JECM
Journal of Engineering & Construction Management

فصلنامه علمی تخصصی
سال اول ، شماره سوم
پائیز ۱۳۹۵

مهندسی و مدیریت ساخت

- **بررسی عملکرد شمع های حفاظتی بر کنترل و کاهش آبشستگی پایه پل های استوانه ای**
  سید امیرحسین محمودی، منوچهر حیدرپور
- **بررسی اثر دیواره های قوس دار بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در سرریز پلکانی**
  سیده مهدیس کنعانی، رامین فضل اولی، علی رضا عمادی، جانعلی تقوی
- **اثر سدهای تأخیری در کنترل و مهار سیلاب رودخانه های شهری**
  مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه وردآورد | بهرنگ نورکرمی، محمد عامل صادقی، حسام وطن دوست
- **اثر طول زهکش افقی بر دبی نشتی، نیروی زیرفشار و گرادیان هیدرولیکی در سد خاکی همگن توسط شبیه سازی عددی**
  علی محمود ، محمد بدخشان، ابوذر سیفی
- **مرمت، شبیه سازی و نوآوری سازه های بدیع آبی : راهگشای میراث آیندگان ایران**
  مهدی یاسی
- **مروری برانواع فیلترها از نظر مقاومت در برابر فرار مصالح در سازه های ساحلی و مقایسه آنها**
  امیر ارسلان کرمی متین، مهدی شفیعی فر

Journal of Engineering & Construction Management

JECM
Journal of Engineering & Construction Management

Vol. 1 , No. 3
Autumn 2016

- **Evaluate the performance of the control and reduction of scour protection of bridge piers cylindrical candles**
  Seyed Amir Hossein Mahmoudi, Manouchehr Heidar Pour
- **The effect of flow on stepped spillway walls of the Arch parameters**
  Seyede Mahdis Canaanie, Ramin fazl oula, Ali Reza Emadi, Janali Taghavi
- **The effect of detention dams on the river urban flood control**
  Case Study (Vardavard River catchment) | Behrang Nourkarami, Mohammad Amelsadeghi, Hesam Vatandost
- **The effect on the leakage flow along the horizontal drainage, power, drifted and hydraulic gradient in homogeneous earth dam by numerical simulation**
  Ali Mahmoud, Mohammad Badakhshan, Abozar Seifi
- **Repair, simulation and innovation water innovative structures: a guide for posterity the heritage of Iran**
  Mehdi Yasi
- **Review the types of filters in terms of resistance upon materials' volatile in the coastal structures and their comparison**
  Amir Arsalan Karami Matin, Mehdi Shafieefar

بسم الله الرحمن الرحیم

JECM
Journal of Engineering & Construction Management

مهندسی و مدیریت ساخت

فصلنامه علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت

صاحب امتیاز و مدیر مسئول: دکتر روح اله طاهرخانی
سردبیر: دکتر محمد علی نکوئی
جانشین سردبیر: دکتر حمید رضا کاظم پور
مدیر اجرایی: ساره رودباری

همکاران علمی: دکتر روح اله طاهرخانی، دکتر رضا ضیائی موید، دکتر امیر عباس رصافی، دکتر محمد مهدی معمارپور، دکتر مهدی مهدی خانی، دکتر محمد علی نکوئی، دکتر حمید رضا کاظم پور، دکتر فرزین چاره جو، دکتر حمیدرضا عباسیان جهرمی، دکتر ناصر شمس کیا

همکاران اجرایی: امیر حسین حاجی بابایی، اشکان کاظمی، ارغوان اکبریه، مریم تقی زاده، پرستو نصری سیمیاری، هدیه کشاورز

طراحی: مریم حدادی
صفحه‌بندی: ساره رودباری
ویراستار فارسی: زهرا شعربافتچی
ویراستار انگلیسی: سمیه میرزا بابایی

شمارگان: ۱۰۰۰
قیمت: ۲۰۰۰۰ تومان

نشانی: تهران، بلوار آیت‌اله کاشانی، گلهای دوم، کوچه بنفشه، پلاک ۵
صندوق پستی: ۱۴۷۱۸۳۶۴۷۶۵
تلفن و نمابر: ۰۲۱۴۴۰۹۳۲۵۰
وبگاه: www.jecm.ir

تقدیر و تشکر: استاد عباس رحمانی (استاد خوشنویسی و عضو انجمن خوشنویسان ایران) جهت کتابت لوگوی فارسی فصلنامه

فهرست

بررسی عملکرد شمع‌های حفاظتی بر کنترل و کاهش آبشستگی پایه پل‌های ۷
استوانه‌ای

بررسی اثر دیواره های قوس دار بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در..... ۱۲
سرریز پلکانی

اثر سدهای تأخیری در کنترل و مهار سیلاب رودخانه های شهری..... ۱۶

مطالعه موردی (حوضه آبریز رودخانه وردآورد)

اثر طول زهکش افقی بر دبی نشتی، نیروی زیرفشار و گرادیان..... ۲۰
هیدرولیکی در سد خاکی همگن توسط شبیه سازی عددی

مرمت، شبیه سازی و نوآوری سازه های بدیع آبی : راهگشای..... ۲٤
میراث آیندگان ایران

مروری برانواع فیلترها از نظر مقاومت در برابر فرار مصالح در سازه‌های..... ۲۸
ساحلی و مقایسه آنها

فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره سوم ، پاییز ۱۳۹۵

بررسی عملکرد شمع‌های حفاظتی بر کنترل و کاهش آبشستگی پایه پل‌های استوانه‌ای

سید امیرحسین محمودی*
دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
منوچهر حیدرپور
استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

نویسنده مسئول: **سید امیرحسین محمودی**
آدرس ایمیل:
Amir.mahmoodi1991@gmail.com

چکیده:
مسئله آبشستگی یکی از مهم‌ترین مسائل در بحث مهندسی رودخانه می‌باشد. سالانه تعداد بسیار زیادی از پل‌ها در سراسر جهان تخریب می‌شوند که عمدتاً به‌دلیل سازه‌ای نیست. بلکه به‌دلیل در نظر نگرفتن نقش هیدرولیکی در طراحی آن‌ها می‌باشد. تعیین عمق آبشستگي از این جهت که بیانگر میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه بوده دارای اهمیت است. ازاین‌رو پیش‌گویی الگوی آبشستگی برای ایجاد ایمنی در سازه‌هایی که در معرض آب قرار دارند امری ضروری است. از جمله روش‌های کنترل و کاهش آبشستگی موضعی می‌توان از استفاده از زبری‌ها، طوق، صفحات مستغرق و شمع‌های حفاظتی نام برد. در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر شمع‌های حفاظتی در کنترل و کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌های استوانه‌ای پرداخته شده است. در این مطالعه از شمع‌های حفاظتی با آرایش مثلثی و تعداد ثابت ۵ شمع استفاده شده است. در این مطالعه با ثابت در نظر گرفتن اغلب پارامترها در آرایش شمع‌های مورد نظر، تنها با تغییر دو پارامتر اصلی زاویه راس و فاصله افقی شمع‌ها از یکدیگر متمایز می‌گردند. آرایش‌های مورد آزمایش در دو زاویه راس ۳۰ و ۴۵ درجه و فاصله افقی شمع‌ها از یکدیگر ۰/۷، ۱، ۱/۳ برابر قطر پایه، بر روی پایه با قطر ۳ سانتی‌متر مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با کاهش زاویه راس و یا کاهش فاصله افقی شمع‌ها راندمان شمع‌ها افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: پایه پل، آبشستگی موضعی، شمع‌های حفاظتی، توپوگرافی بستر

Evaluate the performance of the control and reduction of scour protection of bridge piers cylindrical candles

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
V. 01 No. 03 - autumn 2016

Seyed Amir Hossein Mahmoudi*
graduate student Department of Water Engineering University of Technology, Isfahan

Manouchehr Heidar Pour
Professor, Department of Water Engineering University of Technology, Isfahan

Corresponding author:
Seyed Amir Hossein Mahmoudi
Email address:
Amir.mahmoodi1991@gmail.com

۱- مقدمه

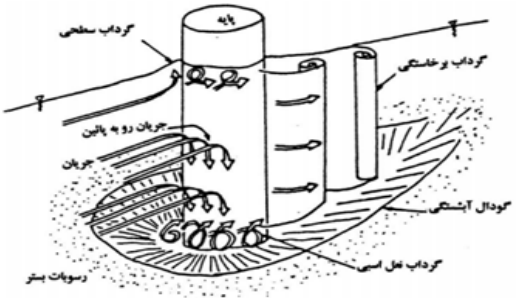
آبشستگی پدیده‌ای طبیعی است که بر اثر جریان آب در رودخانه‌هااتفاق می‌افتد. این پدیده بر اثر فرسایش بستر توسط جریان آب و حمل مواد بستر به وسیله نیرویی که جریان به بستر وارد می‌کند به‌وجود می‌آید.این پدیده در واقع در اثر اندرکنش نیروهای محرک و مقاوم است. حرکت ذره زمانی آغاز می‌گردد که نیروهای اعمال‌شده توسط جریان یعنی نیروی پسار (درگ) و برا (لیفت) که باعث جدا شدن ذره از بستر می‌شوند بر نیروی مقاوم ذره که وزن آن است غالب آید.

آبشستگی را به روش‌های مختلفی طبقه بندی می‌کنند. در طبقه بندی بر اساس علت بوجود آمدن، که شامل آبشستگی عمومی، آبشستگی ناشی از تنگ‌شدگی مقطع و آبشستگی موضعی است. این مطالعه بر پایه آبشستگی موضعی است بنابراین لازم است تعریفی از این آبشستگی ارائه گردد:

آبشستگي موضعي براثر ايجاد موانعي مانند پايه‌هاي پل‌ها، تكيه‌گاه‌هاي كناري و آب‌شكن‌ها در مسير جريان و در اطراف اين موانع رخ مي‌دهد. اين موانع مي‌توانند سرعت موضعي جريان و آشفتگي آن را افزايش دهند و بسته به شكل سازه مي‌توانند گردابه‌هايي ايجاد نمايند كه نيروهاي فرسايشي اضافي را بر بستر اطراف سازه اعمال نمايند. درنتيجه نرخ حركت رسوب و فرسايش به‌صورت موضعي در حوالي اين سازه‌ها افزايش مي‌يابد و منجر به پايين رفتن موضعي بستر نسبت به تراز عمومي بستر آبراهه مي‌گردد[۱].

۱-۱ مکانیزم آبشستگی

سرعت جریان در برخورد به پایه استوانه‌ای، در سطح پایه طبق اصل عدم لغزش صفر می‌گردد. با توجه به اینکه سرعت جریان از سطح آب تا بستر از میزان ماکزیمم به صفر کاهش پیدا می‌کند. فشار ایستایی بیشتري نیز در ترازهاي بالاتر به پایه واردشده که باعث به‌وجود آمدن گرادیان فشار و جریان از بالا به پایین می‌شود[۲و۳]. جریان رو به پایین در حین برخورد به بستر رودخانه، ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود و بخشي از آن به سمت بالادست برمي‌گردد. درنهایت در برخورد با جریان اصلي مجبور به حرکت به سمت پایین‌دست می‌گردد. چرخش آب داخل حفره جلو پایه به دو طرف پایه نیز کشیده می‌شود و درمجموع گرداب‌ي را ایجاد می‌نماید که در پلان به نعل اسب شبیه است و ازآن‌رو به آن گرداب نعل اسبي مي‌گويند[۴]. بر اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه سیستم گرداب برخاستگی به‌وسیله خود پایه به وجود می‌آید و جهت آن برعکس سیستم گردابي نعل اسبي، به‌طرف بالا است. محور این گرداب‌ها، تقریباً عمود بر کف بوده و مانند گردباد ذرات رسوب را از پایین به سمت بالا می‌مکد. همچنین سیستم موج کماني در جلوی پایه تشکیل می‌گردد. جریان موج کماني در جریان‌های کم‌عمق اهمیت دارد. به این دلیل که در جریان‌های کم‌عمق این گرداب با جریان اصلی تداخل پیداکرده و قدرت جریان روبه پایین را کاهش می‌دهد[۴].



شکل ۱- مکانیزم آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای [۲].

۱-۲ روش‌های کنترل و کاهش آبشستگی موضعی

با توجه به مطالب ذکرشده شناخت پدیده آبشستگي، به کار بردن روش‌ها براي کاهش آبشستگي اطراف پايه پل ضروري به نظرمي‌رسد. بطورکلی روش‌ها برای کنترل و کاهش آبشستکی در دو دسته کلی طبقه بندی می‌شوند. در بخش اول با بکارگیری مواد و مصالح متفاوت مانند انواع سنگ‌چین یا سنگریزه‌های حفاظتی در اطراف پایه سعی در جلوگیری از حرکت ذرات بستر می‌نمایند. در روش دیگر که مورد بحث مطالعه حاضر است با اضافه کردن ابزار به پایه یا به بستر سعی در حذف و یا کاهش قدرت عوامل فرسایشی نظیر جریان‌های ثانویه و گرداب‌های نعل اسبی می‌گردد. از جمله این روش‌ها می‌توان به شکاف درون پایه‌ها، پره‌های مستغرق، شمع‌های حفاظتی و ... اشاره نمود[۵].

یکی از روش‌های استفاده از شمع‌های حفاظتی است. پایه‌هاي فداشونده یک یا چندپایه هستند که در جلو پایه اصلي قرارگرفته و با انحراف جریان و کاهش سرعت جریان پایین‌رونده و به تبع آن، گرداب‌های نعل اسبی باعث کاهش عمق آبشستگي در پایه اصلي مي‌گردند. علاوه بر تغییر مسیر جریان توسط شمع‌های حفاظتی، مواد حاصل از فرسایش در فونداسیون این پایه‌ها نیز در اطراف پایه اصلی جمع می‌گردند و به کاهش عمق آبشستگی کمک می‌کنند. راندمان استفاده از شمع‌های حفاظتی به عوامل متعددی از جمله تعداد، اندازه، آرایش هندسی شمع‌ها و شرایط جریان (سرعت جریان، انحراف جریان نسبت به شمع‌های حفاظتی) بستگی دارد[۶].

۱-۳ بررسی منابع

از اولین مطالعات صورت گرفته در خصوص شمع‌های حفاظتی توسط چابرت و انگلدینگر (۱۹۵۶) بود که کارايي پايه‌هاي محافظ را در يک الگوي مثلثي در جلوي پايه اصلي مورد بررسي قرار دادند و بيشترين مقدار كاهش آبشستگي را برابر ۵۰ درصد گزارش كرده‌اند[۷]. در مطالعه دیگری که توسط ملویل و هادفیلد (۱۹۹۹) صورت گرفت راندمان ۵۶ درصدی برای آرایش مثلثی شمع‌های حفاظتی گزارش گردید و اشاره شد که شمع‌های حفاظتی در شرایط آب زلال راندمان بالاتری نسبت به شرایط بستر زنده از خود نشان می‌دهند[۸]. آرایش شمع‌های عمود بر مسیر جریان توسط هاکو و همکاران (۲۰۰۷) موردبررسی قرار گرفت. هدف اصلی قرار دادن شمع‌های حفاظتی در این تحقیق، به تله افتادن رسوبات شسته شده این شمع‌ها توسط پایه اصلی و جلوگیری از افزایش بیشتر عمق فرسایش گزارش شد و حداکثر راندمان زمانی رخ داد که ۳ شمع با قطر ۲۰درصد قطر پایه اصلی و در فاصله ۲ برابر قطر پایه اصلی از آن قرار گیرند. در این وضعیت راندمان برابر ۵۰ درصد در کاهش عمق آبشستگی بدست خواهد آمد[۹]. علاوه بر این شن و همکاران (۱۹۶۹)،چنگ و کریم (۱۹۷۲)، پایس و هی (۱۹۹۳)، کایاتورک و همکاران (۲۰۰۵) تک‌پایه و گروه پایه‌های محافظ را موردبررسی قرار داده‌اند و نتایج حاکی از کاهش قابل‌توجه مقدار عمق آبشستگی بود[۱۰،۱۱،۱۲،۱۳].

۲- مواد و روشها

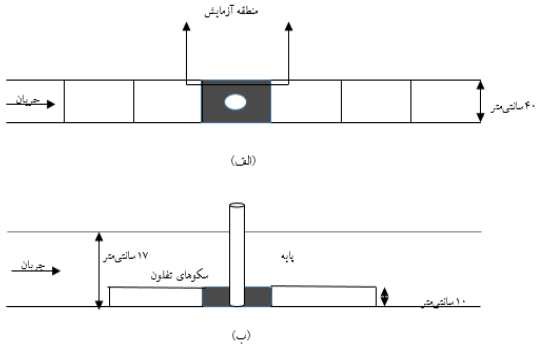
در این تحقیق از فلوم آزمایشگاهی به طول ۸ متر، عرض ۰/۴ و ارتفاع ۰/۶ متر، با شیب طولی ۰/۰۰۳ از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۲ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده گردید. فلوم دارای دو مخزن، هر یک به حجم ۲۵۰۰ لیتر می‌باشد که از طریق لوله به یکدیگر متصل شده درنتیجه سطح آب در هر دو مخزن در یک ارتفاع، ثابت می‌ماند. جریان مورد نیاز با استفاده از یک پمپ سانتریفیوژ با حداکثر دبی ۵۰ Lit/s تامی می‌گردد. تنظیم دبی خروجی از موتور پمپ توسط شیر تنظیم تعبیه شده قبل از دهانه ورودی کانال صورت می‌پذیرد. آب پس از طی نمودن طول مناسبی از لوله وارد دبی سنج دیجیتال شده و از آنجا به مخزن ورودی ابتدای کانال وارد می‌گردد. سپس با عبور از صافی آرام‌کننده و مشبک که در داخل مخزن ابتدایی قرارگرفته است وارد فلوم می‌شود. در انتهای فلوم دریچه کشویی قرار دارد که سطح آب را در کانال تنظیم می‌کند. به منظور انجام آزمایش‌ها، دو سکو از جنس پلاستیک تفلون هر یک به ارتفاع ۱۰ سانتی متر و طول ۱متر در بالا دست و پایین دست محل انجام آزمایش قرار داده شد. محل انجام آزمایش بین دو سکو قرار و در فاصله ۴/۵ متری از ابتدای فلوم و در ناحیه کاملا توسعه‌یافته قرار دارد. این فاصله با ذرات ماسه دانه گرد غیرچسبنده سلیسی با انحراف معیار هندسی ۱/۲ و دانه بندی با قطر متوسط $d_{50}=0.7$ به ارتفاع ۱۲ سانتی متر پر گردید. این ارتفاع از ماسه با گمان اولیه از میزان آبشستگی با استفاده از رابطه تجربی لارس بدست آمد [۱۴].انحراف معیار هندسی جهت حذف اثر غیریکنواختی ذرات باید کمتر از ۱/۳ در نظر باشد[۱۵].جهت هم تراز شدن سطح ماسه در کل محل مورد بررسی، بر روی سکوهای ابتدایی و انتهایی نیز ۲سانتی متر ماسه ریخته شد تا تراز کامل برقرار شود. به منظور شبیه سازی پایه های پل از استوانه از جنس تفلون با قطر ۳

سانتی متر استفاده گردید. دلیل انتخاب این قطر برای پایه و این نوع دانه بندی این است که D/d_۵۰ بزرگتر از ۲۰-۲۵ گردد تا آبشستگی تحت اثر اندازه ذرات رسوب قرار نگیرد. از طرف دیگر برای تشکیل نشدن ریپل در بالادست باید d_۵۰ بزرگتر از۰/۷ میلی متر باشد. همچنین برای حذف اثر دیواره کانال بر آبشستگی باید نسبت فاصله محور پایه تا دیوار کانال به قطر پایه، بزرگتر از ۶/۲۵ باشد.[۱۶].برای نصب شمع‌های حفاظتی صفحه‌های کوچکی از جنس تفلون و با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر آماده گردید و به‌دقت زوایای موردنظر جهت آزمایش روی این صفحات علامت‌گذاری و سوراخ گردید تا در زمان آزمایش موردنظر در جای مناسب در جلوی پایه قرار گیرند.

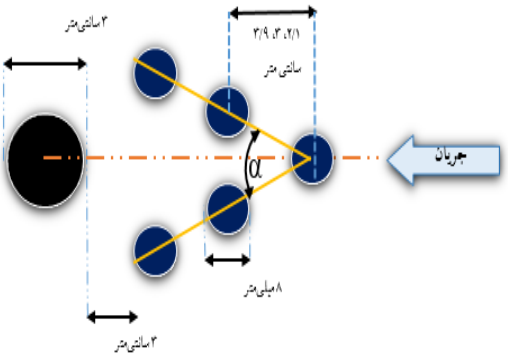
شکل ۲- نمای کانال آزمایشگاهی و مخازن

برای رسیدن به حداکثر میزان آبشستگی لازم است آبشستگی در شرایط آب زلال بررسی شود. در این حالت ذرات بستر هنوز به آستانه حرکت نرسیده و این شرایط زمانی برقرار است که u ۰/۹۵u_c که u سرعت متوسط و u_c سرعت بحرانی است [۱۴]. قبل از شروع آزمایش‌ها لازم بود که سرعت آستانه حرکت برای قطر رسوبات مورد استفاده مشخص گردد. به این منظور با دبی ثابت ۲۱ لیتر بر ثانیه نهایتا در عمق ۱۷ سانتی متری، حالت آستانه حرکت بدست آمد. در نهایت سرعت متوسط جریان ۰/۳ متر بر ثانیه تعیین گردید.

در مطالعه حاضر تمامی آزمایش‌ها در دبی ۲۱ لیتر بر ثانیه، عمق ۱۷سانتی‌متری و نسبت u/u_c ۰/۹ انجام گرفته است. آبشستگی در اطراف پایه‌های پل، پدیده‌ای تابع زمان است و با گذشت زمان گسترش پیدا کرده و به حالتی تعادلی می‌رسد. به منظور تعیین زمان تعادل آزمایشی بلندمدت ۱۲ ساعته هم برای حالت شاهد هم برای حالت استفاده از شمع‌های حفاظتی ترتیب داده شد. نهایتا مشاهده گردید در حالت شاهد زمان تعادل ۸ ساعت است و برای حالت استفاده از شمع‌های حفاظتی زمان تعادل به ۵ ساعت می‌رسد. با توجه به زیربحرانی بودن جریان، کنترل عمق جریان با استفاده از دریچه کشویی انجام می‌گرفت. در شروع آزمایش برای جلوگیری از آغاز آبشستگی پیش از رسیدن به شرایط آزمایش دریچه کاملا بسته و آب از ابتدای کانال به آرامی وارد فلوم می‌شد، سپس هنگامی‌که عمق آب در فلوم به ۱۵سانتی‌متری می‌رسد به تدریج دبی افزایش و دریچه باز شده تا شرایط موردنظر تنظیم گردد. برای هر آزمایش بستر رسوبی توسط تراز حبابی در بالادست و پایین‌دست تسطیح و جریان به مدت ۸ساعت برای حالت شاهد و ۵ ساعت برای حضور شمع‌ها در فلوم برقرار می‌گردید. پس از اتمام زمان آزمایش، دریچه انتهایی بسته و پمپ خاموش می‌گردید تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شود و روی توپوگرافی بستر تاثیری نگذارد. پس از گذشت چندساعت به‌وسیله عمق سنج، توپوگرافی بستر در اطراف پایه در یک شبکه ۱×۱ برداشت گردید.



شکل ۳- نمایی از منطقه انجام آزمایش‌ها، الف) پلان ب) مقطع طولی



شکل ۴- محل قرارگیری پایه و آرایش شمع‌های حفاظتی

۳- نتایج

حضور شمع‌های حفاظتی سبب کاهش قدرت جریان رو به پایین گردید. ازآنجایی‌که گرداب‌های نعل اسبی در اثر جریان رو به پایین تشکیل می‌شوند. گرداب‌های نعل اسبی نیز تضعیف می‌گردد. حضور شمع‌های حفاظتی سبب انحراف خطوط جریان و ایجاد تأخیر و تضعیف پدیده جدایی جریان در پشت پایه گردید که نتیجه آن تأخیر و کاهش قدرت گرداب‌های برخاستگی در پشت پایه است.

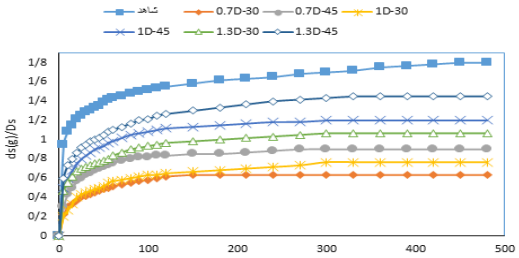
بطور کلی در تمامی آزمایش‌ها در حالت حضور شمع‌های حفاظتی آبشستگی در اثر جریان رو به پایین ابتدا در جلوی شمع‌های حفاظتی آغاز می‌گردد و سپس با شدت کمتری در پای پایه‌اصلی ادامه پیدا می‌کند. دلیل کاهش شدت آبشستگی در پای پایه اصلی مکانیزم آبشستگی در حالت استفاده از شمع‌ها است که شمع‌های حفاظتی، همزمان با پایه اصلی مورد آبشستگی شدید قرار می‌گیرند و رسوبات حاصله از آبشستگی در پای شمع‌های حفاظتی به گودال آبشستگی پایه اصلی وارد می‌گردد و تعادل ایجاد شده بین رسوبات وارده به گودال و آبشستگی پایه اصلی باعث کاهش چشمگیر شدت آبشستگی در ۲ ساعت ابتدایی آزمایش می‌گردد.

شکل ۵- گودال آبشستگی پس از ۵ ساعت با آرایش ۳۰ درجه و آرایش ۱/d۳ در راست و با آرایش ۴۵ درجه و فاصله d۱ در چپ

نتایج آزمایش نشان دهنده این است که زاویه رأس شمع‌ها مقدم بر فاصله شمع‌ها است. بطوری‌که در آرایش شمع‌ها با فواصل کم رسوب‌گذاری بین شمع‌ها رخ می‌دهد. همچنین این‌طور استنباط می‌شود که شمع‌ها با آرایش متراکم‌تر، شرایط بهتری جهت کاهش مقدار آبشستگی نهایی دارند[۸]. همچنین طبق مشاهدات در آرایش‌های متراکم‌تر رسوب گذاری در بین پایه‌ها کاملا مشهود است و سطح بستر در بین شمع‌ها بالا می‌رود.

در شکل نمودار توسعه زمانی آبشستگی در جلوی پایه رسم شده است. در این نمودار محور قائم، مقدار عمق آبشستگی نسبت به قطر پایه و در محور افقی پیشرفت زمان بر حسب دقیقه قرار دارد. نمودار زیر به خوبی نشانگر کاهش زمان تعادل آبشستگی در حالت استفاده از شمع‌های حفاظتی است. همچنین با توجه به نمودار می‌توان اثر شمع‌های حفاظتی بر کاهش شیب نمودار آبشستگی و در نتیجه کاهش شدت آبشستگی در ۲ ساعت ابتدایی آزمایش را به خوبی مشاهده نمود.

مرحله دوم سبب حفر حفره آبشستگی می‌گردند. مرحله مستقیما وابسته به شرایط و آرایش شمع‌های حفاظتی و تعامل بین فرسایش در پای شمع‌ها و رسوب گذاری در پای پایه است. همچنین با گذر زمان به تدریج شکل گودال به حال شکل توسعه گودال آبشستگی در پای پایه بدین شکل است که در ابتدا به آرامی و در زاویه حدودا ۳۰ درجه به مرکز پایه آبشستگی به آرامی شروع می‌شود. حضور گرداب‌های نعل اسبی در این منطقه در مرحله اول سبب شسته شدن بستر و در متقارن و تخت در می‌آید. همچنین مشاهدات نشان داد که با شروع آزمایش با تشکیل گرداب‌های برخاستگی در پشت پایه شیارهایی موازی در پشت پایه تشکیل شده و با گذر زمان به آرامی از پایه فاصله می‌گیرند



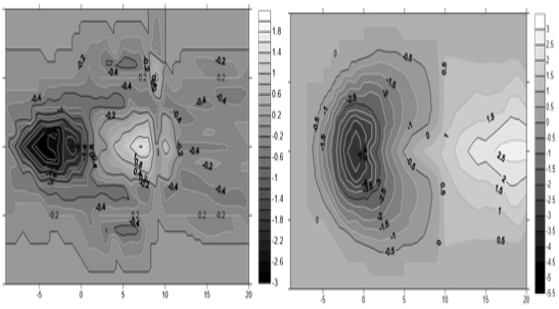
شکل٦ -نمودار پیشرفت آبشستگی در جلوی پایه با حضور شمع‌های حفاظتی

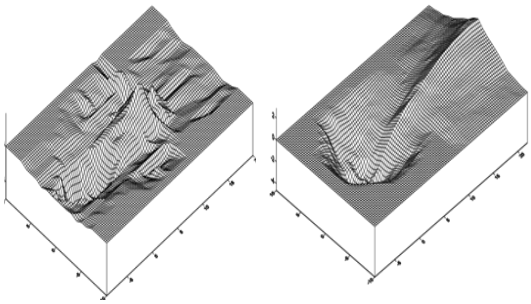
جدول۱- راندمان آرایش‌های مختلف شمع‌های حفاظتی برای حالت تک‌پایه

درصد کاهش آبشستگی نسبت به پایه شاهد	آرایش شمع‌های حفاظتی
٦٥	فاصله شمع‌ها ۰/d۷، زاویه رأس شمع‌ها ۳۰ درجه
٥٥	فاصله شمع‌ها d۱، زاویه رأس شمع‌ها ۳۰ درجه
٥٠	فاصله شمع‌ها ۰/d۷، زاویه رأس شمع‌ها ٤٥ درجه
٤١	فاصله شمع‌ها ۱/d۳، زاویه رأس شمع‌ها ۳۰ درجه
٣٤	فاصله شمع‌ها d۱، زاویه رأس شمع‌ها ٤٥ درجه
٢٠	فاصله شمع‌ها ۱/d۳، زاویه رأس شمع‌ها ٤٥ درجه

نهایتا با درنظر گیری شرایط آزمایش و مدت زما ٥ ساعت راندمان ٦٥ درصدی برای شمع با آرایش ۰/d۷ و زاویه راس ۳۰ درجه بدست آمد. همچنین طبق انتظار آرایش شمع‌ها وقتی به حد مناسبی متراکم هستند پوشش بهتر و قابل توجه‌تری از آرایش‌های بازتر ارائه می‌کنند. طبق نتایج، استفاده از شمع‌های حفاظتی سبب کاهش ابعاد گودال آبشستگی می‌گردد. استفاده از شمع‌های حفاظتی سبب برخورد جریان با شمع‌ها و اغتشاش جریان در کنار آن‌ها و کاهش انرژی جریان رو به پایین در مقایسه باحالت شاهد می‌گردد. آن‌ها، گودال آبشستگی کوچک‌تر و عمق آبشستگی نهایی کمتر از حالت شاهد می‌گردد.

طبق نتایج بدست آمده حضور شمع‌های حفاظتی باعث تأخیر افتادن و دورتر شدن محل تشکیل گرداب‌های نعل اسبی از محل پایه می‌شود. با کشیده شدن گرداب‌های نعل اسبی به پایین‌دست و کاهش قدرت شکل گودال آبشستگی کمابیش حالت متقارن دارد. اگرچه در زاویه‌های کمتر شمع‌های حفاظتی شکل گودال کمی از حالت تقارن خارج و بیضوی شکل می‌شود. پس از گذر ۲ ساعت شکل گودال به‌تدریج حالت تخت پیدا می‌کند. با توجه به شکل‌های زیر در حالت شاهد تپه تشکیل‌شده در پشت پایه دارای ارتفاع بیشتری نسبت به حالت استفاده از شمع‌های حفاظتی است. همچنین حضور شمع‌های حفاظتی شکل گودال آبشستگی را تا حدی از حالت تقارن خارج می‌کند.





شکل ۷- شکل بستر و خطوط تراز برای حالت شاهد در راست و برای حالت حضور شمع‌های حفاظتی با آرایش ۳۰ درجه با فاصله ۱/d۳

- مراجع

[۱]Chiew,Y.M.۱۹۹۲.Scourprotectionatbridgepiers.J.Hydraul. Engr. ASCE. ۱۲٦۹-۱۲٦۰ :۱۱۸.

[۲]شفاعی‌بجستان، م.، ۱۳۷۳. هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

[۳]حسوني‌زاده، ه.، ۱۳۷۰. بررسي‌روش¬هاي‌پيش¬بيني‌آب¬شستگي‌موضعي اطراف پايه پل، پايان‌نامه كارشناسي ارشد تاسيسات آبياري، گروه آبياري و آباداني، دانشگاه شهيد چمران اهواز.

[٤]Breusers,H.,G.Nicollet,andH.Shen.۱۹۷۷.Localscouraround cylindrical piers. J. Hydraul. Res. ۲۵۲-۲۱۱ :(۳)۱۵.

[٥]Chiew,Y.M.۱۹۹۲.Scourprotectionatbridgepiers.J.Hydraul. Engr. ASCE. ۱۲٦۹-۱۲٦۰ :۱۱۸.

[٦]مصباحی، م. و شمسایی، ا. «بررسی روش‌های نوین کاهش آبشستگی پایه‌های پل».

[۷]Chabert, J., and P. Engeldinger. ۱۹۵٦. Etude des afouillements autour des piles des ponts. Report, Laboratoire National d,Hydraulique, Chatou, France.

[۸]Melville, B. W. and A. C. Hadfield. ۱۹۹۹. Use of sacrificial piles as pier scour countermeasures. J. Hydraul. Eng. ۱۲۲٤-۱۲۲۱ :(۱۱)۱۲۵.

[۹]Haque, M. A., Md. M. Rahman, G. M. T. Islam and M. A. Hussain. ۲۰۰۷. Scour mitigationat bridge piers using sacrificial piles. Int. J. Sediment. Res. ۵۹-۴۹ :(۱)۲۲.

Hydraul. Eng. Conf., San Francisco, CA. ۱۰۹۱-۱۰۶۹.

[۱۰]Chang, F. F. M. and M. Karim. ۱۹۷۲. An experimental study of reducing scour around bridge piers using piles. Report, South Dakota Department of Highways, Pierre, SD.

[۱۱]Kayaturk, S. Y., M. A. Kokpinar, and M. Gogus. ۲۰۰۵. Application of collars and sacrificial piles to control Scouring around The Piers. Proc. ۳۱th IAHR Congress, Seoul, Korea. PP: ۲۹۹۹-۲۹۹۱.

[۱۲]Paice, C. and R. Hey. ۱۹۹۳. The Controlling and Monitoring of Local Scour at Bridge Piers. Proc.

[۱۳]Shen, H. W., V. R. Schneider and S. Karaki. ۱۹۶۹. Local scour around bridge piers. J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng. ۱۹۴۰-۱۹۱۹ :(۶)۹۵.

[۱۴]ایزدی‌نیا، ا.، ۱۳۹۱. کنترل و کاهش آب-شستگی موضعی تک‌پایه با استفاده از روش-های حفاظتی ترکیبی کابل، شیار، طوق و شبکه تزریق حباب هوا، رساله دکتری مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۱۵]Chiew, Y. M. and B. W. Melville. ۱۹۸۷. Local scour around bridge piers. J. Hydraul. Res. ۲۶-۱۵ :(۱)۲۵.

[۱۶] Raudkivi, A. J. and R. Ettema. ۱۹۷۷. Effect of sediment gradain on Clear-water scour. J. Hydraul. Eng. ASCE ۱۰۳(۱۰): ۱۲۰۹-۱۲۱۳..

فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵

بررسی اثر دیواره های قوس دار بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در سرریز پلکانی

سیده مهدیس کنعانی*
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
رامین فضل اولی
استادیار، عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
علی رضا عمادی
دانشیار، عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
جانعلی تقوی
مربی، عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

نویسنده مسئول:
سیده مهدیس کنعانی
آدرس ایمیل:
mahdis.kanani۸۸@gmail.com

چکیده:

شکل پذیری جریان در آستانه ورود به سرریز متأثر از شکل هندسی دیواره هدایت جریان بوده که در صورت طراحی مناسب می تواند موجب کاهش معنی دار ضریب دبی گردد. برای این منظور در تحقیق حاضر از مدل فیزیکی یک سرریز پلکانی و سه دیواره هدایت قوسدار با زوایای مختلف نسبت به امتداد جریان استفاده شد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد با افزایش هد بالادست برای هر سه دیواره هدایت جریان، عرض مقطع انقباض کاهش می یابد. همچنین در یک هد بالادست ثابت، متوسط عرض مقطع انقباض در دیواره هدایت با زاویه ۶۰ درجه دارای بیشترین مقدار بوده است. با افزایش هد بالادست ضریب دبی کاهش یافت، از سوی دیگر تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی برای هر سه حالت دیواره هدایت قوسدار، از یک روند نزولی برخوردار بوده است. در نهایت مشخص شد در یک هد ثابت، میزان دبی عبوری از سرریز درهر سه دیواره هدایت، تفاوت معناداری با هم ندارند

کلمات کلیدی: *دیواره هدایت قوسدار، سرریز پلکانی، ضریب دبی*

The effect of flow on stepped spillway walls of the Arch parameters

Seyede Mahdis Canaanie*
Hydraulic engineering graduate student, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari
Ramin fazl oula
Assistant Professor, Faculty Of Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari
Ali Reza Emadi
Associate Professor, Faculty Of Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari
Janali Taghavi
Lecturer, Faculty Of Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
V. 01 No. 03 - autumn 2016

Corresponding author:
Seyede Mahdis Canaanie
Email address:
mahdis.kanani۸۸@gmail.com

۱- مقدمه

به دليل اينكه سد يكي از مهمترين منابع ذخيره آب در پروژه هاي آبي مي باشد، توجه به ساخت سد و بهره برداري صحيح از آن مهمترين مسئوليت مديران منابع آب می باشد. اما از آنجا كه سرريز يكي از مهمترين اجزاء سد و همچنين ضامن ايمني سد سرريز مي باشد، بررسي آن امري ضروري به نظر مي رسد [۱]. سرريز، يك سازه هيدروليكي است كه براي عبور آب های اضافي و سيلاب ها ازسراب به پاياب سدها استفاده مي شود. سرريز بايد سازه ای قوي، مطمئن و با راندمان بالا انتخاب شود كه هر لحظه بتواند براي بهره برداری آمادگي داشته باشد [۲].

استهلاك انرژي جريان آب از روي سرريز سدها معمولا به يكي از سه صورت زير اتفاق مي افتد: ۱- احداث حوضچه آرامش استاندارد در پايين دست سرريز كه در آن پرش هيدروليكي اتفاق افتاده و موجب اتلاف انرژي بسياري مي‌گردد. ۲- پرتاب جريان آب با سرعت زياد از روي باكت جامي شكل و برخورد با حوضچه استغراق پايين دست. ۳- احداث سرريز پلكاني [۳]. سرريزهای پلكاني از زمان های بسيار دور (حدود ۲۵۰۰ سال پيش) مورد استفاده قرار می گرفته اند ولی تاكنون، برخی از جنبه های هيدروليكی مربوطه ناشناخته باقی مانده است. در دهه های اخير شناخت تكنولوژی جديد ساخت سدها با كاربرد مصالح بتن غلطكی(RCC) توسعه و توجه به اين سرريز را بيشتر كرده است. زيرا ساخت سرريزهای پلكاني با اين نوع تكنولوژی سازگاری مناسبی داشته و همين امر باعث گرديده است تا ساخت سرريزهای پلكاني از اهميت بيشتری برخوردار گردد [٤]. سرريز پلكاني متشكل از پله هايی است كه از نزديكی تاج سرريز شروع شده و تا پايين دست سرريز ادامه دارد. در سرريزهاي پلكاني، پله ها با ايجاد زبري هاي بزرگ، باعث افت انرژي زيادي گرديده و موجب حذف و يا كاهش زيادي در ابعاد سازه مستهلك كننده انرژي در پاياب خواهد گرديد. از طرفي به دليل بهينه بودن اجراي سدها با مصالح بتن غلطكي از لحاظ سرعت بيشتر اجرا و صرف هزينه¬هاي كمتر نسبت به سدهاي خاكي و بتني معمولي، اجراي بسياري از سدهاي پلكاني توسط روش بتن غلطكي انجام گرديده است [۳].

شكل پذيری جريان در آستانه ورود به سرريز متأثر از شكل هندسی ديواره هدايت جريان می باشد. انتخاب حالت بهينه برای شكل هندسی ديواره هدايت نقش به سزايی در عملكرد جريان روی سرريز دارد به همين دليل هرگونه آشفتگی و اغتشاش جريان در قسمت كانال می تواند تلاطم جريان روی سرريز و كاهش ضريب دبی و حتی افزايش احتمال كاويتاسيون را به همراه داشته باشد [٥ و٦].

۱-۱ پيشينه پژوهش

تاكنون پيشنهادهاي مختلفي براي شكل ديوارهاي هدايت آب در پلان ارايه شده است. بيشتر مراجع، از جمله برادلي ۱۹۷۸ [۷]، فلاول ۱۹۹٤ [۸]، پيشنهاد كاراكی ۱۹٦۱ را جهت هندسه ديوار هدايت آب توصيه نموده اند. طبق پيشنهاد مذكور، هندسه ديوار هدايت آب به صورت يك ربع بيضي كه قطر بزرگ ۲/۵ برابر قطر كوچك است، در نظر گرفته می¬شود. تراز فوقاني ديوار نيز طوري لحاظ مي گردد كه از تراز آب سيلاب و امواج ناشي از آن بالاتر بوده و ارتفاع آزاد قابل قبولي داشته باشد. شكل مقطع عرضي ديوار هدايت نيز تابعي از نوع مصالح، روش ساخت و عامل پايداري ديوار است و به شكل هاي هندسي مختلف مانند ديواره قايم كم عرض (صفحه اي يا سپري، ديواره قايم عرض (مستطيلي)، پلكاني يا ذوزنقه اي ساخته می شود. به عنوان نمونه، ديوار هدايت طره اي با مقطع مستطيلي كم عرض، ديوارهاي هدايت توريسنگي با مقطع پلكاني و ديوارهاي هدايت سنگريزه اي يا خاكی (با پوشش حفاظتي) با مقطع ذوزنقه اي ساخته مي شوند.

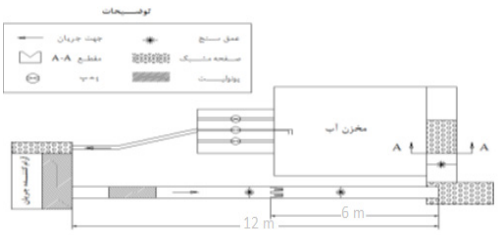
عارف پور و همكاران (۱۳۸۸) آزمايشاتی را در خصوص ديواره هدايت انجام دادند. براي اين منظور مطالعات روي ٥ ديواره هدايت با شكل هاي هندسی متفاوت براي سرريز سد بالارود انجام شد و پس از بررسی نتايج آزمايشات مشخص شد ديواره هدايت پنجم با مشخصات طول مستقيم ٤ و شعاع ١٦ متر و زاويه انحناي ۱۱۰ درجه بهترين الگوي جريان در كانال تقرب و روي سرريز را دارا می باشد [٦]. صيادی و حيدرپور (۱۳۹٤) با مقايسه ضريب دبي هاي سرريز مستطيلي ساده با فشردگي جانبي با روابط محققين مختلف به صحت نتايج آزمايشگاهي دست يافتند. همچنين نتايج نشان دادند كه روند تغييرات ضريب دبي با پارامترهاي بي بعدHd/P و b Hd/ تقريبا مشابه مي باشد؛ به اين ترتيب كه با افزايش دبي جريان در تمامي آزمايشات تا شروع جريان بصورت عبور از سرريز مركب مستطيلی- مستطيلي، ضريب دبي كاهش مي يابد. سپس با شروع به كار سرريزمركب، با افزايش بار آبي روي سرريز، ضريب دبي با شيب زيادي افزايش مي يابد و در انتهاي هر آزمايش، يا بعبارتي با شروع جريان مستغرق، كاهش يافته و يا تقريبا ثابت مي گردد [۹]. مسعوديان و همكاران (۱۳۹۱) با مقايسه ضريب دبی سرريزهای استوانه ای و نيم استوانه ای با مشابه لبه تيز و لبه پهن آن ها نتيجه گرفتند ضريب دبی چنين سرريزهايی بيشتر از مشابه لبه تيز و لبه پهن می باشد، چرا كه انحنای خطوط جريان روی آن ها بيشتر بوده و اين موضوع سبب مكش بيشتر روی بدنه سرريز و بيشتر شدن ضريب دبی می گردد [۱۰].

باقری و حيدرپور (۲۰۱۰) ضريب دبی سرريزهای مستطيلی لبه تيز با فشردگی جانبی (۰٫۲٥<b/B< ۱) را بررسی و نتيجه گرفتند نسبت¬های (Hw/P) و (b/B) بر ضريب دبی تاثير می گذارند[۱۱]. آيدين و همكاران (۲۰۱۱) با بررسی رابطه ضريب دبی با نسبت هد روی سرريز به ارتفاع سرريز (Hw/P) در سرريزهای لبه تيز مستطيلی، با عرض و ارتفاع متغير، به اين نتيجه رسيدند كه نمودار فوق دارای دو روند متفاوت می باشد. به اين صورت كه در يک (Hw/P) ثابت، ضريب دبی سرريزهايی با (۱ b/B ۰٫۳۱۲٥)، با كاهش (b/B) كاهش يافته، اما برای سرريزهايی با (۰٫۳۱۲ b/B ۰٫۰٦۲٥) سرريزهای كاملا فشرده حالت عكس اتفاق می افتد[۱۲]. مروری بر پژوهش های قبلی انجام شده در خصوص ضريب دبی در انواع سرريزها نشان داد كه تاكنون مطالعاتی در مورد تاثير شكل ديواره هدايت بر روی ضريب دبی در سرريز پلكانی انجام نشده است بنابراين هدف اصلی اين تحقيق بررسی اثر ديواره های قوس دار بر پارامترهای هيدروليكی جريان در سرريز پلكانی است.

۲- مواد و روش

۲-۱ معرفی مدل فيزيكی مورد استفاده و معادلات حاكم

كليه ی آزمايش های اين تحقيق در يک كانال مستطيل شكل از جنس شيشه با طول ۱۲، عرض ۰/٥ و ارتفاع ۰/۷ متر با شيب طولی صفر درجه در دانشگاه علوم كشاورزی و منابع طبيعی ساری انجام شد. دبی فلوم از سه پمپ با مجموع دبی واقعی حداكثر ۹۰ ليتر بر ثانيه تامين و با سرريز مثلثی كه در خروجی فلوم قرار گرفته است اندازه گيری می شود. قبل از شروع آزمايش ها، سرريز مثلثی به صورت حجمی واسنجی و رابطه دبی-اشل برای محاسبه دبی به دست آمد. در انتهای فلوم جريان بر روی صفحه های مشبک كه برای كاهش انرژی جنبشی آب در بالادست سرريز مثلثی قرار دارد به صورت آبشار آزاد ريزش می كند سپس آب وارد يک مخزن مكعب مستطيل می شود و از قسمت كف اين مخزن پمپاژ می گردد و در ادامه وارد لوله گرديده و سيستم آب مجددا به گردش در می آيد. نمايی از فلوم مورد استفاده در شكل ۱ نشان داده شده است.



شكل۱- پلان فلوم مورد استفاده در ازمايش ها

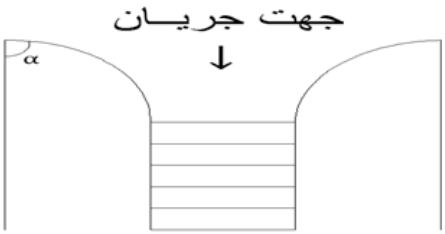
با توجه به اين كه از نظر شكل كلی سرريز پلكانی مشابه سرريز اوجی است تنها با اين تفاوت كه پايين دست آن به جای شيب تند به صورت پله طراحی می شود لذا می توان از معادلات حاكم در سرريز اوجی برای آن استفاده نمود. در سرريزهای لبه تيز مستطيلی كه دارای عرض كمتری از عرض كانال می باشند، به جهت وجود جريان سه بعدی، طول سرريز كه امكان عبور آب را ميسر می سازد (Le) از طول اجرايی آن كمتر بوده كه می بايست در معادله ی مربوطه اعمال گردد. به عبارت ديگر، در اين حالت، علاوه بر انقباض ايجاد شده در عمق جريان، بايستی انقباض حاصله به وسيله ی كناره های سرريز را نيز در نظر گرفت.

پس از اندازه گيری بار استاتيكی جريان بر روی تاج سرريز (H) همچنين قرائت دبی جريان (Q)، ضريب دبی جريان از معادله ۲ محاسبه گرديد: از جمله معادلات مشهوری كه بدين منظور به كار می رود معادله ی Francis بوده كه به صورت زير نوشته می شود:

$$L_e = L - 0.2H \qquad (۱)$$

$$C_d = \frac{3Q}{2\sqrt{2g}\,L_e H^{3/2}} \qquad (۲)$$

برای انجام این تحقیق از مدل فیزیکی یک سرریز پلکانی با عرض ۳۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی متر و دیواره های هدایت جریان با زوایای ۳۰، ٤٥ و ٦٠ درجه نسبت به امتداد جریان و ارتفاع ٤٥ سانتی متر استفاده شد. محل سرریز پلکانی در فاصله ٦ متری بالادست خروجی کانال در نظر گرفته شد. سرریز پلکانی از طرفین تاج با استفاده از صفحه های پلکسی گلاس با عرض ۱۰ و ارتفاع ٤٥ سانتی متر که به‌صورت عمود بر مسیر جریان نصب گردید مهار شد. همچنین برای جلوگیری از ایجاد جریان جانبی از روی پله ها در طول سرریز از صفحات پلکسی گلاس با ارتفاع ٤٥ سانتی متر در طرفین سازه استفاده شد. برای آب بندی سازه ها از چسب آکواریوم استفاده شد و پس از خشک شدن چسب، پمپ را روشن کرده و به وسیله شیر فلکه دبی ورودی را تنظیم و پس از اطمینان از ثابت شدن دبی، عمق آب بالادست سرریز مثلثی و سرریز پلکانی قرائت و این روند برای دبی های مختلف انجام گردید. برای هر دیواره هدایت اندازه گیری ها برای ۱٦ دبی انجام شد که یک سرریز پلکانی با دیواره هدایت با زوایای در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نمای شماتیک یک سرریز پلکانی با دیواره هدایت قوس دار

۲-۲ آنالیز ابعادی

برای انجام آنالیز ابعادی، پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی (Cd) شناسایی شدندکه شامل: B عرض فلوم، g شتاب ثقل، Vسرعت جریان، P ارتفاع سازه، H هد آب بالادست سرریز، جرم مخصوص سیال، کشش سطحی وμ لزوجت سیال، h ارتفاع پله، L طول پله، b عرض تاج سرریز و bmin عرض مقطع انقباض بوده است، سپس با استفاده از آنالیز ابعادی از روش ماتریسی اعداد بدون بعد استخراج گردید.

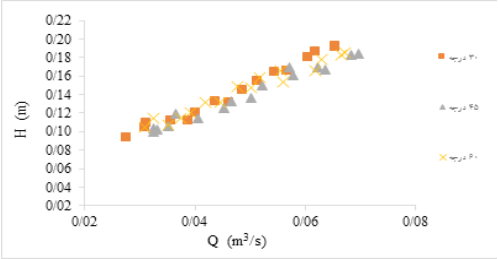
$$C_d = f\left(Fr, \frac{B}{H}, \frac{P}{H}, \frac{L}{H}, \frac{b}{H}, \frac{h}{H}, \frac{1}{We}, \frac{1}{Re}, \frac{b_{min}}{H}\right) \qquad (۲)$$

که در آن Fr عدد فرود، $\frac{1}{We}$ عکس عدد وبر و $\frac{1}{Re}$ عکس عدد رینولدز است

۳- نتایج

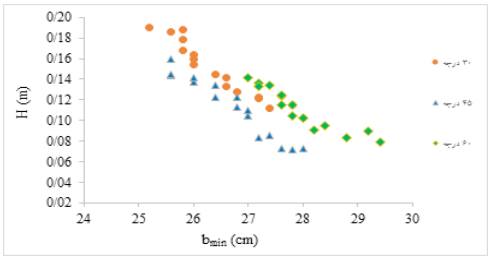
با انجام آزمایشات متعدد بر روی مدل های نصب شده و استخراج داده های مورد نیاز و با استفاده از رابطه (۱) به بررسی ضریب دبی در مدل ها پرداخته شد و نتایج به صورت زیر ارایه گردید:

با توجه به نتایج مشاهده شده در شکل ۳، در هر ۳ حالت دیواره هدایت جریان با زوایای ۳۰، ٤٥ و ٦٠ درجه، با افزایش دبی، هد آب بالادست افزایش می یابد و در نمودارها روند افزایشی مشاهده می شود. همچنین در یک هد ثابت، میزان دبی عبوری از سرریز درهر ۳ دیواره هدایت تفاوت معناداری با هم ندارد.



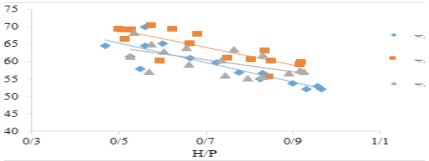
شکل ۳- تغییرات دبی-اشل در هر سه حالت دیواره هدایت

همان طور که در شکل ٤ مشاهده می شود، در یک هد بالادست ثابت، متوسط عرض مقطع انقباض در دیواره هدایت با زاویه ٦٠ درجه دارای بیشترین مقدار است که بیانگر عبور آب با سهولت بیشتر از سرریز در این حالت نسبت به دو زاویه دیگر است. از سوی دیگر در یک هد ثابت، درحالتی که دیواره هدایت با زاویه ٤٥ درجه در بالادست سرریز پلکانی قرار گرفته باشد مقطع انقباض دارای کمترین مقدار می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که با افزایش هد بالادست برای هر سه دیواره هدایت جریان، عرض مقطع انقباض کاهش می یابد واین نشان دهنده فشردگی بیشتر جریان در هدهای بالاتر است.



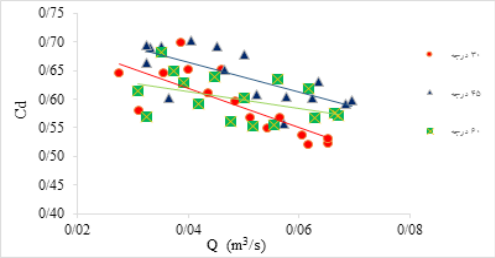
شکل ٤- تغییرات هد آب بالادست نسبت به عرض مقطع انقباض در هر سه حالت دیواره هدایت قوسدار

با توجه به شکل ٥ مشاهده می شود که با افزایش هد بالادست، ضریب دبی کاهش می یابد، همچنین شکل مذکور نشان می دهد درحالتی که از دیواره هدایت ٦٠ درجه قوسدار در بالادست سرریز پلکانی استفاده شده باشد، تغییرات ضریب دبی در برابر دبی نسبت به دو زاویه دیگر ملایم تر است.



شکل ٥- تغییرات ضریب دبی نسبت به H/P در هر سه حالت دیواره هدایت قوسدار

شکل ٦ تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی را نشان می دهد همان طور که مشاهده می شود در هر سه حالت دیواره هدایت با افزایش دبی، ضریب دبی کاهش می یابد، شکل مذکور نشان می دهد برای هر سه حالت دیواره هدایت قوسدار،تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی از یک روند نزولی برخوردار است. همچنین تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی مشابه تغییرات ضریب دبی نسبت به هد (شکل ٥) بوده و چنانچه از دیواره هدایت ٦٠ درجه قوسدار در بالادست سرریز پلکانی استفاده شود، تغییرات ضریب دبی در برابر دبی نسبت به دو زاویه دیگر ملایم تر است.



شکل ٦- تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی در هر سه حالت دیواره هدایت

٤-نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که:

-با افزایش هد بالادست برای هر سه دیواره هدایت جریان، عرض مقطع انقباض کاهش می یابد که این نشان دهنده فشردگی بیشتر جریان در هدهای بالاتر است. همچنین نتایج نشان داد که در یک هد بالادست ثابت، متوسط عرض مقطع انقباض در دیواره هدایت با زاویه ٦٠ درجه دارای بیشترین مقدار است.

-با افزایش هد بالادست ضریب دبی کاهش یافته، همچنین نتایج نشان داد در حالتی که از دیواره هدایت ٦٠ درجه قوسدار استفاده شده باشد تغییرات ضریب دبی در برابر هد بالادست نسبت به دو زاویه دیگر ملایم تر است.

-تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی مشابه تغییرات ضریب دبی نسبت به هد بوده و چنانچه از دیواره هدایت ٦٠ درجه قوسدار در بالادست سرریز پلکانی استفاده شود، تغییرات ضریب دبی در برابر دبی نسبت به دو زاویه دیگر ملایم تر است. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات ضریب دبی نسبت به دبی برای هر سه حالت دیواره هدایت قوسدار، از یک روند نزولی برخوردار است.

-در نهایت همان گونه که انتظار می¬رفت در هر ٣ حالت دیواره هدایت جریان با زوایای ٣٠، ٤٥ و ٦٠ درجه، با افزایش دبی، هد آب بالادست افزایش یافته و در نمودارها روند افزایشی مشاهده شده است. همچنین در یک هد ثابت، میزان دبی عبوری از سرریز درهر ٣ دیواره هدایت تفاوت معناداری با هم ندارند.

٥.مراجع

١. رحیم پور، م و فرقانی اشرفی، ف. (١٣٨٨). بررسی عددی جریان عبوری از روی سرریز پلکانی با استفاده از نرم افزارهای CCHE٢D و FLOW-٣D. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

٢. بیرامی، م. ک. (١٣٩٠). سازه های انتقال آب، چاپ نهم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ٤٦٢ ص.

٣.حیدری ارجلو، س.، موسوی جهرمی، س.ح.، فرازمند، س. (١٣٨٧). بررسي هيدروليك جريان در سرريز هاي پلكاني با استفاده از مدل هاي فيزيكي، دومين همايش ملي مديريت شبكه هاي آبياري و زهكشي، دانشگاه شهيد چمران اهواز، دانشكده مهندسي علوم آب، ٨ ص.

٤. بینا، م.، سلماسی، ف.، موسوی جهرمی، س.ح. (١٣٩٢). تعیین مرزهای هیدرولیکی رژیم های جریان ریزشی، غیرریزشی، و انتقالی در سرریزهای پلکانی با استفاده از مدل فیزیکی، نشریه دانش آب و خاک، شماره ٣ جلد ٢٣، صفحات ٦٥-٥٧.

٥. دهدار بهبهانی، ص.، فتحی مقدم، م.، فاضلی پور، ش.، حسینی، ح. (١٣٩١). بررسی اثر هندسه دیواره هدایت بر الگوی جریان و منحنی دبی- اشل سرریز سد بالارود با مدل FLOW٣D، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران. ٩ ص.

٦. عارف پور، م.، فتحی مقدم، م.، حسینی، ا.، نجاران، ا. بهینه سازی آزمایشگاهی دیواره های هدایت جریان سرریز سد بالارود. (١٣٨٨). دومین کنفرانس سراسری آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان. ١٠ ص.

٧. Bradley, J. N. (١٩٧٨). Hydraulics of Bridge Waterways, (HDS١), US Department of Transportation/ Federal Highway Administration. Washington.

٨. Flavel, D. (١٩٩٤). Waterway Design: A Guide to the Hydraulic Design of Bridges, Culverts and Floodways, AUSTROADS National Office.

٩. صیادی، ک.، حیدرپور، م. (١٣٩٤). بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و سرریز مرکب مستطیلی-مستطیی در شرایط آزاد و مستغرق، دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران. ١٠ ص.

١٠. مسعودیان، م.، قره گزلو، م.، نادری، ف. و سوری، ا. (١٣٩١). بررسی و مقایسه ضریب دبی سرریزهای استوانه ای و نیم استوانه ای با مشابه لبه تیز و لبه-پهن آن. نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ٢١-١٩ اردیبهشت، اصفهان.

١١. Bagheri, S and Heidarpour, M. (٢٠١٠). Application of free vortex theory to estimating discharge coefficient for sharpcrested weirs. Journal of Biosystems Engineering. ٤٢٧-٤٢٣ :(٣)١٠٥.

١٢. Aydin, I., Sakaryaa, A.B., and Sisman, C. (٢٠١١). Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs, J, Flow Measurement and Instrumentation., Vol. ٢٢, No. ٢, pp١٥١-١٤٤.

فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵

اثر سدهای تأخیری در کنترل و مهار سیلاب رودخانه های شهری مطالعه موردی (حوضه آبریز رودخانه وردآورد)

بهرنگ نورکرمی*
دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، گروه عمران، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، صفادشت، تهران، ایران
محمد عامل صادقی
استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
حسام وطن دوست
استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رباط کریم

نویسنده مسئول:
بهرنگ نور کرمی

آدرس ایمیل:
behrangnk@yahoo.com

چکیده:

جهت بررسی تأثیر مخازن تأخیری در کاهش سیلاب حوضهٔ مورد مطالعهٔ این تحقیق (حوضهٔ منتهی به شهر تهران)، ابتدا پس از ساخت سیلاب طراحی و روند یابی آن، تأثیر سیلاب در پایین دست بدون در نظر گرفتن مخازن بررسی می گردد، سپس با استفاده از نرم افزار HEC-HMS حوضهٔ مورد نظر و مخازن در نظر گرفته شده در بالادست حوضهٔ شهری، مدل و عملکرد این مخازن در کاهش هیدروگراف سیلاب ورودی بررسی می گردد. نتایج نشان داد با استفاده از سدهای تأخیری میزان دبی خروجی از حوضه وردآورد به شدت کاهش می یابد. اثر کاهش دبی پیک سیل ناشی از احداث سدهای تأخیری در حوضه وردآورد برای سیلاب با دوره های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۹۱/۴، ۹۲/۱، ۸۹/۹، ۵۸/۱، ۴۱/۷و ۲۸/۵ درصد می‌باشد. همچنین با افزایش دورهٔ بازگشت سیل تأثیر این مخازن در کاهش سیلاب خروجی حوضه، کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: *سدهای تأخیری، حوضه وردآورد ، کنترل سیلاب*

The effect of detention dams on the river urban flood control Case Study (Vardavard River catchment)

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
V. 01 No. 03 - autumn 2016

Corresponding author:
Behrang Nourkarami
Email address:
behrangnk@yahoo.com

Behrang Nourkarami*
Water and Hydraulic Engineering master›s educated, Department of Civil Engineering, Safadasht Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Mohammad Amelsadeghi
Assistant Professor and Faculty Member of Islamic Azad University, Vineyard
Hesam Vatandost
Assistant Professor and Faculty Member of Islamic Azad University Robat Karim

۱- مقدمه

یکی از خطرات مهمی که امروزه اکثر جوامع با آن مواجه شده اند سیل است. این بلای طبیعی در سال های اخیر تحت تأثیر اقدامات بشری قرار گرفته و خطرات خود را روز به روز بیشتر نشان می دهد[۱]. با توجه به مجاورت حوضهٔ آبریز رودخانهٔ وردآورد به مراکز جمعیتی و گسترش مناطق مسکونی به سمت حاشیهٔ رودخانه و همچنین وجود تأسیسات و سازه هایی نظیر، بزرگراه شهید خرازی، مترو، آزاد راه تهران-کرج، بزرگراه شهید لشگری و بزرگراه فتح در پایین دست حوضهٔ مذکور، وقوع سیلاب می تواند باعث خسارات و ضایعات سنگین شود.
سدهای تأخیری برای کنترل سیلاب و ایجاد تأخیر و تعویق در جریان ساخته می شوند، لذا با ذخیرهٔ مقداری از سیلاب، مقدار دبی اوج سیلاب، تقلیل و زمان رسیدن آن به نقطهٔ مورد نظر را افزایش می دهند و عواملی نظیر خصوصیات ژئومورفولوژیکی، فیزیوگرافی، حجم و موقعیت سدها و ... بر راندمان و نحوهٔ عملکرد آن ها اثر گذارند[۲].
مطالعات متعددی به بررسی سدهای تأخیری و سازه های اصلاحی در حوضه های شهری پرداخته اند: Moore(۱۹۶۹) با بررسی ۳۰۰ سازهٔ احداث شده و اثر آن بر کاهش دبی اوج در سر شاخه های حوضهٔ آبخیز تگزاس، نتیجه گرفت که در زیر حوضه های مختلف، کاهش دبی از ۴۸ تا ۹۸ درصد دیده می شود[۳]. Lopez(۲۰۰۲) و همکاران به مطالعهٔ تأثیر سد یسا در رودخانهٔ آرگون اسپانیا پرداختند و نتایج نشان داد که مقدار دبی اوج سیل های خروجی از مخزن در دوره بازگشت های مختلف، کاهش یافته است[۴]. قاضی محله و همکاران (۱۳۸۴) عملکرد سازهٔ چند منظورهٔ نوکنده در استان گلستان را در مهار سیلاب و کاهش دبی اوج سیلاب، بررسی نمودند. پارامترهای مورد نظر برای اجرای مدل HEC-HMSدر شرایط قبل و بعد از احداث مخازن، مربوط به بارش یک ساعته به مدل معرفی شد. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که مخازن احداث شده در کاهش دبی اوج سیلاب ورودی مؤثرند و از ۴۰ تا ۸۸ درصد از دبی اوج را در دوره بازگشت های مختلف کاهش میدهند[۵]. جمشیدی (۱۳۸۵)، به بررسی تأثیر سدهای تأخیری در کاهش سیلاب بهبهان پرداخته است. برای انجام این مهم، مدل بارش رواناب HEC-HMS مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داد که سدهای تأخیری بیش از ۵۰ درصد، در سیلاب منطقه کاهش ایجاد کردند و توانستند سیلاب های با دوره بازگشت های پایین تر را به طور کامل مهار نمایند[۶]. مصطفی زاده(۱۳۸۷)، ارزیابی طرح کنترل سیل حوضهٔ آبخیز جعفر آباد استان گلستان را با استفاده از مدل HEC-HMS انجام داد. نتایج نشان از تأثیر ۱/۵ درصدی سازه ها بر دبی اوج در دوره بازگشت های متفاوت داشت و نتایج مقایسهٔ آماری تفاوت قابل توجهی در دورهٔ قبل و بعد از احداث سازه ها نشان نداد. از طرفی مشخص شد با افزایش دورهٔ بازگشت سیلاب، تأثیر سازه ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش می یابد. به عبارتی بیشترین تأثیر سازه ها بر معیارهای هیدرولوژیک در دوره بازگشت های ۲ تا ۱۵ ساله بود[۷].
آنچه از پیشینهٔ تحقیق بر می آید می توان اظهار داشت که احداث سدهای تأخیری در حوضه های آبریز منجر به کنترل و تعدیل سیلاب های دریافتی می شود و معمولاً این سدها بیشترین تأثیر را بر روی سیلاب های با دوره بازگشت های کوتاه تر دارند و با افزایش دورهٔ بازگشت، تأثیر آنها در کنترل و تعدیل سیلاب کاهش می یابد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- معرفی محدوده مورد مطالعه

رودخانهٔ وردآورد در منتهی الیه غرب تهران، از ارتفاعات شمال وردآورد و ازگی سرچشمه گرفته، پس از وارد شدن به منطقهٔ شهری، از بزرگراه شهید خرازی، آزاد راه تهران-کرج، بزرگراه شهید لشگری و بزرگراه فتح عبور کرده و وارد زمین های کشاورزی جنوب منطقهٔ ۲۱ می شود. مسیر مسیل و آب این رودخانه در شاخهٔ شرقی رودخانهٔ کرج پایان می یابد. این رودخانه در امتداد شمالی- جنوبی و به موازات رود کن جریان دارد و فاصلهٔ متوسط این دو رودخانه از یکدیگر در حدود ۱۰ کیلومتر است[۸]. در جدول ۱ مشخصات فیزیوگرافی حوضهٔ مذکور ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز رودخانه وردآورد

نام				ارتفاع حوضه (m)						زمان تمرکز (hr)		

با توجه به نزدیکی نتایج دو روش کالیفرنیا و سرعت موج و همچنین کمتر بودن مقادیر به دست آمده از روش کالیفرنیا نسبت به روش سرعت موج، به دلیل ضریب ایمنی نهایتاً نتایج حاصل فرمول کالیفرنیا به عنوان نتایج نهایی انتخاب گردیده است.

۲-۲- اطلاعات بارش و بررسی آمار سیلاب

ابتدا کلیهٔ داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه را به دست آورده، سپس با استفاده از آمار بارش ۲۴ ساعته، سیلاب با دوره بازگشت های مختلف ساخته شد. آمار استفاده شده شامل دبی های حداکثر لحظه ای و یک روزه می باشد. برای تکمیل و بازسازی آمارهای حداکثر یک روزه و لحظه ای از روابط همبستگی یک متغیره استفاده شد سپس با استفاده از آمار تکمیل شده، سیلاب برای یک دورهٔ ۵۰ ساله(۱۳۹۱-۱۳۴۱)، به کمک قوانین آماری متعارف (گامبل، لوگ نرمال و لوگ پیرسون) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای برآورد مقادیر سیلاب مشاهده ای از روش های تجربی و مبتنی بر بارش استفاده شد.
۲-۳- استخراج بارش طرح
در این تحقیق از هایتوگراف بارش IDF تهران و حداکثر بارش های دو ساعته جهت بارش طرح استفاده شده است. دبی اوج هیدروگراف خروجی از حوضه برای دوره بازگشت های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس آخرین بررسی انجام شده مربوط به مطالعات طرح جامع مدیریت آبهای سطحی تهران (۱۳۹۰)، رابطه شدت- مدت- فراوانی بارش‌های شهر تهران به صورت زیر می‌باشد:

$$I = C_{Alt.PR} \cdot D^{-0.645} \qquad (۱)$$

I: شدت بارندگی(mm/h)
D: تداوم بارندگی(min)
CAlt.PR: ضریب رابطه که برحسب ارتفاع و دور ه بازگشت از جدول به دست می‌آید.

جدول ۲- دبی اوج هیدروگراف خروجی از حوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف

روش	دوره بازگشت (year)					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
بارش - رواناب (۲ ساعتهٔ IDF تهران)	۳/۵		۲۲/۷	۴۰/۳۰		۷۵/۲

۲-۴- تداوم و توزیع زمانی بارش طرح

انتخاب تداوم بارش طرح وابسته به زمان تمرکز است و اصولاً باید بزرگتر یا مساوی زمان تمرکز باشد.با توجه به زمان تمرکز محاسبه شده از روش کالیفرنیا (۰/۹۳ ساعت)، زمان تداوم بارش ۲ ساعت و توزیع زمانی بارش ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد. (جدول۳)

جدول ۳- مقادیر بارش و توزیع زمانی حوضهٔ وردآورد(mm)

زمان(min)	دورهٔ بازگشت(year)					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۱۰	۰/۶	۰/۸	۰/۹	۱	۱/۲	۱/۳
۲۰	۰/۷	۰/۹	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۵
۳۰	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۶	۱/۸
۴۰	۱	۱/۳	۱/۵	۱/۸	۲	۲/۲
۵۰	۱/۵	۱/۹	۲/۲	۲/۶	۳	۳/۳
۶۰	۷/۵	۹/۷	۱۱/۲	۱۳/۳	۱۴/۹	۱۶/۵
۷۰	۲/۱	۲/۷	۳/۱	۳/۷	۴/۲	۴/۶
۸۰	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۱	۲/۴	۲/۶
۹۰	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۱/۶	۱/۸	۲
۱۰۰	۰/۷	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۱/۶
۱۱۰	۰/۶	۰/۸	۰/۹	۱/۱	۱/۲	۱/۴
۱۲۰	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۱	۱/۱	۱/۲

۲-۵- کاربری اراضی در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ وردآورد

با توجه به نوع گروه هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی در محدوده حوضهٔ آبریز ، ابتدا مقدار عدد منحنی رواناب (CN) کاربری‌های مختلف موجود در سطح حوضه با استفاده از جداول NRCS استخراج شده، سپس CN حوضه با برش لایه کاربری و گروه هیدرولوژیک خاک در آن زیر حوضه محاسبه شده است. مقادیر CN برای زیر حوضه برابر ۷۹ برآورد شده است.

۲-۶- مدلسازی بارش رواناب

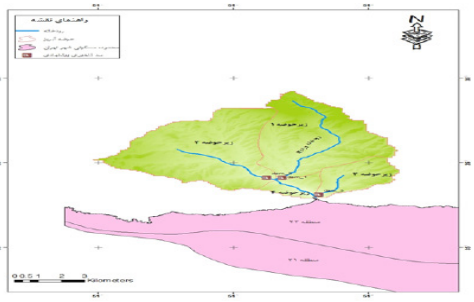
در این تحقیق از مدل بارش- رواناب HEC-HMS برای شبیه سازی سیلاب در دو حالت با مخزن و بدون مخزن تأخیری استفاده شده است. حوضه به چهار زیرحوضه تقسیم گردید که در هر یک از زیر حوضه های ۱، ۲ و ۳ یک سد تأخیری تعبیه شده است.

جهت خروجی سیلاب از مخزن، یک سرریز لبه پهن در نظر گرفته شده است که پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی سرریز لبه پهن در HEC-HMS عبارتند از: ضریب تخلیهٔ سرریز و پهنای تاج. ابتدا با توجه به منحنی تراز - حجم ذخیره و پس از پس از روندیابی سیلاب در مخازن و مشاهدهٔ بالاترین تراز ذخیره از کف مخزن، ارتفاع مخازن تعیین شده و سپس پهنای تاج به دست می آید. ارتفاع سد با توجه به بیشترین ارتفاع ذخیره از کف مخازن جهت سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و همچنین در نظر گرفتن Freeboard مجاز تعیین می گردد.

۲-۷- جانمایی سدهای تأخیری در حوضه

موقعیت و محل مخازن تأخیری در کنترل سیلاب پایین دست تأثیر زیادی دارد. جدا از شرایط توپوگرافی حوضه، در طراحی مخزن ذخیره ای سیلاب باید توجه داشت که این مخزن باید در محلی قرار گیرد که هم رواناب را کنترل نماید و هم با سازه های دیگر زهکشی و انتقال سیلاب هماهنگ عمل نماید[۹].

این مکانها با توجه به بازدید های صورت گرفته از محدوده و نیز بررسی نقشه های هوایی و نقشه های ۱/۲۵۰۰۰ و با استفاده از نرم افزار ARC-GIS جانمایی شده اند. (شکل۱)



شکل ۱- جانمایی سدهای تأخیری در حوضهٔ وردآورد

با استفاده از نقشهٔ TIN حوضه و نرم افزار HEC-GEORAS منحنی تراز- حجم ذخیرهٔ هر یک از مخازن به دست می آید و برای روندیابی مخازن از منحنی تراز- حجم ذخیره استفاده شده است. پس از روند یابی سیلاب های با دوره بازگشت های ۲ تا ۱۰۰ ساله با استفاده از نرم افزار HEC-HMS نتایج میزان تأثیر مخازن تأخیری در کاهش سیلاب حوضهٔ مورد مطالعه بدست آمده است. در جدول ۴ نتایج مشخصات روند یابی مخازن سدهای تأخیری شامل دبی ورودی، دبی خروجی، بیشترین حجم ذخیره و بالاترین ارتفاع ذخیره از کف ارائه شده است.

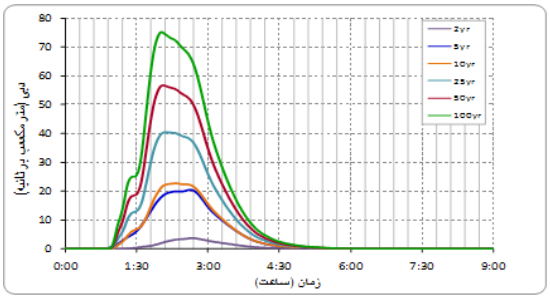
جدول ۴- مشخصات روند یابی مخازن سدهای تأخیری

شمارهٔ سد	ارتفاع ذخیره از کف مخزن(m)	بیشترین حجم ذخیره (۱۰۰۰ m۳)	دبی خروجی (s/m۳)	دبی ورودی (s/m۳)	دوره برگشت (year)
سد تأخیری شمارهٔ ۱	۲	۱/۶	۰	۷/۱	۵/۴
	۵	۹/۱	۰	۴۸/۷	۱۱/۴
	۱۰	۱۰/۶	۰	۵۳/۳	۱۱/۸
	۲۵	۱۸/۷	۱۲/۲	۶۳/۱	۱۲/۶
	۵۰	۲۶	۲۱/۹	۶۶/۶	۱۲/۹
	۱۰۰	۳۴/۲	۳۱/۴	۶۹/۸	۱۳/۱
سد تأخیری شمارهٔ ۲	۲	۲/۷	۰	۸/۶	۵/۲
	۵	۱۲/۷	۰	۵۸/۴	۱۱/۹
	۱۰	۱۶/۱	۰	۶۴	۱۲/۳
	۲۵	۳۰/۱	۱۶/۵	۸۴/۹	۱۳/۷
	۵۰	۴۳/۱	۲۹/۱	۸۰/۴	۱۴/۱
	۱۰۰	۵۷/۲	۴۲/۹	۹۶/۱	۱۴/۴
سد تأخیری شمارهٔ ۳	۲	۰/۷	۰	۲	۱/۸
	۵	۳/۴	۰	۱۳/۶	۷/۸
	۱۰	۴/۶	۰/۴	۱۴/۶	۸/۱
	۲۵	۹/۱	۵/۵	۱۵/۶	۸/۳
	۵۰	۱۳/۳	۹/۵	۱۶/۲	۸/۵
	۱۰۰	۱۸/۴	۱۴/۸	۱۶/۸	۸/۷

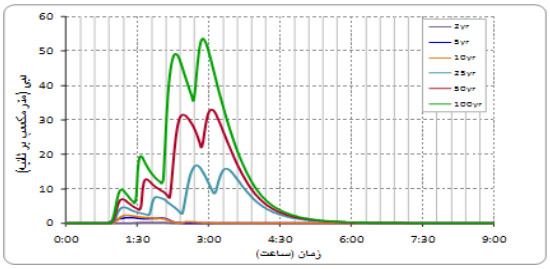
همان گونه که ملاحظه میشود بیشترین حجم ذخیره در مخزن سد تأخیری شماره ۲ برابر با ۹۶/۱ هزار مترمکعب و در تراز ارتفاعی ۱۴/۴ متری از کف مخزن بدست آمده است که با احتساب Freeboard، ۱۵ متر در نظر گرفته می شود. در جدول ۵ میزان کاهش پیک سیلاب خروجی از حوضه بعد از جانمائی سدهای تأخیری در حوضه ارائه شده است. ملاحظه می شود که احداث سدهای تأخیری باعث کاهش ۲۸/۵ درصدی در سیلاب های با دوره برگشت های ۱۰۰ ساله می شود.

جدول ۵- مقایسه دبی سیلاب خروجی از حوضه در شرایط وضع موجود و بعد از احداث سدهای تأخیری

دوره برگشت (year)	دبی خروجی بدون در نظر گرفتن سد تأخیری (s/m۳)	دبی خروجی با در نظر گرفتن سد تأخیری (s/m۳)	درصد کاهش دبی
۲	۳/۵	۰/۳	۹۱/۴
۵	۲۰/۳	۱/۶	۹۲/۱
۱۰	۲۲/۷	۲/۳	۸۹/۹
۲۵	۴۰/۳	۱۶/۹	۵۸/۱
۵۰	۵۶/۶	۳۳	۴۱/۷
۱۰۰	۷۵/۲	۵۳/۸	۲۸/۵



شکل ۲- هیدروگراف سیلاب خروجی از حوضه قبل از اجرای سدهای تأخیری



شکل ۳- هیدروگراف سیلاب خروجی از حوضه بعد از اجرای سدهای تأخیری

با مقایسة شکل های ۲ و ۳ ملاحظه می شود احداث سدهای تأخیری در حوضة آبریز رودخانة وردآورد، باعث کاهش دبی اوج سیلاب های با دوره بازگشت های مختلف شده است. این سدها، سیلاب های با دوره بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ ساله را تقریباً به طور کامل مهار می نمایند و با افزایش دورة بازگشت تأثیر آنها در کاهش و کنترل سیلاب کاهش می یابد. همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می شود احداث سدهای تأخیری باعث کاهش دبی پیک سیلاب های با دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله شده ولی بلا فاصله و پس از گذشت زمانی اندک، دبی اوج دوباره افزایش می یابد که می توان نتیجه گرفت تأثیر این مخازن در افزایش زمان تمرکز بسیار ناچیز می باشد.

۳- بحث و نتیجه گیری

هیدروگراف سیل با دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در وضعیت قبل و بعد از احداث سازه ها شبیه سازی گردید و بر اساس نتایج شبیه سازی، تأثیر سازه ها بر کاهش دبی اوج به طور متوسط ۶۶٫۹۵ درصد بود و همان گونه که نتایج شبیه سازی نشان می دهد با افزایش دورة بازگشت، تأثیر سازه ها بر کاهش دبی اوج، کاهش یافته است، به طوری که میزان تغییرات در دوره بازگشت های ۲ تا ۱۰۰ ساله از ۹۱٫۴ تا ۲۸٫۵ درصد بوده است و همچنین نتایج حاصله در این خصوص با مطالعات Moore(۱۹۶۹)، قاضی محله(۱۳۸۴)، جمشیدی(۱۳۸۵) و Lopez(۲۰۰۲) مطابقت دارد.

۴- مراجع

۱. فصاحت، و. ساداتی نژاد، ج.، صمدی بروجنی، ح.(۱۳۹۳، پاییز و زمستان). تأثیر احداث سدهای مخزنی در میزان کاهش دبی اوج سیلاب. پژوهشنامة مدیریت حوضة آبخیز، سال پنجم، شمارة دهم.
۲. جمشیدی، ر. شکوهی، ع. مامی زاده، ج.(۱۳۸۷). بهینه یابی مکان سد تأخیری با استفاده از مساحت حوضة بالادست. چهارمین کنگرة ملی مهندسی عمران.
۳.Moore,C.M.(۱۹۶۹).Effectsofsmallstructuresonpeakflowin: effectsofwatershedchangesonstreamflow.TexasPress:۱۱۷-۱۰۱.
۴.Lopez-Moreno,J.I.,Begueria,S.andGarcia-Ruiz,J.M.(۲۰۰۲) InfluenceoftheYesareservoironfloodsoftheAragonRiver,central SpanishPyrenees.HydrologyandearthSystemSciences,-۷۵۳:(۴)۶ ۷۶۲.
۵. جمشیدی، ر.(۱۳۸۵). بررسی اثر سازه های کنترل سیل بر کاهش پیک سیلاب در حوضه های آبریز شهری. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه مازندران.
۶. قاضی محله، م، ع. نجفی نژاد، ع. و نورا، ن.(۱۳۸۴). بررسی عملکرد سازة چند منظورة نوکنده استان گلستان در کنترل سیل با مدل HEC-HMS. مجلة علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شمارة اول.
۷. مصطفی زاده، ر. (۱۳۸۷). شبیه سازی تأثیرات هیدرولوژیکی سازه های اصلاحی به منظور ارزیابی سناریوهای سازه های کنترل سیل در حوضة آبخیز جعفرآباد استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.
۸. بنی حبیب، م، ا. جمالی، ف، ا.(۱۳۹۴). تعیین رویکرد مهار سیلاب واریزه ای برای یک رودخانة شهری، سومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب.
۹. شکوهی، ع، ر، سلطانی مقدم، ع.(۱۳۸۴). بررسی تأثیر سدهای وزنی در کاهش سیلاب های شهری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

مهندسی و مدیریت ساخت
فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵

اثر طول زهکش افقی بر دبی نشتی، نیروی زیرفشار و گرادیان هیدرولیکی در سد خاکی همگن توسط شبیه سازی عددی

علی محمود*
کارشناس ارشد مهندسی سازه های آبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان
محمد بدخشان
کارشناس ارشد مهندسی سازه های آبی دانشگاه تبریز
ابوذر سیفی
کارشناس ارشد مهندسی سازه های آبی دانشگاه تبریز

نویسنده مسئول:
علی محمود

آدرس ایمیل:
Ali.mahmoud.edu@gmail.com

چکیده:

به دلیل نقش موثر سد های خاکی در تامین نیاز های آبی و نیز ایجاد خطرات بالقوه برای جوامع پایین دست آنها، مسائل مربوط به ایمنی سدهای خاکی ضمن ساخت و نیز در دوران بهره برداری از اهمیت خاصی برخوردار است. در این تحقیق به مطالعه و مقایسه کارایی استفاده از زهکش افقی، در کاهش اثرات سوء نشت از مقطع یک سد خاکی همگن فرضی پرداخته شده است. دبی نشت از پي و بدنه و نیز گرادیان خروجی حداکثر در پنجه سد با بهره گیری از نرم افزار Seep/W مبتنی بر روش اجزای محدود محاسبه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش طول زهکش افقی متناسب با دبی نشتی از سد بوده و نسبت عکس با نیروی زیر فشار دارد. همچنین با افزایش طول زهکش افقی کمی بر گرادیان هیدرولیکی افزوده می شود، ولی افزایش آن در محل آب خروجی از پنجه نبوده و لذا خطر ساز نخواهد بود.

کلمات کلیدی: *نشت، زهکش، زیر فشار، گرادیان خروجی، نرم افزار Seep/W*

The effect on the leakage flow along the horizontal drainage, power, drifted and hydraulic gradient in homogeneous earth dam by numerical simulation

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
V. 01 No. 03 - autumn 2016

Ali Mahmoud*
Hydraulic Structures Engineering Islamic Azad University of Kerman
Mohammad Badakhshan
Hydraulic Structures Engineering University of Tabriz
Abozar Seifi
Hydraulic Structures Engineering University of Tabriz

Corresponding author:
Ali Mahmoud

Email address:
Ali.mahmoud.edu@gmail.com

۱-مقدمه

تقاطع خط فریاتیک با شیب پایین دست، پایداری سد خاکی را به خاطر وجود پتانسیل رگاب (پایپینگ) به دلیل گرادیان خروجی زیاد تحت تاثیر قرار می دهد. موقعی که خاکریز سد ناهمگن است و یا ناحیه پایین دست سد خاکی نفوذپذیری مشکوک دارد، از زهکش افقی برای نگه داری خط فریاتیک داخل بدنه سد استفاده می شود تا امکان زهکشی را به خاکریز و فونداسیون داده و بدین ترتیب رگاب از داخل آنها محدود شود. از این رو خط فریاتیک نباید شیب پایین دست را قطع کند.

صیادزاده و زمردیان (۱۳۹۰) با استفاده از نرم افزار انسیس به بررسی نشت و گرادیان هیدرولیکی زیر پی سدهای نفوذ ناپذیر (بتنی) پرداخته و نتایج را برای سهولت طراحی به صورت نمودارهای بی بعد ارائه نمودند. قبادیان و همکاران (۱۳۹۰) معادله عمومی جریان آب در خاک را در شرایط اشباع غیر همگن و غیر همسان به روش احجام محدود منفصل حل کرده و نتایج را با آزمایش بر روی مدل فیزیکی در یک تانک تراوش مقایسه کردند.

نصرالهی (۱۳۹۰) به بررسی ترکیب های مختلف عمق ترانشه و بلانکت رسی برای کاهش نشت از سد خاکی ستارخان اهر پرداخت و به این نتیجه رسید که ترکیب پتوی رسی و ترانشه آب بند میزان نشت از پی را بیشتر کاهش می دهد. موهبت زاده و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی شبیه سازی فیلتر و زهکش در برآورد نشت در سد های خاکی پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش میزان گرادیان هیدرولیکی در نزدیکی دیواره آبند می تواند منجر به ایجاد رگاب شود و در این خصوص لازم است برای مهار آن تدابیر مقتضی اتخاذ گردد. کتابداری و سپیانی (۱۳۹۰) به بررسی برآورد فشار هیدرولیکی و تراوش در بستر چند لایه ای سدهای بتنی با استفاده از روش المان مرزی پرداختند. نتایج نشان داد که روش المان مرزی، ابزاری مناسب جهت محاسبه نیروی زیر فشار و تراوش در زیر سدهای بتنی می باشد.

بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در تخمین میزان نشت از هسته رسی سدهای خاکی غیر همگن توسط روشنی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی مقدار نشت آب را با دقت زیادی نسبت به سایر روش ها محاسبه می کند. خداشناس و یار احمدی (۱۳۹۰) به بررسی مقایسه آنالیز دو بعدی و سه بعدی تراوش از سدهای خاکی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با کاهش عرض دره، نتایج آنالیز تراوش سه بعدی نسبت به نتایج آنالیز دو بعدی به واقعیت نزدیکتر می گردد. در تحقیق جعفر زاده و یار احمدی (۱۳۹۰) در خصوص آنالیز دو بعدی و سه بعدی تراوش آب از سد خاکی هاله نتایج حاکی از تطابق رفتارنگاری ابزار دقیق با شبیه سازی حاصل از تحلیل سه بعدی است. منافپور و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی عملکرد هسته مرکزی سد شهر چای ارومیه در مقابله با نشت پرداختند و نتایج حاصل از مدل عددی و اندازه گیری های میدانی نشان داد که رفتار هسته مرکزی سد در برابر با نشت آب در تطابق قابل قبولی با معیارهای تراوشی لحاظ شده در طراحی اولیه سد شهر چای ارومیه می باشد.

خلیلی شایان و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی ارزیابی روش های کاهش اثرات نشت و زیرشویی در سدهاي خاکی پرداختند. ایشان بیان داشتند که بهترین روش جهت کنترل نشت و گرادیان خروجی به کارگیری دیواره سپری در موقعیت میانی پی همراه با پوشش کامل سنتتیک مي باشد. قبادیان و خدایی (۱۳۸۸) به بررسی تاثیرات دیواره آب بند و زهکش بر نیروی زیر فشار و گرادیان خروجی زیر سازه های آبی با حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک به روش احجام محدود پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با احداث یک دیواره آب بند در هر وضعیت مکانی، مقدار گرادیان خروجی نسبت به گرادیان خروجی مبنا (بدون دیوار آب بند) کاهش می یابد. همچنین بیشترین نیروی زیرفشار و کمترین گرادیان خروجی در موقعیتی که دیواره ی آب بند در پایین دست احداث شود، دیده می شود. برپی و والنت (۲۰۰۸) به بررسی مدلسازی نفوذ آب در درز های فونداسیون پرداختند. میشرا و سینگ (۲۰۰۵) به مطالعه روش های عددی برای تعیین مقدار تراوش و مکان هندسی خط فریاتیک پرداختند. ایشان همچنین کاربرد یک فیلتر را مورد بررسی قرار دادند و موقعیت مناسبی را نیز برای آن پیشنهاد کردند. باگو و چاهار (۲۰۰٤) به مطالعه تعیین طول زهکش افقی در سدهای خاکی همگن با لحاظ اثر مویینگی خاک پوسته پایین دست پرداختند. در این تحقیق برای محاسبه فاصله خط فریاتیک با شیب پایین دست و نیز طول زهکش افقی معادله تحلیلی صریح به دست آمده است.

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر زهکش افقی سد خاکی بر سه معیار مهم طراحی شامل گرادیان هیدرولیکی، دبی نشت و نیروی زیر فشار است. برای این منظور سد خاکی همگن با پی نفوذپذیر و دارای زهکش افقی توسط نرم افزار Seep/w شبیه سازی می گردد. متغیر های طراحی شامل طول های متفاوت زهکش می باشند.

۲.مواد و روش ها

الف- معادلات اساسی بکار رفته در تحلیل ها

دبی نشت از قانون دارسی پیروی می کند:

$$q = -kA\,(\partial h / \partial l) \qquad (۱)$$

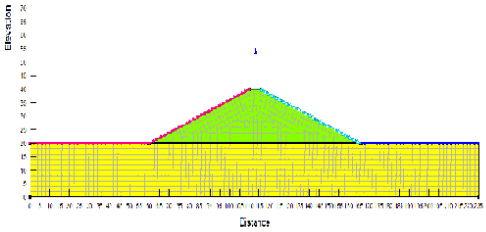
که در آن q دبی نشت (متر مکعب بر ثانیه)، k ضریب نفوذپذیری (متر در ثانیه)، A سطح مقطع جریان آب و خاک (متر مربع) و $\partial h / \partial l$ شیب هیدرولیکی جریان است. معادله حاکم بر جریان آب در محیط متخلخل معادله پواسون است که شکل تعمیم یافته معادله معروف لاپلاس است:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = q \qquad (۲)$$

که در آن kx و ky به ترتیب هدایت هیدرولیکی خاک در دو جهت افقی و قائم (متر در ثانیه)، h پتانسیل آب در خاک (متر) و q دبی جریان ورودی به توده خاک (متر مکعب بر ثانیه در واحد سطح) است. رابطه فوق برای جریان در شرایط دائمی و خاک همگن صادق است. حل معادله پواسون یکی از مسائل پیچیده ریاضی است و روش های عددی زمینه¬ای برای حل معادلات دیفرانسیل و تبدیل آنها به مجموعه ای از معادلات جبری است. از جمله نرم افزارهایی که برای حل معادله پواسون با استفاده از روش اجزا محدود مورد استفاده قرار می گیرد، نرم فزار Seep/w است.

ب- نحوه شبیه سازی عددی

در این مطالعه سد خاکی همگن با ابعاد نشان داده شده در شکل (۱) فرض شده است. در تعیین شرایط مرزی، بار آبی یا پتانسیل بالادست ۳۸ متر و بار آبی پایاب برابر ۲۰ متر فرض گردید. همچنین کف و دیوارهای سمت راست و چپ پی و دیواره شیبدار پایین دست پوسته سد نفوذ ناپذیر (دبی برابر صفر) می باشد. در ضمن گره های اطراف زهکش دارای فشار اتمسفر (فشار صفر) است. شیب بالادست و پایین دست پوسته سد خاکی برابر ۲٫۵H:۱V و شیب بالادست و پایین دست هسته سد خاکی برابر ۰٫۲۵H:۱V می باشد که به عنوان مدل مبنا در نظر گرفته می شود. محاسبه دبی نشت و گرادیان خروجی در تمام حالات از روش اجزای محدود با استفاده از نرم افزار Seep/W (جزیی از بسته نرم افزاری Geo Studio۲۰۰۷) انجام گردید. تعداد المان های مدل دو بعدی سد ۲۵۹۷ می باشد. با توجه به عدم تاثیر گذاری تغییر طول و عمق پی مدل بر محل خروج آب از بدنه سد و با در نظر گرفتن محدودیت نرم افزار از نظر مدل سازی و تعداد المان، مدلی با گستردگی طولی ۲۲۵ متر و عمق پی ۲۰ متر در نظر گرفته شد. شبیه سازی نشان داد که مقدار دبی عبوری و نیز گرادیان¬های هیدرولیکی آن با مدل های عمیق تر و طویل¬تر از خود تفاوت بسیار اندکی دارد. نفوذپذیری اجزای تشکیل دهنده سد خاکی به شرح جدول (۱) می باشد.



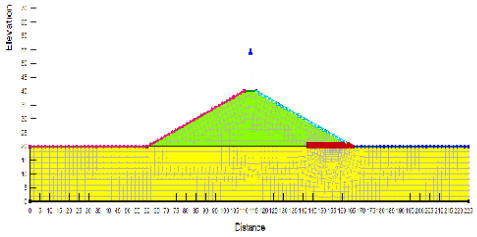
شکل (۱): مقطع تیپ سد خاکي مورد مطالعه (مدل مبنا)

جدول (۱): نفوذ پذیری مصالح مورد استفاده در اجزای سد

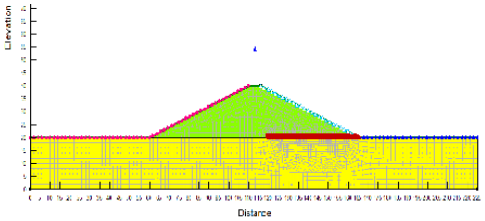
نوع مصالح	Ksat (m/sec)
پوسته	۰/۰۰۱
فیلتر	۰/۱
پی	۰/۰۰۰۰۱

علاوه بر شبیه سازی عددی مدل مبنا (شکل ۱)، چهار مدل دیگر دارای طول زهکش افقی مختلف در نظر گرفته شد. به طوری که نسبت طول زهکش ها ی افقی به طول ٤٦/٥ متری پایین دست در پی سد به ترتیب برابر ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و یک است.

برای نمونه زهکش افقی با طول ۲۳/۲۵ متری و ٤٦/٥ متری از پنجه سد، که نشانگر نسبت طول های نسبی ۰/۵ و یک هستند، در شکلهای (۲) و (۳) نشان داده شده است. همانطوری که در شکل های ۲ و ۳ دیده می شود، در جاهایی که دقت بیشتری مد نظر بوده (اطراف زهکش) از المان های ریزتری استفاده شده است.



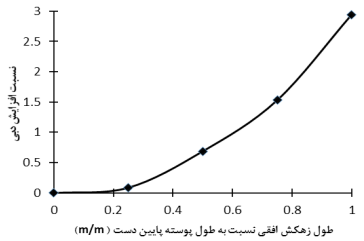
شکل (۲): مقطع سد خاکی با زهکش افقی به طول ۲۳/۲۵ متر از پنجه سد



شکل (۳): مقطع سد خاکی با زهکش افقی به طول ٤٦/٥ متر از پنجه سد

۳- نتایج و بحث

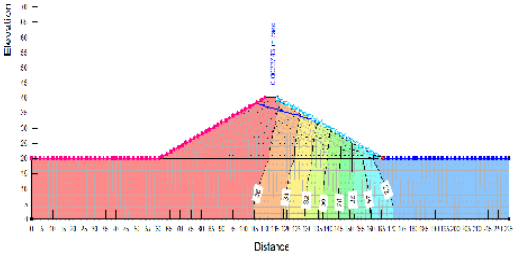
به منظور مطالعه تاثیر طول زهکش افقی بر تغییر مقادیر دبی نشت، گرادیان خروجی و نیروی زیرفشار، زهکش افقی در پنجه با طول های ۱۱/٦۲۵، ۲۳/۲۵، ۳٤/۸۷۵ و ٤٦/٥ متری در نظر گرفته شده است. تحلیل مقادیر دبی نشت برای مقطع¬ای مورد مطالعه قرار می گیرد که موقعیت قرار گیری آن در ۵۳ متری سد در نظر گرفته شده است. اگر فاصله پنجه سد تا محل ٤٦/٥ متری از پنجه سد را با L نمایش دهیم، در این صورت نسبت طول زهکش افقی به طول L برابر مقادیر صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵و یک در نظر گرفته شده است. در شکل (٤) نتایج حاصل از شبیه سازی عددی برای محاسبه دبی نشتی از بدنه و پی سد ارائه گردیده است. در ضمن در محور عمودی شکل (٤) از درصد افزایش دبی نشتی نسبت به حالت مبنا (بدون وجود زهکش در شکل ۱) استفاده شده است.



شکل (٤): دبی عبوری از سد در شرایط طول زهکش های افقی مختلف

مطابق شکل (٤) ملاحظه می گردد که با افزایش طول زهکش افقی، دبی نشت از پی و بدنه افزایش می یابد. به طوری که مقدار دبی نشت از پی و بدنه به ترتیب برای طول زهکش پنجه ای ۱۱/٦۲۵، ۲۳/۲۵، ۳٤/۸۷۵ و ٤٦/٥ متری نسبت به حالت مبنا برابر با ۸/۷۱٪، ٦۸/۷۵٪، ۱۵۳/۱۳٪، ۲۹٤/۳۹٪ خواهد شد. شیب منحنی نشت از سد برای نسبت طول زهکش افقی برابر ۰/۷۵ تا یک بیشتر شده است که بیانگر تاثیر بیشتر این طول در افزایش دبی نشتی است. لازم به یادآوری است هر چند زهکش افقی در پایین دست سد، بر میزان دبی نشتی از سد می افزاید، ولی این افزایش جزیی است و زهکش مانع پدیده زیر شویی پی یا پایپینگ می گردد که اثرات مثبت آن باعث شده امروزه اکثر سدهای مدرن خاکی دنیا مجهز به سیستم زهکش باشند.

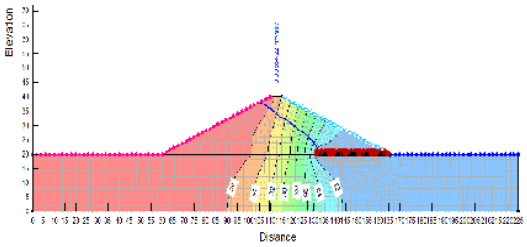
شکل (۵) سد خاکی مدل مبنا را پس از شبیه سازی عددی نشان می دهد. در شکل مذکور منحنی های هم پتانسیل بدنه سد و پی آن، خط فریاتیک و نیز دبی نشتی از سازه دیده می شوند.



شکل (۵): نمایش خطوط هم پتانسیل روی سد خاکی مدل مبنا

شکل ۵ نشان می دهد که در حالت عدم بکارگیری فیلتر در پنجه ی سد خاکی، خط فریاتیک شیب پایین دست را قطع می کند و باعث ناپایداری شیب پایین دست می شود. برای اینکه پایداری شیب پایین دست حفظ شود لازم است که در پنجه ی سد خاکی از فیلتر استفاده شود تا امکان زهکشی را به خاکریز و فونداسیون داده و بدین ترتیب رگاب از داخل آنها محدود شود. از این رو خط فریاتیک نباید شیب پایین دست را قطع کند.

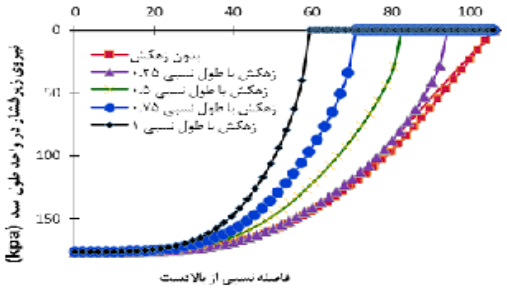
شکل (٦) سد خاکی با زهکش افقی به طول ۳٤/۸۷۵ متر(طول نسبی ۰/۷۵) پس از شبیه سازی عددی را نشان می دهد. در شکل مذکور منحنی های هم پتانسیل بدنه سد و پی آن، خط فریاتیک و نیز دبی نشتی از سازه دیده می شوند. مشاهد می گردد که خط فریاتیک از شیب بدنه پایین دست فاصله گرفته و بر پایداری شیب می افزاید. لذا می توان وجه پایین دست سد را با شیب تند تری احداث کرد و در هزینه ها صرفه جویی کرد. ضمنا مطابق شکل٦، دبی نشتی از بدنه سد برابر ۰/۰۰۸۵٤۲۲ متر مکعب بر ثانیه در واحد طول سد می باشد.



شکل (٦): خطوط هم پتانسیل در مقطع سد خاکی با زهکش افقی به طول ۳٤/۸۷۵ متر از پنجه سد

نمودار توزیع زیر فشار در پی سد در شکل ۷ ارائه گردیده است. با توجه به شرایط مرزی برای زهکش (فشار صفر یا اتمسفر)، در محدوده زهکش مقادیر زیر فشار صفر گردد. مقادیر زیر فشار در زیر سد خاکی سیر نزولی را به خود گرفته است (مقادیر زیر فشار در زیر سد خاکی تقریبا شبیه به سد بتنی می باشد با این تفاوت که در سد خاکی، در درون سد نیز جریان آب وجود داشته که باعث ایجاد فشار آب می گردد). با توجه به نمودار (۷) می توان به این نتیجه رسید که با افزایش طول زهکش افقی، زیر فشار در زیر سد خاکی کاهش می یابد. کاهش نیروی زیر فشار به دلیل عبور راحت تر آب نشتی است

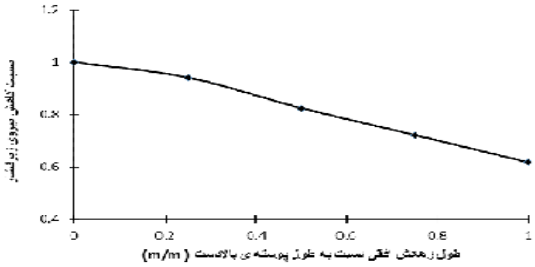
که از طریق زهکش افقی پنجه ی سد میسر می گردد. روشن است که کاهش نیروی زیر فشار بر پایداری سد در برابر لغزش و یا واژگونی می افزاید.



شکل (۷) : توزیع زیر فشار در پی سد ناشی از طول زهکش افقی در پنجه سد

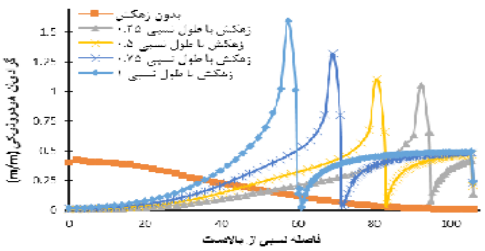
برای درک بهتر، توزیع زیر فشارکل در زیر سد، شکل (۸) ارائه شده است. در شکل (۸) اثر تغییر طول زهکش افقی سد بر کل نیروی زیرفشار (بالابرنده) نشان داده شده است. در واقع این شکل از مساحت زیر منحنی شکل (۷) تولید شده است. ملاحظه می شود که با افزایش طول زهکش افقی مقدار نیروی زیرفشار کل کاهش می یابد.

به طوری که شدت کاهش زیرفشار کل به ترتیب برای طول زهکش پنجه ای ۱۱/۶۲۵، ۲۳/۲۵، ۳۴/۸۷۵ و ۴۶/۵ متری نسبت به حالت مبنا برابر با ۵/۸۳٪، ۱۷/۵۳٪، ۲۷/۸۳٪، ۳۸/۲۷٪ خواهد شد. لازم به ذکر است که عموما نیروی زیرفشار عامل خطرسازی در پایداری سد های خاکی به شمار نمی روند. زیرا شیب های بالادست و پایین دست سدهای خاکی موجب ایجاد مقطع گسترده ای با وزن زیاد می گردد که نیروی وزن سد به مراتب بیشتر از نیروی زیر فشار بوده و عامل خطرسازی نمی باشد.



شکل (۸) : اثر طول زهکش افقی در پنجه سد بر زیر فشار کل در پی سدخاکی

در شکل (۹) اثر وجود و عدم وجود زهکش افقی در پنجه سد خاکی بر روی گرادیان هیدرولیکی نشان داده شده است. شکل (۹) نشان می دهد که روند گرادیان هیدرولیکی در سد خاکی بدون زهکش، روند کاهشی می باشد (با توجه به اینکه طول سد خاکی بیشتر می باشد بمراتب طول خزش نیز بیشتر شده و از نیروی آب می کاهد). همچنین در محدوده زهکش افقی (با توجه به اینکه نفوذ پذیری زهکش صد برابر نفوذ پذیری پوسته سد می باشد) افزایش گرادیان به وقوع پیوسته است. علاوه بر آن در هنگام ورود آب از یک نوع خاک به نوع دیگر خاک (با هدایت هیدرولیکی متفاوت)، چون تحت تاثیر آن قرار می گیرد، در بدو ورود به زهکش افزایش گرادیان را داریم که نیازمند فیلتر می باشیم. اما گرادیان هیدرولیکی خروجی از گرادیان خروجی بحرانی (یک) کمتر بوده و خطر ساز نمی باشد. ملاحظه می شود که منحنی های گرادیان هیدرولیکی مر بوطه به نسبت طول های زهکش متفاوت، نهایتا به مقدار ۰/۵ مماس می کردند که این مقدار نصف گرادیان هیدرولیکی بحرانی (عدد یک) است. لذا افزایش طول زهکش افقی باعث افزایش گرادیان هیدرولیکی خروجی نگردیده و در طراحی نیاز به ملاحظات خاص نمی باشد.



شکل(۹): اثر طول زهکش افقی بر تغییرات گرادیان هیدرولیکی

۴- نتیجه گیری

- با افزایش طول زهکش افقی دبی نشت افزایش می یابد ولی وجود زهکش باعث کاهش خطر بروز پدیده زیرشویی می باشد.
- با افزایش طول زهکش افقی مقادیر نیروی زیرفشار کل کاهش می یابد.
- در محدوده ورود خط نشت به زهکش افقی با توجه به اینکه نفوذ پذیری زهکش صد برابر نفوذپذیری پوسته سد می باشد، افزایش گرادیان به وقوع پیوسته است.
- با افزایش طول های نسبی زهکش افقی، گرادیان هیدرولیکی خروجی پنجه سد تقریبا به گرادیان ۰/۵ مماس می گردند.

۱۲- مراجع

[۱]جعفر زاده ف، یار احمدی ن. ۱۳۹۰. مقایسه نتایج آنالیز دو بعدی و سه بعدی تراوش آب از سد های خاکی ساخته شده در دره های تنگ (مطالعه موردی سد هاله). ششمین کنگره ی ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران.

[۲]خدا شناس س ر، یار احمدی ی. ۱۳۹۰. مقایسه آنالیز دو بعدی و سه بعدی تراوش از سدهای خاکی با استفاده از نرم افزار ۳D/seep و seep/w. ششمین کنگره ی ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران.

[۳]خلیلي شایان ح ، شیخ رضا زاده نیکو ن، امیری تکلداني ا. ۱۳۹۰. ارزیابي روش هاي کاهش اثرات نشت و زیرشویي در سدهاي خاکي. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر ،دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[٤]روشنی ا، فر سادی زاده د، سلماسی ف. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در تخمین میزان نشت به عنوان عامل هدر رفت منابع آب سطحی از هسته رسی سد های خاکی غیر همگن. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

[٥]صیادزاده ف، م ع زمردیان ۱۳۹۰. تعیین خصوصیات جریان و زیر فشار در پی های لایه دار سدهای نفوذ ناپذیر با استفاده از نمودارهای بی بعد، علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳٤، شماره ۱، صفحه های ۷۹-۹۲.

[٦]قبادیان ر، خدایی ک. ۱۳۸۸. تاثیرات دیواره آبند و زهکش بر نیروی زیر فشار و گرادیان خروجی زیر سازه های آبی با حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک به روش احجام محدود. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۲۳، شماره ٤، صفحه های ۱٤۸-۱٦۰.

[۷]قبادیان ر، خلج م، محمدی ک. ۱۳۹۰. اثر پرده آب بند بر موقعیت خط نشت آزاد و دبی تراوش در سدهای خاکی با استفاده از روش عددی حجم های محدود. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳٤، شماره ۱، صفحه های ۹۳-۱۰۲.

[۸]کتابداری م ج ، سپیانی ح. ۱۳۹۰. برآورد فشار هیدرولیکی و تراوش در بستر چند لایه سد های بتنی با استفاده از روش المان مرزی. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران.

[۹]موهبت زاده آ، مشعل م، هدایت ن. ۱۳۹۰. بررسی اثر شبیه سازی فیلتر و زهکش در برآورد نشت در سد های خاکی (مطالعه ی موردی خاکی کرخه خوزستان). چها رمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

[۱۰]موهبت زاده آ، مشعل م، هدایت ن. ۱۳۹۰. تحلیل نشت در سد های خاکی با هسته رسی با استفاده از نرم افزار seep/w (مطالعه ی موردی خاکی کرخه خوزستان). ششمین کنگره ی ملی مهندسی عمران،دانشگاه سمنان، ایران.

[۱۱]موهبت زاده آ، مشعل م، هدایت ن. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر شبیه سازی خاک نیمه اشباع در برآورد نشت در سدهای خاکی (مطالعه ی موردی خاکی کرخه خوزستان). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

[۱۲]منافپور م، بهرامی فر ا ،کولانی مطلق ک. ۱۳۹۰.بررسی عملکرد هسته ی مرکزی سد شهر چای ارومیه در مقابله با نشت از شبیه سازی عددی و نتایج ابزار دقیق. ششمین کنگره ی ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان. ایران.

[۱۳]نصر الهی م. ۱۳۹۰. بررسی ترکیب های مختلف عمق ترانشه و بلانکت رسی برای کاهش نشت از سدخاکی (مطالعه سد ستارخان). پایان نامه ی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه تبریز.

[۱٤] Mishra G. C. and Singh A. K. ۲۰۰۵. Seepage through a levee. International Journal of Geomechanics, ASCE, ۷۹-۷۴ : (۱)۵.

[۱٥] Bhagu R. and Chahar J., ۲۰۰۴. Determination of length of a horizontal drain in homogeneous earth dams. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, ۱۴۵-۱۳۰ :(۵)۶.

[۱٦] Barpi F. and Valente S. ۲۰۰۸. Modeling water penetration

مهندسی و مدیریت ساخت

فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵

مرمت، شبیه سازی و نوآوری سازه های بدیع آبی : راهگشای میراث آیندگان ایران

مهدی یاسی*
گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران)

نویسنده مسئول:
مهدی یاسی

آدرس ایمیل:
m.yasi@ut.ac.ir

چکیده:

پیشینه تمدن ایران، در جهان شناخته شده است. وجود سازه‌هاي آبي در ایران مانند سدها، بندها، اشترگلوها، مقسم‌ها، آسیاب‌هاي آبي و آب‌انبارها، قرن‌ها قدمت داشته، و نشان از ژرف‌نگري ایرانیان و دانش فراوان آنان از مهندسي آب در آن دوران دارد. برخی از این آثار همچنان در حال بهره برداری هستند؛ برخی نیز بازسازی شده و بخوبی کار می کنند؛ و تعدادی نیز مرمت و حفاظت شده، ولی کاربری آنها به سازه های مشابه و جدید در جوار آنها واگذار گردیده است. هدف اصلی از مقاله حاضر، معرفی نمونه هائی از سازه های آبی شاخص ماندگار در قلمرو ایران، ضرورت حفاظت و مرمت برخی سازه های موجود، و نوسازی سازه های بدیع برای ماندگاری میراث تاریخی ایران است. همچنین نوآوری در طرح و ساخت سازه های آبی جدید بعنوان میراث تاریخی و فرهنگی عصر حاضر برای آیندگان این سرزمین، باید مورد نظر قرار گیرد. ساخت و نمایش مدل های فیزیکی از سازه های آبی ماندگار و یا بدیع، در میادین و پارک های شهرهای ایران پیشنهاد می گردد. .

کلمات کلیدی: *تمدن ایرانیان، سازه های آبی، سدهای باستانی، پل- بندها، قنات*

Repair, simulation and innovation water innovative structures: a guide for posterity the heritage of Iran

JECM
Journal of Engineering & Construction Management

V. 01 No. 03 - autumn 2016

Mehdi Yasi*
Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University

Corresponding author:
Mehdi Yasi

Email address:
m.yasi@ut.ac.ir

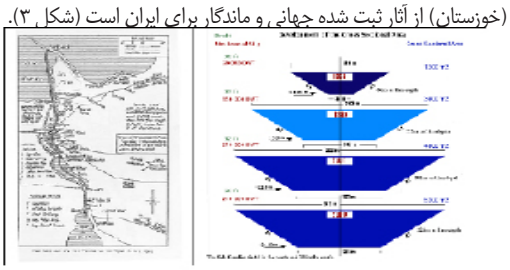
۱-مقدمه:

تمدن ایران عموما در منطقه ای با اقلیم خشک و نیمه خشک، و در کنارهچشمه ها و قنات ها و رودخانه هاقرار داشته است. سازه‌هاي آبي باستاني مانند سدها، بندها، اشترگلوها، مقسم‌ها، آسیاب‌هاي آبي، قنات ها و آب‌انبارها که در ایران وجود دارند قرن‌ها قدمت داشته و بعضي از آنها هنوز هم وظایف عمده خود را که شامل آبرساني به اراضي کشاورزي، مهار سیلاب و یا ذخیره آب مي‌باشد به خوبي انجام مي‌دهند. وجود این سازه‌هاي آبي باستاني نشان از ژرف‌نگري ایرانیان و دانش فراوان آنان از مهندسي آب را در آن دوران دارد [۱]. نمونه های بارز آن: سد میزان و مجموعه آبشار- آسیاب شوشتر در خوزستان؛ سد داریوش و پل- بند امیر و شبکه فاضلاب تخت جمشید در فارس؛ و سد کریت در خراسان جنوبی است. برخی از این آثار عمرانی و تاریخی همچنان با مشخصات پیشین خود در حال بهره برداری هستند (نظیر: سد میزان و قنات های یزد)؛ برخی نیز بازسازی شده و بخوبی کار می کنند (نظیر: پل زمان خان بر روی زاینده رود)؛ و تعدادی نیز مرمت و حفاظت شده، ولی کاربری آنها به سازه های مشابه و جدید در جوار آنها واگذار گردیده است (نظیر پل- بند امیر بر روی رود کر در فارس؛ و سد طرق در خراسان). ترمیم و بازسازي سازه‌هاي باستاني بدون انجام مطالعات اولیه مانند هواشناسي، هیدرولوژي، زمین‌شناسي، ساختگاه‌سازه‌آبي، شناسنامه‌وضعیت کیفي مصالح‌سازه، لرزه‌خیزي، مطالعات زیست‌محیطي، کشاورزي و اجتماعي، اشتباهي جبران‌ناپذیر است. مرمت سازه‌هاي باستاني بدون نظارت و هماهنگي سازمان میراث فرهنگي با کارفرما و مشاور، باعث وارد آمدن خسارتهاي غیر قابل جبران به این گنجینه‌هاي باستاني خواهد بود که متاسفانه در بعضي نقاط این امر اتفاق افتاده است. طرح مرمت بند بهمن مربوط به دوران ساسانیان که در حال حاضر نیز مورد بهره‌برداري مي‌باشد، از دیگر طرح‌هایي است که توسط مشاور و با نظارت موسسه گنجینه ملي مورد مطالعه قرار گرفته است [۲]. بازسازی و مرمت سد گلستان مشهد و عباس آباد بهشهر نیز از پشتوانه مطالعاتی لازم برخوردار بوده است. نمونه دیگر مدیریت حفاظت بند امیر در فارس بر روي رودخانه کر (با بیش از ۱۰۰۰ سال قدمت) با لحاظ اصول بنیادي حفاظت و احیاء آثار فرهنگي- تاریخي بوده است. حفاظت آثار باستانی از فرسایش آبی نیز ضروری است. نمونه موفق آن، مطالعات مربوط به شبکه آبرساني و دفع آبهاي سطحي تخت جمشید به هنگام بارندگي بود؛ که با نظارت و همکاري موسسه گنجینه ملي آب ایران انجام گردید [۱].

گزینه مرمت سازه های تاریخی، گرچه باید در اولویت قرار گیرد؛ ولی برخی آثار بجامانده قابلیت ترمیم و بازسازی را از دست داده اند. بطور مثال، بازسازی سد ایزدخواست و پل دختر بدلیل تخریب بیش از اندازه و نامطمئنی در پایداری پی، مورد تردید است. از سوی دیگر، تصمیم گیری های عجولانه قبلی برای ساخت سازه جدید درنزدیکی سد کریت و سد طرق (خراسان)، علاوه بر صرف هزینه و زمان بسیار زیاد، در مرحله ساخت و بهره برداری آسیب های جدی به این دو آثار وارد نمود؛ که مجوز سازمان میراث فرهنگي را دریافت ننمود. بهرحال، سازمان میراث‌فرهنگي با اعمال مدیریت صحیح مي‌تواند مهمترین عامل در حفظ و حراست از این سازه‌هاي با ارزش آبي باستاني باشند.

۲.بازسازی و بهسازی سازه های آبی ماندگار

پیشینه آثار ماندگار نشان می دهد که در دوره درخشش تمدن ها، سازه های بزرگ آبی ساخته شده و سپس در طول زمان و در دوران بعدی، مجددا بازسازی و یا بهسازی شده اند [۲]. نمونه بارز آن تحول طرح و ساخت کانال سوئز، و نقش میان دوره ای داریوش بزرگ در توسعه این کانال؛ و تلاش های بعدی تا به امروز است (شکل ۱). نمونه دیگر پل زمان خان (بر روی زاینده رود) است؛ که بارها بازسازی شده؛ و هنوز از جاذبه های گردشگری منطقه سامان محسوب می گردد (شکل ۲). شبکه رود دز- بند میزان- رود گرگر- آبشار سیکا در شوشتر (خوزستان) از آثار ثبت شده جهانی و ماندگار برای ایران است (شکل ۳).



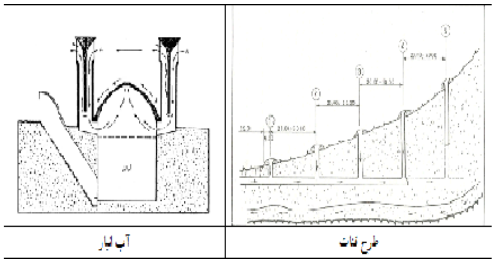
شکل ۱- توسعه طرح و ساخت کانال سوئز در گذر زمان (نجفی و همکاران، ۱۳۸۸)

شکل ۲- پل زمان خان، زاینده رود، سامان(عکس از یاسی، ۱۳۷۸)

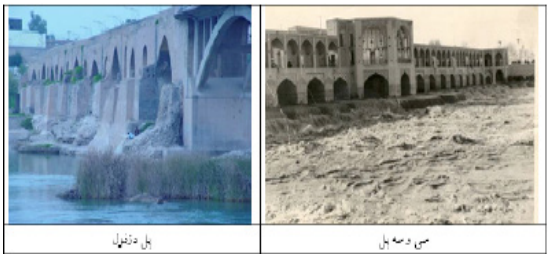
شکل ۳- بند میزان (رود دز) و مجموعه آبشاری سیکا، شوشتر (نجفی و همکاران، ۱۳۸۸)

قنات (ترکیبی از چاه ها و تونل زیرزمینی)، بدون تردید از ابتکارات ایرانیان برای تامین و انتقال آب از زیرزمین به مناطق خشک و نیمه خشک، از حدود ۳۰۰۰ سال پیش بوده است. سپس در کشورهای دیگر خاور میانه (عمان) و در کشورهای آفریقائی گسترش یافت. همچنین، آب انبارها بصورت مخازن زیرزمینی برای نگهداشت آب از تبخیر، گرمایش و آلودگی در مناطق مختلف ایران دیده می شوند. سیمای طرح قنات و آب انبار در شکل ۴ نمایش داده شده است [۳].

پایداری ساختگاه، معماری زیبا و مصالح بادوام در محیط آبی از مشخصات سازه های مشهوری نظیر سی و سه پل (زاینده رود، اصفهان) و پل دزفول (با قدمت ۱۵۰۰ ساله) است، که هنوز کارائی دارند (شکل ۵).



شکل ۴- نمایش عمومی طرح قنات و آب انبار(اسفندیاری، ۱۳۸۶)



شکل ۵- نمونه ای از پل های مشهور ایران (نجفی و همکاران، ۱۳۸۸)

مرمت سازه های تاریخی و ماندگار آب ایران، برای توسعه دانش فنی و بومی و برای احیای صنعت گردشگری ضروری است. بازسازی این سازه ها نیازمند مطالعات جامع و همسو با معیارهای حفاظت از میراث تاریخی- فرهنگی است. نمونه موفق آن، بازسازی بند فیض آباد و بند تیلکان (شکل ۶) در استان فارس است [۱]. سازه های ترکیبی پل- بند از آثار ماندگار ایران هستند. یك نمونه

خوب مدیریت، ترمیم و طرح افزایش ارتفاع بند امیر در فارس بر روي رودخانه کر با بیش از ۱۰۰۰ سال قدمت مي‌باشد. در سال ۱۳۸۲، مطالعات مشاورین مغایر با اصول بنیادي حفاظت و احیاء آثار فرهنگي- تاریخي شناخته شد. نهایتاً سازمان میراث فرهنگي و گنجینه ملي آب با احداث بند جدیدي در بالادست بند امیر با در نظر گرفتن تاثیر آن بر روي بند باستاني امیر موافقت نمودند، که پس از مطالعات لازم این طرح بصورت شکل ۷ اجرا گردید [۱]. نمونه های دیگر بازسازی با هدف گردشگری، پل سید محمد بر روی زنجانرود، و مجموعه "قنات- آب انبار- رختشوی خانه" در محدوده شهر زنجان (شکل ۸)، و آب انبارهای شهر قزوین است.

شکل ۶- بازسازی بند انحرافی تیلکان، استان فارس (جوان، ۱۳۹۳)

شکل ۷- سیمای بند امیر، رود کر، استان فارس (جوان، ۱۳۹۳)

بازسازی سازه های آبی بدون مطالعه جامع در خصوص عوامل تخریب، بدون توجه به بهسازی طرح برای ماندگاری و مقاومت در برابر سیلاب، و اصرار بر احیای دقیق سیمای طرح پیشین، نه تنها به تخریب های متناوب سازه دامن زده؛ بلکه پایداری و سیمای طرح را نیز مخدوش نموده است [۴]. مثال بارز آن، عاقبت پل باراندوز در شکل ۹ است. همچنین، ناسازگاری هدف گردشگری با پایداری پل و رودخانه نیز از آثار نابسامانی در احیای سازه های آبی است، که در تصویر شکل ۹ برای پل گرگانرود مشاهده می گردد.

شکل ۸- نمونه های بازسازی سازه های تاریخی و معاصر آبی ایران (عکس از یاسی، ۱۳۸۵)

شکل ۹- نابسامانی ها در بازسازی آثار تاریخی آب (عکس از یاسی، ۱۳۸۳)

۳- شبیه سازی سازه های بدیع آبی

شبیه سازی نمونه های بارز از سازه های تاریخی،زمینه آشنائی با پیشینه دانش و فن آوری ایرانیان را فراهم می سازد. نمونه مدل های کوچک مقیاس از سازه های آبی عصر حاضر در مجموعه موزه آب، پارک پردیسان تهران، در شکل ۱۰ نمایش داده شده است [۴]. همچنین احداث سازه های بزرگ مقیاس جذابیت بیشتری برای گردشگری فراهم می سازد. نمونه بارز آن، شبیه سازی پل- بند خواجو (بر روی زاینده رود، اصفهان)، پل الکساندر (بر روی رودخانه سن، پاریس)، دروازه قرآن (شیراز) و مسجد طرح عثمانی در شهرک پوتراجایا (پایتخت دولتی کشور مالزی) در سال ۲۰۰۲ است (شکل ۱۱).

شکل ۱۰- مدل های کوچک مقیاس از سازه های آبی عصر حاضر، موزه آب، پارک پردیسان تهران (عکس از یاسی، ۱۳۸۸)

شکل ۱۱- شبیه سازی سازه های بارز باستانی ایران و جهان در شهرک پوتراجایا، مالزی (عکس از یاسی، ۱۳۹۱)

۴-نوآوری در طرح وساخت سازه های آبی

نوآوری در طراحی و ساخت سازه های بدیع آبی، باید مورد نظر قرار گیرد. بازنگری در پیشینه معماری ایرانیان و جهان، تدقیق روش ها و مصالح ساخت، و طرح اهداف چند منظوره برای ساخت و بهره برداری از سازه ها و سامانه های آبی جدید، راهگشای خلق میراث تاریخی و فرهنگی عصر حاضر برای آیندگان این سرزمین است. بطور مثال، سد کوتاه پناه کندی، حدود ۹۰ سال پیش، بصورت زیگزاگی (با هسته رسی و پوشش سنگ و ملات) در ماکو (شمالغرب ایران) ساخته شد. برج آبگیر با هدف دو منظوره (انتقال آب و رسوب زدائی) طرح گردید؛ و هنوز برای تامین آب کشاورزی استفاده می گردد (شکل ۱۲). نمونه مشابه آن با دانش و فنآوری جدید، و با هدف گردشگری، بصورت "پل- سرریز" با پلان "زیگزاگی- ذوزنقه ای" در دریاچه مصنوعی شهرک پوتراجایا (مالزی) در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در بالادست این سرریز زیبا، سیمای پل الکساندر (بر روی رودخانه سن، پاریس) نیز دیده می شود. یادآوری می گردد که، گرچه سیمای این دریاچه به گردشگری و اکو توریسم می ماند؛ ولی نقش بنیادی آن بعنوان یک مخزن تاخیری برای کنترل سیلاب شهر است[۴]. نتایج مطالعات جریان بر روی سرریز های خطی و زیگزاگی (شکل ۱۴) نشان داد که، سرریزهای با پلان قوسی از نظر هیدرولیکی (راندمان انتقال آب از روی سرریز)، زیست محیطی (خود پالائی آب) و چشم انداز (زیبا سازی) کارائی برتری دارند [۵و۶]. در صورت حضور آثار تاریخی در مجرای اصلی رودخانه یا در سیلابدشت رودخانه، احداث سرریزهای زیگزاگی درنزدیکی آنها گزینه برتری نسبت به دیگر سرریزهای خطی (با تاج ثابت یا دریچه دار) است.

شکل ۱۲- سد مخزنی پناه کندی، ماکو- با پلان زیگزاگی (عکس از یاسی، ۱۳۸۸)

شکل ۱۳- سیمای "پل- سرریز" با پلان "زیگزاگی- ذوزنقه ای" در شهرک پوتراجایا، مالزی (عکس از یاسی، ۱۳۹۱)

شکل ۱۴- مقایسه جریان بر روی سرریزهای خطی و زیگزاگی (عزیزپور و یاسی، ۱۳۹۳)

۵- نتیجه گیری

ایرانیان سهم قابل توجهی در خلق و توسعه دانش و فنآوری سامانه های آبی داشته اند. برخی از آثار عمرانی و تاریخی آب ایران، هنوز در حال بهره برداری هستند. حفاظت و مرمت سازه های تاریخی و ماندگار آب ایران، برای توسعه دانش فنی و بومی و برای احیای صنعت گردشگری ضروری است.

بازسازی این سازه ها نیازمند مطالعات جامع و سازگار با معیارهای حفاظت از میراث تاریخی- فرهنگی باید باشد. نوآوری در طراحی و ساخت سازه های بدیع آبی، بعنوان میراث تاریخی برای آیندگان این سرزمین، باید مورد نظر قرار گیرد. در خلق آثار نوین، بازنگری در پیشینه معماری ایرانیان و جهان، تلفیق روش ها و مصالح ساخت سنتی و مدرن، و دوام طرح برای بازه زمانی طولانی در آینده، ضرورت دارد. در صورت حضور آثار تاریخی در مجرای اصلی رودخانه یا در سیلابدشت رودخانه، احداث سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی گزینه برتری نسبت به دیگر سرریزهای خطی است. احداث پارک گنجینه آب، برای ساخت مدل های فیزیکی از سازه های آبی باستانی و عصر حاضر؛ و نمایش نوآوری ها در خلق آثار جدید و ماندگار آبی، در حداقل یک شهر از هر یک از استان های ایران، با محوریت دانشگاه های استانی، پیشنهاد می گردد. تهیه اطلس سامانه های آبی باستانی و معاصر ایران برای نمایش مستند جانمائی و معرفی شناسه هر یک از این آثار ضروری است.

.مراجع

۱. جوان، م. (۱۳۹۳). سازه های آبی باستانی استان فارس، همایش تابستانی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲. نجفی، ع.، جوان، م. و یاسی، م. (۱۳۸۸). سازه های آبی تاریخی ایران- درس های آموختنی، همایش میراث سازه های آبی در ایران، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳. اسفندیاری، ا. (۱۳۸۶). قنات: بدیع ترین سامانه آبیاری باستانی ایران، همایش بین المللی تاریخچه آبیاری و زهکشی، تهران، ایران.

۴. یاسي، م. (۱۳۹۳). ساماندهی رودخانه های شهري سازگار با مديريت بحران، زيست بوم رودخانه و رعايت منظر شهري. كنفرانس ملي فرصت ها و پتانسيل هاي رودخانه كارون، اهواز، ايران.

۵. یاسي، م. و محمدی م. (۱۳۸۶). بررسي سرريزهاي زيگزاگي با پلان قوسي. مجله پژوهشي علوم و فنون كشاورزي و منابع طبيعي، دانشگاه صنعتي اصفهان، ايران، جلد ۱۱، شماره ۴۱، صفحه ۱۴- ۱.

۶. عزیزپور، ب. (۱۳۹۳). آبشستگی پائین دست مدل سرریزهاي زيگزاگي. پايان نامه كارشناسي ارشد رشته سازه هاي آبي، تحت راهنمائي دكتر مهدي ياسي، گروه مهندسي آب، دانشگاه ارومیه، ایران.

مروری برانواع فیلترها از نظر مقاومت در برابر فرار مصالح در سازه های ساحلی و مقایسه آنها

مهندسی و مدیریت ساخت
فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵

امیر ارسلان کرمی متین
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های دریایی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت **مدرس**
مهدی شفیعی فر
ااستاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

نویسنده مسئول:
امیر ارسلان کرمی متین
آدرس ایمیل:
a.karamimatin@modares.ac.ir

چکیده:

فیلترها در بسیاری از سازه‌های دریایی و هیدرولیکی برای جلوگیری از فرار مصالح و تامین زهکشی به کار می‌روند. فیلترها در حالت کلی از نظر مقاومت در برابر فرار مصالح بستر به سه دسته هندسه بسته، هندسه باز پایدار، هندسه باز ناپایدار تقسیم بندی می‌شوند. در فیلترهای هندسه بسته تحت هر مقدار بارگذاری هیدرودینامیکی، فرار مصالح رخ نمی‌دهد، اما در فیلترهای هندسه باز پایدار امکان فرار مصالح وجود دارد. در فیلترهای هندسه باز ناپایدار نیز مقداری فرار مصالح که مانع از وارد آمدن آسیب جدی به سازه می‌شود، قابل قبول است. به منظور عملکرد فیلترهای هندسه باز، مطالعات آزمایشگاهی گسترده‌ای تا به امروز صورت گرفته، اما هنوز هم دانش مختصری در این زمینه در دسترس است. به همین دلیل محققین حوزه هیدرولیک این روش طراحی را در سازه‌های ساحلی استفاده نمی‌کنند. لذا هم چنان در سازه‌های ساحلی، فیلترها به صورت هندسه بسته اجرا و طراحی می‌شوند. با توجه به اهمیت بسیار بالای لایه فیلتر در سازه‌های ساحلی، این نوشتار به بررسی پیشینه مطالعاتی در زمینه دسته بندی انواع فیلترها از نظر مقاومت در برابر فرار مصالح بستر و مقایسه آنها می‌پردازد.

کلمات کلیدی: *فیلتر، فیلترهای هندسه بسته، هندسه باز، فرار مصالح، سازه‌های ساحلی*

Challenges of integrated urban water and waste water management : Case Study of Romania

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
V. 01 No. 03 - autumn 2016

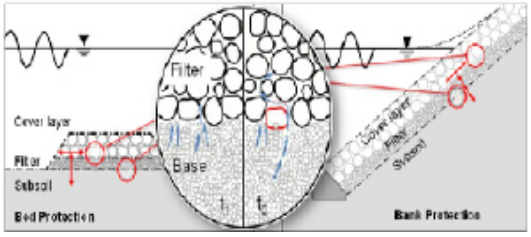
Amir Arsalan Karami Matin*
maritime graduate student, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University
Mehdi Shafieefar
Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University

Corresponding author:
Amir Arsalan Karami Matin

Email address:
a.karamimatin@modares.ac.ir

۱- مقدمه:

در مهندسی سواحل لایه فیلتر که گاهی زیرلایه نیز نامیده می شود، لایه‌ای است که جهت محافظت از مصالح لایه زیرین یا خاک زیرین در مقابل فرار مصالح ناشی از امواج و جریان ها بدون آن که فشار آب حفره ای در مصالح لایه زیرین افزایش یابد، مورد استفاده قرار می گیرد. فیلتر می تواند متشکل از مصالح دانه ای، ژئوتکستایل، ترکیب ژئوتکستایل با مصالح دانه ای باشد. شکل زیر نمونه‌ای از لایه فیلتر در سازه‌های حفاظت بستر و حفاظت شیب می‌باشد.



شکل۱- نمونه‌ای از فیلتر در سازه های ساحلی[۶]

به طور کلی لایه های فیلتر اهداف زیر را تامین می کنند:

۱- جلوگیری از فرار مصالح هسته در اثر فشارهای منفی ناشی از نوسانات و حرکت سیال درون سازه و کمک به زهکشی. در غیاب لایه فیلتر یا عملکرد نامناسب آن، مصالح لایه زیرین آن فرار کرده و فضاهای خالی در قسمت هایی از سازه ایجاد می کنند. در واقع سازه پوک و توخالی می شود و سطح تاج سازه نشست می کند (در موج شکن ها) و در نتیجه ممکن است باعث نشست های نامتقارن و کاهش تراز تاج سازه گردد.

۲- کاهش بارهای هیدرودینامیکی بر روی لایه های سنگی خارجی سازه

۳- ایجاد سطح مناسب برای احداث لایه پوششی.

۴- ممانعت از نشست لایه پوششی به داخل لایه زیرین فیلتر و ایجاد بستری پایدار برای لایه پوششی.

۵- توزیع مناسب وزن سازه بر روی مصالح بستر.

۶- حفاظت از مصالح مغزه در مقابل توفان های متوسط طی دوره احداث سازه موج شکن.

۷- جلوگیری از نفوذ دانه های ریز بستر دریا به داخل موج شکن

۲-انواع فیلترها از نظر مقاومت در برابر فرار مصالح در سازه‌های ساحلی

فیلترها به لحاظ مقاومت در برابر فرار مصالح بستر در سازه‌های حفاظت شیب یا سازه‌های حفاظت بستر در سواحل، به سه دسته تقسیم بندی می‌شوند:

الف) فیلترهای هندسه‌ی بسته(geometrically closed-Geometrically tight filters)

ب) فیلترهای هندسه‌ی باز پایدار(Stable geometrically open filters)

ج) فیلترهای هندسه‌ی باز ناپایدار یا فیلترهای با فرض فرار مصالح(unstable open filters)

در فیلترهای با هندسه‌ی بسته هیچ گونه فرار مصالح از بستر سازه یا هسته موج شکن تحت اثر هر مقدار بارگذاری هیدرودینامیکی اتفاق نمی‌افتد و در واقع تحت بارگذاری های هیدرودینامیکی پایدار است. به عبارت دیگر فواصل بین دانه‌های مصالح فیلتر(یا روزنه‌های ژئوتکستایل) آن قدر کوچک هستند که مصالح ریز بستر سازه قادر به انتقال نبوده و نمی‌توانند از لایه مورد نظر فرار کنند.

در فیلترهای با هندسه‌ی باز پایدار، فضای بین دانه‌های فیلتر از اندازه مصالح بستر بزرگتر است و امکان فرار مصالح وجود دارد، اما به طور کلی بارگذاری هیدرودینامیکی کمتر از آن است که بتواند ذرات بستر را از منافذ لایه فیلتر عبور دهد. در واقع بارهای هیدرودینامیکی امواج و هیدرولیکی جریان‌ها کمتر از مقدار نیروی لازم برای شروع حرکت مصالح بستر هستند؛ به همین دلیل فرار ذرات رخ نمی‌دهد.

در فیلترهای با هندسه‌ی باز ناپایدار نیز مانند فیلترهای هندسه‌ی باز پایدار، فضای بین دانه‌های فیلتر از اندازه ذرات بستر بزرگتر است، اما نیروهای هیدرودینامیکی و هیدرولیکی موجود بیشتر از مقدار آستانه حرکت ذرات بستر اهستند و به همین دلیل فرار مصالح در این گونه فیلترها رخ می‌دهد.

لازم به ذکر است که منظور از فرار مصالح در سازه‌های حفاظت بستر، فرار مصالح بستر است و در سازه‌های حفاظت شیب مثل موج‌شکن‌ها، فرار هسته یا مغزه است.

۲-۱- فیلترهای هندسه بسته

همانطور که در مقدمه ذکر شد در این فیلترها فرار مصالح تحت هیچ شرایطی رخ نخواهد داد و لایه‌ی فیلتر اغلب با دانه بندی مشخصی که متناسب با فرض تعداد لایه‌های فیلتر در حالت هندسه بسته از نوع هندسه باز پایدار معمولا بیشتر است و تعداد لایه‌های فیلتر در نوع هندسه باز پایدار نیز احتمال می‌رود از تعداد لایه‌های فیلتر هندسه باز ناپایدار بیشتر باشد.

۲-۱-۱- مروری بر مطالعات فیلترهای هندسه بسته

معیارهای به دست آمده در مطالعات صورت گرفته برای فیلترهای هندسه بسته به منظور جلوگیری از فرار مصالح مغزه در سازه های ساحلی به صورت مستند در جدول ۱ ذکر شده است. علاوه بر آن Rankilor (۱۹۸۱) منحنی هایی برای طراحی فیلتر به صورت تجربی بدست آورد که در آن نمودار، نسبت $\frac{D_{15}}{d_{15}}$ (d قطر مصالح فیلتر یا لایه زیرین و D قطر مصالح لایه بالایی است)، تابعی از ضریب یکنواختی خاک بستر($\frac{d_{60}}{d_{10}}$) است و برای جریان های دائمی پایدار و تناوبی پایدار نمودار جداگانه ای ارائه شده است.

بسیاری از معیارهای به دست آمده برای فیلترهای هندسه بسته که در طراحی سازه های ساحلی استفاده می شوند، شبیه به روابط فیلتر برای جریان های دائمی هستند که برگرفته از معیارهای ترزاقی در طراحی فیلتر است. طبق تحقیقات Sherard (۱۹۸۴)، معیارهای ارائه شده نسبتا محافظه کارانه و برای جریان های دائمی هستند. معیار $\frac{D_{15}}{d_{15}}<4-5$ که جزء معیارهای فیلترهای هندسه بسته است ، معیاری بسیار محافظه کارانه و با ضریب اطمینان بالایی بدست آمده است (ضریب اطمینان۲). با این وجود سوالی مطرح می شود که آیا این معیار حتی با ضریب اطمینان۲ می تواند معیاری استاندارد و قابل قبول برای سازه های ساحلی باشد. به همین منظور، تحقیقات آزمایشگاهی گسترده ای توسط De Graauw و همکاران (۱۹۸۳) و Molen-Kamp و همکاران (۱۹۷۹) و همچنین Belyashevskii و همکاران (۱۹۷۲) روی فیلترها با شرایط جریان تناوبی (Cyclic Flow) انجام شد، ولی به پاسخی برای این سوال نرسیدند. بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات آزمایشگاهی De Graauw و همکاران (۱۹۸۳) برای پایداری فیلترهای دانه‌ای تحت اثر جریان‌های آشفته و غیر یکنواخت ، معیارهای سخت گیرانه تری برای جریان‌های آشفته دیده می‌شود(طبق گزارش PIANC). هم چنین بدون آن که تعریفی از جریان‌های بسیار آشفته ارائه داده باشد، معیار زیر را ارائه داد:

$$\frac{D_{f\,50}}{d_{s50}}<3-5 \qquad (1)$$

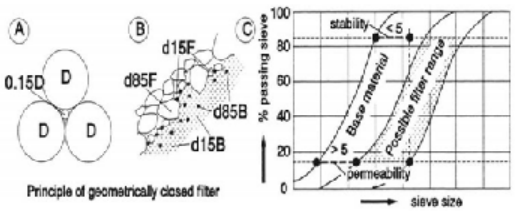
آخرین تحقیقات در مورد فیلترهای هندسه بسته در سازه‌های ساحلی توسط Schiereck (۲۰۰۴) صورت گرفته که منجر به تدوین سه معیار برای طراحی فیلترهای هندسه بسته گردیده است. معیارهای به دست آمده در جدول ۱ ذکر شده اند. سه معیار به دست آمده از این تحقیق آزمایشگاهی به ترتیب از بالا به پایین بر اساس پایداری بین لایه فیلتر و لایه بستر، پایداری داخلی و نفوذ پذیری بوده است.

$$\frac{d_{f\,15}}{d_{s85}}<5 \qquad (2)$$

$$\frac{d_{60}}{d_{10}}<10 \qquad (3)$$

$$\frac{d_{f\,15}}{d_{s15}}>5 \qquad (4)$$

شکل۲ نمودار دانه بندی مصالح فیلتر و بستر و نحوه به دام افتادن ذرات بستر را در فیلترهای هندسه بسته نشان می‌دهد.



شکل۲- بلوکه شدن ذرات بستر و نمودار دانه بندی مصالح فیلتر و بستر[۱۱]

همچنین لازم به ذکر است که تحقیقاتSchü renkamp و همکاران (۲۰۱۲) در زمینه طراحی فیلترهای دانه‌ای برای حفاظت سازه‌های فراساحلی در برابر فرار ذرات بستر نشان دادکه معیارهای موجود در طراحی فیلترهای هندسه بسته، برای حفاظت این سازه‌ها قابل قبول نبوده و نمی‌تواند سازه‌های فراساحلی را در برابر خطرات ناشی از فرار مصالح ایمن نماید.
در جدول ۱ معیارهای موجود برای فیلترهای هندسه بسته در سازه های ساحلی ذکر شده است(D قطر مصالح لایه بالاتر و d قطر مصالح لایه زیرین است).

جدول ۱- معیارهای به دست آمده درفیلترهای هندسه بسته برای سازه های ساحلی

نوع سازه ساحلی	معیار طراحی فیلتر	نام محقق	شماره
فیلترهای‌سنگی‌دانه بندی شده	$\frac{D_{60}}{D_{10}} < 0.2\frac{D_{50}}{d_{50}}$	Belyashevskii و همکاران(۱۹۷۲)	۱
برای زیرلایه های پوشش های ساحلی توده سنگی	$\frac{D_{15}}{d_{15}} < 4$	Ahrens(۱۹۷۵)	۲
برای زیرلایه های پوشش های ساحلی توده سنگی	$\frac{D_{15}}{d_{15}} < 4$ $\frac{D_{50}}{d_{50}} < 7$ $\frac{D_{15}}{d_{15}} < 7$	Thompson و Shuttler(۱۹۷٦)	۳
فیلترهای دانه ای تحت بارگذاری جریا ن های تناوبی	$\frac{D_{f50}}{d_{b50}} < 3-5$	De Graauw و همکاران(۱۹۸۳)	٤
زیرلایه های موج شکن های توده سنگی	$\frac{D_{50}}{d_{50}} < 3$ یا $\frac{N_{50\ armu}}{W_{50\ filter}} < 25-30$	Van Orschot(۱۹۸۳)	۵
آرمورهای سنگی دانه بندی شده، پتوهای زهکشی (فیلتر)، لایه های بستر	$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$	SPM(۱۹۸٤)	٦
برای لایه زیرین فیلترهای‌سنگی‌دانه بندی شده	$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4-5 < \frac{D_{15}}{d_{15}}$	Engineer Manual(۱۹۸٦)	۷
برای زیرلایه آرمور سنگی	$\frac{D_{15}}{d_{15}} < 4$		
سازه‌های توده سنگی	$\frac{d_{f15}}{d_{b85}} < 5$ $\frac{d_{60}}{d_{10}} < 10$ $\frac{d_{f15}}{d_{b15}} > 5$	Schiereck(۲۰۰٤)	۸
سازه‌های توده سنگی	$\frac{D_{15}}{d_{85}} = 4-5$	CEM(۲۰۰۸)	۹

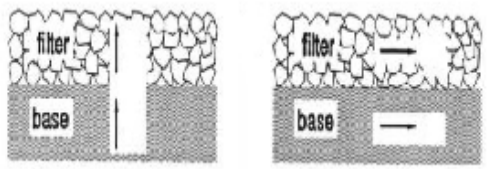
معیارهایی که امروزه برای طراحی فیلترها استفاده می شود، شباهت بسیاری به آخرین معیار موجود در جدول ۱ دارد و مبنای طراحی فیلترهای دانه ای در سازه های ساحلی داخل کشور از جمله موج شکن‌های توده سنگی است. برخی از این معیارها علاوه بر جلوگیری از فرار مصالح مغزه از فیلتر، نفوذپذیری و پایداری داخلی را نیز تامین می‌کنند.

۲-۲- فیلترهای هندسه باز پایدار و ناپایدار

در بندهای قبل فیلترهای هندسه باز ناپایدار و پایدار توضیح داده شدند. تفاوت این دو نوع فیلتر در مقدار بارهای هیدرودینامیکی وارده در سطح مشترک لایه فیلتر و بستر است. به عبارت دیگر در فیلترهای هندسه باز پایدار، بارگذاری هیدرودینامیکی در سطح مشترک فیلتر و بستر آنقدر کاهش می‌یابد که فرار مصالح ریز بستر اتفاق نمی‌افتد. اما در بارهای هیدرودینامیکی بزرگتر از نیروی لازم برای شروع فرار ذرات، امکان فرار مصالح وجود دارد. در فیلترهای هندسه باز ناپایدار، نیروهای وارده بیشتر از مقدار نیروی لازم برای حرکت و فرار ذرات ریز است و مقداری مشخص و قابل پیش بینی، فرار مصالح اتفاق می‌افتد و در نتیجه مقداری نشست رخ می‌دهد. عملکرد این فیلتر به نحوی است که فرار مصالح و نشست ناشی از آن به مقدار مشخصی که برای سازه ایجاد ناپایداری نکند، محدود می‌شود. همچنین ممکن است تعداد لایه‌های فیلتر در فیلترهای هندسه باز ناپایدار نسبت به حالت هندسه باز پایدار کاهش یابد.

۲-۲-۱- تحقیقات پیشین در زمینه فیلترهای هندسه باز

از اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی تحقیقات جدیدی روی فیلترهای هندسه باز انجام شد. تعدادی ازاین مطالعات آزمایشگاهی روی فیلترهای هندسه باز پایدار صورت گرفت. نتیجه حاصل شده منجر به طراحی اقتصادی‌تر لایه فیلتر گردید. از آنجا که فرار مصالح مغزه در این نوع فیلترها (هندسه باز پایدار) اتفاق می‌افتد، نیاز به بررسی گسترده تر و تحقیقات آزمایشگاهی دقیق‌تری در مورد پدیده فرار مصالح و شرایط موثر در شروع فرار ذرات دیده می‌شود. در این فیلترها، پایداری زمانی مفهوم پیدا می‌کند که مقدار بسیار ناچیزی فرار ذرات در طول عمر مفید سازه دیده شود.
عمده تحقیقات فیلترهای هندسه باز برای حالت ناپایدار بوده و بررسی عملکرد هندسه باز پایدار به تعداد کمی محدود شده است. علت محدودیت مطالعات در این زمینه را شاید بتوان نزدیک بودن عملکرد این فیلترها در فرار مغزه نسبت به حالت هندسه بسته دانست.
در طول سال‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ تحقیقات متعددی برای به دست آوردن معیار شروع حرکت ذرات مغزه در فیلترهای هندسه باز انجام شد. دو نوع جریان متفاوت در بررسی رفتار این فیلترها دیده شد. ۱- جریان موازی در مرز بین فیلتر و بستر و ۲- جریان عمود بر مرز بین فیلتر و بستر. شکل ۳ این مسئله را به تصویر کشیده است. بارگذاری ناشی از این جریان‌ها می‌تواند دائمی و تناوبی(امواج) باشد. تعدادی از تحقیقات فقط به بررسی جریان‌های موازی و بعضی دیگر به جریان‌های عمود بر مرز فیلتر و بستر پرداختند.در نهایت ۴ حالت بارگذاری در بررسی این فیلترها به صورت زیر وجود دارد:
-جریان‌های دائمی موازی با سطح مشترک فیلتر و بستر
-جریان‌های تناوبی موازی با سطح مشترک فیلتر و بستر
-جریان‌های دائمی عمود بر سطح مشترک فیلتر و بستر
-جریان‌های تناوبی عمود بر سطح مشترک فیلتر و بستر



شکل۳- جریان‌های موازی و عمود بر سطح مشترک فیلتر و بستر[۱۱]

لازم به ذکر است که ترکیبی از موارد فوق نیز می‌تواند ایجاد شود.
De Graauw و همکاران (۱۹۸۴) با داده‌های حاصل شده از مدل آزمایشگاهی یک سازه حفاظت بستر، به معیاری برای پایداری سطح مشترک فیلتر و بستر دست یافتند. بررسی پایداری از طریق مقدار گرادیان هیدرولیکی بحرانی(i_cr) صورت گرفت. i_cr به طور مستقیم در مرز بین فیلتر و بستر با استفاده از قرار دادن سنسورهای محاسبه فشار(گرادیان هیدرولیکی حاصل از تغییرات

فشار در مقطع مورد نظر بود) محاسبه می‌شد. به ازای گرادیان هیدرولیکی های بزرگتر از گرادیان هیدرولیکی بحرانی، در سطح مشترک فیلتر و بستر(filter-bed interface)، فرار ذرات شکل گرفته و به تبع آن سازه ناپایدار می‌شود. در این آزمایش‌ها برای نسبت ثابت بین قطر مصالح فیلتر و بستر، با افزایش قطر ذرات فیلتر، گرادیان هیدرولیکی بحرانی کاهش می‌یافت. علت این مسئله بزرگتر بودن سرعت‌های منفذی(pore velocities)در دانه‌های درشت فیلتر نسبت به ذرات ریز فیلتر گزارش گردید. همچنین با استفاده از داده‌های به دست آمده از این مطالعه، رابطه‌ای تجربی برای گرادیان هیدرولیکی بحرانی به دست آمد:

$$U_{1cr} = 1.3 d_{50b}^{0.57} + 8.3 \times 10^{-8} d_{50b}^{-1.2} \quad (۵)$$

$$i_{cr} = \left[\frac{0.06}{n_f^{3} d_{15f}^{\frac{4}{3}}} + \frac{n_f^{\frac{5}{3}} d_{15f}^{\frac{1}{3}}}{1000 d_{50b}^{\frac{5}{3}}}\right] U_{1cr}^{2} \quad (۶)$$

U_{1cr} سرعت برشی بحرانی در مصالح بستر بر حسب متر بر ثانیه قطر اسمی d_{50b} مصالح بستر بر حسب متر

i_{cr} گرادیان هیدرولیکی بحرانی موازی سطح مشترک بستر و فیلتر

n_f تخلخل مصالح فیلتر

d_{15f} قطری که ۱۵ درصد ذرات فیلتر از آن ریزتر هستند.محاسبه سرعت برشی بحرانی با روش شیلدز نشان داد که گرادیان هیدرولیکی بحرانی در بارگذاری تناوبی همان مقدار گرادیان هیدرولیکی بحرانی در بارگذاری جریان‌های دائمی(Steady flow) حاصل شده در تحقیق De Graauw و همکاران (۱۹۸۴) است. بررسیهای Van Os (۱۹۹۸) بعدا نشان داد که فرار ذرات بستر ممکن است در گرادیان هیدرولیکی های کوچکتر از گرادیان هیدرولیکی بحرانی محاسبه شده توسط De Graauw اتفاق بیفتد.

Klein Breteler و همکاران (۱۹۸۷) تحقیقات آزمایشگاهی روی فیلترهای دانه ای با بستر ماسه ای تحت اثر جریان های غیردائمی موازی با سطح مشترک فیلتر و بستر انجام دادند. آنها مدل فیزیکی سازه را در داخل فلوم موج ساز ساخته و آزمایش‌های خودرا با پریود دو ثانیه انجام دادند. نتایج نشان داد که برای دوره تناوب‌های بیشتر از دو ثانیه، مقدار گرادیان هیدرولیکی بحرانی، نزدیک به مقادیر خروجی حاصل از فرمول De Graauw و همکاران (۱۹۸۴) می‌باشد.

Klein Breteler (۱۹۸۹) یک تحقیق آزمایشگاهی روی یک بستر ماسه‌ای با فیلتر دانه‌ای تحت اثر جریان دائمی(Steady flow) به انجام رساند. در این آزمایش‌ها مقدار فرار ذرات ماسه اندازه‌گیری شده و همچنین سرعت بحرانی در لایه فیلتر(U_{fcr}) و گرادیان هیدرولیکی بحرانی موازی با سطح مشترک فیلتر و بستر در آستانه فرار ذرات بستر محاسبه گردید. بر اساس این مطالعه و تحقیقات انجام شده توسط Den Adel (۱۹۹۲) روابطی برای سرعت بحرانی فیلتر ارائه گردید که مبنای شروع حرکت ذرات بستر تحت جریان های دائمی قرار گرفت.

$$U_{fcr} = \left[\frac{n_f}{C}\left(\frac{D_{f15}}{\nu_w}\right)^{m} (\Psi \cdot \Delta_s d_{b50} g)^{0.5}\right]^{\frac{1}{1-m}} \quad 0.1mm < D_{50b} < 1mm \quad (۷)$$

$$U_{fcr} = \frac{n_f}{0.22}\sqrt{\Psi \cdot \Delta_s d_{b50} \cdot g} \quad D_{50b} > 0.7mm \quad (۸)$$

g شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه

ν_w ویسکوزیته سینماتیکی آب بر حسب متر مربع بر ثانیه ضرایب بدون بعد C,m که وابسته به قطر اسمی

پارامتر شیلدز برای ذرات بستر

Δ_s چگالی نسبی مغروق مصالح بستر

Klein Breteler و همکاران (۱۹۹۲) بر اساس رابطه ارائه شده برای گرادیان هیدرولیکی بحرانی توسط De Graauw و همکاران (۱۹۸۴)، دو رابطه تجربی برای محاسبه نرخ فرار مصالح بستر(T) بر حسب ($\frac{kg}{m \cdot s}$) در جریان‌های دائمی به دست آوردند که به شرح زیر است:

$$\rho_s \cdot p_1 \cdot \left(\frac{i}{i_{cr}} - 1\right)^{1.5} \quad (9)$$

$$\rho_s \cdot p_2 \cdot \left(\frac{u_f}{u_{f,cr}}\right)^{2} - 1)^{1.5} \quad (10)$$

ρ_s چگالی مصالح انتقال یافته

P_f دبی انتقال بر حسب متر مکعب بر ثانیه بر متر

$u_{f,cr}$ سرعت بحرانی فیلتر بر حسب متر بر ثانیه

i_{cr} گرادیان هیدرولیکی بحرانی موازی سطح مشترک بستر و فیلتر

این فرمول‌ها با فرض یک جریان آشفته بوده و گرادیان هیدرولیکی متناسب با مجذور سرعت لایه فیلتراست. روابط فوق نشان می‌دهند که نرخ فرار ذرات ریز بستر وابسته به $\frac{i}{i_{cr}}$ و $\frac{u_f}{u_{f,cr}}$ است. به عبارت دیگر هر چقدر گرادیان هیدرولیکی ایجاد شده در مرز فیلتر وبستر (موازی مرز) از گرادیان هیدرولیکی بحرانی که نقطه شروع فرار ذرات است، بزرگتر باشد؛ نرخ فرار مصالح بستر، بیشتر است. این موضوع در مورد نسبت سرعت‌ها نیز صادق است.

Klein Breteler و همکاران (۱۹۹۲) چندین آزمایش نیز روی همان بستر ماسه‌ای و فیلتر دانه‌ای، اما این بار نحت بارگذاری تناوبی انجام دادند و مشاهده نمودند روابطی که در گذشته برای شروع فرار ذرات بستر با جریان‌های دائمی ارائه گردیده، در شرایط جریان‌های تناوبی نیز می‌تواند مورد پذیرش قرار بگیرند.

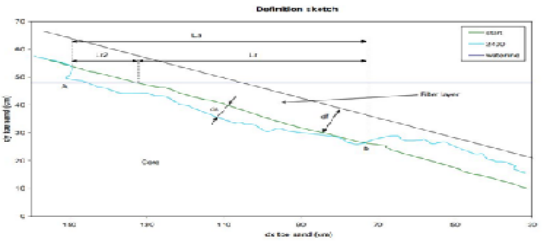
مطالعه آزمایشگاهی Halter (۱۹۹۹) به منظور درک بهتر عملکرد فیلترهای هندسه باز با بارهای هیدرودینامیکی امواج صورت گرفت. این تحقیق در فلوم موج ساز با امواج منظم و شکسته نشده با هدف یافتن ارتفاع بحرانی امواج برای فرار مصالح بستر و ایجاد ناپایداری در آن شکل گرفت. Halter در تحقیقات خود به نتایج زیر دست یافت:

- مقدار بار هیدرولیکی بحرانی برای ذرات کوچکتر لایه فیلتر نسبت به ذرات درشت تر، مقدار بزرگتری است.
- یک فیلتر ضخیم تر برای جلوگیری از فرار ذرات بستر از یک فیلتر با ضخامت کم، عملکرد بهتری دارد. همچنین ارتفاع بحرانی امواج برای فیلترهای ضخیم‌تر، بزرگتر است.
- در دوره تناوب‌های بزرگتر امواج، ارتفاع بحرانی موج کاهش می‌یابد.
- برای دانه‌های بزرگتر لایه فیلتر، ارتفاع بحرانی موج، کمتر از حالت بدون فیلتر است.
- در این تحقیق هیچ ارتباط مشخصی بین سرعت‌های محاسبه شده در لایه فیلتر و شروع حرکت ذرات فیلتر دیده نشد.
- گرادیان هیدرولیکی بحرانی محاسبه شده در این مطالعه کمتر از مقادیر محاسبه شده توسط فرمول De Graauw و همکاران (۱۹۸۴) است.

Sumer و همکاران (۲۰۰۱) آزمایش‌هایی جهت تعیین شروع فرار ذرات مغزه بر اساس پارامتر شیلدز، از بین بلوک‌های آرمور که با چیدمان منظم قرار گرفته بودند، انجام دادند. در این مطالعه آزمایشگاهی، لایه فیلتر روی یک بستر ماسه‌ای و تحت بارگذاری جریان مورد بررسی قرار گرفت. Cokgor و Albayrak (۲۰۰۵) آزمایش‌هایی شبیه به Sumer و همکاران (۲۰۰۱) با تمرکز روی ایجاد جریان‌های دائمی غیریکنواخت در بستر انجام دادند. لایه فیلتر در این تحقیق متشکل از مصالح سنگی با قطر ثابت(هم اندازه) بود. این مطالعه با تمرکز روی شروع فرار ذرات مغزه از درون لایه فیلتر بوده است. Cokgor و Albayrak نشان دادند که ذرات انتقال یافته از مغزه به نقاط مشخصی صورت نگرفته است. با این وجود در چند آزمایش، مقدار فرار ذرات اندازه‌گیری شد، اما به طور کلی حجم ذرات منتقل شده در شرایط گفته شده، مقدار کمی گزارش شده است.

اولین مطالعه روی فیلترهای هندسه باز در موج شکن‌های توده سنگی توسط Uelman (۲۰۰۶) ارائه گردید. مدل فیزیکی موج شکن توده سنگی با هسته ماسه‌ای و فیلتر هندسه باز ناپایدار در داخل فلوم موج ساز دانشگاه دلفت هلند ساخته شد. امواج برخوردی به سازه، منظم و با ارتفاع ۱۰ سانتی متر و پریود ۱/۲ ثانیه بوده است. هفت مدل فیزیکی موج شکن توده سنگی با ضخامت‌های مختلف و قطر اسمی مختلف برای لایه فیلتر داخل فلوم اجرا شد. اهداف Uelman از این مطالعه، به دست آوردن رابطه بین نرخ فرار مصالح هسته، شروع فرار ذرات، قطر دانه‌های هسته، قطر دانه‌های فیلتر، ضخامت لایه فیلتر و بارهای هیدرولیکی بوده است. Uelman مشاهده نمود که فرار مصالح هسته به صورت بار بستر و بار معلق شکل می‌گیرد. زمانی که لایه فیلتر ضخیم و اندازه دانه‌های هسته کوچک اجرا شد، عمدتا فرار مصالح هسته توسط جریان‌های ورقه‌ای صورت گرفت. همچنین با کاهش ضخامت لایه فیلتر و افزایش دانه‌های آن، نرخ فرار ذرات هسته افزایش یافته و از حالت بار بستر به بر معلق تبدیل گردید. فرار مصالح هسته و عمق آن به طور کلی وابسته به ضخامت لایه فیلتر بوده و همچنین با افزایش ضخامت لایه فیلتر، عمق فرار ذرات و فرسایش

کل کاهش یافت.
شکل ۴ مقطعی از موج شکن توده سنگی در مطالعه Uelman و عمق فرار مصالح مغزه را نشان می‌دهد.



شکل۴- مقطعی از موج شکن توده سنگی در مطالعه آزمایشگاهی Uelman [۴]

Ockeloen (۲۰۰۷) ادامه تحقیقات Uelman (۲۰۰۶) را در دانشگاه دلفت با امواج نامنظم روی موج شکن توده سنگی با هسته ماسه‌ای انجام داد.
Ockeloen ۲رابطه برای ناحیه فرسایش یافته بر اساس گرادیان هیدرولیکی موازی با شیب سازه، ضخامت نسبی فیلتر ($\frac{d_f}{D_{f50}}$) و شرایط بارگذاری موج ارتفاع امواج، طول موج و تعداد امواج) به شکل زیر ارائه داد:

$$\frac{A_s}{H_{m0}L_0}=0.16\sqrt{I_{m0}\frac{\sqrt{N}}{m}}-0.08 \qquad \frac{A_s}{H_{m0}L_0}=0.21\left(I_{m0}\frac{N}{m}\right)^{0.2}-0.4 \qquad (11,12)$$

A_s سطح مقطع ناحیه فرسایش یافته بر حسب متر مربع
L_0 طول موج در آب عمیق بر حسب متر
I_{m0} (گرادیان هیدرولیکی(جذر میانگین مربعات
mضخامت نسبی فیلتر
Nتعداد امواج

از محدودیت‌ها و نقاط ضعف این دو رابطه این است که محاسبه گرادیان هیدرولیکی دشوار بوده و در هر دو رابطه وجود دارد. همچنین تاثیر اندازه ذارت هسته در آن دیده نمی‌شود. نتایج مشاهده شده توسط Ockeloen عبارتند از:
- مقدار فرار مصالح هسته متناسب با ریشه دوم تعداد امواج است.
- مقدار نیروی لازم برای آستانه فرار مصالح به دست آمد که در مقادیر کمتر از آن هیچ فراری رخ نمی‌دهد. این آستانه فرار ذرات، منطبق با معیارهای موجود برای طراحی فیلترهای هندسه باز است.
- مقدار فرار ذرات هسته وابسته به ارتفاع و طول موج، گرادیان هیدرولیکی، تعداد امواج و ضخامت نسبی لایه فیلتر است. گرادیان هیدرولیکی تابعی از پارامترهای موج و پارامترهای سازه است.
- پریود موج تاثیر زیادی روی فرآیند فرار مصالح دارد.

بررسی فیلترهای دانه ای هندسه باز برای یک بستر افقی ماسه‌ای تحت تاثیر امواج و جریان‌ها و ترکیب موج و جریان توسط Van Gent و Wolters (۲۰۱۲) در دانشگاه دلفت انجام پذیرفت. امواج تولید شده توسط فلوم موج ساز با استفاده از طیف جانسواپ با ارتفاع مشخصه ۰/۲ متر و سرعت جریان تا ۱/۲۵ متر بر ثانیه ساخته شد. عمق آب در تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر ۰/۴ متر و رژیم جریان نیز آشفته بوده است. Van Gent وWolters در طول اجرای مدل فیزیکی بستر ماسه‌ای، مقدار فرار مصالح بستر را محاسبه کرده و رابطه بدون بعدی برای نرخ فرار ذرات بستر ارائه دادند:

$$T'=\frac{T/\tilde{n}_s}{\sqrt{\Delta g D_{50b}^{3}}} \quad (13) \qquad \Delta=\frac{\tilde{n}_s}{\tilde{n}_w}-1$$

چگالی نسبی مغروق مصالح بستر

تعداد محدودی آزمایش نیز برای بررسی تاثیر اجرای لایه فیلتر روی فرار مصالح بستر انجام گردید. Van Gent وWolters نتایج ذکر شده در ذیل را مشاهده نمودند:
- فرار مصالح دانه‌ای بستر تابعی از $\frac{i_{25c}}{i_{cr}}$ بوده و مستقل از شرایط بارگذاری است.
- برای۳ < $\frac{i_{25c}}{i_{cr}}$ ، اگر لایه فیلتر نازک باشد(با ضخامتی حدود ۲ تا ۵ برابر قطر اسمی مصالح)، نرخ فرار درات کاهش می‌یابد.
- در شرایط بارگذاری امواج به تنهایی و جریان به تنهایی، نرخ فرار مصالح بستر بسیار پایین است و برای شرایط ترکیب موج و جریان، نرخ فرار افزایش می‌یابد.
- برای۳/۷ < $\frac{i_{25c}}{i_{cr}}$ ، فرار مصالح به مقدار قابل توجهی افزایش یافت. به همین دلیل انتظار می‌رود در پروتوتیپ، فرسایش قابل توجهی در مصالح رخ دهد.
- تاثیر بسیار زیاد ضخامت لایه فیلتر روی فرار ذرات مشاهده شد.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله انواع فیلترها در سازه‌های ساحلی از نظر مقاومت در برابر فرار مصالح تشریح شده و روی پیشینه مطالعاتی هر کدام جداگانه بحث شده است. فیلترها در سازه‌های ساحلی از نظر مقاومت در برابر فرار ذرات بستر به دو دسته هندسه بسته و هندسه باز(پایدار، ناپایدار) تقسیم بندی می‌شوند. تحقیقات آزمایشگاهی صورت گرفته توسط محققین مختلف روی مدل فیزیکی سازه‌های حفاظت بستر و موج‌شکن‌های توده سنگی در این مقاله توضیح داده شده است. نتایج حاصل از این تحقیقات و مقایسه آنها عبارتند از:
- در فیلترهای هندسه بسته، ، فرار مصالح تحت هیچ شرایطی رخ نمی‌دهد و مستقل از بارهای وارده به سازه است.
- بسیاری از معیارهای به دست آمده در تحقیقات پیشین فیلترهای هندسه بسته که امروزه در طراحی سازه های ساحلی استفاده می شوند، شبیه به روابط فیلتر برای جریان های دائمی هستند که برگرفته از معیارهای ترزاقی در طراحی فیلتر است.
- استفاده از فیلترهای هندسه باز در سازه‌های توده سنگی می‌تواند تعداد لایه‌های مورد نیاز را در مقایسه با حالت فیلتر هندسه بسته کاهش دهد.
- عمده ترین تفاوت فیلترهای هندسه باز پایدار و ناپایدار این است که در فیلترهای هندسه باز پایدار، امکان فرار ذرات بستر به صورت بالقوه وجود دارد، اما با توجه به لزوم شناخت بارهای هیدرودینامیکی در طراحی ، باید نیروی وارده کمتر از مقدار نیروی لازم برای شروع فرار مصالح باشد و در نهایت فرار ذرات رخ نمی‌دهد. اما در حالت هندسه باز ناپایدار، امکان فرار ذرات به صورت بالفعل وجود داشته و حتما مقداری (محدود) اتفاق می‌افتد.
- استفاده از فیلترهای هندسه باز ناپایدار، لزوم نیاز به پیش بینی فرار مصالح و تدوین معیاری برای مقدار قابل قبول آن دیده می‌شود.
- فیلترهای هندسه باز ناپایدار معمولا از هندسه باز پایدار اقتصادی تر بوده و فیلترهای هندسه باز پایدار از حالت هندسه بسته اقتصادی تر است. همچنین اجرای حالت هندسه باز از هندسه بسته آسان تر است.
- با وجود تحقیقات متعدد در زمینه فیلترهای هندسه باز و به دست آوردن روابط تجربی گوناگون در زمینه مقدار فرار ذرات و آستانه حرکت مصالح ، هنوز این روش طراحی مورد قبول متخصصان حوزه هیدرولیک قرار نگرفته است. لذا نیاز به مطالعات گسترده‌تر در این زمینه احساس می‌شود.
- با توجه به تفاوت قابل توجه نرخ فرار ذرات در ترکیب موج و جریان نسبت به جریان به تنهایی و موج به تنهایی، در آزمایش‌های مربوط به فیلترهای هندسه باز باید حتما ترکیب موج و جریان نیز در نظر گرفته شود.

۴-مراجع

۱.PIANC : " State- of- the- Art of Designing and Constructing Berm Breakwaters", Report of WG ۲۰۰۳ ,۴۰.

۲.M. R.A. van Gent, Guido Wolters. Granular slopes with openfilters under wave loading, Coastal Engineering ۱۰۴ ۲۰۱۵)).

۳.Guido W and M.R.A. van Gent. granular open filters on a horizontal bed under wave and current loading. coastal engineering ۲۰۱۲.

۴.Uelman E.F., 'Granular geometrically open filters in breakwaters with a sand core'MSc thesis, Delft University of Technology, ۲۰۰۶.

۵.Wouter.J.Ockeloen, Open filters in breakwaters with a sand core, Delft University of Technology Faculty of Civil

Engineering and Geosciences, ۲۰۰۷.
۶. David.Sch, Hocine .O, Jan. K, Fabian. K. NUMERICAL AND LABORATORY EXPERIMENTS ON STABILITY OF GRANULAR FILTERS IN MARINE ENVIRONMENT.
۷. Wessel. H. Stability of open granular filters under wave loading. at the Delft University of Technology and the National University of Singapore ۲۰۱۵.
۸ . Halter, W.. (in dutch) "Het gedrag van zakkingsfilters onder de invloed van golfbelasting". MSc. Thesis Delft University of Technology ۱۹۹۹.
۹. de Graauw, A. F., van der Meulen, T., & van der Does de Bye, M. R. Granular Filters : Design Criteria. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ۱۹۸۴ ,۹۴-۸۰.
۱۰. van Os, P Hydraulische belastingen op een geometrisch open filterconstructie . MSc. Thesis Delft University of Technology, ۱۹۹۸.
۱۱. Schiereck, G. J., & Verhagen, H. Introduction to bed, bank and shore protection. Delft : VSSD, ۲۰۰۴.
۱۲. SUMER, B.M., COKGOR, S., & FREDS E, J, Suction Removal of Sediment from between Armor Blocks, Journal of hydraulic engineering, ۲۰۰۱ ,۳۰۶-۲۹۳.
۱۳. De Graauw, A.F. et al. (۱۹۸۳) : Design criteria for granular filters. Waterloopkundig Laboratorium Delft Hydraulics Laboratory. Publication No. ۲۸۷, Jan. ۱۹۸۳.
۱۴. Ahrens, J.P. Large wave tank tests of rip rap sta- bility. TM۵۷-, US Army Corps of Eng., CERC, Fort Belvoir, ۱۹۷۵.
۱۵. Belyashevskii, N. N. et al. (۱۹۷۲) : Behaviour and selection of the composition of graded filters in the presence of fluc tuating flow. Gidrotechniskoe Stroiteltvo, ۱۹۷۲ No. ۶.
۱۶, SPM (۱۹۸۴) : Shore Protection Manual. CERC, Vicksburg ۱۹۸۴.
۱۷. Thompson, D.M.and Shuttler, R.M. (۱۹۷۶) :Design of rip-rap slope protection against wind waves. CIRIA Report No. ۶۱, Dec. ۱۹۷۶.
۱۸. Sherard, J.L. et al.: Basic properties of sand and gravel filters. ASCE, Journal of Geotechn. Eng. Div. Vol. ۱۱۰, T No. ۶, pp ۱۹۸۴ ,۷۰۰ - ۶۸۵.
۱۹. Van Oorschot, J.H. (۱۹۸۳) : Breakwater design and the integration of practical construction techniques. Proc. Of Conf. Coastal Structures ۱۹۸۳ ,۸۳. ASCE.
۲۰. den Adel H. 'Transportmodel voor filters dl ۳ paralelle stroming'.۱۹۹۲.
۲۱. Klein Breteler, M., Den Adel, H., Koenders, M.A.,.Placed (pitched) stone revet-ments. Filter Design Rules, Report M۱۷۹۵/H۱۹۵, XXI. Delft Hydraulics & Geo Delft, ۱۹۹۲.
۲۲. Dixen, F.H., Sumer, B.M., Fredsoe, J.Suction removal of sediment from between armor blocks. II : waves. J. Hydrol. Eng. vol. ۱۳۴. ASCE, ۲۰۰۸.
۲۳. . معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری؛ راهنمای کاربرد ژئوتکستایل در سازه های حفاظتی دریایی؛ نشریه شماره ۵۲۸.
۲۴. چگینی، وحید (۱۳۹۰)؛ فرهنگ تشریحی مهندسی سواحل و فیزیک دریا؛ مجموعه کتاب های مهندسی دریا.