

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



**دانشگاه تربیت مدرس**

**دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست**

**پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه‌های هیدرولیکی**

**مطالعه آزمایشگاهی فرآیند تخریب آبشکن توده‌سنگی دافع در شرایط مستغرق**

**رضا صادقی دودران**

**استاد راهنما:**

**دکتر سید علی اکبر صالحی نیشابوری**

**استاد مشاور:**

**دکتر مسعود قدسیان**

**شهریور ۱۳۹۳**

تقدیم به:

پدر و مادرم که همه وجودم و ام دار حمایت های به دریشان است. پروانه ای خواهم  
ماند در طوفانی مدام کردا کرد شمع درخشان و جودشان

و

خانواده کرامی ام به پاس عاطفه سرشارشان و بنجد چشمانشان که ارمغان همه خوبی-

هست

## تشکر و قدردانی

خالصانه‌ترین سپاس نثار استاد دوران پژوهش‌م، جناب آقای دکتر صالحی نیشابوری که در مقطع کارشناسی ارشد از راهنمایی‌های ارزنده و حمایت‌هایشان بهره‌مند بودم و در کمال فروتنی مرا در انجام این پایان‌نامه هدایت نمودند.

با نهایت تشکر و قدردانی از استاد مشاور گرامی و بزرگوارم جناب آقای دکتر قدسیان، که دلسوزانه و با حمایت‌های بی دریغشان، بنده را در انجام این پایان‌نامه یاری کرده و با در اختیار قراردادن تجربیات علمی خود، مرا در پیشبرد پایان‌نامه یاری نمودند.

از خانواده عزیزم که همواره پشتیبان من بوده‌اند تشکر نموده و از خداوند متعال سلامت و طول عمر را برای آنها خواستارم.

از دوستان عزیزم، آقایان مهندس مهران کاشفی، مهندس حامد حق‌نظر و مهندس هادی حبیبی، که در این پژوهش، قدم به قدم با من همراه بوده‌اند کمال تشکر و سپاس را دارم.

رضا صادقی دودران

شهریور ۹۳

## چکیده

در تحقیق حاضر فرآیند تخریب آبشکن توده‌سنگی دافع در شرایط مستغرق بررسی شد. این تحقیق شامل دو قسمت می‌باشد؛ در قسمت اول، اثر دانه‌بندی مصالح بدنه آبشکن، درصد استغراق و زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به راستای عمومی جریان بر فرآیند تخریب و حجم آن، در کانال مستقیم و با بستر صلب بررسی شده و در قسمت دوم نقش الگوی جریان در محل آستانه تخریب توسط سرعت سنج نقطه‌ای سه بعدی *ADV* و با استفاده از نرم‌افزار *Flow 3D* مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشات در کانالی به طول ۶ متر، عرض و ارتفاع ۰/۴۵ متر انجام شد. به منظور بررسی اثر دانه بندی، استغراق و زاویه قرارگیری در فرآیند تخریب آبشکن، سه مقدار مختلف برای آنها در نظر گرفته شده و اثر این پارامترها در دو محدوده سرعت بیشتر از آستانه حرکت مصالح بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد استغراق، محل شروع خرابی از ترازهای نزدیک تاج به ترازهای نزدیک بستر جابه‌جا می‌شود. همچنین با افزایش درصد استغراق، حجم خرابی در هر سه زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به راستای عمومی جریان، کمتر می‌شود. با افزایش زاویه قرارگیری آبشکن، محل شروع خرابی از محل اتصال دماغه به شیب بالادست به سمت محل اتصال دماغه به شیب پایین‌دست جابه‌جا می‌شود. دانه‌بندی تأثیری در محل آستانه تخریب نداشته و در هر سه دانه‌بندی، محل شروع خرابی با توجه به زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به راستای عمومی جریان، متفاوت می‌باشد. در آبشکن‌هایی با زوایای قرارگیری ۱۰ و ۲۰ درجه، بیشترین تخریب معمولاً در محل اتصال دماغه به تاج قرار دارد و با افزایش زاویه قرارگیری آبشکن، بیشترین خرابی معمولاً به سمت محل اتصال دماغه به شیب پایین‌دست جابه‌جا می‌شود. براساس نتایج برداشت میدان جریان و نتایج حاصل از مدل عددی، در آبشکن با زاویه قرارگیری ۱۰ درجه بیشترین سرعت در محل اتصال دماغه به شیب بالادست و در آبشکن‌هایی با زوایای قرارگیری ۲۰ و ۳۰ درجه، بیشترین سرعت در محل اتصال دماغه به شیب پایین‌دست رخ داده که دلیلی بر آغاز تخریب آبشکن از این ناحیه‌ها می‌باشد. محل اتصال دماغه به تاج، محل اتصال شیب بالادست به دماغه و همچنین در آبشکن‌هایی با زاویه قرارگیری بزرگتر نسبت به راستای عمومی جریان، محل اتصال شیب پایین‌دست به دماغه، حساس‌ترین ناحیه‌های آبشکن در تخریب می‌باشد.

**کلید واژه:** آبشکن دافع، توده‌سنگی، تخریب، مستغرق

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
و.....	فهرست علایم و نشانه‌ها.....
ز.....	فهرست جدول‌ها.....
ح.....	فهرست شکل‌ها.....
۱.....	<b>فصل ۱- مقدمه و کلیات.....</b>
۲.....	۱-۱- تعریف آبشکن.....
۲.....	۲-۱- ساختار عمومی آبشکن.....
۳.....	۳-۱- اهداف احداث آبشکن.....
۴.....	۴-۱- انواع آبشکن.....
۴.....	۱-۴-۱- مصالح و روش ساخت آبشکن.....
۵.....	۱-۴-۱- نفوذ پذیری آبشکن.....
۶.....	۲-۴-۱- استغراق آبشکن.....
۷.....	۳-۴-۱- زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به جریان.....
۷.....	۱-۳-۴-۱- آبشکنهای جاذب.....
۷.....	۲-۳-۴-۱- آبشکنهای عمودی.....
۷.....	۳-۳-۴-۱- آبشکنهای دافع.....
۷.....	۴-۴-۱- شکل ظاهری آبشکن.....
۸.....	۱-۴-۴-۱- آبشکنها در سطح افق.....
۸.....	۲-۴-۴-۱- آبشکنها در مقطع طولی.....
۸.....	۳-۴-۴-۱- آبشکنها در مقطع عرضی.....
۸.....	۵-۴-۱- طول آبشکن.....
۹.....	۵-۱- آسیبهای سازهای آبشکن.....
۹.....	۱-۵-۱- نشست تاج آبشکن.....
۹.....	۲-۵-۱- تخریب پنجه و دماغه آبشکن.....
۹.....	۳-۵-۱- ناپایداری بدنه و شیب های جانبی.....

۹	..... ۱-۵-۴- آسیب ریشه آبشکن
۱۰	..... ۱-۶- ضرورت انجام تحقیق
۱۰	..... ۱-۷- نوآوری تحقیق
۱۰	..... ۱-۸- محدودیت های تحقیق
۱۱	..... ۱-۹- ساختار پایان نامه
۱۲	..... <b>فصل ۲- مروری بر مطالعات گذشته</b>
۱۲	..... ۱-۲- مقدمه
۱۲	..... ۲-۲- تخریب آبشکن
۱۲	..... ۲-۲-۱- رعایت نکردن نکات فنی در احداث
۱۴	..... ۲-۲-۲- فرسایش دماغه
۱۵	..... ۲-۲-۳- عدم انتخاب دانه بندی مناسب
۱۵	..... ۲-۲-۴- عمق آبستنگی
۱۷	..... ۲-۲-۵- عدم استفاده از پوشش سنگی مناسب
۱۸	..... ۲-۲-۶- زاویه انحراف آبشکن
۱۸	..... ۲-۲-۷- استغراق آبشکن
۱۸	..... ۲-۳- تخریب ریپ ریپ ها، موجشکن ها و خاکریزها
۱۸	..... ۲-۳-۱- تخریب ریپ ریپ ها
۱۹	..... ۲-۳-۲- تخریب موج شکن ها
۲۰	..... ۲-۳-۳- تخریب خاکریزها
۲۱	..... ۲-۴- الگوی جریان حول آبشکن ها
۲۴	..... ۲-۵- جمع بندی و ضرورت انجام تحقیق حاضر
۲۵	..... <b>فصل ۳- تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایشات</b>
۲۵	..... ۳-۱- مقدمه
۲۶	..... ۳-۲- آنالیز ابعادی
۲۸	..... ۳-۳- تجهیزات آزمایشگاهی
۲۸	..... ۳-۳-۱- فلوم آزمایشگاهی
۲۸	..... ۳-۳-۱-۱- کانال آزمایشگاهی مستقیم

۲۹	.....مخزن ورودی.....۲-۱-۳-۳
۳۰	.....مخزن پایین دست.....۳-۱-۳-۳
۳۰	.....حوضچه تله انداز رسوب.....۴-۱-۳-۳
۳۰	.....تکیه گاه ریلی و ارابه های روی آن.....۵-۱-۳-۳
۳۰	.....دریچه پروانه‌ای.....۶-۱-۳-۳
۳۰	.....قسمت شیبدار ابتدای کانال.....۷-۱-۳-۳
۳۱	.....سیستم آبرسانی.....۸-۱-۳-۳
۳۲	.....مصالح بستر.....۲-۳-۳
۳۲	.....صاف کننده سطح بستر.....۳-۳-۳
۳۳	.....عمق سنج نقطه‌های و متر لیزری.....۴-۳-۳
۳۳	.....دستگاه سرعت سنج سه بعدی.....۵-۳-۳
۳۶	.....طراحی آزمایش‌ها.....۴-۳-۳
۳۶	.....مشخصات آبشکنهای بکار رفته در آزمایشات.....۱-۴-۳
۳۸	.....تثبیت بستر.....۲-۴-۳
۳۸	.....نحوه تعیین محل آبشکن.....۳-۴-۳
۳۹	.....نحوه انجام آزمایش‌ها.....۵-۳-۳
۳۹	.....نحوه تعیین سرعت آستانه تخریب آبشکن ( $U_c$ ).....۱-۵-۳
۴۷	.....نحوه انجام آزمایشات تخریب.....۲-۵-۳
۴۹	.....نحوه انجام آزمایش الگوی جریان.....۳-۵-۳
۵۱	.....خطاهای آزمایشگاهی.....۶-۳-۳
۵۲	.....خطای ذاتی.....۱-۶-۳
۵۲	.....خطای مشاهداتی.....۲-۶-۳
۵۲	.....خطاهای آماری.....۳-۶-۳
۵۳	<b>فصل ۴- بررسی الگوی جریان حول آبشکن دافع.....۵۳</b>
۵۳	.....مقدمه.....۱-۴-۴
۵۳	.....معرفی نرم افزار <i>FLOW-3D</i> .....۲-۴-۴
۵۵	.....معادلات حاکم.....۳-۴-۴
۵۵	.....سیستمهای مختصات.....۱-۳-۴



۵۵	.....۲-۳-۴- معادله پیوستگی
۵۶	.....۳-۳-۴- معادله مومنتم
۵۸	.....۴-۳-۴- تنش برشی دیوار
۵۸	.....۵-۳-۴- سطح مشترک و سطح آزاد سیال
۵۹	.....۶-۳-۴- معادله انرژی سیال
۶۰	.....۴-۴- مدل های آشفتگی
۶۱	.....۱-۴-۴- مدل های آشفتگی مورد استفاده در نرم افزار <i>FLOW-3D</i>
۶۲	.....۲-۴-۴- فرضیه بوزینسک
۶۳	.....۳-۴-۴- مدل های دو معادله ای
۶۴	.....۴-۴-۴- مدل های دارای معادله تنش
۶۵	.....۵-۴- صحت سنجی مدل عددی
۶۷	.....۶-۴- تحلیل الگوی جریان متوسط
۶۷	.....۱-۶-۴- آبشکن با زاویه قرارگیری ۱۰ درجه
۶۹	.....۲-۶-۴- آبشکن با زاویه قرارگیری ۲۰ درجه
۷۱	.....۳-۶-۴- آبشکن با زاویه قرارگیری ۳۰ درجه
۷۴	..... فصل ۵- بررسی فرآیند تخریب آبشکن توده سنگی دافع
۷۴	.....۱-۵- مقدمه
۷۴	.....۲-۵- دانه بندی با میانگین قطر مصالح ۳/۵۵ میلیمتر
۷۴	.....۱-۲-۵- استغراق ۳۱٪ (آزمایش های اول تا ششم)
۷۷	.....۲-۲-۵- استغراق ۵۰٪ (آزمایش های هفتم تا دوازدهم)
۷۸	.....۳-۲-۵- استغراق ۶۸٪ (آزمایش های سیزدهم تا هیجدهم)
۸۰	.....۳-۵- دانه بندی با میانگین قطر مصالح ۷/۱ میلیمتر
۸۰	.....۱-۳-۵- استغراق ۳۱٪ (آزمایش های نوزدهم تا بیست و چهارم)
۸۲	.....۲-۳-۵- استغراق ۵۰٪ (آزمایش های بیست و پنجم تا سی ام)
۸۴	.....۳-۳-۵- استغراق ۶۸٪ (آزمایش های سی و یکم تا سی و ششم)
۸۶	.....۴-۵- دانه بندی با میانگین قطر مصالح ۱۱ میلیمتر
۸۶	.....۱-۴-۵- استغراق ۳۱٪ (آزمایش های سی و هفتم تا چهل و دوم)

۸۷	۵-۴-۲- استغراق ۵۰٪ (آزمایش های چهل و سوم تا چهل و هشتم).....
۸۹	۵-۴-۳- استغراق ۶۸٪ (آزمایش های چهل و نهم تا پنجاه و چهارم).....
۹۱	۵-۵-۵- اثر ارتفاع استغراق بر فرآیند تخریب آبشکن.....
۹۱	۵-۵-۱- متوسط قطر مصالح ۳/۵۵ میلیمتر.....
۹۵	۵-۵-۲- متوسط قطر مصالح ۷/۱ میلیمتر.....
۹۸	۵-۵-۳- متوسط قطر مصالح ۱۱ میلیمتر.....
۱۰۱	۵-۶- تحلیل تاثیر درصد استغراق بر آستانه خرابی.....
۱۰۲	۵-۷-۷- اثر دانه بندی بر فرآیند تخریب آبشکن.....
۱۰۲	۵-۷-۱- استغراق ۳۱٪.....
۱۰۵	۵-۷-۲- استغراق ۵۰٪ و ۶۸٪.....
۱۱۱	۵-۸- تحلیل تاثیر قطر میانگین مصالح بدنه آبشکن بر آستانه خرابی.....
۱۱۱	۵-۹- اثر زاویه قرارگیری آبشکن بر فرآیند تخریب آبشکن.....
۱۱۲	۵-۱۰- تحلیل تاثیر زاویه قرارگیری آبشکن بر فرآیند تخریب.....
۱۱۳	۵-۱۱- رابطه تغییر حجم نسبی آبشکن.....
۱۱۵	۵-۱۲- بررسی تاثیر متقابل پارامترهای مختلف بر روی تغییر حجم نسبی آبشکن.....
۱۱۵	۵-۱۲-۱- تاثیر متقابل پارامترهای $uuc$ و $\theta$ .....
۱۱۵	۵-۱۲-۲- تاثیر متقابل پارامترهای $uuc$ و $S'$ .....
۱۱۶	۵-۱۲-۳- تاثیر متقابل پارامترهای $\theta$ و $S'$ .....
۱۱۷	۵-۱۳- جمع بندی.....
۱۱۸	فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۱۸	۶-۱- مقدمه.....
۱۱۸	۶-۲- جمع بندی بحث فرآیند تخریب آبشکن توده سنگی.....
۱۲۰	۶-۳- پیشنهادات.....
۱۲۱	فهرست مراجع.....

## فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
عرض کانال	$B$
قطر رسوباتی که 30 درصد رسوبات از آن ریزترند	$d_{30}$
قطر متوسط رسوبات	$d_{50}$
عدد فرود	$Fr$
شتاب ثقل	$g$
ارتفاع آبشکن	$H$
طول میانگین آبشکن	$L$
طول آبشکن در بستر	$L_b$
طول آبشکن در تاج	$L_c$
طول طوسعه یافتگی	$L_d$
عدد رینولدز	$Re$
درصد استغراق	$S'$
شیب طولی مجرا	$S_0$
سرعت متوسط جریان	$U$
سرعت آستانه حرکت مصالح بدنه آبشکن	$U_c$
عمق جریان در بالادست آبشکن	$y$
وزن مخصوص مستغرق مصالح بستر	$\Delta\gamma_s$
تغییر حجم نسبی آبشکن	$\frac{\Delta V}{V}$
زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به راستای جریان	$\theta$
لزجت سینماتیک	$\nu$
چگالی سیال	$\rho$
چگالی مصالح آبشکن	$\rho_s$
انحراف معیار مصالح بستر	$\sigma_g$
شیب جانبی و دماغه آبشکن	$\phi$

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: نتایج ارزیابی مقایسه‌ای بین مشخصات هندسی و هیدرولیکی آبشکن‌ها در رودخانه زنجانرود [۹]۱۳	
جدول ۲-۲: برخی از مطالعات صورت گرفته در رابطه با تخریب ریپ‌رها..... ۱۹	۱۹
جدول ۳-۲: برخی از مطالعات صورت گرفته در رابطه با تخریب موج‌شکن‌ها..... ۱۹	۱۹
جدول ۴-۲: برخی از مطالعات صورت گرفته در رابطه با تخریب خاکریزها..... ۲۰	۲۰
جدول ۱-۳: مشخصات آبشکن‌های ساخته شده در آزمایشات..... ۳۶	۳۶
جدول ۲-۳: آزمایش‌های آستانه تخریب و سرعت آستانه تخریب..... ۴۳	۴۳
جدول ۳-۳: محدوده تغییرات دبی در دانه‌بندی ۳/۵۵ میلی‌متری..... ۴۴	۴۴
جدول ۴-۳: محدوده تغییرات دبی در دانه‌بندی ۷/۱ میلی‌متری..... ۴۵	۴۵
جدول ۵-۳: محدوده تغییرات دبی در دانه‌بندی ۱۱ میلی‌متری..... ۴۶	۴۶
جدول ۶-۳: محدوده تغییرات پارامترهای بی بعد در آزمایشات..... ۴۶	۴۶
جدول ۱-۴: نحوه شبکه بندی و شرایط مرزی..... ۶۵	۶۵
جدول ۱-۵: نواحی آغاز خرابی در آزمایش‌های یکم تا هیجدهم..... ۸۰	۸۰
جدول ۲-۵: نواحی آغاز خرابی در آزمایش‌های نوزدهم تا سی و ششم..... ۸۶	۸۶
جدول ۳-۵: نواحی آغاز خرابی در آزمایش‌های سی و هفتم تا پنجاه و چهارم..... ۹۱	۹۱
جدول ۴-۵: آزمایش‌های آستانه تخریب و دبی آستانه تخریب..... ۱۰۱	۱۰۱
جدول ۵-۵: محدوده تغییرات پارامترهای بی بعد در رابطه تغییر حجم نسبی آبشکن..... ۱۱۴	۱۱۴

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ نمونه‌ای از فرسایش جداره رودخانه به هنگام سیلاب [۲].....	۱
شکل ۲-۱ نمایش ساختار عمومی یک آبشکن در پلان [۳].....	۳
شکل ۳-۱ آبشکن‌های احداث شده در رودخانه‌ی راین آلمان به منظور تسهیل کشتیرانی [۲].....	۴
شکل ۴-۱ نمونه‌ای از آبشکن‌های نفوذناپذیر در رودخانه کلمبیا [۵].....	۵
شکل ۵-۱ نمونه‌ای از آبشکن‌های نفوذناپذیر در رودخانه قزل اوزن ایران [۳].....	۶
شکل ۶-۱ انواع شکل آبشکن در پلان [۳].....	۸
شکل ۱-۲ ابعاد و مقاطع مختلف کانال و آبشکن مورد استفاده و نقاط اندازه‌گیری شده در پلان [۳۶].....	۲۲
شکل ۲-۲ مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی در حالت بستر تخت [۳۶].....	۲۳
شکل ۳-۲ توپوگرافی بستر ۵۳ دقیقه پس از شروع آزمایش [۳۷].....	۲۳
شکل ۴-۲ توزیع تنش برشی حاصل از مقادیر تنش رینولدز در فاصله یک سانتیمتری بستر [۳۸].....	۲۴
شکل ۱-۳ نمایی از کانال مورد آزمایش.....	۲۸
شکل ۲-۳ پلان مشخصات کانال آزمایشگاهی.....	۲۹
شکل ۳-۳ مخزن بالادست کانال.....	۲۹
شکل ۴-۳ قسمت شیب‌دار ابتدای کانال.....	۳۱
شکل ۵-۳ سیستم آبرسانی.....	۳۲
شکل ۶-۳ صاف‌کننده سطح بستر.....	۳۲
شکل ۷-۳ نمایی از عمق سنج نقطه‌ای و متر لیزری.....	۳۳
شکل ۸-۳ شمای کلی سرعت سنج <i>ADV</i> و موقعیت حجم نمونه‌گیری نسبت به سنسور.....	۳۵
شکل ۹-۳ انواع حسگرها.....	۳۵
شکل ۱۰-۳ تقسیم بندی ناحیه‌های مختلف بدنه آبشکن.....	۳۶
شکل ۱۱-۳ نمایی از مصالح مورد استفاده در ساخت آبشکن.....	۳۷
شکل ۱۲-۳ منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده در ساخت آبشکن.....	۳۷
شکل ۱۳-۳ نمایی از آبشکن‌های ساخته شده در آزمایش‌ها.....	۳۸
شکل ۱۴-۳ پروفیل سرعت در مقاطع طولی با فواصل ۳ و ۳/۲۵ متری از ورودی کانال.....	۳۹
شکل ۱۵-۳ معیارهای آستانه حرکت بورخارت [۴۱].....	۴۰

- شکل ۳-۱۶ اختلاف سرعت بدست آمده از رابطه ماینورد و سرعت مشاهداتی در آزمایشگاه ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۷ نمونه‌ای از قالب ساخته شده برای آبشکن دافع با زاویه ۳۰ درجه ..... ۴۷
- شکل ۳-۱۸ نمایی از شبکه بندی سطح آبشکن به منظور برداشت ارتفاع نقاط ..... ۴۸
- شکل ۳-۱۹ آبشکن پس از تثبیت با دوغاب سیمان ..... ۵۰
- شکل ۳-۲۰ شبکه بندی دو بعدی اطراف آبشکن (ابعاد بر حسب سانتی‌متر) ..... ۵۰
- شکل ۴-۱ ارزیابی سطح آزاد (برای یک شبکه دوبعدی) با روش *VOF* ..... ۵۹
- شکل ۴-۲ نمونه‌ای از مدل ساخته شده در نرم افزار ..... ۶۴
- شکل ۴-۳ مقایسه نتایج پروفیل سرعت طولی عددی و نتایج آزمایشگاهی در نقاط مختلف ..... ۶۶
- شکل ۴-۴ مقایسه الگوی جریان حاصل از مدل عددی و برداشت آزمایشگاهی ..... ۶۷
- شکل ۴-۵ خطوط جریان حول آبشکن توده سنگی دافع ۱۰ درجه در ترازهای مختلف ..... ۶۸
- شکل ۴-۶ توزیع برآیند مولفه‌های سرعت آبشکن ۱۰ درجه در ترازهای مختلف قائم ..... ۶۹
- شکل ۴-۷ خطوط جریان حول آبشکن توده سنگی دافع ۲۰ درجه در ترازهای مختلف ..... ۷۰
- شکل ۴-۸ توزیع برآیند مولفه‌های سرعت آبشکن ۲۰ درجه در ترازهای مختلف قائم ..... ۷۱
- شکل ۴-۹ خطوط جریان حول آبشکن توده سنگی دافع ۳۰ درجه در ترازهای مختلف ..... ۷۲
- شکل ۴-۱۰ توزیع برآیند مولفه‌های سرعت آبشکن ۳۰ درجه در ترازهای مختلف قائم ..... ۷۳
- شکل ۵-۱ آزمایش اول با مشخصات  $(d_{50} = 3/55 \text{ mm})$ ،  $(S' = 31\%)$ ،  $\theta = 10$  و  $1/2 < uuc < 1$  ..... ۷۵
- شکل ۵-۲ آزمایش ششم با مشخصات  $(d_{50} = 3/55 \text{ mm})$ ،  $(S' = 31\%)$ ،  $\theta = 30$  و  $1/5 < uuc < 1/2$  ..... ۷۶
- شکل ۵-۳ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح  $3/55$  میلیمتر با درصد استغراق ۳۱٪ (بر حسب سانتیمتر) ..... ۷۶
- شکل ۵-۴ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح  $3/55$  میلیمتر با درصد استغراق ۵۰٪ (بر حسب سانتیمتر) ..... ۷۸
- شکل ۵-۵ مقایسه تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح  $3/55$  میلیمتر با درصد استغراق ۶۸٪ (بر حسب سانتیمتر) ..... ۷۹
- شکل ۵-۶ آزمایش بیست و چهارم با مشخصات  $(d_{50} = 7/1 \text{ mm})$ ،  $(S' = 31\%)$ ،  $\theta = 30$  و  $1/5 < uuc < 1/2$  ..... ۸۱
- شکل ۵-۷ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح  $7/1$  میلیمتر با درصد استغراق ۳۱٪ (بر حسب سانتیمتر) ..... ۸۲
- شکل ۵-۸ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح  $7/1$  میلیمتر با درصد استغراق ۵۰٪ (بر حسب سانتیمتر) ..... ۸۴

- شکل ۵-۹ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۷/۱ میلیمتر با درصد استغراق ۶۸٪ ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۸۵
- شکل ۵-۱۰ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۱۱ میلیمتر با درصد استغراق ۳۱٪ ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۸۷
- شکل ۵-۱۱ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۱۱ میلیمتر با درصد استغراق ۵۰٪ ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۸۹
- شکل ۵-۱۲ آزمایش پنجاه و سوم با مشخصات  $(d_{50} = 11 \text{ mm})$ ،  $(S' = 68\%)$ ،  $\theta = 30$ ،  $1 < uuc < 1/2$  ..... ۹۰
- شکل ۵-۱۳ مقایسه تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۱۱ میلیمتر با درصد استغراق ۶۸٪ ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۹۰
- شکل ۵-۱۴ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۳/۵۵ میلیمتر در محدوده سرعت  $1 < uuc < 1/2$  ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۹۳
- شکل ۵-۱۵ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۳/۵۵ میلیمتر در محدوده سرعت  $1/2 < uuc < 1/5$  ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۹۴
- شکل ۵-۱۶ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۷/۱ میلیمتر در محدوده سرعت  $1 < uuc < 1/2$  ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۹۶
- شکل ۵-۱۷ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۷/۱ میلیمتر در محدوده سرعت  $1/2 < uuc < 1/5$  ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۸ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۱۱ میلیمتر در محدوده سرعت  $1 < uuc < 1/2$  ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۹۹
- شکل ۵-۱۹ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی با متوسط قطر مصالح ۱۱ میلیمتر در محدوده سرعت  $1/2 < uuc < 1/5$  ( بر حسب سانتیمتر) ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۲۰ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی های مختلف در استغراق ۳۱٪ و در محدوده سرعت  $1 < uuc < 1/2$  ( بر حسب سانتی متر) ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۱ مقایسه تخریب آبشکن در دانه بندی های مختلف در استغراق ۳۱٪ و در محدوده سرعت  $1/2 < uuc < 1/5$  ( بر حسب سانتی متر) ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۲ مقایسه حجم مصالح چرخش یافته به پشت آبشکن در دانه بندی های مختلف در استغراق ۳۱٪ و در محدوده سرعت  $1/2 < uuc < 1/5$  ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۳ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی های مختلف در استغراق ۵۰٪ و در محدوده سرعت  $1 < uuc < 1/2$  ( بر حسب سانتی متر) ..... ۱۰۷
- شکل ۵-۲۴ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی های مختلف در استغراق ۵۰٪ و در محدوده سرعت  $1/2 < uuc < 1/5$  ( بر حسب سانتی متر) ..... ۱۰۸

- شکل ۵-۲۵ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی های مختلف در استغراق ۶۸٪ و در محدوده سرعت  $1/2 < uuc < 1$  ( بر حسب سانتی متر)..... ۱۰۹
- شکل ۵-۲۶ مقایسه میزان تخریب آبشکن در دانه بندی های مختلف در استغراق ۶۸٪ و در محدوده سرعت  $1/5 < uuc < 1/2$  ( بر حسب سانتی متر)..... ۱۱۰
- شکل ۵-۲۷ میزان انسداد ایجاد شده و سطح مقابل جریان در زوایای مختلف..... ۱۱۳
- شکل ۵-۲۸ مقایسه تخریب نسبی اندازه گیری شده و محاسبه شده با استفاده از رابطه (۵-۱)..... ۱۱۴
- شکل ۵-۲۹ بررسی تاثیر متقابل  $uuc$  و زاویه قرارگیری آبشکن بر میزان تغییر حجم نسبی آبشکن دافع..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳۰ بررسی تاثیر متقابل  $uuc$  و درصد استغراق بر میزان تغییر حجم نسبی آبشکن دافع..... ۱۱۶
- شکل ۵-۳۱ بررسی تاثیر متقابل زاویه قرارگیری آبشکن و درصد استغراق بر میزان تغییر حجم نسبی آبشکن دافع..... ۱۱۷



## فصل ۱ – مقدمه و کلیات

رودخانه‌ها از دیرباز به عنوان یکی از اساسی‌ترین منابع تأمین آب مورد توجه انسان بوده‌اند، به طوری که تمدن‌های بزرگ برای بهره‌گیری از نعمت آب در حاشیه رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند و از این رو نقشی حیاتی در زندگی بشر ایفا کرده‌اند. علیرغم این نقش حیاتی و به علت عدم شناخت ماهیت رودخانه‌ها، به هنگام طغیان‌های رودخانه خسارات جبران ناپذیری به حاشیه نشینان آن وارد می‌شود. یکی از مشکلات مهم در مباحث مهندسی رودخانه، بحث فرسایش کناره‌های رودخانه و اثرات ناشی از آن می‌باشد، بطوریکه این پدیده باعث از بین رفتن زمین‌های کناره رودخانه‌ها شده و تهدیدی برای بناهای احداث شده در نزدیکی رودخانه می‌باشد. علاوه بر آن، بار رسوبی حاصل از فرسایش جداره رودخانه می‌تواند مشکلاتی در تأسیسات پایین‌دستی نظیر آبگیرهای رودخانه‌ای ایجاد نماید. در شکل (۱-۱) نمونه‌ای از فرسایش کناری رخ داده در یک رودخانه نشان داده شده است [۱].



شکل ۱-۱ نمونه‌ای از فرسایش جداره رودخانه به هنگام سیلاب [۲]

رودخانه تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند زمین شناسی منطقه، توپوگرافی دره رودخانه، خصوصیات مواد آبرفتی سیلابدشت رودخانه، مشخصات هیدرولوژیکی حوضه آبریز، شرایط هیدرولیکی جریان و نیز نحوه بهره برداری بشر از آن، تمایل طبیعی به دستیابی به تعادل پویا دارد. طبیعت تغییرپذیری برخی از عوامل فوق سبب می‌گردد تا رودخانه حتی در کوتاه مدت و در بازه‌های مختلف آن همواره در معرض تغییر و تحول باشد [۳].

آبشکن‌ها، سازه‌های رودخانه‌ای می‌باشند که اکثراً جهت جلوگیری از فرسایش سواحل رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. اخیراً کاربردهای گوناگون زیست محیطی آبشکن‌ها در رودخانه‌ها نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. در میان روش‌های مختلف حفاظت غیر مستقیم دیواره‌ها، ساخت آبشکن‌ها یکی از معمول-ترین روش‌ها می‌باشد که امروزه کاربرد بسیار زیادی در مهندسی رودخانه دارد [۲].

آبشکن‌ها سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره رودخانه به سمت محور جریان توسعه یافته و سبب انحراف و هدایت جریان از کناره‌ها به سمت محور مرکزی راستای رودخانه می‌گردد. آبشکن‌ها معمولاً بصورت منفرد و یا سری و در یک سمت و یا در دو سمت رودخانه با توجه به اهداف طرح احداث می‌گردند. آبشکن‌های اجرا شده در رودخانه‌های ارس، اترک، قزل اوزن، سفید رود و زنجارود اغلب نقش خود را با موفقیت ایفا نموده‌اند [۲].

## ۱-۱- تعریف آبشکن

برای آبشکن تعاریف متنوعی ارائه شده که مهمترین آن‌ها عبارتند از [۴] :

- سازه هیدرولیکی است که در کانال روباز و رودخانه‌ها به منظور حفاظت دیواره‌ها در مقابل فرسایش و یا انحراف و هدایت آب در جهت‌های مورد نظر ساخته می‌شود.
- سازه‌هایی هستند که معمولاً بر روی رودخانه‌های پهن به منظور تولید آبراه‌ای که نه ایجاد رسوب می‌کند و نه با آبشستگی سبب تغییر بستر می‌گردد، ساخته می‌شود.
- سازه‌هایی سنگی، شنی، صخره‌ای، خاکی و یا فلزی هستند، که با زاویه‌ای در ساحل رودخانه و در مقطع عرضی آن احداث می‌شوند، که منظور از آن منحرف کردن جریان آب از منطقه بحرانی (ساحل)، محافظت از فرسایش ساحل، ایجاد یک کانال مطمئن برای کنترل سیلاب، کشتیرانی و کنترل فرسایش می‌باشد.

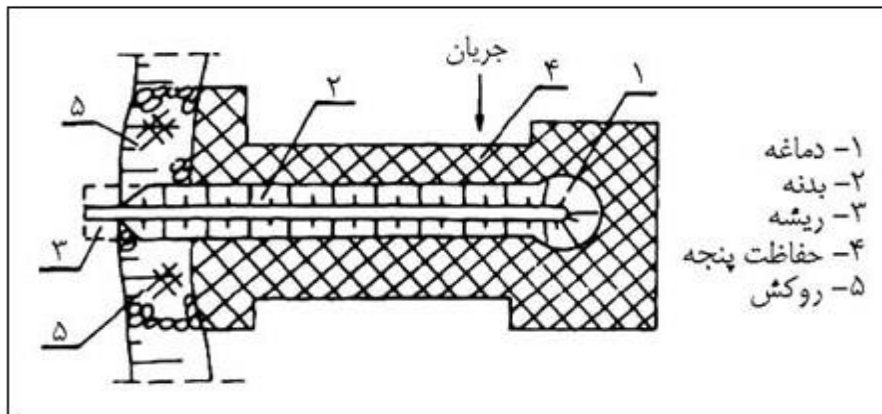
برای آبشکن در مراجع مختلف نام‌های *Epi*، *Groyne*، *Groin*، *Spur Dike*، *Dike*، *Getteis*، *Wings Dams*، *Transvers Dike*، *Cross Dike*، *Contracting Dike*، *Spur Dams*، *Cross Dams* آمده است.

## ۱-۲- ساختار عمومی آبشکن

ساختار عمومی یک آبشکن شامل اجزای زیر می‌باشد [۳] :

- ۱- دماغه یا پنجه که به علت مقاومت در برابر جریان و حفاظت در برابر آبشستگی بستر گسترده‌تر ساخته می‌شود،

- ۲- بدنه یا ساقه و تاج که بدنه اصلی آبشکن را تشکیل می‌دهد،
- ۳- ریشه یا تکیه‌گاه که نقش پایداری ساقه از طریق اتصال قفل‌شدگی آبشکن به دیواره رودخانه را به عهده دارد،
- ۴- حفاظت پنجه که جهت ایمنی آبشکن در برابر آبشستگی عمومی و موضعی در دماغه و پیرامون بدنه آبشکن حیاتی می‌باشد،
- ۵- حفاظت سطحی که پوشش حفاظتی آبشکن و دیواره طبیعی رودخانه از خطر فرسایش و تخریب است. ساختار عمومی یک آبشکن در پلان در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ نمایش ساختار عمومی یک آبشکن در پلان [۳]

### ۳-۱- اهداف احداث آبشکن

- طراحی و اجرای آبشکن‌ها با هدف‌های مختلفی صورت می‌پذیرد که برخی از آنها عبارتند از [۲]:
- ایجاد یک جریان آرام به منظور رسوب‌گذاری در محدوده بین آبشکن‌ها،
  - ایجاد یک ساحل جدید بعد از پر شدن محدوده بین آبشکن‌ها به وسیله رسوب،
  - جلوگیری از حمله جریان به دیواره ساحلی در محل قوس خارجی،

- ایجاد عرض مناسب برای جریان و تثبیت راستای جدید رودخانه،
- افزایش عمق جریان و مناسب کردن رودخانه برای اهداف کشتیرانی، شکل (۱-۳)،
- جلوگیری از یخ زدگی ساحل رودخانه<sup>۱</sup>،
- مباحث زیست محیطی (استفاده از جریان ایجاد شده برای بهبود شرایط زیستی موجودات داخل دروازه).



شکل ۱-۳ آبشکن‌های احداث شده در رودخانه‌ی راین آلمان به منظور تسهیل کشتیرانی [۲]

## ۱-۴- انواع آبشکن

### ۱-۴-۱- مصالح و روش ساخت آبشکن

آبشکن‌ها از نظر مصالح و روش ساخت، شکل ظاهری و تأثیر آن‌ها بر روی جریان رودخانه‌ای به انواع مختلف تقسیم می‌گردند [۱]:

---

<sup>۱</sup> Ice jamming