فصل اول: مقدمه و هدف

۱-۱- مقدمه

تاریخ بشر سراسر مبارزه برای کنترل آب بوده است و بشر سعی نموده که آب را برای مصارف شرب، صنعتی و کشاورزی تحت کنترل خود در آورد و همچنین بتواند خود را از صدمات اجتماعی طغیان آب مصون دارد. روش معمول برای کنترل آب سدسازی است که از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته است. مهمترین مسئله در سدسازی حجم مصالح و نوع آن می باشد و همواره حجم زیاد مصالح مصرفی، بشر را بر آن داشته تا از تکنیکهای مدرن‌تر برای سدسازی استفاده کند تا از حجم زیاد عملیات اجرائی بکاهد. نصب سدهای لاستیکی یکی از راه حلهای نوینی است که در سالهای اخیر جهت نیل به اهداف فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد.[سازمان آب منطقه ای مازندران،۱۳۸۱]

سد لاستیکی یک لوله قطور لاستیکی می باشد که در امتداد مقطع عرضی رودخانه نصب می‌گردد و با پر و خالی کردن آن با هوای فشرده یا آب بصورت مانعی با ارتفاع دلخواه بر سر راه آب رودخانه ایجاد می گردد(رجوع شود به شکل۱-۱).سیستم تغذیه کننده در اینگونه سدها هوا یا آب را به‌عنوان یک ماده پرکننده به درون تیوپ لاستیکی هدایت می کند. در مواقع سیلابی نیز که ارتفاع سد کم می گردد، از طریق مجاری خاص ماده پر کننده به بیرون هدایت می شود. [احمدی،۱۳۸۲]

سد لاستیکی از جنس لاستیک تقویت شده با الیاف پلی استر از نوع پلی کلروپرن می باشد. این لاستیک در برابر شوری آب مقاوم است و با آب ترکیب نمی شود و در برابر عبور اجسام شناور درشت مثل تنه درختان و قطعات یخ مقاوم می‌باشد و در صورت آسیب دیدن به راحتی قابل ترمیم است.[شمسایی و همکاران، ۱۳۸۳]

۱-۲- تاثیر سد لاستیکی بر روی مرفولوژی رودخانه

در سدهای لاستیکی، چون سد در دبی های کم بسته است و تنها در مواقع طغیان بطور کامل باز می گردد لذا می توان گفت که تاثیر سد لاستیکی روی مرفولوژی رودخانه تنها در محدوده دریاچه پشت سد انحرافی خلاصه می‌گردد. بنابراین در صورتی که منظور از احداث سد کنترل بستر نباشد، سد لاستیکی بهتر از دیگر سدها عمل می کند و از طرف دیگر چون رسوب زدایی در تمامی عرض سد صورت می گیرد،لذا می توان رسوبات دریاچه پشت سد را به صورت پریودیک، بطور کامل تخلیه کرد و آن را آماده برای جذب رسوبات بعدی نمود. تنها تاثیری که سد لاستیکی روی بستر دارد آن است که چون تخلیه رسوبات در فصل برداشت آب صورت می گیرد،این عمل موجب تشکیل یک سری تپه‌های ماسه‌ای کوچک(Dunes) در پایین دست سد شده و یکنواختی عمق را در پایین دست بهم می زند. اثر این تپه های ماسه ای با اولین طغیان محو می‌گردد. [شمسایی و همکاران، ۱۳۸۳]

۱-۳-پیشینه پژوهش

به منظور انجام آزمایش در این زمینه احمدی(۱۳۸۲)، ۱۶ مدل سد لاستیکی ساخت. وی به منظور شبیه سازی مدل های فیزیکی به جای لاستیک از چوب توکای ضد آب که با دو لایه از رنگ سیلر پوشش داده شده بودند استفاده نمود. این مدل‌ها در ۴ ارتفاع ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متر با نسبت های مختلف α (نسبت فشار درونی سد به ارتفاع آن) برابر ۰/۵، ۱ ، ۱/۲ و ۱/۴ بودند و مقدار ضریب مذکور با داده های ضریب C آزمایش شده توسط انور مطابقت داده شد.

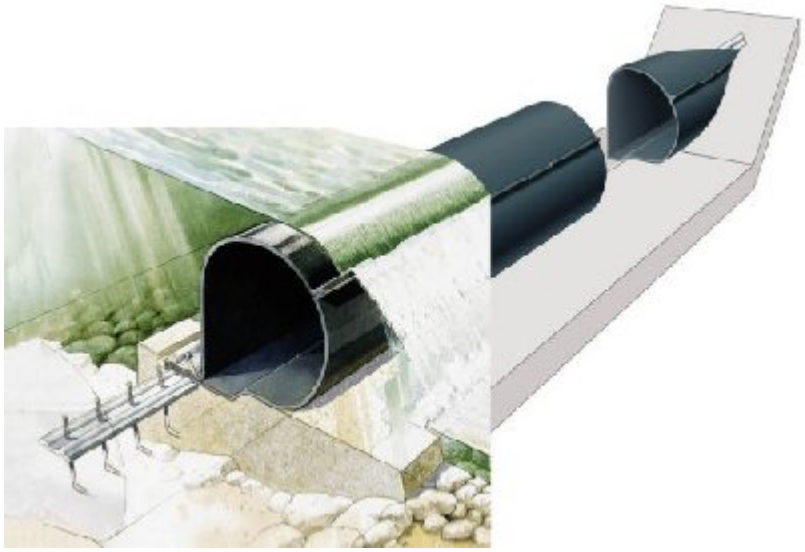
سروری نژاد (۱۳۸۶) بحث پرتاب کننده را وارد تحقیق نمود. وی نسبت ارتفاع پرتاب کننده به ارتفاع سد را ثابت در نظر گرفت و روی دو نوع پرتاب کننده مثلثی و مستطیلی کار کرد و

در نهایت نوع مثلثی را به دلیل کاهش ناآرامی جت جریان و افزایش طول پرتاب آب ارجح دانست.

حسینی(۱۳۸۷) افت انرژی جریان از روی سد با پرتاب کننده و بدون آن و در حالت وقوع پرش هیدرولیکی آزاد و مستغرق در پایین دست سد را مورد بررسی قرار داد.

۱-۴-هدف پژوهش

هدف از این تحقیق، بررسی افت انرژی جریان از روی سد ضمن تغییر در ارتفاع فنداسیون (ΔZ) با استفاده از مدل فیزیکی می باشد. در این پژوهش سطح بالشتک نسبت به کف رودخانه در هفت ارتفاع نصب می شود (چهار حالت بالشتک پایینتر از کف رودخانه ویک حالت بالشتک و کف رودخانه هم تراز و دو حالت بالشتک بالاتر از کف رودخانه) و میزان افت انرژی ارزیابی میگردد. توضیح اینکه باتوجه به تحقیقات سروری از پرتاب کننده مثلثی با زاویه نسب ۴۵ درجه و h' (ارتفاع پرتاب کننده) ثابت در ازمایشات استفاده می گردد



شکل۱-۱: نمای کلی از سد لاستیکی نصب شده در رودخانه

۱-۵- الگوی مطالب پایان نامه

به منظور ارائه بهتر کارهای انجام شده در این پژوهش سعی می گردد تا موضوعات مورد مطالعه در فصول جداگانه و بصورتی که شرح مختصر آن درج گردیده است، در این پایان نامه ارائه گردد.

فصل اول: مقدمه و هدف

فصل دوم: شناخت سدهای لاستیکی و پیشینه تحقیق

فصل سوم: بررسی هیدرولیک عبوری جریان

فصل چهارم: مواد و روشها و مشاهدات آزمایشگاهی

فصل پنجم: نتایج و تجزیه و تحلیل داده ها

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل دوم: شناخت سدهای لاستیکی و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

یکی از جدیدترین ماده هایی که در سالهای اخیر در کشورهای مختلف دنیا برای ساخت سد یا سرریز مورد توجه قرار گرفته است، ماده مصنوعی لاستیک می باشد. با وجود اینکه از لاستیک در صنعت آب به صورت خاص استفاده فراوان می گردد، اما استفاده از این ماده در ساخت سد سابقه چندان طولانی ندارد. در این فصل جهت شناخت سدهای لاستیکی (سرریزهای لاستیکی) مطالبی در بخشهای جداگانه ارائه گردیده است.

۲-۲-شناخت سدهای لاستیکی

۲-۲-۱-تعریف سد لاستیکی

سد لاستیکی عبارت از یک جسم استوانه‌ای خوابیده، از جنس لاستیک می باشد که در امتداد عرض رودخانه نصب می گردد. با پر و خالی کردن جسم استوانه ای مذکور از هوای فشرده یا آب، بصورت مانعی با ارتفاع دلخواه بر سر راه آب رودخانه استقرار پیدا می کند و موجب بالا آمدن سطح آب در بالادست می شود.

شکل ۲-۱: نمونه ای از سد لاستیکی جهت افزایش آبخور کشتی ها

۲-۲-۲-تاریخچه سدهای لاستیکی

ایده استفاده از سدهای لاستیکی اولین بار در سال ۱۹۵۰ توسط ایمبرسون **(Imbertson)** مطرح شد.در سال ۱۹۶۵ اولین سد لاستیکی بادی در ژاپن برای ذخیره سازی آب به بهره برداری رسید. در سال ۱۹۶۸ شرکت ژاپنی سومیتومو**(Sumitomo)** که در صنعت برق دست داشت،تکنولوژی سدهای لاستیکی را از آمریکا فراگرفت. در سال ۱۹۷۸ یک شرکت ژاپنی دیگر به نام بریجستون **(Bridgeston)** یک نوع سد لاستیکی بادی را معرفی کرد وآن را در سال ۱۹۸۲ به بازار جهانی عرضه نمود.

سد لاستیکی بر روی رودخانه ایندوس **(Indus)** هنگ کنگ از اولین موارد استفاده از سدهای لاستیکی می باشد. بلندترین سد لاستیکی، به وسیله شرکت سومیموتو**(Sumitomo)** در فوکوشیمای ژاپن برای گرفتن برق آبی ساخته شده که ۶ متر ارتفاع و ۳۴/۵ متر عرض دارد. همچنین در سال ۱۹۸۸ یکی از طولانی ترین سدهای لاستیکی جهان به منظور مصارف تفریحی توسط شرکت بریجستون**(Bridgestone)** بر روی رودخانه **Susquehana** در آمریکا ساخته شد که دارای ۲/۴۴ متر ارتفاع، ۶۰۹ متر طول، ۶ دهنه ۸۸/۷ متری و یک دهنه ۵۳/۴ متری می باشد**.** [Tam,1998].

۲-۲-۳- انواع سد لاستیکی

متداولترین طبقه بندی سدهای لاستیکی بر اساس نوع سیال تغذیه کننده درون تیوپ لاستیکی می‌باشد. بر این اساس سدهای لاستیکی به دو دسته تقسیم میشوند:

۱- سد لاستیکی بادی **air inflated rubber dam**

۲- سد لاستیکی آبی **water inflated rubber dam**

۲-۲-۳-۱- مزایای سد لاستیکی بادی نسبت به آبی

مزایای سد لاستیکی بادی نسبت به آبی عبارتند از:

۱-دسترسی به هوای تمیز با حجم زیاد آسانتر از دسترسی به آب تمیز با حجم زیاد می باشد

۲-هزینه کمتر پر کردن سدهای لاستیکی با هوا نسبت به پر کردن سدهای لاستیکی با آب

۳-گرفتگی لوله های آب اغلب به خاطر وجود رسوبات موجود در آب

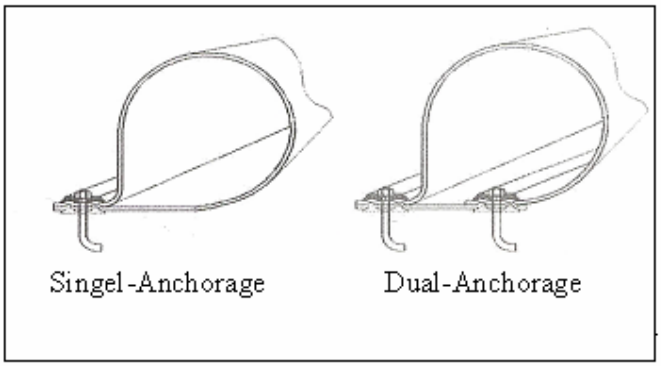
۴-امکان یخزدگی در سدهای آبی در هوای سرد وجود دارد

۲-۲-۳-۲-طبقه بندی سدهای لاستیکی بر اساس چگونگی نسب

سدهای لاستیکی بر اساس چگونگی نصب نیز تقسیم بندی می شوند.این تقسیم بندی بصورت زیر می باشد:

۱-نصب یکطرفه **(Singel-Anchorage)**

۲-نصب دو طرفه(**Dual-Anchorage)**



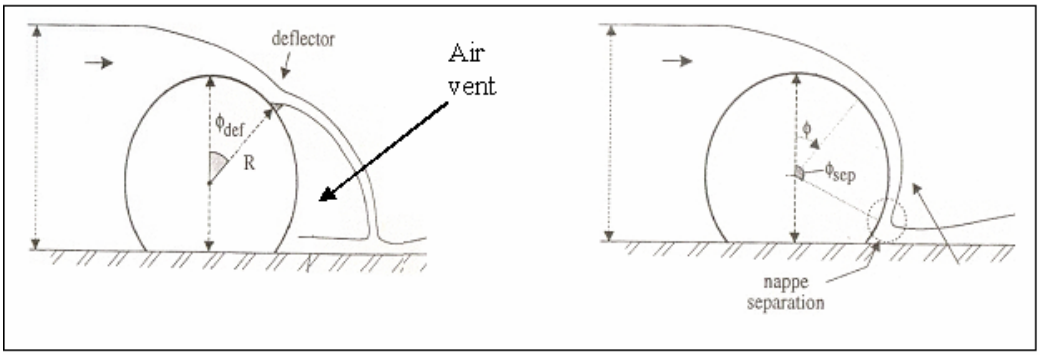
شکل ۲-۲ : چگونگی نصب سد لاستیکی

۲-۲-۳-۳- طبقه بندی بر اساس وجود یا عدم وجود پرتاب کننده

جهت تامین سیستم هوادهی و جلوگیری از پدیده لرزش از زائدهای بنام پرتاب کننده (**Deflector**) استفاده می شود. که بر این اساس می توان سدهای لاستیکی را به دو دسته تقسیم بندی کرد:

۱-سدهای لاستیکی با پرتاب کننده

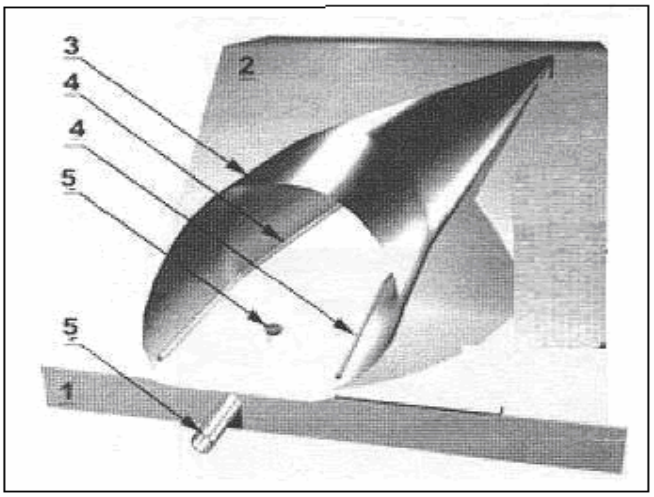
۲-سدهای لاستیکی بدون پرتاب کننده



شکل ۲-۳ : سد لاستیکی با پرتاب کننده و بدون پرتاب کننده

۲-۲-۴-اجزاء تشکیل دهنده یک سد لاستیکی

قسمت‌های تشکیل دهنده یک سد لاستیکی عبارتند از:



شکل۲-۴ : اجزای کلی یک سد لاستیکی

۱- بالشتک بتنی

۲- تکیه گاه شیب دار کناری

۳- پوسته لاستیکی

۴- بست نگهدارنده در بالا دست و پایین دست سد

۵- لوله تغذیه

۲-۲-۴-۱- بدنه سد

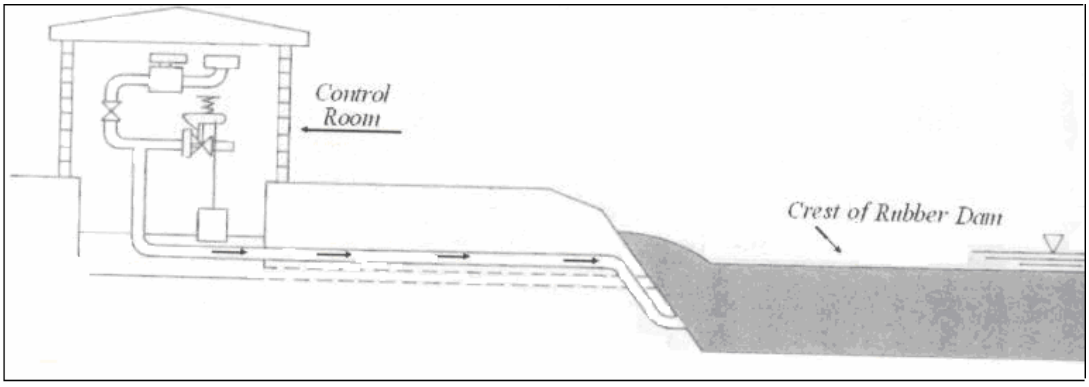
بدنه سد مهم‌ترین جزء تشکیل دهنده سدهای لاستیکی می باشد که ترکیبی از لاستیک و الیاف تقویت کننده بوده و به صورت ورق تولید می شود. ورقه های لاستیکی در طول های مورد نیاز به عرض ۲-۱ متر تولید می گردد که از اتصال آنها به یکدیگر به صورت عرضی، بدنه سد به صورت یکپارچه ایجاد می‌شود. برای حفاظت بدنه در برابر عوامل جوی و اجسام معلق در آب از موادی چون کلروپرن (**CR**) و اتیلن پروپیلن مونومر (**EPDM**) که هر دو ماده مقاومت بالایی در برابر عوامل جوی و تغییرات گسترده درجه حرارت محیط دارند، استفاده می‌شود. [حسینی، ۱۳۸۷].

۲-۲-۴-۲- بستر سد و تجهیزات مهار

بستر سدهای لاستیکی از کف بند بتنی **(Apron)**، پیچ و پروفیل تشکیل شده است. پیچها و پروفیلها تنها قسمت فلزی سدهای لاستیکی می باشند که در برابر آب قرار دارند. جنس آنها از فولاد ضدزنگ میباشد و لذا در مجاور آب زنگ نمی زنند.

۲-۲-۴-۳- اتاق کنترل و سیستم نگهداری

ابعاد یک اتاق کنترل استاندارد در حدود ۱۰ متر مربع می باشد. اتاق کنترل شامل یک قاب کنترل و یک کمپرسور هواست و در میان کف اتاق کنترل نیز مکانی جهت استقرار سیستم تخلیه خودکار مکانیکی پیش بینی شده است.



شکل ۲-۵: اتاق کنترل سد لاستیکی

۲-۳- مقایسه سد لاستیکی و بتنی از نظر تاثیر بر روی مرفولوژی رودخانه

در سدهای انحرافی بتنی با ایجاد سد بر روی رودخانه یک نقطه کنترل برای بستر بوجود می آید و پس از مدت کوتاهی پشت سد از رسوب پر می‌گردد. پس از پر شدن مخزن به علت کاهش شیب بالادست، قابلیت حمل رسوب توسط آب کم می شود. این موضوع باعث می گردد تا رسوب گذاری بیشتری در بالادست سد صورت گرفته و رودخانه در بالادست به اندازه ارتفاع سد بالا بیاید. این مسئله

تا جایی ادامه می یابد که به یک نقطه دیگر برخورد شود. در پایین دست سد انحرافی مسئله برعکس است. برای آن که تاثیر موضوع بیشتر مشخص گردد دو حالت مختلف زیر مورد بررسی قرار می گیرد:

الف- حالتی که میزان آب برداشته شده (Q_D) نسبت به آب موجود در رودخانه(Q_R) ناچیز باشد:

در این حالت مقداری از رسوبات به علت احداث سد انحرافی در بالادست ته نشین می شوند و دبی رودخانه در پایین دست تقریبا" تغییر نمی کند، بنابرین آب در پایین دست همان قدرت شستشوی قبلی خود را دارا می باشد. این موضوع موجب می شود تا رسوب برداری از کف بستر در پایین دست انجام گیرد. این امر تا جائی که شیب پایین دست رودخانه کاهش یافته و در نتیجه قدرت حمل رودخانه کم شود ادامه می یابد.

ب- حالتی که Q_D نسبت به Q_R قابل ملاحظه باشد:

در این حالت آب زیادی توسط کانال آبگیر از رودخانه برداشت و رسوب آن مجددا" به رودخانه وارد می گردد. بعبارت دیگر در پایین دست دبی کم شده ولی رسوب تغییری نکرده است. در این حالت تغییرات کف بستر در پایین دست کمتر است و ممکن است بسته به نوع بستر، پایین دست بالا بیاید و موجب افزایش شیب گردد.

در سدهای لاستیکی، چون سد در دبی های کم بسته است و تنها در مواقع طغیان بطور کامل باز می‌گردد لذا می توان گفت که تاثیر سد لاستیکی روی مرفولوژی رودخانه تنها در محدوده دریاچه پشت سد انحرافی خلاصه می گردد. بنابراین در صورتی که منظور از احداث سد کنترل بستر نباشد، سد لاستیکی بهتر از سد بتنی عمل می کند و از طرف دیگر چون رسوب زدایی در تمامی عرض سد صورت می گیرد، لذا می‌توان رسوبات دریاچه پشت سد را به صورت پریودیک، بطور کامل تخلیه کرد و آن را آماده برای جذب رسوبات بعدی نمود. تنها تاثیری که سد لاستیکی روی بستر دارد آن است که چون تخلیه رسوبات در فصل برداشت آب صورت می گیرد، این عمل موجب تشکیل یک سری تپه

های ماسه ای کوچک(**Dunes**) در پایین دست سد شده و یکنواختی عمق را در پایین دست بهم می‌زند. اثر این تپه های ماسه ای با اولین طغیان محو می گردد. [شمسایی و همکاران، ۱۳۸۳]

۲-۴- اهداف کلی از ساخت سدهای لاستیکی:

۱) کنترل سیلاب درردخانه های مجاور نواحی کوهستانی

۲) افزایش ارتفاع سدهای بتنی به منظور افزایش حجم ذخیره آب

۳)کاهش هزینه پمپاژ آب به نواحی کشاورزی و افزایش سطح تراز آب رودخانه ها در جهت آبخور قایقها و کشتیها

۴) استفاده به عنوان بندهای انحرافی و تنظیمی

۵) جداسازی آب های آلوده یا آب شور از آب های شیرین

۶) کاهش فرسایش در رودخانه های با شیب تند و زیاد

۷) اجرای طرح های تغذیه مصنوعی سفره های آب زیرزمینی با کمک سد های لاستیکی

۹) زیباسازی چهره شهرها و ایجاد جاذبه گردشگری با نصب سدهای لاستیکی رنگی

شکل ۲-۶ : سد لاستیکی به منظور افزایش ارتفاع سد بتنی

شکل ۲-۷ : سد لاستیکی رنگی جهت زیباسازی چهره شهرها

۲-۵- سدهای لاستیکی ساخته شده در دنیا

در حال حاضر سد لاستیکی در بسیاری از نقاط جهان، در شرایط مختلف آب و هوایی و برای مقاصد مختلف استفاده می‌شود و بسیاری از کشورها از جمله آمریکا، استرالیا، ژاپن، ایتالیا، چین و هنگ کنگ به ساخت و استفاده از آنها ترغیب شده اند.

۲-۶- سد لاستیکی ساخته شده در ایران

۲-۶-۱- سد لاستیکی میاندشت

سد لاستیکی میاندشت بابلسر بر روی رودخانه بابلرود به طول ۷۰ متر و ارتفاع ۲/۸ متر در سال ۱۳۷۵ نصب و راه اندازی شد. هدف از احداث این سد که به عنوان جایگزین بند خاکی در نظر گرفته شد، جلوگیری از طغیان آب شور رودخانه ناشی از نوسانات زیاد دریای خزر بوده است (افزایش سطح آب طی دو دهه گذشته در این منطقه بیش از ۲ متر بوده است). شایان ذکر است که خروجی آب برای مصارف کشاورزی از بالادست سد صورت می گیرد. این سد از نوع بادی و با سیستم کنترل اتوماتیک بوده که لوله‌ها و بستهای زیر بنا از جنس فولاد ضد زنگ و لوله‌های اتاق کنترل و اتصالات از جنس **pvc** انتخاب شده اند.

شکل۲-۸: سد لاستیکی میاندشت بر روی رودخانه بابلرود

۲-۶-۲- سد لاستیکی عرب خیل

این سد در سال ۱۳۸۳ به طول ۴۵/۵ متر و ارتفاع ۳ متر روی رودخانه تالار در نزدیکی شهرستان بابلسر به منظور ذخیره سازی و تامین آب اراضی حاشیه رودخانه ساخته شده است.

شکل ۲-۹: سد لاستیکی عرب خیل

۲-۶-۳- سد لاستیکی آرمیچ کلا

این سد با حجم ذخیره ۱/۱ میلیون مترمکعب با هدف ذخیره سازی و تامین آب اراضی حاشیه رودخانه بابلرود در منطقه آرمیچ کلا در نزدیکی بابلسر و به طول ۵۰/۵ متر و ارتفاع ۳/۵ متر در سال ۱۳۸۴ احداث گردید. با بهره برداری از این سد سالانه ۶ میلیون متر مکعب آب تنظیم و در اختیار ۸۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی قرار می‌گیرد.

شکل۲- ۱۰: مراحل ساخت سد لاستیکی آرمیچ کلا در نزدیکی بابلسر

۲-۶-۴- بند لاستیکی امیر

این سد بادی در بخش زرقان شیراز روی رودخانه کر احداث شده است و ظرفیت جریانی در حدود ۳۸۰ متر مکعب در ثانیه را دارا بوده و دهانه ای به ارتفاع ۱/۶ متر از کف بند بتنی و طول ۳۹ متر در کف و ۴۴ متر در تاج دارد. هدف از ساخت آن بالا آوردن سطح آب رودخانه کر به منظور تسهیل آبگیری و بهبود و توسعه آبیاری ثقلی حدود پانزده هزار هکتار از اراضی ساحل چپ و راست بند امیر است و خصوصیت اصلی آن ایجاد تیغه آب سرریزی به ارتفاع ۶۰ سانتی متر می باشد.

شکل۲-۱۱ : سد لاستیکی بند امیر بر روی رود خانه کر

۲-۷- پیشینه تحقیق

۲-۷-۱- انور

او اولین فردی است که تحقیقات گسترده‌ای راجع به هیدرولیک جریان از روی سدهای لاستیکی انجام داده است. وی با ساخت مدل فیزیکی سد به محاسبه پروفیل سد در شرایط هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک با دوسیال پر کننده هوا و آب پرداخت. نتایج کار وی در موسسه تحقیقات هیدرولیکی والینگ فورد (**Walling ford**) انگلستان مورد آزمون و مقایسه قرار گرفت.

حداکثر مقدار سرریزی که پس از آن سد شروع به لرزش می‌کند به همراه تعیین ضریب دبی در آزمایشگاه از پارامترهای مورد بررسی بوده اند[Anwar,1967].

۲-۷-۱-۱- شرایط هیدرواستاتیک از نظر انور

در شکل (۲-۱۲) که اجزاء مدل دو بعدی سد را نشان می دهد رقوم سطح آب در تراز **H** قرار دارد و فشار درونی سد متناسب با این ارتفاع لحاظ شده است. همانگونه که مشاهده می شود شکل سد در پایین دست شبیه به نیم دایره و در بالادست به صورت منحنی می باشد.

$$p_i = \alpha \rho g H \qquad (۱-۲)$$

$$T = \frac{1}{2} p_i H = \frac{1}{2} \alpha \rho g H^2 \qquad (۲-۲)$$

$$H_p = \frac{1}{2} \alpha \rho g H^2 + \frac{1}{2} \rho g y^2 - p_i y \qquad (۳-۲)$$

$$V_P = \rho g \int f(x) dx - p_i x \qquad (۴-۲)$$

که در آن:

$\mathbf{P_i}$: فشار درونی سد

α:ضریب فشار درونی سد

ρ: جرم مخصوص سیال پر کننده

g: شتاب ثقل

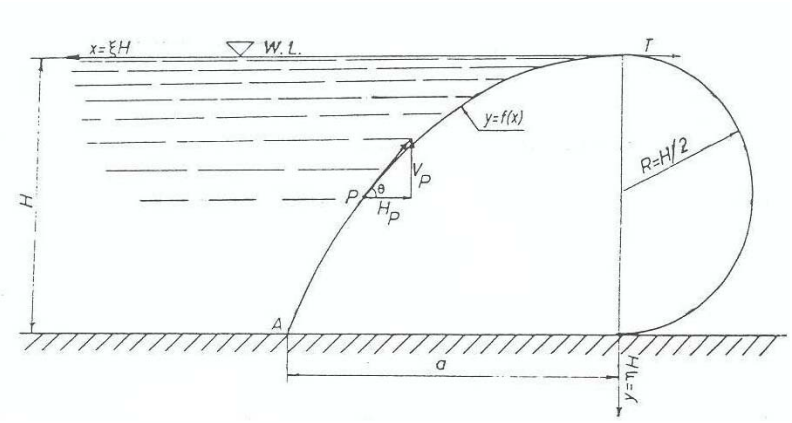
H: ارتفاع سد

T: نیروی افقی در تاج سد

H_P: مولفه افقی نیروی ناشی از فشار هیدرواستاتیک آب در نقطه دلخواه **p**

y :ارتفاع نقطه دلخواه **p** از کف

V_P: مولفه عمودی نیروی ناشی از فشار هیدرواستاتیک آب در نقطه دلخواه **p**



شکل۲-۱۲: نمایی از سد لاستیکی بادی

انور با حل معادله اخیر و اعمال شرایط مرزی سرانجام معادله (۲-۵) را به دست آورد.

$$\xi = \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \int_{\arccos\left(\frac{\eta}{\alpha}-1\right)}^{\pi} \left[\frac{1-\alpha(\sin\varphi)^2}{\sqrt{1-\frac{\alpha}{2}(\sin\varphi)^2}} \right] d\varphi \qquad (۲-۵)$$

که در آن:

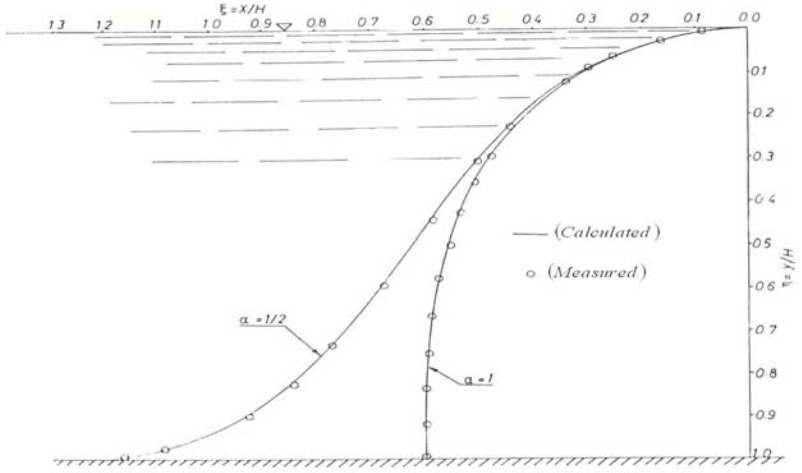
φ: پارامتری بدون بعد معرف شکل تابع سد لاستیکی

ξ:طول از مبدأ مختصات (تاج سد)

η:عرض از مبدأ مختصات (تاج سد)

با قرار دادن عمق دلخواه از صفر تا **H** در معادله اخیر و محاسبه ξ پروفیل سد در بالادست محاسبه خواهد شد.

این معادله برای $\alpha = ۱$ و $\alpha = \frac{۱}{۲}$ حل شده و نتایج در شکل (۲-۱۳) ارائه گردیده و همانطور که مشاهده می‌شود در $\alpha = 1$ ، $\mathbf{H_P}$ در نقطه **A** صفر می‌باشد.



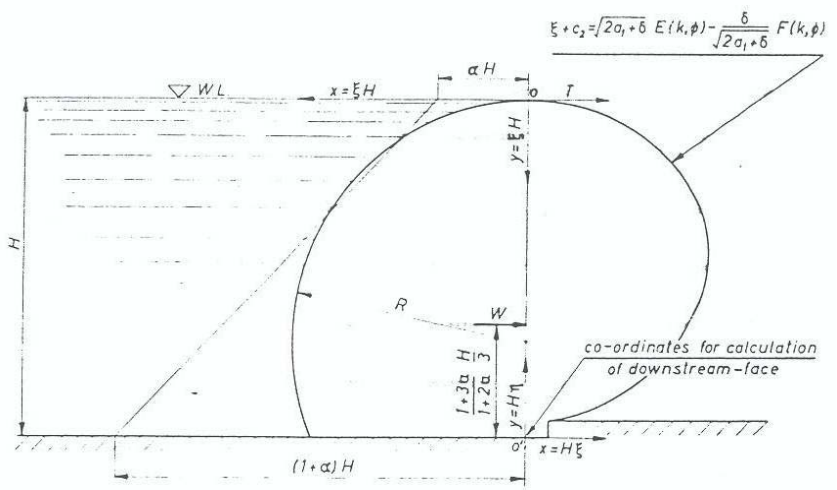
شکل ۲-۱۳: مقایسه بین دو حالت مقطع سد لاستیکی بادی با ضرایب فشار درونی متفاوت

در سدهای آبی هم آزمایشات مشابهی انجام شده است با این تفاوت که شکل سد در پایین دست نیم دایره نمی باشد.

۲-۷-۱-۲- شرایط هیدرودینامیک از نظر انور

نتایج محاسبات در شکل(۲-۱۴) نشان می‌دهد که $\beta = \left(\frac{\alpha}{H}\right)$ وابسته به نسبت بدون بعد سرریز جریان ، $\sigma = \left(\frac{h}{H}\right)$ است و بین محاسبات و نتایج آزمایشگاهی به جز مقادیر بزرگ σ توافق خوبی برقرار است؛ زیرا این فرضیه بر اساس تیغه هوادهی شده و وجود فشار اتمسفریک در تاج سد شکل گرفته است. به علاوه در مقادیر زیاد سرریز $(\sigma > 0.25)$به دلیل لرزش غشا اندازه گیری‌های پروفیل مشکل می‌شود.

لرزش از میانه بالادست سد شروع شده و در $\sigma = 0.7$ به تاج می‌رسد و در مقادیر کمتر α لرزش بیشتر خواهد بود؛ در صورتیکه در سد آبی از $(\sigma > 0.6)$ لرزش آغاز شده و در α بزرگتر پایداری سد بیشتر خواهد بود.



شکل۲-۱۴: توصیف اجزا و مختصات سد لاستیکی آبی

وی در نهایت به این نتیجه رسید که شکل پروفیل سد به خصوص در زمان فشار درونی بزرگتر در دو حالت هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک تفاوت چندانی ندارد. همچنین ثابت کرد که مقدار ضریب دبی متناسب با نسبت بدون بعد سرریز است.

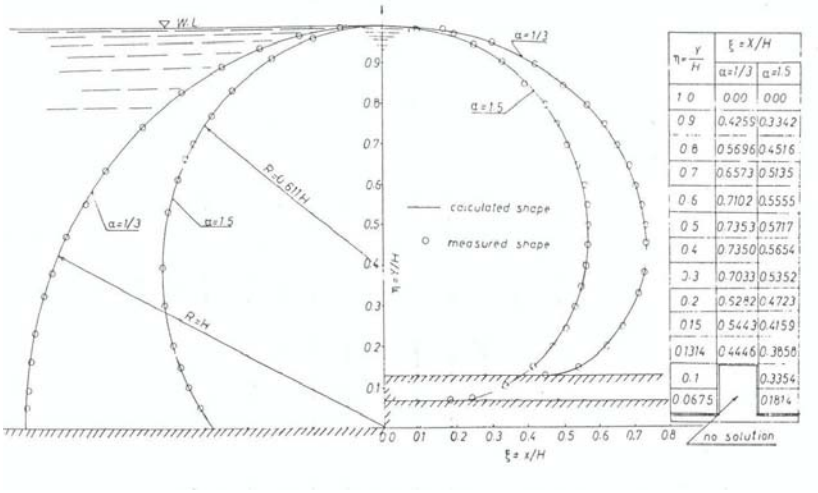
$$C = F\left(\frac{h}{H}\right) \qquad (۶-۲)$$

$$q = ch\sqrt{2gh} \qquad (۷-۲)$$

q: دبی در واحد عرض $\left(\frac{m^3}{s/m}\right)$

h: هد بالادست بر حسب **m**

در سدهای بادی، **c** بین ۰/۴ تا ۰/۷ برای $۰/۲ < \frac{h}{H} < ۰/۷$ متغیر خواهد بود. در سدهای آبی برای همین محدوده مقادیر ضریب دبی کمتر خواهد بود [Anwar,1967].

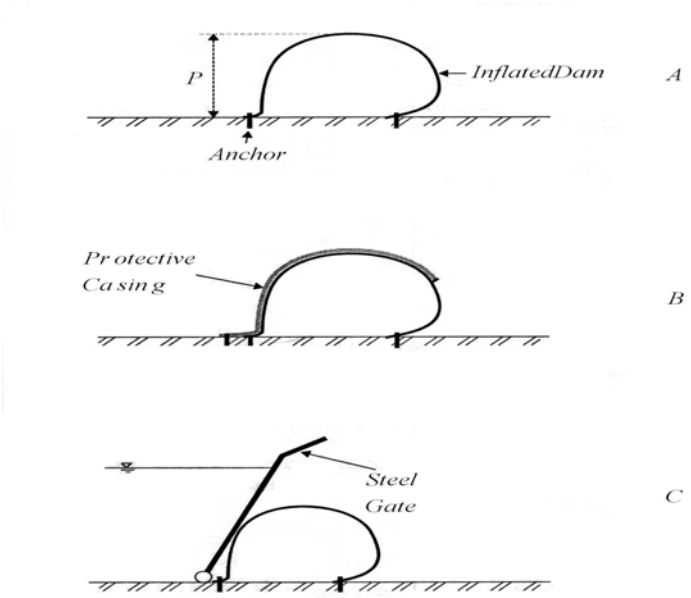


$\eta=\frac{Y}{H}$	$\xi=X/H$	
	α=1/3	α=1.5
1.0	0.00	0.00
0.9	0.4259	0.3342
0.8	0.5696	0.4516
0.7	0.6573	0.5135
0.6	0.7102	0.5555
0.5	0.7353	0.5717
0.4	0.7350	0.5654
0.3	0.7033	0.5352
0.2	0.5282	0.4723
0.15	0.5443	0.4159
0.1314	0.4446	0.3858
0.1		0.3354
0.0675		0.1814

شکل ۲-۱۵: مقایسه مقطع سد لاستیکی آبی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده

۲-۷-۲- چنسون

با مطالعه هیدرولیک جریان در حالت سد کاملاً خوابیده و کاملاً ایستاده مطالعاتی در مورد پرتاب کننده انجام داد. ایشان درباره مکان نصب زائده یا **deflector** و پدیده جداشدگی در زمان نبودن **deflector** بررسی های زیادی انجام داد [Chanson,1996].



شکل ۲-۱۶: شیوه های نصب سد لاستیکی