32	10
45	4/8	1	A5	1/54	11/43	36	11
46	4/8	1/5	A1	1/87	11/12	22	8
47	4/8	1/5	A2	1/78	11/27	26	9
48	4/8	1/5	A3	1/68	11/54	30	12
49	4/8	1/5	A4	1/54	11/73	36	14
50	4/8	1/5	A5	1/45	11/84	40	15
51	4/8	2	A1	1/5	11/74	38	14
52	4/8	2	A2	1/34	11/85	46	15
53	4/8	2	A3	1/25	12/05	48	17
54	4/8	2	A4	1/2	11/95	50	16
55	4/8	2	A5	1/16	12/26	52	19
56	4/8	2/5	A1	1/18	11/85	51	15
57	4/8	2/5	A2	1/1	12/05	54	17
58	4/8	2/5	A3	1	12/26	58	19

59	4/8	2/5	A4	0/96	12/15	60	18
60	4/8	2/5	A5	0/91	12/37	61	20
61	6/2	1	A1	2/42	10/92	25	4
62	6/2	1	A2	2/29	11/13	29	6
63	6/2	1	A3	2/17	11/34	33	8
64	6/2	1	A4	2/05	11/45	37	9
65	6/2	1	A5	1/93	11/55	40	10
66	6/2	1/5	A1	2/29	11/18	29	6
67	6/2	1/5	A2	2/18	11/32	32	8
68	6/2	1/5	A3	2/05	11/55	37	10
69	6/2	1/5	A4	1/93	11/75	40	12
70	6/2	1/5	A5	1/78	11/9	45	13
71	6/2	2	A1	2/03	12	37	14
72	6/2	2	A2	1/86	12/09	42	15
73	6/2	2	A3	1/7	12/26	47	17
74	6/2	2	A4	1/62	12/2	50	16
75	6/2	2	A5	1/58	12/39	51	18
76	6/2	2/5	A1	1/63	12/12	49	15
77	6/2	2/5	A2	1/56	12/21	52	16
78	6/2	2/5	A3	1/48	12/41	54	18
79	6/2	2/5	A4	1/38	12/33	57	17
80	6/2	2/5	A5	1/32	12/5	59	19

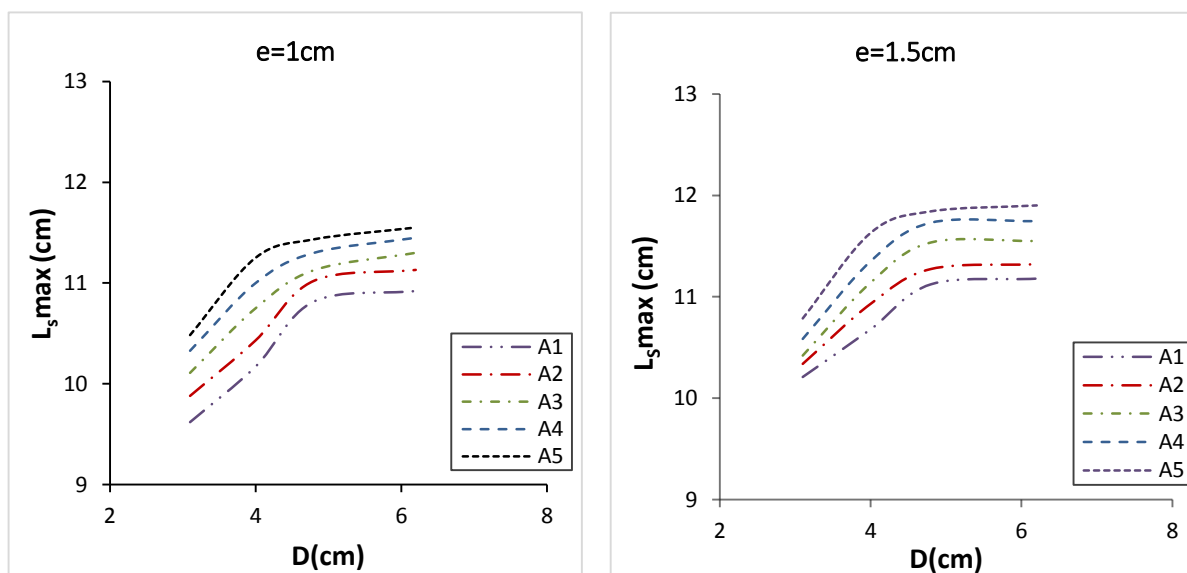
مطابق شکل ۸، در کلیه شرایط با افزایش قطر لوله، طول آبشستگی افزایش می‌یابد. با افزایش قطر لوله، جریان عبوری از لوله طول بیشتری را طی می‌کند. با افزایش طول تیغه افقی مسیر جریان عبوری زیر لوله افزایش یافته و طول آبشستگی بیشتر می‌شود. همچنین با جابه‌جایی مکان قرارگیری لوله بر روی تیغه از A1، A2، A3، A4، A5 همانطور که مشاهده می‌شود طول آبشستگی افزایش می‌یابد. در هر چهار قطر لوله همواره A1 کمترین مقدار طول آبشستگی را دارا می‌باشند و با تغییر مکان نصب تیغه به سمت پایین دست با افزایش طول تیغه افقی طول آبشستگی افزایش یافته است و در همه قطر لوله ها مکان نصب تیغه در حالت A5 بیشترین طول آبشستگی را دارا می‌باشند. با توجه به جدول ۱، کمترین طول آبشستگی در قطر لوله ۶/۲ سانتی متر و حدود ۴٪ بیشتر از حالت بدون تیغه بود همچنین حداکثر طول آبشستگی در قطر لوله ۳/۱ سانتی متر و حدود ۲۵٪ بیشتر از حالت بدون تیغه مشاهده می‌شود.

### تأثیر قطر لوله بر عمق آبشستگی در پنج حالت نصب تیغه

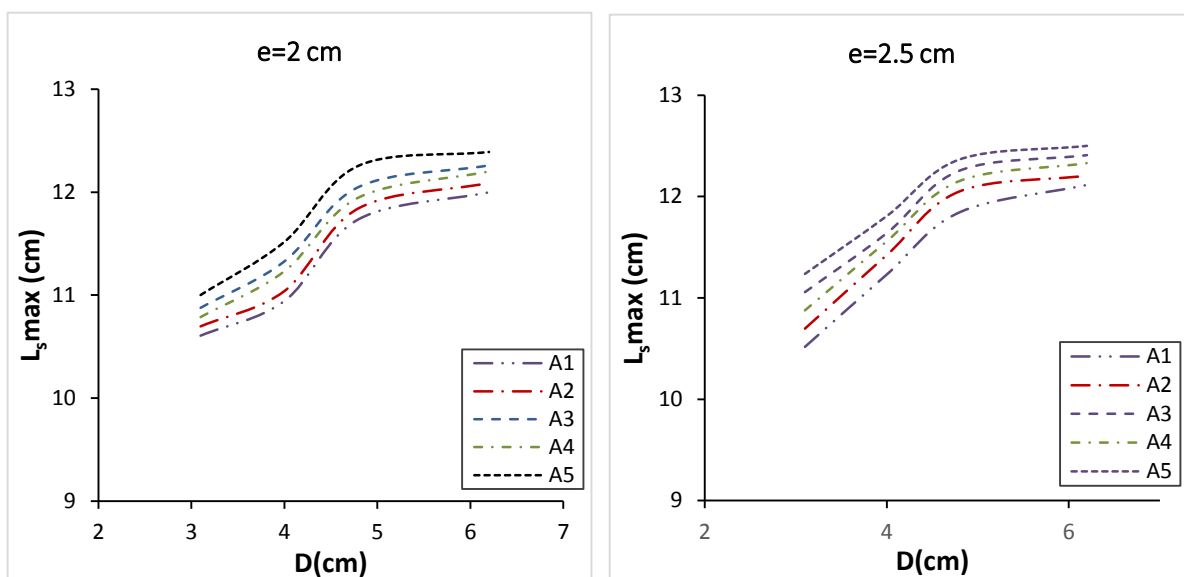
شکل ۷ و ۸ نمودارهای تغییرات ماکزیمم عمق و طول آبشستگی در شرایط با وجود تیغه و بدون تیغه در چهار قطر ۳/۱، ۴، ۴/۸ و ۶/۲ سانتی متر و چهار طول تیغه به عرض ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ سانتی متر در پنج حالت نصب تیغه A1، A2، A3، A4، A5 و بصورت عمود بر مسیر جریان نشان می‌دهد وجود لوله در مسیر جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آن شده و این جریان‌های مکانیسم اصلی آبشستگی در اطراف بستر لوله می‌شود. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در کلیه شرایط با افزایش قطر لوله عمق آبشستگی ناشی از گردابه‌های تشکیل شده افزایش می‌یابد. هرچه قطر لوله بزرگتر شود قطر گردابه‌های تشکیل شده در بالادست لوله بزرگتر شده و با قدرت بیشتری به لوله برخورد نموده و باعث افزایش قدرت آبشستگی می‌شود. با توجه به جدول ۱، حداکثر و حداقل کاهش عمق آبشستگی ۷۰٪ و ۶٪ در اطراف یک لوله با قطر ۱/۳ سانتی متر بدست آمد.



شکل ۷- تأثیر قطر لوله بر عمق آبشستگی در حالت های قرارگیری تیغه در زیر لوله



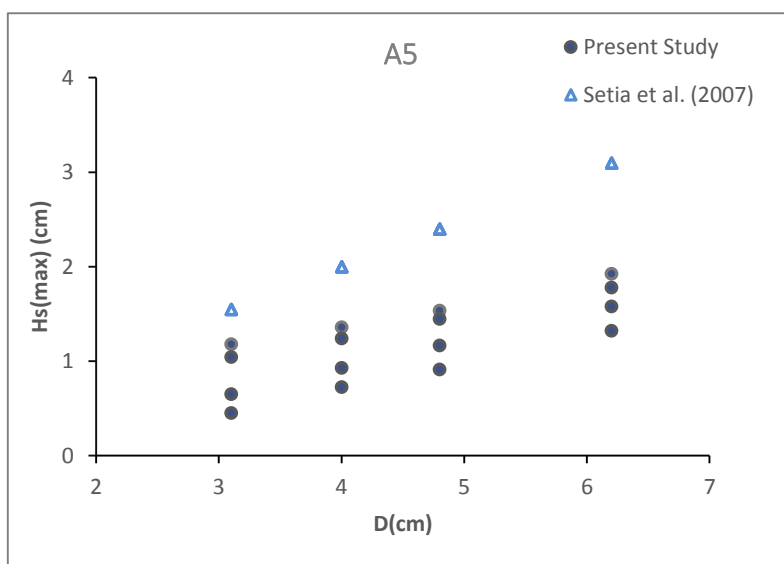




شکل ۸- تأثیر قطر لوله بر طول آبشستگی در حالت های قرارگیری تیغه در زیر لوله

در لوله های همراه با نصب تیغه های با طول ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ سانتی متر، با افزایش قطر به نسبت افزایش می یابد. همچنین نتایج حاصل از این نمودارها تطابق مناسب این تحقیق با تحقیقات محققین دیگر را نشان می دهد.

به منظور مقایسه تاثیر قطر لوله بر عمق آبشستگی در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات سیتیا و همکاران در سال ۲۰۰۷ استفاده شد (۱۱). شکل ۹ نتایج تحقیق حاضر را با نتایج این محققین نشان می دهد. همانگونه که از این نمودارها مشاهده می شود عمق آبشستگی در مکان نصب تیغه واقع در پایین دست A5 و



شکل ۹-مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات قبلی محققان

به منظور تخمین عمق آبشستگی در زیر لوله مستغرق با وجود تیغه، با استفاده از نرم افزار آماری SPSS رابطه ۵ با استفاده از رگرسیون خطی بین ماکزیمم عمق

**ارائه رابطه جهت تخمین عمق و طول آبشستگی در زیر لوله مستغرق با وجود تیغه**

حداکثر	حداقل	انحراف استاندارد	
		0/021	0/298
0/343	0/254	0/021	0/298
-0/371	-0/563	0/046	-0/467
1/034	0/516	0/125	0/775
0/417	0/216	0/048	0/316
0/851	0/407	0/104	0/634
9/499	8/33	0/281	8/915

آبخستگی، قطر لوله در شرایط لوله مستغرق ایجاد گردید. همچنین به منظور تخمین طول آبخستگی در زیر لوله مستغرق با وجود تیغه رابطه ۶ با استفاده از نرم افزار مذکور، رگرسیون خطی بین ماکزیمم طول آبخستگی، طول نسبی تیغه شرایط لوله مستغرق ایجاد گردید.

$$H_s(\max) = aD + be + c \quad (5)$$

$$L_s(\max) = pD + qe + r \quad (6)$$

در رابطه ۵ و ۶، ضرایب  $a, b, c, p, q, r$  مقادیر تجربی بوده که بر اساس روش خطی محاسبه گردید. با وارد کردن داده های آزمایشگاهی به نرم افزار SPSS و ایجاد رابطه ای معنی دار بین پارامترهای بدون بعد، ضرایب رابطه ۵ و ۶ برای شرایط مستغرق محاسبه شد و در جدول ۲ ارائه گردید. سپس مدل با ۸۰ درصد داده ها ساخته شد و با ۲۰ درصد آنها صحت سنجی انجام گردید. آنالیز آماری مربوط به ارزیابی معادله ارائه شده با ۲۰٪ داده‌هایی که در توسعه این مدل‌ها استفاده نشد، در جدول ۳ آمده است.

پارامتر	مقدار	محدوده اطمینان ۹۵٪
مستغرق با وجود تیغه		

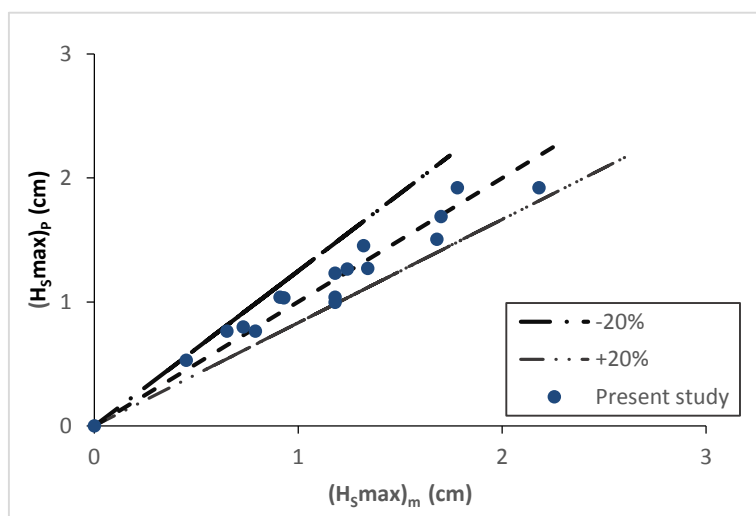
جدول ۳ نتایج تجزیه و تحلیل آماری معادلات ارائه شده با ۲۰ درصد داده‌ها را نشان می‌دهد (داده‌های مورد استفاده در این مدل). نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد که با وجود مقدار  $R=0/964$  بین متغیر وابسته به ماکزیمم عمق آبخستگی و متغیر مستقل قطر لوله و طول تیغه رابطه خوبی وجود دارد. همچنین مقدار  $R^2=0/93$  نشان می‌دهد که قطر لوله و طول تیغه ۹۰ درصد بر ماکزیمم عمق آبخستگی تاثیر می‌گذارد. مقدار  $RMSE=0/124$  میانگین مربع خطا نیز محاسبه شد. برای ماکزیمم طول آبخستگی، مقدار  $R=0/896$ ، همبستگی بین متغیر وابسته به ماکزیمم طول آبخستگی با متغیر مستقل قطر لوله و طول تیغه را نشان می‌دهد و با  $R^2=0/803$ ، قطر لوله و طول تیغه برابر با ۸۰ درصد ماکزیمم طول آبخستگی و میانگین مربع خطا  $RMS=0/241$  محاسبه شد.

جدول ۳- آنالیز آماری رابطه پیشنهادی برای تخمین عمق و طول آبخستگی ماکزیمم در زیر لوله مستغرق

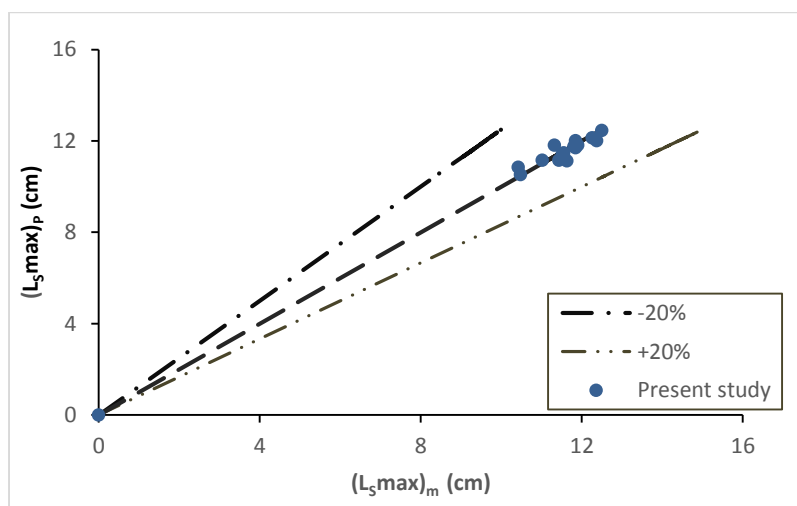
رابطه	معادله	$R^2$	درصد خطا	RSME
۷	$H_s \max = 0/298D - 0/467e + 0/775$	۰/۹۳۰	۲	۰/۱۲۴
۸	$L_s \max = 0/316D + 0/364e + 915/8$	۰/۸۰۳	۰/۲	۰/۲۴۱

همبستگی میان مقادیر ماکزیمم طول آبخستگی اندازه‌گیری شده  $(L_s \max)_m$  و مقادیر محاسبه شده رابطه ۸  $(L_s \max)_p$ ، نمودار شکل ۹ برای ۲۰ درصد باقی مانده داده‌ها بوده و دو خط چین معرف ۲۰+ و ۲۰- درصد انحراف نسبی نسبت به خط ۴۵ درجه می‌باشد.

به منظور همبستگی میان مقادیر ماکزیمم عمق آبخستگی اندازه‌گیری شده  $(H_s \max)_m$  و مقادیر محاسبه شده از رابطه ۷  $(H_s \max)_p$ ، شکل ۸ برای ۲۰ درصد باقی مانده داده‌ها بوده و دو خط چین معرف ۲۰+ و ۲۰- درصد انحراف نسبی نسبت به خط ۴۵ درجه می‌باشد. به منظور



شکل ۸- همبستگی میان مقادیر عمق آبشستگی محاسباتی با عمق آبشستگی حاصل از رابطه ۵



شکل ۹- همبستگی میان مقادیر طول آبشستگی محاسباتی با طول آبشستگی حاصل از رابطه ۶

کاهش عمق آبشستگی در لوله استوانه ای در شرایط استفاده از تیغه و محل قرارگیری از مرکز لوله به سمت پایین دست می باشد. در قطر ۱/۳ سانتی متر و طول نسبی تیغه ۲/۵ و موقعیت قرارگیری زیر لوله به سمت پایین دست حدود ۷۰ درصد کاهش عمق آبشستگی مشاهده می شود. همچنین در کلیه شرایط افزایش قطر لوله به همراه تیغه در پنج حالت نصب و قرارگیری در مقایسه با حالت بدون تیغه، باعث افزایش درصد عمق آبشستگی در زیر لوله استوانه ای می شود.

#### منابع

1) Chiew, Y., (1991), Prediction of maximum scour depth at submarine pipelines, Journal Hydraulic Engineering, 117(4), p. 452-466.

#### نتیجه گیری نهایی

در این تحقیق، آزمایش‌ها جهت بررسی عمق و طول آبشستگی در اطراف لوله استوانه ای با چهار قطر مختلف و در شرایط نصب تیغه با چهار طول مختلف و پنج حالت قرارگیری تیغه در زیر لوله و مقایسه آن با حالت بدون تیغه در مسیر مستقیم با دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. متغیرهای موثر در این تحقیق قطر لوله، عمق و طول آبشستگی و طول تیغه بود. نتایج این تحقیق نشان داد لوله با قطر ۱/۳ سانتی متر نسبت به قطرهای دیگر آبشستگی کمتری دارد و نصب تیغه با طول ۲/۵ سانتی متر در زیر لوله، نسبت به تیغه‌های دیگر بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در کلیه قطرها را ایجاد می کند. بیشترین درصد

scour beneath the pipe, Journal of Applied Ocean Research, 41, p. 87-100.

- 2) Ibrahim, A. and Nalluri, C., (1986), Scour prediction around marine pipelines, Proc.5th International Symp.on Offshore Mechanic and Arctic Engineering, Tokyo, Japan, p. 679-684.
- 3) Kjeldsen, S. P., Gjørsvik, O., Bringaker, K. G., and Jacobsen, J., (1973), Local scour near offshore pipelines, Proc., 2nd International Conference on POAC, p. 308-331.
- 4) Liang, D. and Cheng, L. (2005), Numerical modeling of flow and scour below a pipeline in currents, Part I. Flow simulation, Journal of Coastal Engineering, 52, p. 25-42.
- 5) Mao, Y. (1986). The interaction between a pipeline and an erodible bed. Series Paper 39, Inst.of Hydrodyn. and Hydraulic Engrg., Tech. Univ. Denmark, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- 6) Maza, J.A. 1987. Introduction to river engineering. Advanced Course on Water Resources Management, University Italiana per Stranieri, Perugia, Italy, 7.29, 7.50, 8.16 course.
- 7) Melville, B. W.; Chiew, Y.-M. (1999), Time scale for local scour at bridge piers, J. Hydraul. Eng., 125(1), 59-65.
- 8) Moncada, M, A. T. and Aguirre, Pe, J., (1999), Scour below pipeline in river crossings, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(9), p. 953-958.
- 9) Oliveto, G. and W. H. Hager. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. J. Hydraul. Eng., ASCE, 128:811-820.
- 10) Raudkivi, A. J., Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 109(3): 338-350.
- 11) Setia, B. and Verma, D. (2007), Physics of Flow Mechanism of Scour Around Submerged Pipelines on an Erodible Bed, 3rd WSEAS International Conference on Applied and Theoretical Mechanics, Spain, December 14-16.
- 12) Tregnaghi, M., Marion, A., and Gaudio, R. (2007). "Affinity and similarity of local scour holes at bed sills." Water Resource. Res., 43(11), W11417.
- 13) Neil, C. R. 1973. Guide to Bridge Hydraulics. Road and Transportation Association of Canada, University of Toronto, Canada.
- 14) Yang, L., Guo, Y., Shi, B., Kuang, C., Xu, W. and Cao, S., (2012), Study of Scour around Submarine Pipeline with a Rubber Plate or Rigid Spoiler in Wave Conditions, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 138(6), p. 484-490.
- 15) Zhao, E., Shi, B., Q, U.K., Dong, W and Zhang, J, (2018), Experimental and Numerical Investigation of Local Scour Around Submarine Piggyback Pipeline Under Steady Current. Journal of Ocean University of China; Apr 2018, Vol. 17 Issue 2, p244-256, 13p.
- 16) Zhu, H., Qi, X., Lin, P., and Yang, Y., (2013), Numerical simulation of flow around a submarine pipe with a spoiler and current-induced