جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای مطالعات هیدرولیکی پل‌ها

ضابطه شماره ۳۸۷

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی
امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
پژوهشکده حمل و نقل
bhrc.ac.ir

۱۳۹۴

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۴/۱۵۲۷۷۰**
	تاریخ:	**۱۳۹۴/۰۷/۰۸**

موضوع: راهنمای مطالعات هیدرولیکی پل‌ها

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۳۸۷ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان « راهنمای مطالعات هیدرولیکی پل‌ها » از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۴/۱۰/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

omoorepeyman.ir

.

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه طرح، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمرمفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نظام فنی و اجرایی کشور به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری از طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

بنا بر مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای اجرایی مورد نیاز طرح‌های عمرانی کشور می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقاتی و توان فنی دستگاه‌های اجرایی ذیربط استفاده شود. از این رو ضابطه شماره ۳۸۷ با عنوان «راهنمای مطالعات هیدرولیکی پل‌ها» با همکاری پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و بهره‌مندی از توان علمی و تخصصی جمعی از کارشناسان باتجربه کشور تهیه شده است.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردیده، معهذا این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این آیین‌نامه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق سایت اینترنتی معاونت برای بهره‌برداری عموم اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در سمت میانی بالای صفحات ضابطه، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ به روزرسانی آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

omoorepeyman.ir

بدینوسیله از تلاش و جدیت رئیس و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ناظرین و مجری محترم پروژه و همچنین از تمام عزیزان متخصص همکار در امر تهیه و نهایی کردن این ضابطه تشکر و قدردانی می‌شود و از ایزد منان توفیق روز افزون همه این بزرگواران را آرزومند است.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

پاییز ۱۳۹۴

omoorepeyman.ir

تهیه و کنترل « راهنمای مطالعات هیدرولیکی پل‌ها »

[ضابطه شماره ۳۸۷]

اعضای تهیه‌کننده :

امیر محجوب	دکترای عمران	پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
زهرا گواشیری	کارشناس ارشد عمران	پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اعضای گروه نظارت:

رضا غیاثی	دکترای عمران	دانشگاه تهران
ابوالفضل اسلامی	دکترای عمران	دانشگاه امیرکبیر

اعضای گروه ارزیابی و راهبری پروژه:

محمدرضا سلیمانی کرمانی	دکترای عمران	پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
سیدمحمد منصورزاده	کارشناس ارشد عمران	پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مهدی ترابی	دکترای عمران	پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
علیرضا توتونچی	کارشناس ارشد عمران	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
طاهر فتح‌اللهی	کارشناس ارشد عمران	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

omoorepeyman.ir

.

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه ایـن ضـابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصـون از ایرادهـایی نظیـر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشـکال فنـی، مراتـب را بصـورت زیـر گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور، نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکـاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان دانشسـرا، ، سـازمان مـدیریت و برنامـه‌ریـزی و کشور، امور نظام فنی و اجرایی ـ مرکز تلفن ۳۳۲۷۱
Email: info@nezamfanni.ir web: nezamfanni.ir

omoorepeyman.ir

.

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱- مطالعات اولیه مورد نیاز جهت طراحی هیدرولیکی پل ها ۳
۱-۱- مطالعات شناسایی و بازدید ۳
۱-۲- بررسی سوابق ۴
۱-۳- نقشه های زمینشناسی و توپوگرافی ۵
۱-۴- مطالعات هواشناسی ۶
۱-۵- مطالعات هیدرولوژی ۶
۱-۶- مطالعات نقشه برداری و تهیه نقشه های لازم ۷
۱-۷- مطالعات ژئوتکنیکی ۸
۱-۸- مطالعات ریخت شناسی رودخانه ۹
۱-۹- شناسایی محل و امتداد مناسب پل ۱۰
۱-۱۰- مطالعات رسوب ۱۱
۲- بررسی نحوه تاثیر پل بر جریان رودخانه ۱۱
۳- بررسی عوامل تاثیرگذار بر عملکرد هیدرولیکی پل ۱۴
۴- نحوه محاسبه دبی و فراآب ۱۶
۴-۱- روش سازمان زمین شناسی ایالت متحده (USGS) ۱۶
۴-۱-۱- محاسبه دبی ۱۶
۴-۱-۲- محاسبه فراآب ۱۷
۴-۱-۳- محدوده استفاده از روش سازمان زمین شناسی ایالت متحده (USBPR) ۱۹
۴-۲- روش اداره راه های عمومی ایالت متحده (US Bureau of Public Roads) ۱۹
۴-۲-۱- محاسبه فراآب ۱۹
۴-۲-۲- محاسبه تراز سطح آب پایین دست پل (Y_3) ۲۰
۴-۲-۳- محاسبات دبی ۲۲
۴-۳- روش Biery and Delleur ۲۲
۴-۴- روش HR (Hydraulic Research) ۲۵
۵- تحلیل جریان عبوری از پایه های پل ۲۸
۵-۱- معادله اوبوسان d'Aubuisson ۲۹
۵-۲- معادله ناگلر ۲۹
۵-۳- مطالعات یارنل ۳۰
۶- محاسبه نیروهای وارده بر پایه پل ها ۳۱
۶-۱- نیروی هیدرودینامیکی وارد بر پایه پل ها ۳۱
۶-۲- نیروی ناشی از اجسام شناور ۳۲
۶-۳- نیروی ناشی از برخورد یخ به پایه های پل ۳۲
۷- تحلیل عبور جریان از روی خاکریزها ۳۳
۷-۱- خاکریزهایی که مثل سرریز عمل می کنند ۳۳
۷-۲- دبی عبوری از خاکریز ۳۵

omoorepeyman.ir

۷-۳- ملاحظات لازم در طرح خاکریز جاده ساحلی..... ۳۶
۸- روشهای اصلاح جریان عبوری از محل پل..... ۳۷
۸-۱- شکل بالادست سازه پل (گردگوشگی در ورودی جریان)..... ۳۸
۸-۱-۱- تاثیر گردگوشگی بر عمق نرمال و فراآب..... ۴۰
۸-۱-۲- گردگوشگی همه لبه های ورودی..... ۴۱
۸-۱-۳- گردگوشگی جزئی ورودی ها..... ۴۱
۸-۱-۴- گردگوشگی بخشی از ورودی (United States Geological Surv*ey*—USGS)..... ۴۲
۸-۲- انواع کوله ها و دیوارهای هدایت آب..... ۴۲
۸-۲-۱- دیوارهای هدایت آب طولانی که مانند یک مبدل جریان عمل می کنند..... ۴۳
۸-۲-۲- مبدل های جریان در کانال رو باز..... ۴۳
۸-۳- دایک های موجشکن..... ۴۴
۸-۴- اصلاح رودخانه..... ۵۱
۹- ارائه روشهای محاسباتی میزان آبشستگی..... ۵۵
۹-۱- آبشستگی در مصالح غیرچسبنده..... ۵۵
۹-۱-۱- تخمین عمق فرسایش عمومی..... ۵۶
۹-۱-۲- تخمین عمق فرسایش موضعی..... ۵۶
۹-۱-۲-۱- آبشستگی اطراف پایه های استوانه ای..... ۵۶
۹-۱-۲-۲- آبشستگی اطراف پایه های غیر استوانه ای..... ۵۸
۹-۱-۲-۳- آبشستگی اطراف کوله پل ها..... ۵۹
۹-۱-۳- تخمین عمق فرسایش در اثر تنگ شدگی..... ۵۹
۹-۲- آبشستگی در مصالح چسبنده..... ۶۰
۱۰- روشهای مقابله با آبشستگی..... ۶۱
۱۰-۱- ریپ رپ..... ۶۱
۱۰-۲- گابیون..... ۶۵
۱۰-۲-۱- گابیون تشکی..... ۶۶
۱۰-۲-۲- گابیون جعبه ای یا بلوکی..... ۶۷
۱۰-۲-۳- گابیون کیسه ای..... ۶۹
۱۰-۳- طوق محافظ..... ۷۰

omoorepeyman.ir

اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱ موقعیتهای نمونه برداری از مصالح بستر رودخانه..... ۸
شکل ۲- منحنی شیلدز..... ۹
شکل۳- (الف) مقطع طولی جریان یکنواخت در عمق نرمال (ب) پلان رودخانه در محل فشردگی جریان..... ۱۲
شکل ۴- طبقه بندی انواع جریان عبوری از محل پل..... ۱۴
شکل ۵- متغیرهای اصلی تاثیرگذار بر عملکرد هیدرولیکی پل..... ۱۵
شکل ۶- نسبت برگشت آب در روش $USGS$ برای شرایط اولیه در تستهای آزمایشگاهی..... ۱۸
شکل ۷- تعیین ضریب K_c در روش $USGS$..... ۱۸
شکل ۸- محاسبه α_2 با استفاده از مقادیر α_1 و نسبت بازشدگی M..... ۲۰
شکل ۹- تغییرات D_b برحسب نسبت بازشدگی M..... ۲۱
شکل ۱۰- منحنی تغییرات Y_1/Y_N در مقابل نسبت بازشدگی M و عدد فرود عمق نرمال Fr_N..... ۲۳
شکل ۱۱- نمودار تعیین فاصله بالادست پل تا محل ایجاد فراآب حداکثر..... ۲۴
شکل ۱۲- نمودار تعیین فاصله محل بیشترین فراآب تا محل حداقل تراز آب..... ۲۴
شکل ۱۳- نمودار ضریب C_D در برابر نسبت بازشدگی M..... ۲۵
شکل ۱۴- نمودار عدد فرود عمق نرمال در برابر H_1^*/Y_N برای پل های طاقی..... ۲۶
شکل ۱۵- نمودار عدد فرود عمق نرمال در برابر H_1^*/Y_N برای پل های طاقی تک دهانه..... ۲۷
شکل ۱۶- نمودار عدد فرود عمق نرمال در برابر H_1^*/Y_N برای پل های طاقی چند دهانه..... ۲۸
جدول ۱ : مقادیر K_A و K_N برای انواع پایه های پل..... ۲۹
شکل ۱۷- مقدار β در معادله ناگلر برای جریان عبوری از پایه ها..... ۳۰
شکل ۱۸-انواع اصلی جریان عبوری از یک خاکریز..... ۳۴
شکل ۱۹- مقطع عرضی خاکریز و معرفی متغیرهای اصلی آن..... ۳۵
شکل ۲۰- ضرایب دبی برای خاکریزها (الف) و (ب) برای جریان آزاد و (ج) برای جریان مستغرق..... ۳۶
شکل ۲۱- تاثیر ورودی های گردگوشه که عموماً عمق آب در بالادست..... ۳۹
شکل ۲۲- مبدل هایی با طراحی مختلف..... ۴۳
شکل ۲۳- تاثیر دایکها در جاییکه جریانهای کناری وجود دارد و احتمال آبشستگی زیاد است..... ۴۵
شکل ۲۴- نمودار تقریبی تعیین کننده طول دایکها نسبت به Q_{fp}/Q_{30}..... ۴۷
شکل ۲۵- مشخصات دایک های مستقیم و بیضی شکل..... ۴۹
شکل ۲۶- ضرایب تعدیل برای دایک ها..... ۵۰
شکل ۲۷- استفاده از موج‌شکن و دایک برای کنترل جریان..... ۵۲

omoorepeyman.ir

شکل۲۸- جهت تعیین ضریب $K\omega$ ۵۸
شکل ۲۹- نمای شماتیک لایه ریپ رپ در محل پایه پل ۶۲
شکل ۳۰- سطح تحت پوشش لایه ریپ رپ در محل پایه‌های مستطیل شکل پل ۶۵
شکل ۳۱- انواع مختلف گابیون ۶۷
شکل ۳۲- کاربرد و مشخصات گابیون کیسه‌ای ۶۷
شکل ۳۳- جریان و الگوی آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل ۷۰
شکل ۳۴- استفاده از طوق در اطراف پایه استوانه‌ای شکل ۷۱
شکل ۳۵- مدل پایه استوانه‌ای و طوق مستطیلی شکل در اطراف آن ۷۳

omoorepeyman.ir

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۱ : مقادیر K_A و K_N برای انواع پایه های پل..... ۲۹
جدول ۲- مقادیر ضرایب پایه یارنل..... ۳۱
جدول ۳- پارامتر های موثر بر آبشستگی موضعی..... ۵۷
جدول ۴- شرایط استفاده از روابط تخمین عمق آبشستگی موضعی..... ۵۸
جدول ۵- جهت تعیین ضریب K_s..... ۵۹
جدول ۶- تنش برشی بحرانی اندازه گیری شده در رس..... ۶۱
جدول۷- حدود توزیع دانه‌بندی ریپ رپ..... ۶۴
جدول ۸- سطح مختلف اغتشاش..... ۶۸

omoorepeyman.ir

معرفی پارامترها

b	عرض بازشدگی در محل پل
B	عرض متوسط آبراهه
n	ضریب زبری مانینگ
R	شعاع هیدرولیکی
S	شیب بستر
S_0	شیب کانال و بدون بعد
ρ_s	جرم حجمی رسوب
ρ	جرم حجمی آب
D	قطر میانگین بستر(D_{50})
u_*	سرعت برشی ($u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho}$)
υ	لزجت سینماتیکی آب
Y_N	عمق نرمال
Y_c	عمق بحرانی
Y_1	عمق آب در مقطع ۱
H_1^*	فراآب
H_3^*	اختلاف تراز سطح آب نرمال و سطح آب پایین‌دست پل
H_1	تراز سطح آب در مقطع ۱
H_4	تراز سطح آب در مقطع ۴
g	شتاب ثقل
Fr	عدد فرود
Q	مقدار دبی بر حسب (m^3/s)
q	دبی بر واحد عرض
E	انرژی مخصوص
τ_c	تنش کششی بحرانی
L_{1-4}	فاصله بین مقاطع ۱ و ۴ در راستای طولی رودخانه
α	ضریب هد سرعت و بدون بعد
$\alpha_2 \frac{V_{N2}^2}{2g}$	هد سرعت مربوط به عمق نرمال در مقطع ۲ (N به عمق نرمال دلالت دارد)
H_{1A}	ارتفاع در مقطع ۱ بدون وجود پل
ΔH	اختلاف عمق در بالادست و پایین‌دست
Y_u	تراز آب بالادست پل بر حسب متر

omoorepeyman.ir

Y_d	تراز آب در مرکز بازشدگی در وجه پایین‌دست
C_d	ضریب دبی (بدون بعد)
a_w	سطح مقطع کل بازشدگی پل
Z	فاصله عرشه پل تا بستر کانال
A	سطح مقطع جریان در کانال (m^2)
A_1	مساحت جریان در بالادست پل در محل بیشترین میزان فراآب
A_3	مساحت جریان در پایین‌دست پل در محل کمترین تراز سطح آب
A_4	مساحت جریان در حالت عمق نرمال
S_f	شیب خط انرژی
M	نسبت بازشدگی
S_F	شیب انرژی (گرادیان انرژی)
C_C	ضریب فشردگی
C	ضریب دبی (بدون بعد)
C'	ضریب پایه استاندارد دبی
A_i	سطح مقطع عرضی قسمت i ام کانال
R_i	شعاع هیدرولیکی قسمت i ام کانال
Y_S	اندازه ارتفاع آبی است که در پلهای قوسی بالاتر از پاطاق است
r	شعاع انحناء طاق در بازشدگیهای طاقی
D_{90}	اندازه دانه‌ای از مصالح بستر است که ۹۰ درصد دانه‌ها از آن کوچکتر هستند
H_i	تراز سطح آب بر حسب متر در مقاطع i
L_{1-4}	فاصله بین مقاطع ۱ و ۴
V_u	سرعت متوسط در بالادست
V_{A2}	سرعت متوسط در مقطع ۲
a_u	ضریب توزیع سرعت(بدون بعد)
Z	فاصله عرشه پل تا بستر کانال
S_f	شیب خط انرژی
ϕ	میزان کجی بازشدگی
K_i	ضریب مربوط به بخشی از کانال به عرض i
B_T	عرض سطح آزاد آب
M_L	نسبت بازشدگی بحرانی
ε	ضریب استهلاک انرژی
E_S	انرژی مخصوص
S_c^*	ضریب اصلاح فراآب در اثر آبشستگی

omoorepeyman.ir

H_{1S}^*	فراآب با در نظر گرفتن آبشستگی
ΔA_S	افزایش سطح مقطع در اثر آبشستگی
A_{N2}	سطح مقطع زیر عمق نرمال در بازشدگی زیر پل
A_P	سطح مقطع عرضی بخش ترشده پایه‌های بالادست پل
J	ضریب تصحیح تاثیر انسداد ثانویه (توسط پایه‌ها) ($J = A_P / A_{N2}$)
h_E	افت ارتفاع ناشی از حرکات چرخشی و گردابه‌ای بین مقاطع ۱ و ۳ *(m)*
h_F	افت ارتفاع ناشی از اصطکاک
Δh	اختلاف تراز آب در دو مقطع ۱ و ۳ بر حسب متر
K	ضرایب تعدیل [K_f بر حسب عدد فرود، K_r بر حسب میزان گردشدگی ورودی بازشدگی، K_w برای زمانی که دیوار هدایت آب زاویه پخ داشته باشد، $K_ø$ مربوط به پلهای کج با زاویه بیه (ø)، K_y بر حسب نسبت بازشدگی، K_P اثر پایه‌ها، K_T برای نسبت استغراق پل]
K_c	ضریب تعدیل نسبت برگشت آب
C_{basic}	ضریب دبی پایه (با فرض اینکه بازشدگی از نوع I بوده و دهانه ورودی گردشدگی نداشته باشد و دیوار هدایت آب نیز وجود نداشته باشد)
k^*	ضریب فراآب کل ($k^* = k_b^* + \Delta k_e^* + \Delta k_\phi^* + \Delta k_P^*$) [ضریب پایه k_b^* ,وابسته به نسبت بازشدگی و هندسه کوله ، Δk_e^* ضریبی برای در نظر گرفتن اثرات عدم تقارن طول خاکریز دوطرف پل در عرض رودخانه ، Δk_ϕ^* ضریب تاثیر دهنده اثرات کجی پل، Δk_P^* که اثر وجود پایه‌ها درآن لحاظ شده است.]
K_A	ضریب معرف میزان افت ایجاد شده ناشی از انقباض جریان بین پایه‌ها و هرگونه خطای ناشی از فرضیات و ساده‌سازی‌ها که از طریق تست آزمابشگاهی تعیین می‌شود.
$P_d = 0.517U_0^2$	فشار حاصل از تجمع اجسام گیر کرده به پایه‌ها
$F = \frac{M \times U_0^2}{2d}$	نیروی متوسط برخورد اجسام شناور به پایه‌ها
F_h	نیروی ناشی از برخورد یخ به پایه‌های پل
b_p	عرض پایه برحسب متر
Q_{fp}	دبی یکطرف سیلاب‌دشت در مقطع ۱ بر حسب متر مکعب بر ثانیه
Q_{30}	دبی در ۳۰ متر اول بازشدگی نزدیک به کوله است که در مقطع ۱ اندازه‌گیری می‌شود
L_S	طول دایک
b_d	فاصله‌ای که بعضی از دایکهای مستقیم از کوله دارند.
L_G	فاصله بین موجشکن‌ها
y_{ms}	متوسط عمق جریان بعد از آبشستگی (*m*)
d_{50}	قطر ذره ای که ۵۰٪ ذرات رسوب ریزتر از آن است
d_s	حداکثر عمق آبشستگی در اطراف پایه‌های استوانه‌ای شکل در مصالح غیر چسبنده

omoorepeyman.ir

s	چگالی نسبی مصالح بستر
τ_0 و τ_c	به ترتیب تنش برشی بحرانی بر مبنای D_{50} مواد بستر رودخانه و تنش برشی بستر رودخانه بالادست محل پل
d_1	عمق آب قبل از تنگ شدگی
B_2 ، B_1	به ترتیب عرض مقطع قبل و بعد از تنگ شدگی در اثر آبشستگی
D	قطر یا عرض پایه
ν	ویسکوزیته کینماتیکی آب ($10^{-6} m^2/s$ در دمای ۲۰ درجه)
D_{50}	قطر میانگین سنگدانه‌های ریپ رپ برحسب متر
V_a	سرعت متوسط در کانال اصلی برحسب متر بر ثانیه
d_{ave}	عمق متوسط جریان در کانال اصلی بر حسب متر
S_s	چگالی ذرات ریپ رپ
ds_p	عمق تعادل آبشستگی بدون طوق
ds_c	عمق تعادل آبشستگی با طوق

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

راهنمای مطالعات هیدرولیکی پل‌ها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

مقدمه

پلها از مهمترین سازه های آبی هستند که بدلیل قرارداشتن در یک شبکه ارتباطی، همواره مورد توجه خاص مهندسین بوده‌اند. پلها بدلیل واقع شدن در یک محیط آبی دینامیک و در زیر یک محیط ترافیکی دینامیکی از آسیب پذیری بسیار زیادی برخوردار می‌باشد و چنانچه مسائل آن به صورت همه جانبه مورد بررسی قرار نگیرد، از عمر قابل توجهی برخوردار نبوده و ممکن است، شبکه‌های بزرگ ارتباطی را مختل نماید. یکی از عمده ترین مسائل پلها، مشکلات هیدرولیکی تحمیل شده بر سازه پل می‌باشد. اهمیت بررسی این موضوع با ذکر این مطلب روشن می‌شود که پل‌های بسیاری در سطح جهان بدلیل وقوع سیلاب‌های سالانه تخریب شده‌اند. وضعیت از آنجا بحرانی‌تر می‌گردد که پلها درست زمانی تخریب می‌شوند (به عنوان مثال در مواقع سیلابی) که بیشترین احتیاج به راههای دسترسی جهت کمک به آسیب دیدگان از بلایای طبیعی وجود دارد. در این قسمت سعی شده است که گامهای مطالعات هیدرولیکی پلها بررسی شده و ضوابط مهندسی در طراحی هیدرولیکی پلها پیشنهاد شود.

۱- مطالعات اولیه مورد نیاز جهت طراحی هیدرولیکی پل‌ها

جهت انجام مطالعات هیدرولیکی پلها، ابزارها و اطلاعات اولیه‌ای مورد نیاز است که در زیر به آنها اشاره شده است.

۱-۱- مطالعات شناسایی و بازدید

هدف از بازرسی محل بدست آوردن یک شناخت عمومی از رفتار رودخانه و مصالح تشکیل دهنده آن است. همچنین برای تایید درستی اطلاعات بدست آمده از مطالعات دفتری و رفع نواقص آن، بعضاً نیاز به عملیات صحرایی وجود دارد. توصیه می‌گردد در عملیات صحرایی موضوعات زیر بررسی شود.

- رژیم آبراهه
- پایداری آبراهه رودخانه (پایدار استاتیکی، پایدار دینامیکی و یا ناپایدار)
- الگوی جریان آبراهه اصلی رودخانه (اگر از نوع سینوسی است، باید مشخص شود که آیا جابجایی مسیر آبراهه اصلی فعال است یا خیر)
- محدوده تراز آب (داغ آب)، بخصوص ترازهای سیلاب و تداوم وقوع آن
- نشانه‌های گل و لای بر روی بوته‌ها، درختان و یا کناره‌های رودخانه که ممکن است بیانگر تراز سطح آب در سیلاب اخیر آن باشد.
- محدوده دبی، بویژه دبی سیلاب و تداوم وقوع آن
- عرض آبگذر، عرض بستر سیلابی، طول و عرض پیچ و خمهای مسیر
- نوع و دسته بندی مصالح بستر
- نوع مواد و گیاهان موجود تشکیل‌دهنده کناره رودخانه‌ها
- وجود مواد روان در بستر و ساختار آنها
- محل تمامی صخره‌های بزرگ بیرونی فرسایش‌ناپذیر که ممکن است جابجایی آبراهه اصلی را محدود کند.
- تخمین زبری جریان در آبراهه اصلی و سیلابدشتها

omoorepeyman.ir

- گودالها و خوردگیهای ناشی از فرسایش و تشکیل گودال در کناره‌ها
- تغییرات آبراهه نسبت به آخرین نقشه‌ها یا عکس‌های موجود
- اندازه‌گیری شیب آبراهه
- تخمین میزان زمینهایی که تحت اثر بازگشت آب قرار می‌گیرند.
- مشاهده الوارها و اجسام جامد (آشغالها) حمل شده توسط سیلاب
- وجود پشته‌های رسوبی و موقعیت آنها
- جمع‌آوری مشاهدات محلی در مورد جزر و مد و شرایط باد
- اطلاعات مربوط به سازه‌های موجود بر روی رودخانه (آیا پلهای موجود موفق بوده‌اند؟ آیا همه دهانه های آنها مورد استفاده قرار گرفته است؟ آیا پل سیلاب را عبور داده است؟ آیا ارتفاع عرشه پل کافی بوده است؟ آیا آبشستگی شدیدی رخ داده است؟ آیا به طور مرتب ساماندهی رودخانه انجام شده است؟)

۱-۲- بررسی سوابق

قبل از اینکه اقدام به جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات صحرایی شود می‌توان از اطلاعات و داده‌های موجود و در دسترس استفاده نمود. چراکه هزینه مطالعات صحرایی بسیار زیاد بوده و انجام آن نیازمند صرف زمان زیادی است. برخی از این منابع در زیر بیان می‌شوند.

- نقشه‌های توپوگرافی
- عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای
  - ✓ مقایسه نقشه‌ها و عکسهای هوایی در سالهای مختلف برای پیداکردن حرکت و جابجایی آبراهه‌ها، فرسایش ساحلی و ...
  - ✓ استفاده از نقشه‌های هوایی جهت کنترل زمینهایی که تحت تاثیر قرار می‌گیرند.
  - ✓ مقیاس خطی عکسهای ماهواره‌ای معمولا کوچکتر از آن است که برآورد دقیقی از عرض آبراهه را ارائه دهد. البته این عکسها ممکن است برای تعیین الگوی آبراهه، عرض بستر سیلابی، (و از آنجایی که به فاصله زمانی سالانه تهیه شده‌اند) پایداری آبراهه و مقدار سیلاب بکارگرفته شوند.
- چارتها و جداول خاص در یک پروژه
- نقشه‌های جغرافیایی، زمین شناسی و نقشه‌های خاک منطقه
- اطلاعات ژئوتکنیکی منطقه
  - ✓ اطلاعات ثبت شده مربوط به پی‌کنی و اجرای شمع سازه‌های موجود
  - ✓ اطلاعات حفر چاه در منطقه
  - ✓ اطلاعات آزمایشات خاک
- جزییات سازه‌های موجود در منطقه
  - ✓ ابعاد بازشدگی سازه برای عبور جریان
  - ✓ جزییات و زمانهای اجرای تغییرات، خسارات، تعمیرات، خرابی و ...
  - ✓ سیلابها و ترازهای یخ زدگی ثبت شده در محل
- اطلاعات هیدرولیکی و هواشناسی منطقه

omoorepeyman.ir

- ✓ دبی‌ها و ترازهای ثبت شده نزدیکترین ایستگاه هیدرومتری، خصوصا ماکزیمم های سالانه
- ✓ منحنی فراوانی سیلاب نزدیکترین ایستگاه
- ✓ منحنی دبی- اشل نزدیکترین ایستگاههای هیدرومتری
- ✓ منحنی‌های تداوم جریان و هیدروگرافهای سالانه
- ✓ اطلاعات آرشیو روزنامه‌ها
- ✓ اطلاعات ثبت و بررسی شده در مورد جذر و مدها، موجها و ... در آبهای ساحلی
- ✓ اطلاعات مربوط به باد که برروی ارتفاع موج تاثیر می‌گذارد
- ✓ سیلابهای طراحی و سایر معیارهای وابسته که برای طراحی سدهای بالادست یا سایر سازه‌های وابسته بکاررفته

- شرایط یخزدگی
  - ✓ ضخامت یخزدگی‌های ثبت شده
  - ✓ تاریخهای ثبت شده انجماد و آب شدن یخ
  - ✓ اطلاعات ثبت شده در مورد رفتار و حرکت یخ خصوصا قالبهای یخی
- اطلاعات کانال رودخانه: مواردی چون زبری کانال، عرض سیلاب‌دشت، شیب کانال، عرض و عمق رودخانه که بهتر است توسط مطالعات صحرایی کنترل شود.
- ملاحظات مخصوص: مواردی چون کاربردهای خاص از رودخانه مانند کشتیرانی، وجود یخ، پتانسیل حمل آشغال

۱-۳- نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی

مطالعات زمین ریختهای فرسایشی شامل فرسایش و رسوب‌خیزی (بررسی عوامل چیره فرسایشی و آهنگ رسوبخیزی منطقه)، پهنه‌های آبرفتی (پهنای بستر رودخانه و آبراهه‌ها، درجه گردشدگی و دانه‌بندی مواد به طورکلی و برآورد ضخامت)، پادگانه‌ها (تعداد، بلندی هر یک نسبت به یکدیگر و از بستر رودخانه، درجه گردشدگی و دانه‌بندی مواد به طورکلی و برآورد ضخامت)، بادرفت‌ها (گسترش، منشا و برآورد ضخامت) و یخرفت‌ها (چگونگی تشکیل، گسترش و ابعاد مواد متشکله) می‌تواند کمک قابل توجهی در طراحی پلهای رودخانه‌ای باشد.

علاوه بر موارد مذکور مادامی که شرایط آبهای زیرزمینی طبیعی در محل یک طرح مطالعه نشده باشد، بررسی شرایط زیرسطحی محل طرح را نمی‌توان کامل دانست، لذا اثرات متقابل طرح پیشنهادی مهندسی و شرایط آبهای زیرزمینی می‌بایست بررسی گردد. این اثرات ممکن است شامل موارد ذیل باشد:

- تغییرات مقاومت موثر، هم در سنگ و هم در مواد متشکله سنگ
- تغییرات مقاومت نقاط ضعف در توده سنگ
- اثرات فروکش که در نتیجه حمل مواد بوسیله آبهای زیرزمینی و عمل فرساینده آن و انحلال پیش آمده
- نیروهای تراوشی در توده سنگ
- حملات شیمیایی آب روی اجزا سازه‌ای پل
- ورود آب به داخل محوطه موقع حفاری
- آب زیرزمینی در توده سنگ

omoorepeyman.ir

در ارتباط با وجود آبهای زیرزمینی در توده سنگها نیز لازم است موارد زیر از یکدیگر تمیز داده شود.

- آبهای زیرزمینی داخل خلل و فرج خاکها
- آبهای زیر زمینی موجود در شکافها و درزهای توده سنگها
- آبهای زیرزمینی موجود در حفره‌ها و مجاری انحلالی زیرزمینی (کارستها)

۱-۴- مطالعات هواشناسی

سایت سازمان هواشناسی کشور به آدرس www.weather.ir مهمترین مرجع برای دستیابی به آمار و اطلاعات هواشناسی است. دما، رطوبت، فشار، باران، باد، ابرناکی و ساعات آفتابی از جمله پارامترهایی می‌باشند که دسترسی به آمار و اطلاعات آنها از طریق سایت مذکور امکان‌پذیر است. عمق و شدت بارش باران، بارش برف، رنج تغییرات دمایی و سرعت باد از جمله اطلاعات مورد نیاز است. این اطلاعات ممکن است در ارزیابی ارتفاع امواج و نیروی برخورد یخ و تعیین ارتفاع عرشه پل مورد استفاده قرار گیرد. مهمترین عاملی که جهت محاسبه دبی پیک سیلاب از ایستگاه‌های هواشناسی مورد نیاز است، اطلاعات مربوط به بارندگی است. تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی لازم در سطح یک منطقه به وسعت آن، نوع بارندگی غالب، وضعیت توپوگرافی، شرایط اقلیمی بستگی دارد. در سایت سازمان هواشناسی کشور، آمار و اطلاعات حداکثر بارندگی روزانه، بارندگی کل ماهانه، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای با بارندگی بیش از ۱، ۵ و ۱۰ میلیمتر موجود است.

۱-۵- مطالعات هیدرولوژی

سازمان هواشناسی و تماب مهمترین مراجع دریافت اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری هستند. این اطلاعات از ایستگاههای ثبت اندازه‌گیری دریافت شده و در جهت تعیین سیلاب طراحی، حداکثر عمق و سرعت جریان کمک می‌کند.

معمولاً با توجه به نقشه‌های موجود در کشور، جهت ترسیم حوضه‌های آبریز مسیلهای متقاطع با راه‌ها، از نقشه‌های به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و در صورت عدم وجود نقشه‌های مذکور، از نقشه‌های به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده می‌شود. لازم به ذکر است نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای کلیه مناطق ایران توسط سازمان نقشه‌برداری کشور و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شده است.

پس از ترسیم حوضه های آبریز، مشخصات حوضه نظیر مساحت، محیط، شیب، زمان تمرکز، زبری هیدرولیکی، رواناب(دبی حداکثر، تغییرات زمانی دبی(هیدروگراف)، رابطه دبی- اشل(تراز)، حجم کل رواناب، فراوانی وقوع و دوره بازگشت) و غیره تعیین می‌گردد.

همچنین استفاده از هیستوگرام فراوانی، توزیع های احتمالاتی در هیدرولوژی، انتخاب توزیع احتمالاتی مناسب و مدل‌های رگرسیون خطی در تحلیل آماری اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و تعیین دبی طراحی کاربرد دارند.

از دیگر موارد مؤثر در مطالعات هیدرولوژی توده‌های آشغال است. آشغال به طور معمول شامل ترکیباتی از اجسام شناور، رسوبات معلق و بار بستر است. پتانسیل حمل آشغال یک مسیل بر اساس کاربری اراضی حوضه آبریز آن و مشخصات اختصاصی رودخانه و دشتهای سیلابی تعیین می‌شود. در بازدیدهای میدانی باید شرایط زیر بررسی شود:

- سرعت جریان، شیب مسیل
- عدم وجود تنه درختان و خار و خاشاک در دیواره‌های مسیل دشتهای سیلابی آن
- کاربری اراضی حوضه آبریز و ساخت و سازهای جاری

omoorepeyman.ir

- وضعیت آشغال و اجسام موجود در دشتهای سیلابی مسیل

خار و خاشاک و محمولات طغیان می‌تواند باعث مسدود شدن ورودی آبرو شده و در مواقع سیلابی به راه و آبرو آسیب برساند. طراحی درست ورودی آبرو، احتراز از آبروهای چند دهانه و دارای زاویه غیر قائم نسبت به مسیر در جلوگیری از آشغال‌گیری دهانه ورودی آبرو کمک بسیاری می‌کند.

۱-۶- مطالعات نقشه‌برداری و تهیه نقشه‌های لازم

در برداشت‌های نقشه‌برداری باید به نکات زیر توجه کرد:

- برداشت مقطع عرضی در بخشهایی که شکستگی خاصی در محور طولی بوجود آمده است، حتما انجام شود.
- برداشت مقطع عرضی باید بصورتی باشد که بتوان بستر و دیواره‌های رودخانه را به همان شکل طبیعی مدلسازی کرد.
- لازم است ثبت و برداشت اطلاعات مقاطع، موانع خاص یا ابنیه در جلوی مسیر آب رودخانه صورت پذیرد.
- پیشنهاد می‌گردد در هر مقطع علاوه بر تراز بستر، تراز سطح آب نیز برداشت شده و سرعت یا دبی آب در مقطع نیز اندازه‌گیری شود. از محل رودخانه و مقاطع مختلف آن عکسهای مورد نیاز نیز تهیه خواهد شد.
- عرض سطح آب و مشخصات جریان در وضعیت موجود برداشت شود.
- اگر منحنی فراآب در بالادست پل مسئله‌ای ایجاد نکند (مثلا شیب آبراهه تند بوده و دهانه‌های پل به اندازه کافی بزرگ باشند و یا بالاآمدن آب مشکلی ایجاد نکند) در این صورت می‌توان محدوده برداشت مقاطع را کاهش داد.

علاوه بر نقشه‌برداری صورت پذیرفته توصیه می‌گردد نقشه‌های محل و مقطع طولی نیز تهیه گردد.

نقشه محل به مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری قابل تهیه است. در این نقشه می‌تواند محل پیشنهادی پل، محلهای جایگزینی بررسی شده و یا رد شده و راههای مواصلاتی فعلی نشان داده شود. بهتر است برای مرحله طراحی، متناسب با اهمیت و گستره طرح، نقشه‌هایی به مقیاسهای بزرگتر مانند ۱:۲۰۰۰ تهیه گردد. نقشه بایستی شامل اطلاعات ذیل در محدوده طرح باشد:

الف) اسامی رودخانه یا پل و جاده

ب) محدوده تقریبی رودخانه و حاشیه آن در حالت بیشترین سطح سیلاب و کمترین سطح سیلاب

ج) مسیر جریان

د) مسیر موجود و مسیر پیشنهادی ورودی پل و همچنین محل پیشنهادی خط تلاقی پل و رودخانه

ه) مسیر و زاویه قوس، اگر مسیر پیشنهادی بر روی یک قوس باشد.

و) اسم نزدیکترین محل شناخته شده

ز) موقعیت سطح مبنا که بعنوان شاخص تراز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ح) محل گمانه‌های آزمایشی

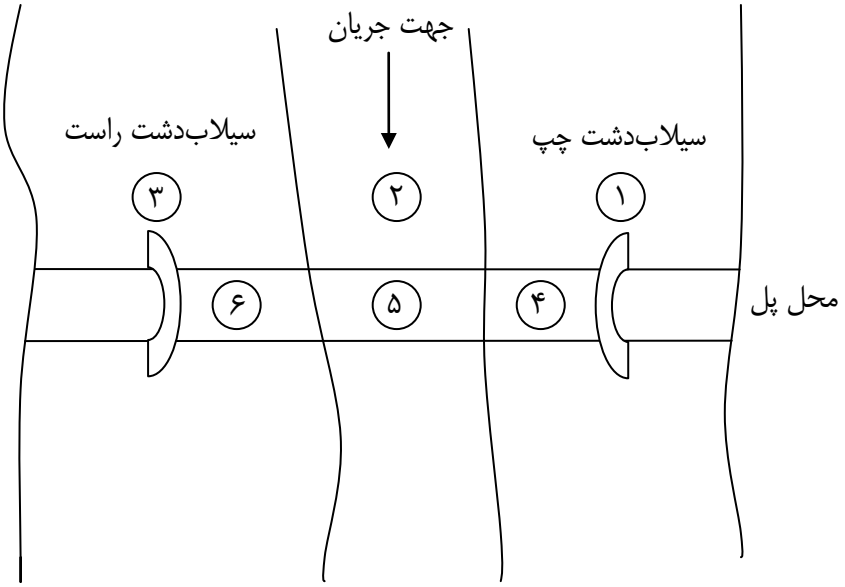
ط) محل ساختمانها، چاهها، موقعیت صخره‌ها و دیگر عوامل سد راه مسیر جاده

omoorepeyman.ir

ترسیم مقطع طولی رودخانه که نشان‌دهنده محل پل در حالت بالاترین سطح سیلاب، سطح سیلاب در حالت معمولی، کمترین سطح آب و سطح بستر در مقیاس حداقل ۱/۲۵۰۰ در جهت افقی و مقیاس حداقل ۱/۱۰۰ در جهت عمودی باشد، می‌تواند کمک مؤثری به مراحل طراحی باشد.

۱-۷- مطالعات ژئوتکنیکی

تعیین جنس و اندازه مصالح بستر به‌منظور برآورد زبری جداره‌ها، تنش و سرعت بحرانی، عمق آبشستگی و میزان حمل رسوب انجام می‌گیرد. موقعیت نمونه‌برداری نسبت به پل به صورت شکل ۱ توصیه می‌گردد.



شکل ۱ موقعیتهای نمونه‌برداری از مصالح بستر رودخانه

فاصله بین مقطع بالادست و محل پل بستگی به عوامل مختلف نظیر عمق، سرعت، شیب و دبی رودخانه دارد. به عبارت دیگر مقطع نمونه‌برداری در بالادست باید نشان دهنده متوسط شرایط مصالح بستر در بالادست پل و تا محدوده‌ای که پل بر تراز سطح آب اثر می‌گذارد، باشد. لذا لازم است که مهندس هیدرولیک با در دست داشتن اطلاعات کافی و بازدید از منطقه نسبت به جانمایی مکانهای نمونه‌برداری اقدام نماید. در مواردیکه نیاز به شناخت شرایطی خاص در پایین‌دست پل باشد، نمونه‌برداری از پایین‌دست پل مشابه بالادست آن انجام می‌شود.

علاوه بر این شش موقعیت ممکن است نیاز باشد که از نقاط دیگر نیز نمونه‌برداری شود. بخصوص زمانیکه رودخانه ناپایدار است. این نقاط می‌تواند موقعیت پشته‌های رسوبی کناری، دیواره‌های رودخانه و یا مقاطع تکمیلی در بالادست و پایین‌دست پل باشد.

بمنظور آنالیز پی پلها، نمونه‌برداری عمیق صورت می‌گیرد. این نمونه‌برداریها اطلاعات ارزشمندی را برای ارزشیابی آبشستگی به مهندسین هیدرولیک ارائه می‌دهد و مهندسین هیدرولیک علاقمند به شناخت بستر در جلو پایه‌ها و کوله‌ها (محل احتمالی حداکثر آبشستگی) هستنند.

omoorepeyman.ir

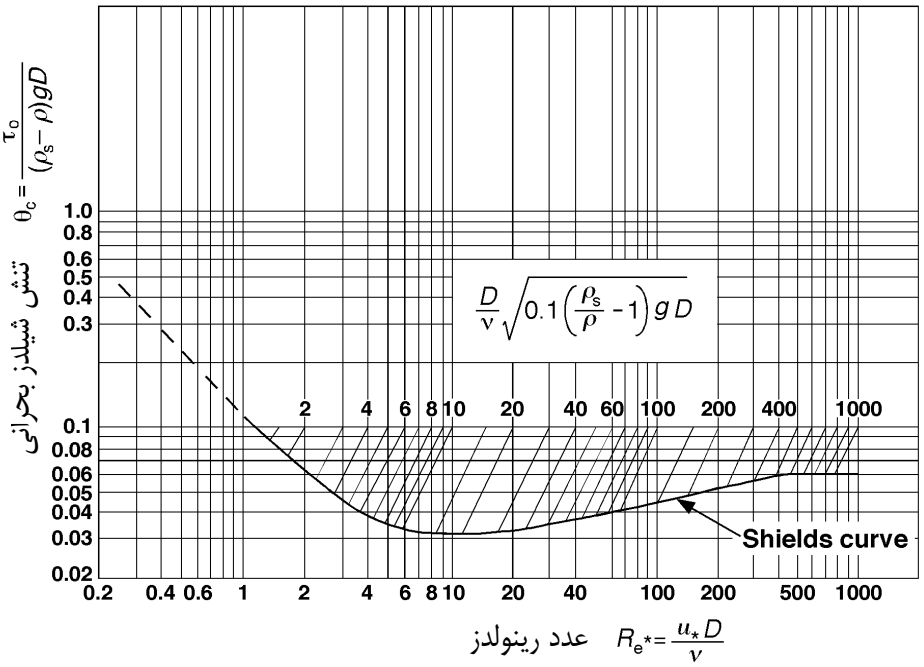
برای اهداف ارزشیابی آبشستگی در پلهای کوچک، عمق نمونه‌برداری عمیق حداقل می‌بایست ۳۰ درصد بیشتر از حداکثر میزان آبشستگی پیش‌بینی شده زیر بستر رودخانه در نظر گرفته شود. برای پلهای اصلی و بزرگ، پتانسیل آبشستگی بسیار بزرگتر است و حداقل عمق نمونه‌برداری برای آبشستگی، باید مورد به مورد بررسی و تصمیم‌گیری شود.

توصیه می شود علاوه بر مطالب مطرح شده، مشخص کردن بزرگترین سنگی که بوسیله سیلاب حرکت داده شده، توصیف و عکس‌برداری از مصالح دیواره آبراهه و مشاهده لایه‌های زمین نیز مدنظر قرار گیرد.

۱-۸- مطالعات ریخت شناسی رودخانه

هرگونه تغییر، هرچند موضعی، در ساختار رودخانه ممکن است موجب یکسری تحولات جدید در محدوده گسترده‌تری شود. لذا لازم است قبل از اعمال هرگونه اقدامی، عکس‌العمل رودخانه نسبت به آن پیش‌بینی گردد. به عبارت دیگر اثرات تغییرات موضعی بر کل سیستم رودخانه مطالعه و بررسی گردد. تشخیص نوع پایداری رودخانه‌ها، در تعیین محل پل و ساماندهی رودخانه تاثیر بسزایی دارد. رودخانه‌ها بر اساس پایداریشان به انواع پایدار استاتیکی، پایدار دینامیکی و ناپایدار تقسیم می‌گردند.

در شکل ۲ منحنی شیلدز نشان داده شده است. محدوده زیر منحنی شیلدز نشان‌دهنده بستر پایدار و محدوده بالای منحنی نشان‌دهنده بستر ناپایدار می‌باشد.



شکل ۲- منحنی شیلدز

همچنین رودخانه‌ها از نظر شکل ظاهری به سه دسته رودخانه مستقیم، پیچ و خم‌دار و شریانی، از نظر زمین‌شناسی به سه دسته رودخانه‌های جوان، بالغ و مسن و بر اساس رژیم جریان به چهار دسته زیربحرانی- آرام، زیربحرانی- آشفته، فوق بحرانی- آرام و فوق بحرانی- آشفته تقسیم می‌گردند.

omoorepeyman.ir

۱-۹- شناسایی محل و امتداد مناسب پل

معمولا محور بزرگراهها و یا راه‌آهن‌ها طوری تعیین می‌گردد که کمترین هزینه را داشته باشد. وجود رودخانه در طول مسیر باعث افزایش هزینه‌ها خواهد بود. از طرف دیگر طول مسیر نیز یکی دیگر از عوامل تعیین کننده هزینه خواهد بود. معمولا احداث سازه‌های تقاطعی در طول یک جاده یا راه‌آهن به بازه‌های خاصی از رودخانه که توسط مسیر اصلی راه مشخص می‌گردد، محدود می‌شود.

محل احداث برای یک پل معمولاً تابعی از ملاحظات مهندسی، اقتصادی، اجتماعی و هنری است. در راههای قدیمی، محل پل ممکن است تابعی از خطوط موجود جاده‌ای و راه‌آهن باشد. از طرف دیگر در راههای جدید، محل پل بگونه‌ای انتخاب می‌شود تا ایجاد کننده حداکثر زمینه تجاری و سود اجتماعی با درنظرگرفتن سه مشخصه بازدهی، تاثیر و تسهیل مواصلات باشد.

در انتخاب محل می‌بایست هم هزینه اولیه (ساماندهی رودخانه، کنترل آبشستگی و مقابله با مشکلات ناشی از فراآب) و هم هزینه نگهداری و تعمیرات آتی آن درنظر گرفته شود. انتخاب محل حتما نیاز به بازدید محل و بررسی گزینه‌های متفاوت دارد، اما بطورکلی مناطقی که دارای مسیر تثبیت شده نسبی باشند در اولویت قرار می‌گیرند.

محل مناسب پل در رودخانه‌هایی که از نظر استاتیکی پایدار هستند و الگوی آبراهه و هندسه مقاطع آنها تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد و بر اساس عرض آبراهه اصلی رودخانه و نسبت دبی در سیلاب‌دشت به دبی کل سیل تعیین می‌شود. برای تعیین محل پل، ابتدا بایستی محلهایی مورد توجه قرار گیرند که دارای باریکترین آبراهه اصلی و کمترین نسبت جریان در سیلاب‌دشت باشند.

در رودخانه پایدار دینامیکی انتخاب محل مناسب برای احداث پل مشکل‌تر است. در چنین رودخانه‌هایی به‌جز در موارد خاصی که دهانه پل با عرض سیلاب‌دشت برابر باشد، انجام کارهای ساماندهی بیشتری برای پایدارکردن رودخانه در محل پل لازم است. در نتیجه محلهایی که به عملیات ساماندهی کمتری نیاز دارد در اولویت انتخاب قرار می‌گیرند. معمولاً در محل خم رودخانه‌ها، عرض آبراهه‌ها کمتر و عمق آن بیشتر(مخصوصا در قسمت بیرونی خم) است. در فاصله میان دو خم، آبراهه پهن‌تر و عمق آن کمتر است. در اینگونه موارد مناسبترین محل باید بر اساس هندسه آبراهه، میزان ساماندهی لازم و شرایط هیدرولیکی رودخانه تعیین شود. با توجه به شرایط هیدرولیکی، مناسب‌ترین محل انتخاب پل در مسیر مستقیم است.

از دیگر مسائلی که باید مدنظر قرار گیرد این است که مصالح مناسب، غیرشکننده و فرسایش ناپذیر برای ساخت پی کوله و پایه‌های پل موجود باشد و نیز لایه زیرین تحت تاثیر نیروی اعمالی دچار معضلاتی چون لغزش یا نشست نشده و از طرفی دور از منطقه گسل باشد. به عبارت دیگر محل پل بایستی از نظر زمین شناسی مناسب انتخاب شود.

حضور سازه‌های دیگر نیز تاثیر مهمی در انتخاب محل پل دارد. مثلا سازه‌های تقاطعی دیگر می‌توانند بر سازه مورد نظر اثر گذارند و یا از آن اثر بپذیرند. نمونه‌ای از این سازه‌ها سدها هستند که وجودشان هم در بالادست و هم در پایین‌دست بطور قابل ملاحظه‌ای می‌تواند بر عملکرد سازه مورد نظر اثر گذارد. همچنین تاثیر سازه‌های دیگری که در آینده قرار است احداث شود نیز می‌بایست بررسی گردد.

امتداد پل بهتر است نسبت به جریان آبراهه با زاویه قائمه قرار گیرد. در این صورت طول پل گذرگاه کمتر شده و اثرات منفی هیدرولیکی زاویه‌دار بودن برخورد جریان با پایه‌ها از بین می‌رود. در خم رودخانه‌ها و جریانهای انحنادار، باید با توجه به مورفولوژی رودخانه امکان جابجایی رودخانه بررسی شده و محلی انتخاب شود که امکان جابجایی در آن وجود نداشته باشد یا عملیات ساماندهی مناسبی برای جلوگیری از این پدیده پیش‌بینی گردد.

omoorepeyman.ir

۱-۱۰- مطالعات رسوب

پس از اینکه ذرات سنگی بر اثر هوازدگی از سنگ مادر جدا شدند توسط عوامل مختلفی که مهمترین آن آب است به پایین دست حمل می‌شوند. عمق آب و سرعت جریان دو عامل مهم در ظرفیت حمل رودخانه به شمار می‌آیند از اینرو در هرجا انرژی رودخانه کاهش یابد، آنچه را که دیگر قادر به حملش نیست ترسیب خواهد نمود. در چنین شرایطی ابتدا ذرات درشت‌تر و بعد بتدریج ذرات ریزتر ته نشین می‌شوند.

در فرآیند فرسایش توسط نیروهای بوجود آمده در اثر حرکت آب، ذرات خاک از بستر خود جدا می‌شوند. سپس ذرات جداشده در آستانه حرکت قرار گرفته و درصورتی که نیروهای وارد شده از سوی آب بیشتر از نیروی مقاوم باشند، ذره همراه با جریان آب منتقل می‌شود. شرایط شروع آستانه حرکت ذرات و میزان انتقال آنها، به خصوصیات مواد رسوبی همچون اندازه، شکل و چگالی ذره و همچنین به خصوصیات جریان نظیر سرعت، عمق، تلاطم و نیز به خصوصیات شکل کانال و یا رودخانه نظیر شعاع هیدرولیکی، شیب و غیره بستگی دارد.

مقدار و نوع بار رسوبی حمل شده توسط رودخانه، عامل اصلی تعیین شکل رودخانه است. تغییرات زیاد بار رسوبی ممکن است ناشی از تغییرات در کاربری زمین، آتش‌سوزی در جنگلها و وقایع هیدرولوژیکی و همینطور ساخت سد باشد که آب و رسوب را در مخزن نگهداری می‌کند. بار رسوبی همراه با دبی، عامل اصلی مؤثر بر کلیه مخاطرات رودخانه‌ای است.

مطالعات هیدرولیک رسوب پیشنهادی شامل تعیین دانه‌بندی بستر و سیلاب‌دشت رودخانه، محاسبه آورد رسوب رودخانه‌ای (باربستر، بارمعلق)، ترسیم هیدروگراف رسوب سالیانه رودخانه، تعیین میزان فرسایش و رسوبگذاری در بستر و کناره‌های رودخانه در بازه مطالعاتی، تعیین نقاط بحرانی و آسیب‌پذیر از لحاظ فرسایش و رسوبگذاری در بازه مطالعاتی و تعیین میزان آبشستگی عمومی و موضعی کوله‌ها و پایه‌های پل است.

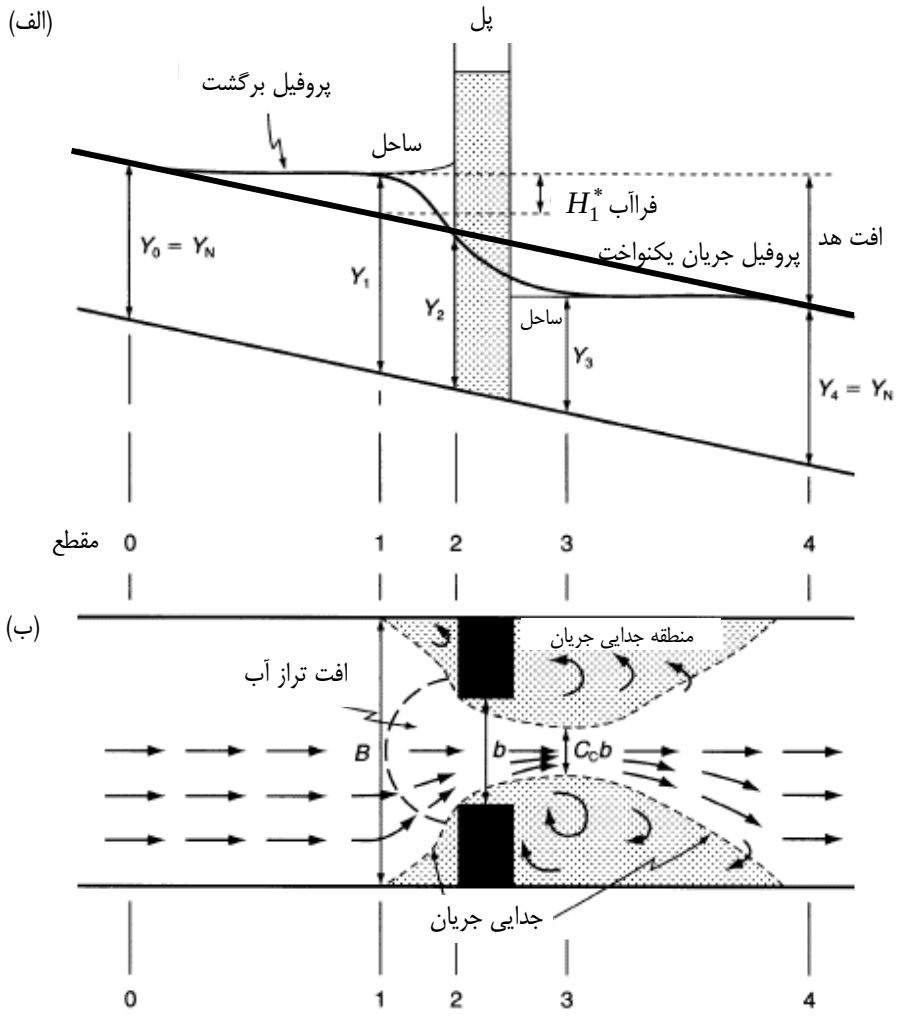
۲- بررسی نحوه تاثیر پل بر جریان رودخانه

مبحث تاثیر پل بر جریان رودخانه زمانی مطرح می‌شود که پل باعث تنگ‌شدگی رودخانه و فشردگی جریان شده و مانعی در برابر جریان محسوب گردد. در این حالت افت انرژی در اثر فشردگی و تراکم جریان عبوری از پل و مهمتر از آن پخش مجدد جریان به کل عرض رودخانه رخ می‌دهد.

جهت غلبه بر افت انرژی، تراز سطح آب بالادست به طور طبیعی به ارتفاعی بالاتر از حد معمول (تراز آب قبل از احداث پل) افزایش می‌یابد. به این اختلاف تراز سطح آب، فراآب و کاهش عمق آب در فاصله‌ای از بالادست محل پل را پروفیل برگشت آب می‌نامند. هر چه بازشدگی پل(مجرا عبور جریان در محل پل) کمتر باشد مقدار فراآب و شدت پس‌زدگی بیشتر است. در این قسمت چگونگی عبور جریان از محل پل و نحوه تاثیرگذاری سازه پل بر جریان تشریح شده است.

بطورکلی زمانیکه جریان از یک تنگ شدگی (مقطعی باریکتر از کانال طبیعی رودخانه) عبور می‌کند تراز آب در بالادست تنگ شدگی، در مقایسه با سایر قسمت‌های کانال افزایش می‌یابد (شکل ۳- الف). در شکل ۳ فاصله مقطع صفر تا سازه پل به عواملی از قبیل هندسه کانال، زبری وشیب آن بستگی دارد و با توجه به روشهای مختلف آنالیز برگشت آب قابل محاسبه است.

omoorepeyman.ir



شکل۳- (الف) مقطع طولی جریان یکنواخت در عمق نرمال (ب) پلان رودخانه در محل فشردگی جریان

در ناحیه جدایی جریان، ممکن است گردابه‌هایی نیز ایجاد شود و این نوع گردابه‌ها زمانیکه بازشدگی پل نسبت به عرض رودخانه کم باشد، بیشتر مشاهده می‌شود.

اندازه ناحیه جدایی بستگی به خصوصیات کانال بالادست و هندسه سازه دارد. البته نکته مهم اینست که تراز آب در ناحیه جداشده بالاتر از ناحیه مرکزی جریان است. بازشدگیهای اریب (در پلهایی که با زاویه نسبت به محور عمود بر رودخانه ساخته می‌شوند) نیز باعث ایجاد گرادیانهای عرضی و حبس شدن آب در گوشه‌های پل می‌شوند. هر قدر شیب کانال تندتر باشد این مسئله مشهودتر است.

فاصله مقطع ۴ از مقطع ۳ بستگی به هندسه کانال، زبری و ناهمواری آن و نیز مشخصات جریان دارد. پیشنهاد شده است که حداقل فاصله مقطع ۴ از وجه پایین دست سازه $2\times(B-b)$ درنظر گرفته شود.

ناحیه پایین‌دست که مربوط به انبساط جریان اصلی است بسیار حائز اهمیت می‌باشد زیرا بیشترین افت انرژی جریان از مقطع ۳ تا مقطع ۴ اتفاق می‌افتد. بر اساس قانون ضربه، افت انرژی ناشی از انبساط جریان دو برابر افت انرژی ناشی از انقباض و تراکم جریان است. در انبساط جریان، ایجاد تلاطم و آشفتگی باعث افت بزرگی در انرژی می‌گردد که وقتی با افت برشی مرزی جمع شود، از انرژی جنبشی مقطع ۳ بیشتر خواهد شد. جهت غلبه بر این افت انرژی، تراز آب در بالادست سازه افزایش می‌یابد که این مسئله دلیل اصلی ایجاد فراآب است.

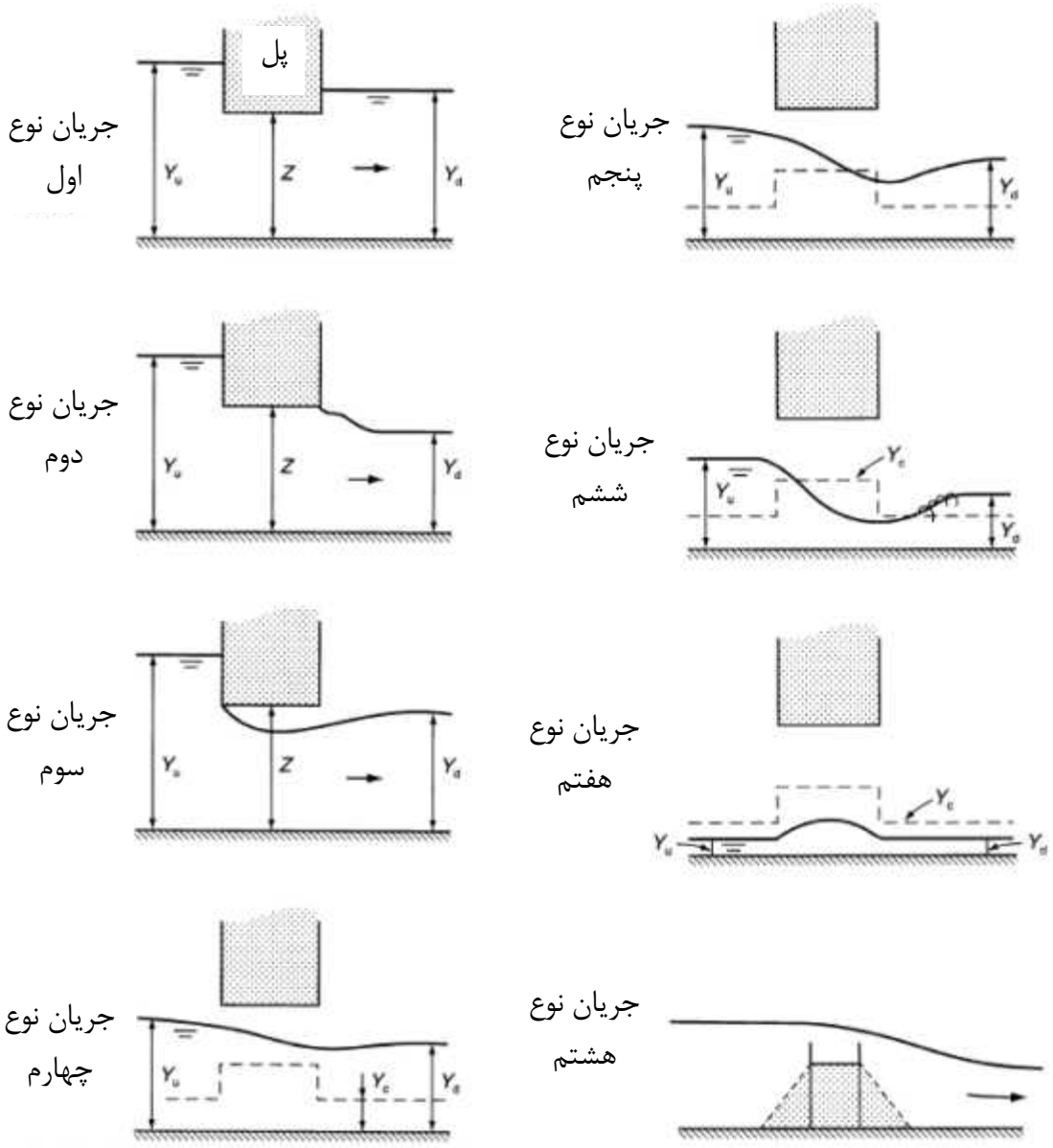
omoorepeyman.ir

با توجه به شرایط بالادست، شرایط پایین‌دست، دبی، شدت و هندسه تنگ‌شدگی در محل پل انواع مختلفی از جریان بوجود می‌آید. حتی ممکن است پل‌های مشابه در سایتهای گوناگون انواع مختلف جریان را ایجاد کنند. روابط مربوط به محاسبه دبی، فراآب و افت انرژی به نوع جریان بستگی دارد. بنابراین تشخیص نوع جریان مهم است. در شکل ۴ جریان‌های مذکور نشان داده شده است.

در جریان نوع اول سطح مقطع جریان و بازشدگی زیر پل یکی بوده و سطوح بالادست و پایین‌دست پل مستغرق است. جریان نوع دوم حالتی بین جریان نوع اول و نوع سوم است. در این حالت با وجود اینکه جریان از کل بازشدگی پل عبور می‌کند، اما وجه پایین‌دست پل مستغرق نیست. در جریان نوع سوم وجه بالادست پل مستغرق بوده، اما در وجه پایین‌دست، تراز سطح آب کمتر از تراز زیر عرشه پل است. اصطلاحاً به این حالت، جریان دریچه کشویی گفته می‌شود. در محل پلها اغلب جریان نوع چهارم که از نوع زیربحرانی است، حاکم می‌باشد. تراز سطح آب در بالادست و پایین‌دست مقطع پل، از تراز زیر عرشه پل پایین‌تر است و عمق جریان از عمق بحرانی بزرگتر است. در جریان نوع پنجم، تراز سطح آب در محل بازشدگی پل(زیر عرشه پل) از عمق بحرانی عبور کرده و جریان وارد شرایط فوق بحرانی می‌شود. جریان نوع ششم شبیه جریان نوع پنجم است، با این تفاوت که جریان فوق بحرانی هم در زیر عرشه پل و هم بلافاصله در پایین‌دست پل رخ می‌دهد. در اغلب موارد عدد فرود جریان در قسمت فوق بحرانی بالاتر از ۲ بوده و پرش هیدرولیکی در پایین‌دست قابل تشخیص است. در جریان نوع هفتم، در محل پل، بالادست و پایین‌دست آن جریان فوق بحرانی حاکم است. افت انرژی در محل پل سبب افزایش سطح آب در این مقطع می‌گردد. این نوع از جریان به‌ندرت رخ می‌دهد اما امکان ایجاد آن در مناطق کوهستانی، و در مناطقی با زبری کم و شیب زیاد وجود دارد. جریان نوع هشتم زمانی رخ می‌دهد که ظرفیت مجرای زیر پل برای عبور سیلاب کافی نبوده و جریان از روی پل و خاکریز دسترسیِ جاده سرریز کند.

شناخت نوع جریان علاوه بر کمک به تشخیص روش مناسب جهت تعیین پارامترهای هیدرولیکی جریان، در انتخاب نوع عملیات بهسازی جهت کاهش اثرات مخرب سیلاب نیز مهم است.

omoorepeyman.ir



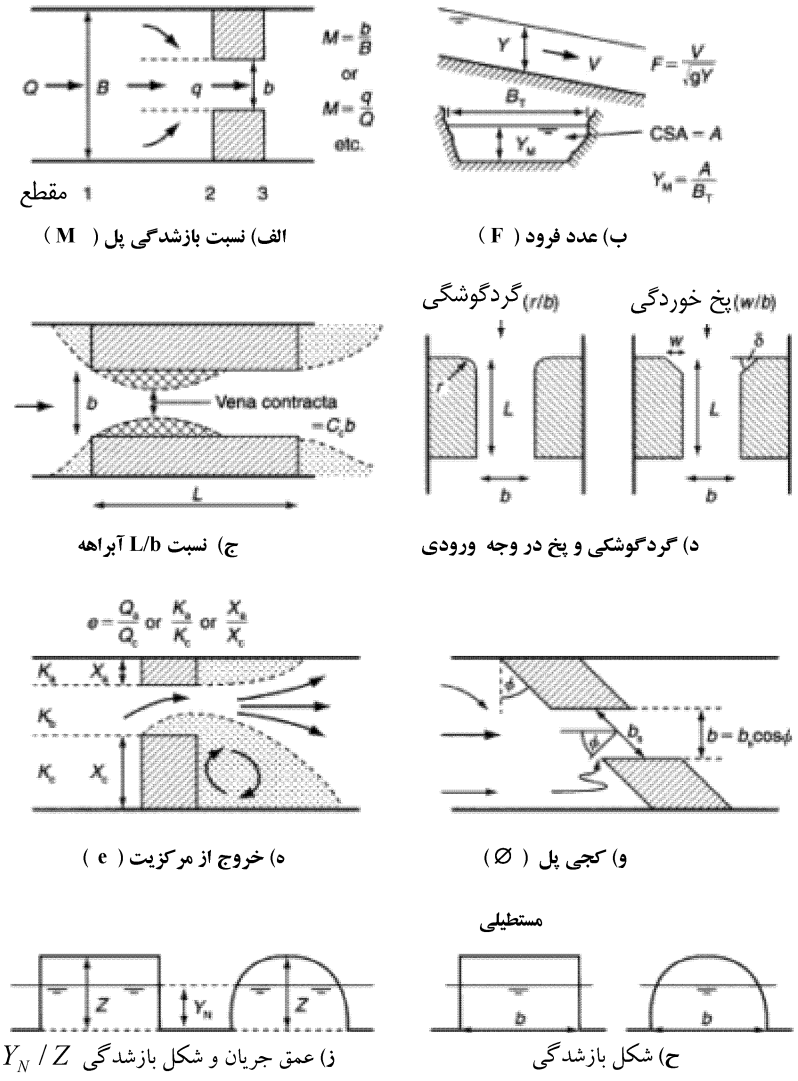
شکل ۴- طبقه‌بندی انواع جریان عبوری از محل پل

۳- بررسی عوامل تاثیرگذار بر عملکرد هیدرولیکی پل

در این قسمت، عوامل مؤثر بر عملکرد هیدرولیکی پل‌ها و نیز نحوه تاثیرگذاری آنها بررسی خواهد شد. بعضی از این متغیرها به هندسه سازه بستگی دارند که در شکل ۵ به تصویر کشیده شده‌اند. این عوامل در انواع مختلف جریان به صورتهای متفاوتی تاثیر می‌گذارند.

- نسبت بازشدگی پل، M : نسبت جریانی است که مستقیماً و بدون فشردگی از مرکز کانال و مرکز بازشدگی عبور می‌کند (q) به کل دبی رودخانه(Q).

omoorepeyman.ir



الف) نسبت بازشدگی پل (M)

ب) عدد فرود (F)

ج) نسبت L/b آبراهه

د) گردگوشکی و پخ در وجه ورودی

ه) خروج از مرکزیت (e)

و) کجی پل (Ø)

مستطیلی

ز) عمق جریان و شکل بازشدگی Y_N / Z

ح) شکل بازشدگی

شکل ۵- متغیرهای اصلی تاثیرگذار بر عملکرد هیدرولیکی پل

- عدد فرود (Fr)، جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی: نسبت نیروهای اینرسی و ثقلی در جریان است. اگر عدد فرود جریانی برابر یک باشد، عمق جریان بحرانی است و در این حالت عملکرد هیدرولیکی آبرو بهینه است.
- نسبت طول آبراهه به عرض دهانه در محل پل L/b: آبراهه‌های طولانی از بازده بیشتری نسبت به آبراهه‌های کوتاه برخوردار هستند، بنابراین طول بازشدگی یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار در عملکرد هیدرولیکی پلهاست.
- گردگوشگی دهانه ورودی: یکی از روشهای بالا بردن بازده هیدرولیکی، مدور ساختن لبه‌های بالادست است. در این حالت هندسه ورودی با خطوط جریان مرزی شبیه خواهد بود. گردگوشگی دهانه ورودی، میزان انقباض جریان را کاهش داده و سبب افزایش عرض جریان و نتیجتاً افزایش ضریب دبی C_d خواهد شد.
- عدم تقارن طول خاکریز دوطرف پل در عرض رودخانه: یکی از عوامل تاثیرگذار بر عملکرد هیدرولیکی پل میزان خروج از مرکزیت محل پل نسبت به مرکز دهانه رودخانه است.

omoorepeyman.ir

- کجی(بیه) پل، ϕ : تعریف ساده‌ای از بیه پل می‌توان ارائه داد. زاویه بین راستای پل(راستای محور راه) و راستای عمود بر رودخانه است.
- عمق جریان: برای یک دبی ثابت، بسته به شیب و هندسه کانال و نوع جریان(یکنواخت و غیر یکنواخت) عمق جریان تغییر می‌کند. عمق جریان به ارتفاع بازشدگی پل وابسته است و بر نوع جریان و همچنین عملکرد هیدرولیکی سازه تاثیرگذار خواهد بود.
- شکل بازشدگی: عمق، توزیع سرعت و الگوی جریان به شکل آبراهه بستگی دارد.
- زبری و شکل کانال رودخانه: این پارامترها بر عملکرد هیدرولیکی پلها مؤثرند اما تاثیر آنها معمولاً کم است. علیرغم اهمیت‌شان در محاسبه نسبت بازشدگی و عدد فرود، معمولاً مستقیما وارد محاسبات نمی‌شوند.
- آبشستگی: آبشستگی می‌تواند بر پروفیل سطح آب و میزان فراآب در محل پل تاثیر بگذارد. اگر آبشستگی به سبب احداث پل در طولی از رودخانه ایجاد گردد، تراز بستر رودخانه و سطح آزاد آب کم خواهد شد و در نتیجه آن مقدار فراآب و افت انرژی بین محل پل و پایین‌دست آن کاهش می‌یابد.

۴- نحوه محاسبه دبی و فراآب

تمرکز علم هیدرولیک پل‌ها معمولاً روی تعیین دبی عبوری از سازه و فراآب حاصل از آن است. بدین منظور توصیه می‌شود از روش‌های تحلیل عددی جریان جهت محاسبه پارامترهای مذکور استفاده شود. اگرچه که استفاده از روش‌های عددی نیاز به دانش فنی بالایی دارد اما نتایج بدست آمده از آنها در اغلب موارد از روش‌های تقریبی موجود مناسب‌تر است. در این قسمت به نحوه آنالیز جریان عبوری از پل‌های تک دهانه و یا چند دهانه، با مقطع بازشدگی مستطیلی شکل یا قوسی، در حالات قبل و بعد از استغراق پرداخته می‌شود.

چهار روش توضیح داده شده زیر، روشهای نسبتاً ساده‌ای هستند و بیشتر قبل از شروع محاسبات کامپیوتری و یا برای کنترل نهایی نتایج آنالیز کاربرد دارند. زیرا این روشها نیاز به نرم‌افزارهای کامپیوتری ویژه ندارند.

۴-۱- روش سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده (USGS)

این روش یکی از فراگیرترین روشهای بررسی وضعیت جریان در آبروهای مستطیلی شکل است. این روش برای انواع مختلف بازشدگی (بازشدگی با خروج از محوریت, بازشدگی کج, بازشدگی با گردگوشکی وجوه ورودی جریان (پایه‌ها و یا دیوار هدایت آب) و بازشدگی مستغرق) کاربرد دارد. اما برای جریانهای غیر یکنواخت و یا فوق بحرانی مناسب نیست. همچنین توصیه می‌شود به ندرت و با رعایت احتیاط از این روش برای پل‌های قوسی استفاده گردد. در این روش تعیین سطح تراز آب در مقاطع ۱و ۳ ضروری است (شکل ۲).

۴-۱-۱- محاسبه دبی

در این روش از محل انقباض جریان برای سنجش دبی استفاده می‌شود. جهت محاسبه دبی از یک سری داده‌ها و ضرایب تجربی در معادلات استفاده می‌گردد. این ضرایب به شکل و نوع بازشدگی و نیز اختلاف بین ترازهای آب در مقاطع ۱ و ۳ بستگی دارند. جهت محاسبه دبی رابطه زیر پیشنهاد شده است:

omoorepeyman.ir

$$Q = CA_3\left[2g\left(\Delta h + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_F\right)\right]^{1/2} \quad (۱)$$

$V_1 = Q/A_1$ است و به دلیل مشخص نبودن مقادیر واقعی Q و V_1 معادله ۱ می‌بایست با سعی و خطا و عملیات تکرار شونده حل گردد. در بیشتر مواقع می‌توان فرض کرد که مقادیر $\alpha_1 V_1^2/2g$ و h_F تقریباً مساویند و یکدیگر را خنثی می‌کنند. از طرف دیگر مقادیر مذکور در مقایسه با مقدار Δh بسیار کم است.

برای هر نوع بازشدگی مقدار ضریب دبی (C) بر اساس یک ضریب پایه استاندارد (C')و یک سری ضرایب تعدیل (K) حاصل می‌شود. ابتدا نوع بازشدگی تعیین شده و سپس با استفاده از مقادیر M و L/b برای هر نوع بازشدگی مقدار (C') بدست می‌آید. پس از محاسبه (C') بایستی مقادیر K_i نیز از چارت‌ها و دیاگرام‌های مربوط به خود محاسبه شده و برای اصلاح (C') و محاسبه C اعمال می‌گردند. بنابراین مقدار C از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$C = C'(K_F K_r K_W K_\phi K_e K_Y K_x K_\theta K_P K_T) \quad (۲)$$

مقادیر پارامترهای ذکر شده در فرمول فوق باید از روشهای رایج و معتبر (نشریاتFHWA و AASHTO) محاسبه شود.

۴-۱-۲- محاسبه فراآب

روش ذیل برای تخمین برگشت آب توصیه شده است. اختلاف بین تراز آب در مقاطع ۱ و ۳ به شرح زیر است:

$$\Delta h = H_1^* + H_3^* + S_0 L_{1-3} \quad (۳)$$

با تقسیم طرفین معادله فوق بر Δh، معادله بدون بعد ۴ ایجاد می‌شود.

$$\frac{H_1^*}{\Delta h} = 1 - \frac{H_3^*}{\Delta h} - \frac{S_0 L_{1-3}}{\Delta h} \quad (۴)$$

برای محاسبه حداکثر فراآب (H_1^*)، مراحل زیرباید طی شود:

۱- برای دبی مورد نظر (Q) نسبت بازشدگی پل محاسبه می‌شود.

۲- متوسط زبری کانال رودخانه تخمین زده می‌شود. (این مقدار باید متوسط بالادست و پایین دست رودخانه باشد)

۳- نسبت برگشت آب ($\frac{H_1^*}{\Delta h}$) از شکل ۶ بدست می‌آید.

۴- مقدار ضریب دبی بازشدگی C و ضریب دبی پایه C_{basic} (با فرض اینکه بازشدگی از نوع I بوده و دهانه ورودی گردشدگی نداشته باشد و دیوار هدایت آب نیز وجود نداشته باشد) محاسبه می‌شود سپس به کمک شکل ۷ مقدار K_c حاصل می‌شود.

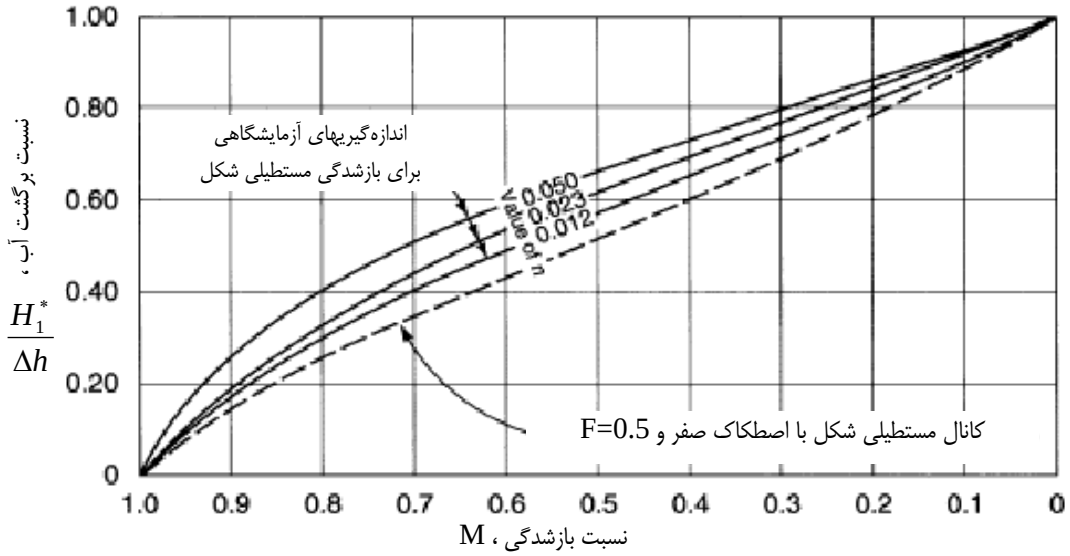
۵- نسبت برگشت آب بدست آمده از گام ۳ در ضریب K_c ضرب می‌شود.

۶- مقدار Δh بر اساس دبی طراحی Q و معادله ۱۲-۱ محاسبه می‌شود.

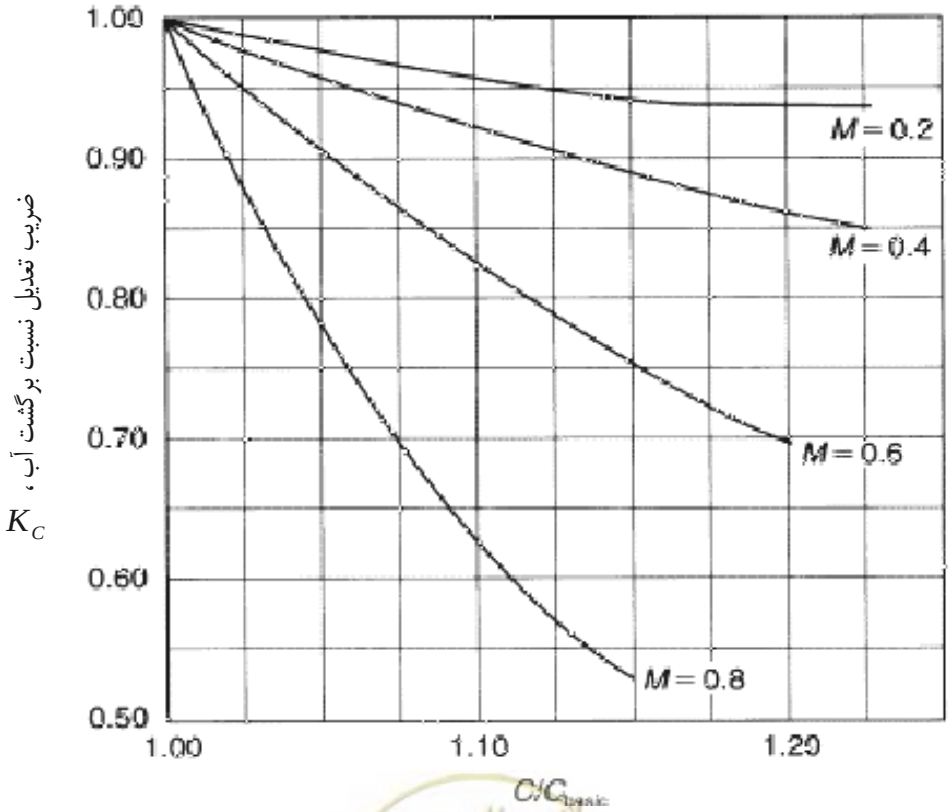
۷- نسبت فراآب تعدیل شده $K_C H_1^*/\Delta h$ حاصل از گام ۵ در Δh حاصل از گام ۶ ضرب شده و H_1^* بدست می‌آید.

۸- H_3^* با استفاده از معادله ۱۲-۳ و مشخص بودن بقیه پارامترها بدست می‌آید.

omoorepeyman.ir



شکل ۶- نسبت برگشت آب در روش USGS برای شرایط اولیه در تستهای آزمایشگاهی (وجود بازشدگی با کوله‌های قائم و لبه‌های ورودی تیز و بدون گردگوشکی)



شکل ۷- تعیین ضریب K_c در روش USGS

omoorepeyman.ir

۴-۱-۳- محدوده استفاده از روش سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده (USBPR)

در بعضی از شرایط نمی‌توان از روش USGS استفاده کرد و یا استفاده از آن باید با احتیاط صورت پذیرد. بعضی از این شرایط و محدودیت‌ها عبارتند از:

۱- تنها در مکان‌هایی که بستر نسبتا پایدار باشد باید از این روش استفاده کرد و به عبارت دیگر اگر احتمال وقوع آبشستگی و ایجاد چاله‌های ناشی ار آبشستگی در محل پل وجود دارد، نمی‌توان از این روش استفاده کرد زیرا در اینصورت هندسه پل و محل تخمینی مقطع ۳ و ضرائب K_i و بطور کلی فرضیات این روش با واقعیت تفاوت فاحشی خواهند داشت.
۲- این روش در جاهاییکه اختلاف تراز سطح آب در مقاطع ۱ و ۳ (Δh) کمتر از ۱۵۰mm است نباید بکاربرده شود.
۳- Δh باید بزرگتر از $4h_F$ باشد. این مسئله زمانی مطرح می‌شود که سیلاب‌دشت پوشش گیاهی فشرده‌ای داشته باشد.
۴- شکل هندسه پل باید محدود به انواع استاندارد تشریح شده در این روش بوده و جریان نیز حالت بحرانی نداشته باشد.
۵- در شرایطی مثل زمانی که طراحی یک پل جدید مد نظر است، تراز آب در مقطع ۱ و ۳ (H_1 و H_3) و همچنین مقدار Δh کاملاً نامعلومند، یک راه حل اینست که مقدار Q به صورت فرضی در نظر گرفته شود و بعد از محاسبه Δh از فرمول ۱۲-۱ مقدار H_1^* و S_0L_{1-3} محاسبه و از معادله ۱۲-۳ مقدار H_3^* بدست آید. لذا این روش برای پلهای جدیدالاحداث خیلی کارا نبوده و بیشتر برای کنترل وضعیت پلهای موجود کاربرد دارد.

۴-۲- روش اداره راههای عمومی ایالت متحده (US Bureau of Public Roads)

در روش USBPR فرض می‌گردد کانال منظم و عمق جریان نرمال باشد. در این نوع جریان تراز سطح آب با بستر موازی است. در این روش برای محاسبه فراآب، پارامترهایی مانند نسبت بازشدگی M، هد سرعت مربوط به عمق نرمال در مقطع ۲ ($\alpha_2\frac{V_{N2}^2}{2g}$، N به عمق نرمال دلالت دارد) و همچنین تعدادی ضرایب تجربی که از نمودارها بدست می‌آید، مورد نیاز است. این روش احتیاجی به محاسبه عدد فرود ندارد. اساس کار بر مبنای کاربرد روابط پیوستگی و انرژی بین مقاطع ۱ و ۴ است.

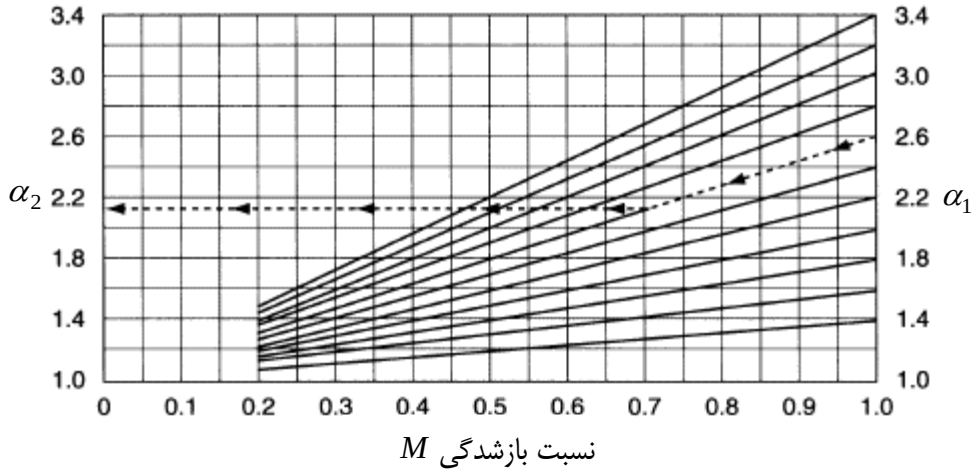
۴-۲-۱- محاسبه فراآب

بیشترین میزان فراآب در مقطع ۱ برابر است با:

$$H_1^* = k^* \frac{\alpha_2 V_{N2}^2}{2g} + \alpha_1\left[\left(\frac{A_{N2}}{A_4}\right)^2 - \left(\frac{A_{N2}}{A_1}\right)^2\right]\frac{V_{N2}^2}{2g} \qquad (۵)$$

omoorepeyman.ir

معادله فوق می‌بایست به روش تکرار حل شود. ابتدا H_1^* تخمین زده شده و سپس A_1 محاسبه می‌گردد. با استفاده از معادله ۵ مقدار H_1^* بدست می‌آید. این روند تا همگرایی کامل ادامه پیدا می‌کند. می‌توان ضریب توزیع سرعت α_2 را با استفاده از شکل ۸ محاسبه کرد. بعنوان مثال اگر مقدار $\alpha_1 = 2.6$ و $M = 0.7$ باشد، مقدار $\alpha_2 = 2.1$ خواهد بود.



شکل ۸- محاسبه α_2 با استفاده از مقادیر α_1 و نسبت بازشدگی M

ضریب k^* با استفاده رابطه ۶ محاسبه می‌گردد.

$$k^* = k_b^* + \Delta k_e^* + \Delta k_\phi^* + \Delta k_P^* \qquad (۶)$$

مقادیر پارامترهای ذکر شده در فرمول فوق باید از روشهای رایج و معتبر (نشریات FHWA , AASHTO) محاسبه شود.

در شرایط جریان غیرنرمال رابطه زیر برای محاسبه فراآب پیشنهاد شده است.

$$H_{1A}^* = k^* \frac{\alpha_2 V_{2A}^2}{2g} \qquad (۷)$$

۴-۲-۲- محاسبه تراز سطح آب پایین دست پل (Y_3)

برای محاسبه تراز سطح آب در پایین‌دست پل(Y_3)، برای حالتیکه محور جریان عمود بر محور طولی پل باشد و طول خاکریز دو طرف پل نیز یکسان باشد، پارامتر H_b^* به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$H_b^* = k_b^* \frac{\alpha_2 V_{N2}^2}{2g} \qquad (۸)$$

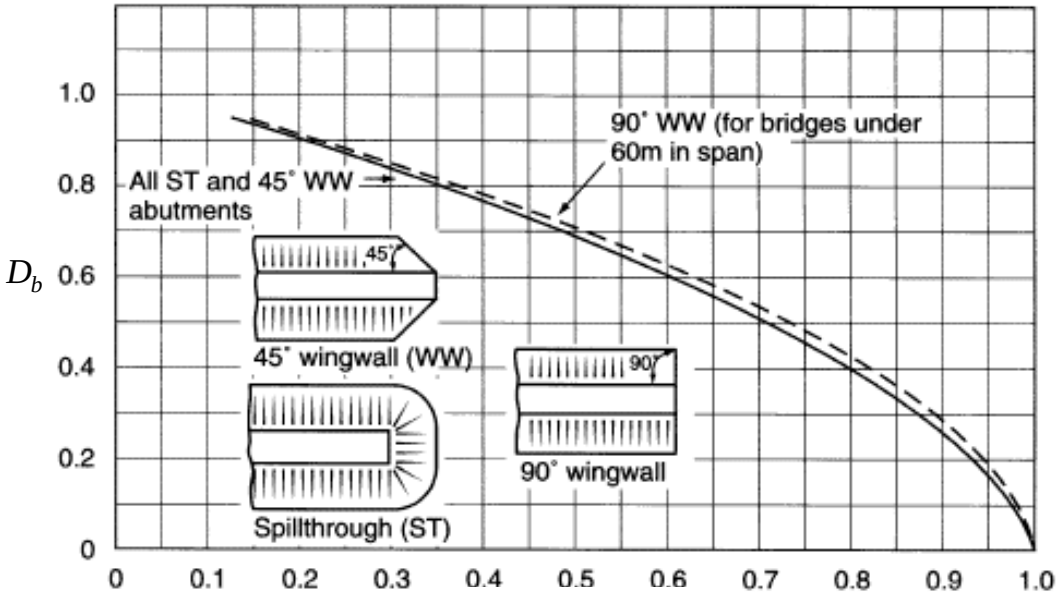
از طرف دیگر پارامتر D_b با استفاده از شکل ۹ برحسب نسبت بازشدگی M و نوع کوله بدست می‌آید. با استفاده از مطالب مطرح شده H_3^* (اختلاف تراز سطح آب نرمال و سطح آب پایین‌دست پل) از رابطه زیر بدست می‌آید.

omoorepeyman.ir

$$H_3^* = H_b^*\left(\frac{1}{D_b} - 1\right) \qquad (۹)$$

بنابراین:

$$Y_3 = Y_N - H_3^* \qquad (۱۰)$$



شکل ۹- تغییرات D_b برحسب نسبت بازشدگی M

منحنی بالا: پلهایی که کوله با دیوارهای ۹۰ درجه و $b \prec 60\,m$ دارند.

پلهایی که کوله با دیوارهای ۴۵ و ۶۰ درجه دارند یا

منحنی پایین: پلهایی که کوله با ورودی منحنی (Spillthrough) دارند.

در پلهایی که طول خاکریز دو طرف پل(عمود بر جریان) باهم برابر نباشد، رابطه زیر ارائه شده است.

$$H_3^* = \left(H_b^* + \Delta k_e^* \frac{\alpha_2 V_{N2}^2}{2g}\right)\left(\frac{1}{D_b} - 1\right) \qquad (۱۱)$$

همچنین بمنظور لحاظ نمودن اثر زاویه بین محور طولی پل و محور رودخانه، رابطه زیر بیان شده است.

$$H_3^* = \left(H_b^* + \Delta k_\phi^* \frac{\alpha_2 V_{N2}^2}{2g}\right)\left(\frac{1}{D_b} - 1\right) \qquad (۱۲)$$

اگر شرایط غیرنرمال حاکم باشد، معادلات ۸ و ۹ همچنان برقرار است با این تفاوت که به جای سرعت V_{N2} می‌بایست از سرعت V_{A2} استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

۴-۲-۳- محاسبات دبی

در روش USBPR معادله مشخصی جهت تعیین رابطه دبی و عمق آب بالادست پل ارائه نشده است. اما ترسیم نمودار دبی-اشل کار ساده‌ای است. به ازای هر دبی مفروضی، عمق نرمال با استفاده از رابطه مانینگ قابل استخراج است. مقدار H_1^* نیز از مطالب ارائه شده منتج می‌گردد. عمق آب بالادست حاصل‌جمع عمق نرمال و H_1^* است. بدین ترتیب می‌توان نمودار دبی و عمق آب بالادست پل را ترسیم نمود.

۴-۳- روش Biery and Delleur

این روش اساساً جهت تعیین رفتار هیدرولیک پل‌های طاقی پیشنهاد شده است. متاسفانه اثر زاویه محور پل (محور راه) و محور رودخانه، عدم تقارن طول خاکریز دوطرف پل در عرض رودخانه، وجود پایه‌ها و شرایط غیرنرمال در نظرگرفته نشده است.

در این مطالعات برای محاسبه فراآب شکل ۱۰ ارائه شده است. محور افقی نسبت بازشدگی M و محور عمودی Y_1/Y_Nاست. Y_1 عمق بالادست پل و Y_N عمق نرمال است. منحنی‌های موجود در این شکل بر اساس عدد فرود عمق نرمال($Fr_N = \frac{V_N}{\sqrt{gY_N}}$) بیان شده است. منحنی بالایی مربوط به حالتی است که $Y_1/Y_N \le 1.5$ باشد و در منحنی پایینی $1.5 \le Y_1/Y_N \le 2.5$ است. با استفاده از شکل ۱۰ مقدار Y_1 بدست آمده و میزان حداکثر فراآب نیز از رابطه زیر بدست می-آید.

$$H_1^* = Y_1 - Y_N \qquad (۱۳)$$

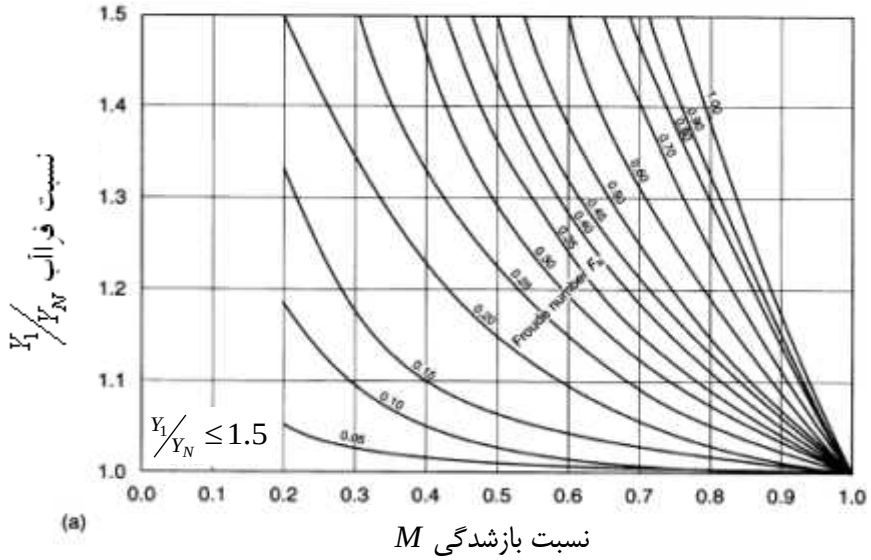
با استفاده از شکل ۱۱ می‌توان فاصله بالادست پل تا محل ایجاد فراآب حداکثر را بدست آورد(L_{1-2}). همچنین به‌کمک شکل ۱۲ فاصله محل بیشترین فراآب تا محل حداقل تراز آب بدست می‌آید(L_{1-3}).

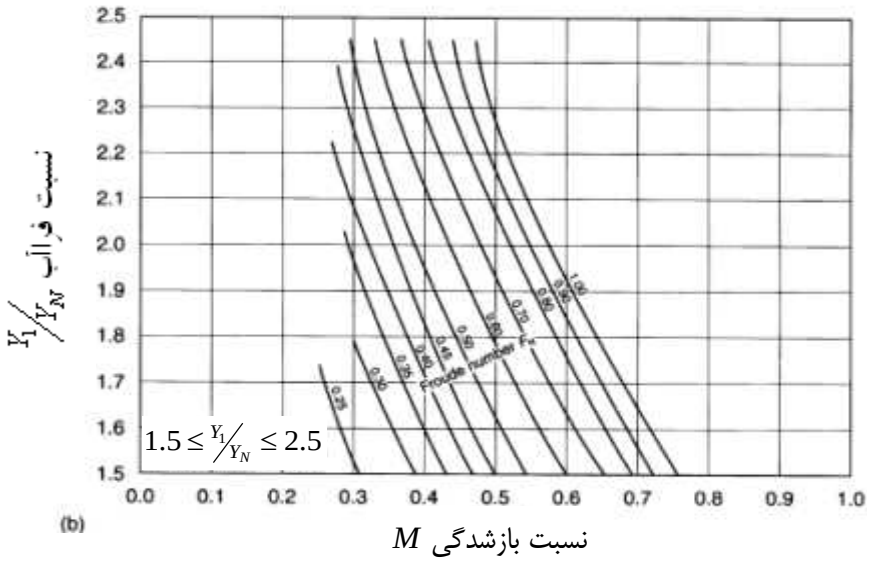
جهت محاسبه دبی عبوری از کانال مستطیلی با طاقهای نیم‌دایره رابطه زیر پیشنهاد می‌گردد:

$$Q = 0.7083 \times C_D \times (2g)^{1/2} \times Y_1^{3/2} \times b \times \left[1 - 0.1294 \times \left(\frac{Y_1}{r}\right)^2 - 0.0177 \times \left(\frac{Y_1}{r}\right)^4\right] \qquad (۱۴)$$

C_D ضریب دبی که می‌توان آنرا با استفاده از شکل ۱۳ بدست آورد. شکل مذکور بر حسب عدد فرود عمق نرمال کانال رسم گردیده است.

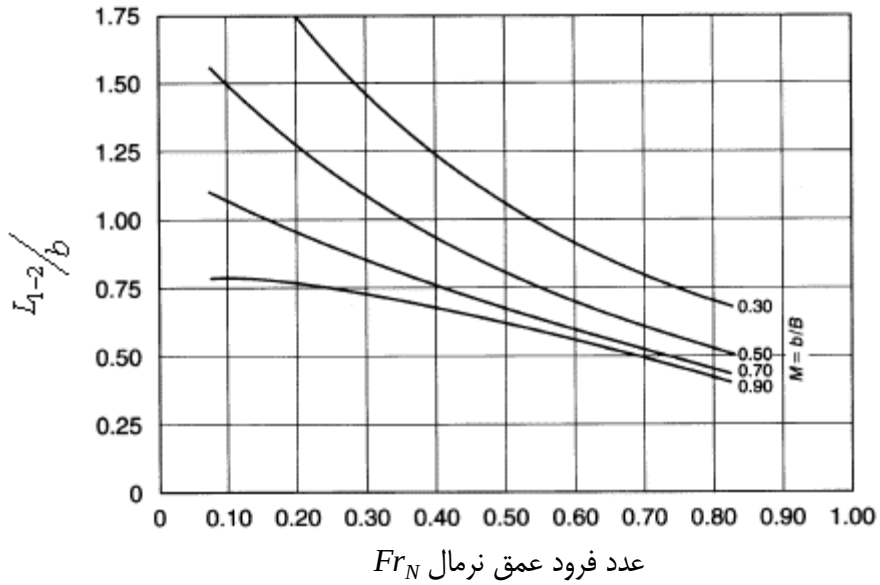
omoorepeyman.ir



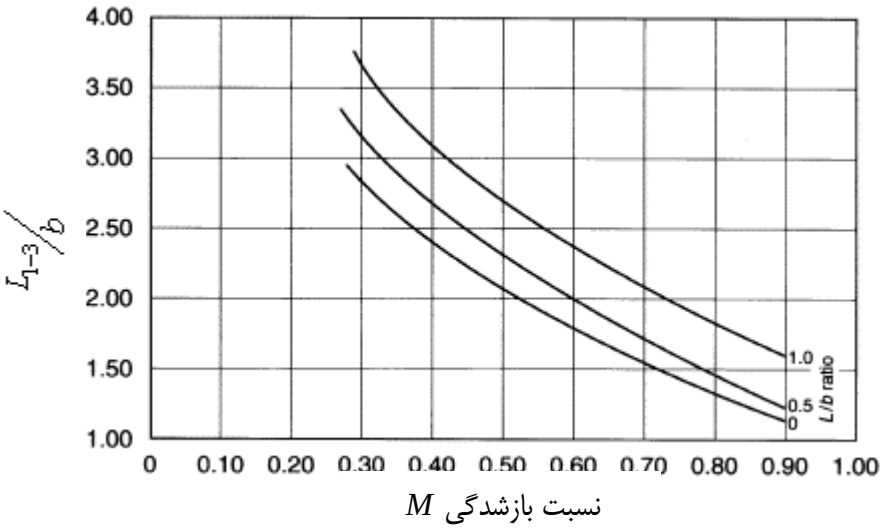


شکل ۱۰- منحنی تغییرات Y_1/Y_N در مقابل نسبت بازشدگی M و عدد فرود عمق نرمال Fr_N

omoorepeyman.ir

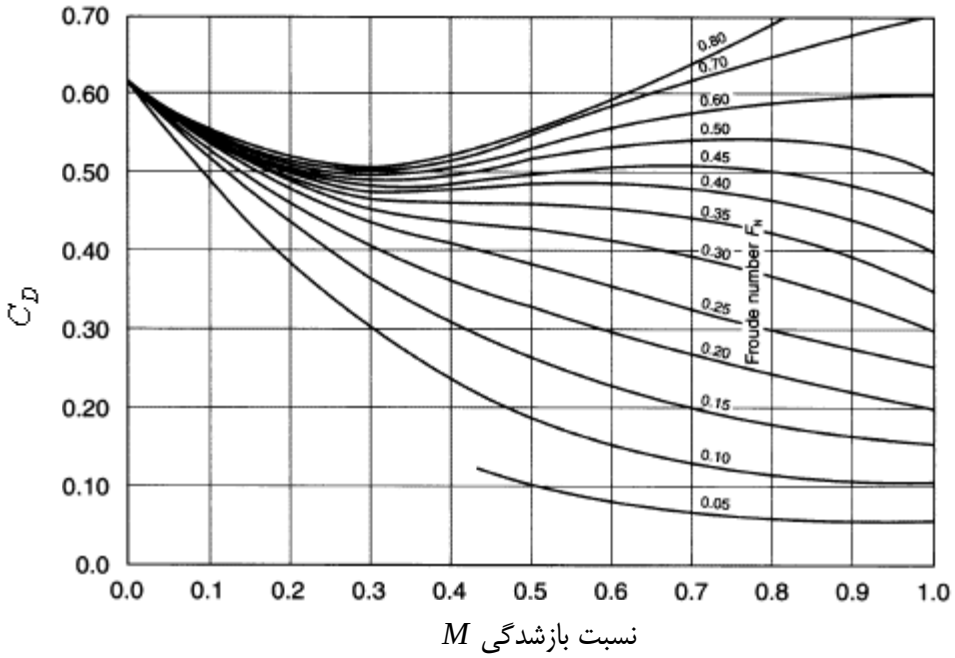


شکل ۱۱- نمودار تعیین فاصله بالادست پل تا محل ایجاد فراآب حداکثر



شکل ۱۲- نمودار تعیین فاصله محل بیشترین فراآب تا محل حداقل تراز آب

omoorepeyman.ir



شکل ۱۳- نمودار ضریب C_D در برابر نسبت بازشدگی M

۴-۴- روش HR (Hydraulic Research)

این روش توسط موسسه تحقیقاتی هیدرولیک والینگ فرد انگلستان توصیه شده است. در این روش طاقهای نیم‌دایره تک دهانه، طاقهای بیضوی تک دهانه، طاقهای نیم‌دایره چند دهانه و طاقهای بیضوی چند دهانه مدنظر قرار گرفته شده است. جهت تعیین میزان فراآب پارامترهای J_1 و J_4 به صورت زیر تعریف می‌گردد.

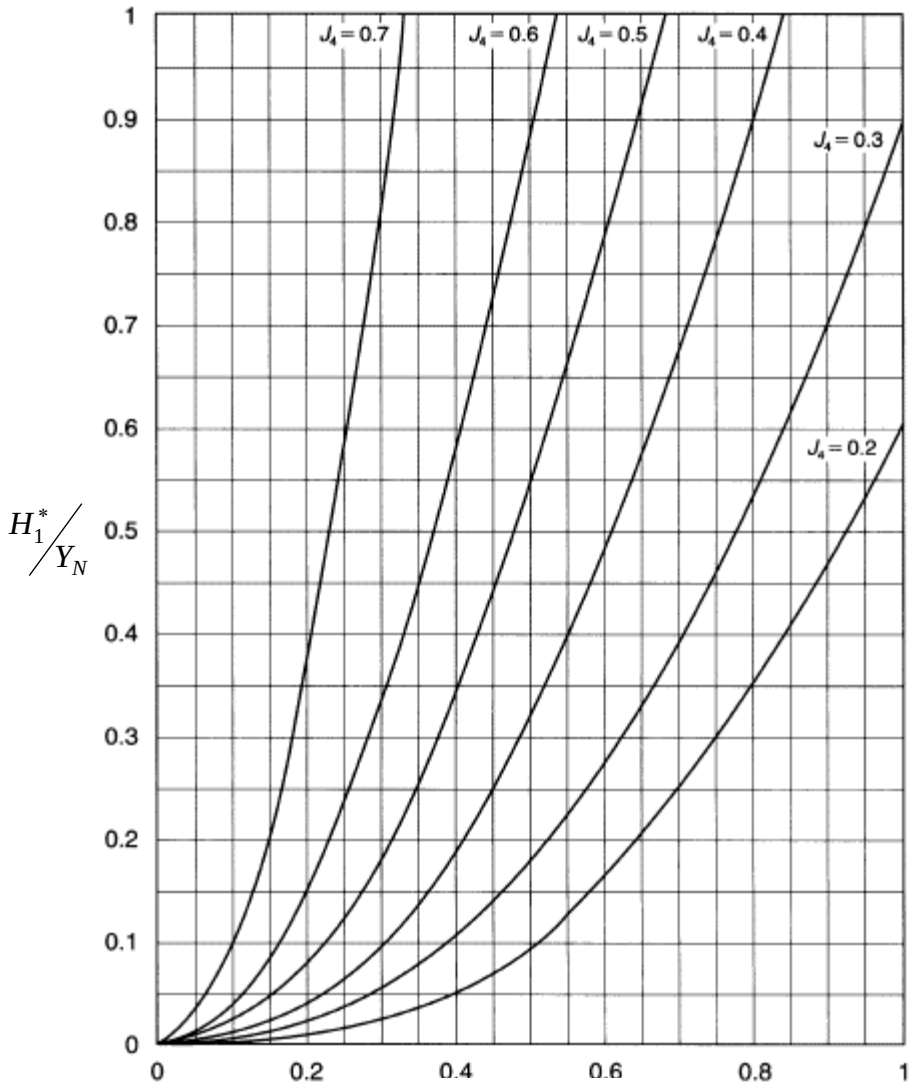
$$J_1 = (A_1 - A_4)/A_4 \qquad (۱۵)$$

$$J_4 = (A_4 - A_3)/A_4 \qquad (۱۶)$$

شکل۱۴ در مورد پلهای طاقی تک دهانه ارائه شده است. با استفاده از شکل مذکور می‌توان مقدار حداکثر فراآب H_1^* را تعیین کرد. ابتدا می‌بایست مقدار H_1^* فرض گردد. سپس با استفاده از معادله ۱۵ مقدار J_1 مشخص شود. به کمک شکل ۱۵ مقدار H_1^* قابل استخراج است. این عمل تا همگرایی فرض اولیه و مقدار بدست آمده H_1^* ادامه می‌یابد. شکل ۱۶ نیز برای پلهای طاقی چند دهانه ارائه شده است. روش محاسبه فراآب در این حالت نیز مشابه پلهای طاقی تک دهانه است.

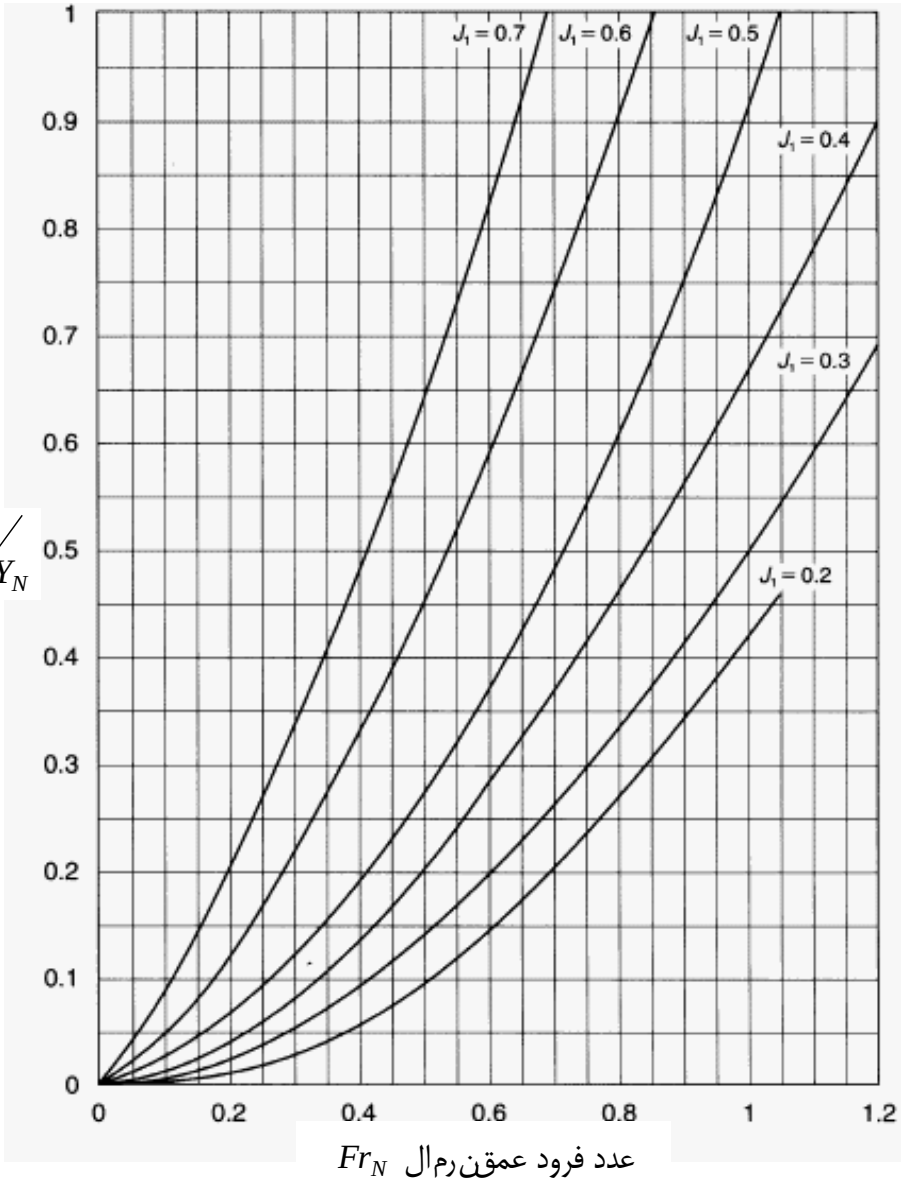
با استفاده از مقدار فراآب محاسبه شده و شکل ۱۴، مقدار J_4 بدست می‌آید. با استفاده از معادله ۱۶ می‌توان مساحت جریان در پایین‌دست پل در محل کمترین تراز سطح آب(A_3) را محاسبه و بر این اساس H_3^* (اختلاف تراز سطح آب نرمال و سطح آب پایین‌دست پل) مشخص می‌گردد.

omoorepeyman.ir



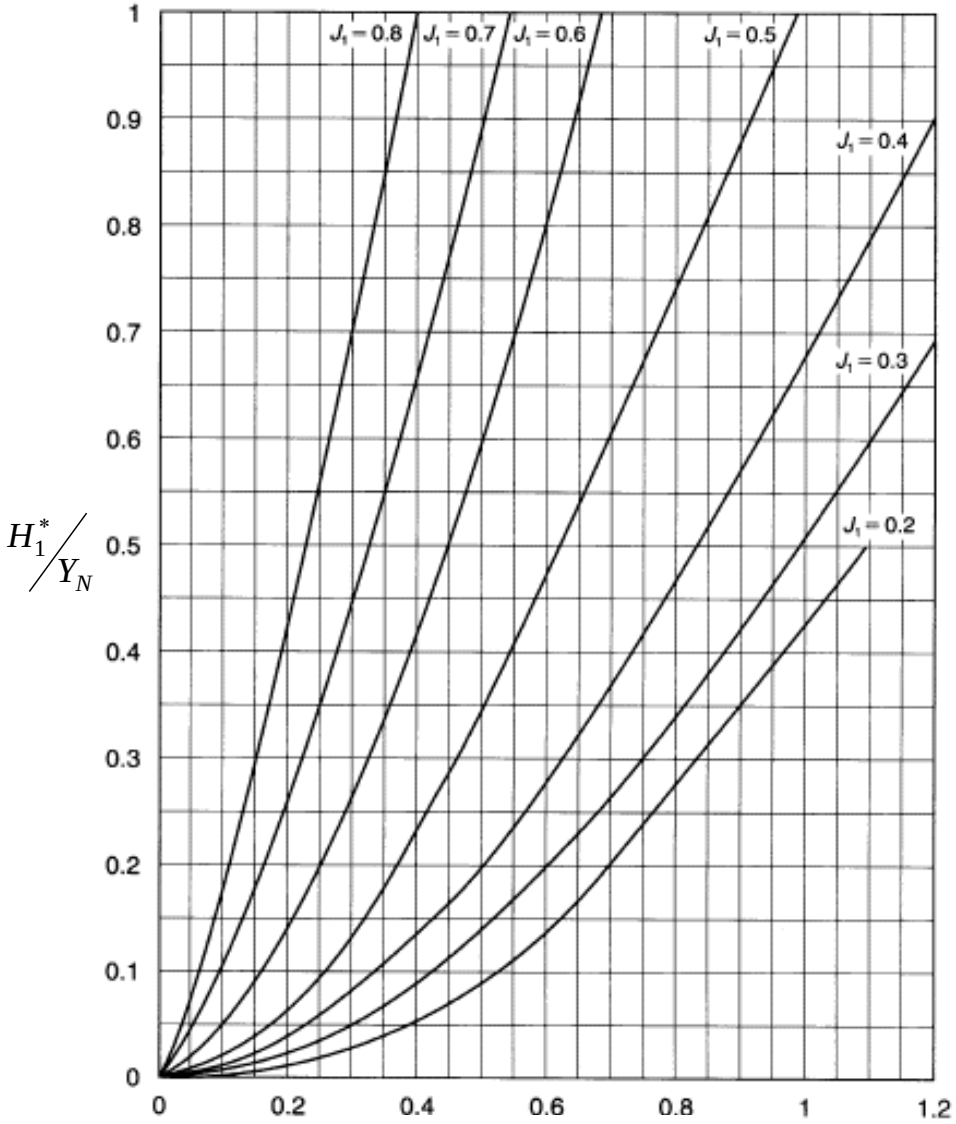
شکل ۱۴- نمودار عدد فرود عمق نرمال در برابر H_1^*/Y_N برای پلهای طاقی

omoorepeyman.ir



شکل ۱۵- نمودار عدد فرود عمق نرمال در برابر H_1^*/Y_N برای پلهای طاقی تک دهانه

omoorepeyman.ir



شکل ۱۶- نمودار عدد فرود عمق نرمال در برابر H_1^*/Y_N برای پلهای طاقی چند دهانه

۵- تحلیل جریان عبوری از پایه‌های پل

در این قسمت پل‌هایی بررسی می‌شود که پایه‌های آنها مانع اصلی در برابر جریان بوده و کوله‌ها موانع ثانویه‌ای هستند که تاثیرشان بر جریان ناچیز و قابل اغماض است. این حالت می‌تواند در جایی اتفاق بیفتد که طول پل، تعداد دهانه‌ها و در نتیجه تعداد پایه‌های موجود در مسیر جریان نسبتاً زیاد است و یا در مواقعیکه پل کوتاه است و کوله‌ها در مسیر جریان قرار نداشته و فقط پایه‌ها به عنوان مانع در برابر جریان قرار می‌گیرند. در مناطقی که رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌های آنها نسبتاً کوچک هستند معمولاً این وضعیت بوجود نمی‌آید.

omoorepeyman.ir

۵-۱- معادله اوبوسان d'Aubuisson

این معادله با فرض وجود بستر افقی و سپس کاربرد معادله برنولی برای مقاطع ۱ و ۳ بدست می‌آید. اگر ضریب (K_A) از طریق تست‌های آزمایشگاهی طوری تعیین شود که معرف میزان افت ایجاد شده ناشی از انقباض جریان بین پایه‌ها و هرگونه خطای ناشی از فرضیات و ساده‌سازی‌ها باشد، رابطه محاسبه دبی به صورت زیر خواهد بود:

$$Q = K_A b Y_4 (2gH_1^* + V_1^2)^{1/2} \qquad (۱۷)$$

مقدار K_A معمولاً از روش یارنل که نتایج آن در جدول ۱ خلاصه شده است، تعیین می‌شود. مقدار این ضریب معمولا بین۰/۹ تا ۱/۰۵ است. بنابراین برای یک دبی مشخص می‌توان عمق نرمال (Y_4) را محاسبه و سپس با استفاده از روش‌های آزمون و خطا و از طریق معادله (۱۷) مقدار H_1^* را بدست آورد. استفاده از روش سعی و خطا اجتناب‌ناپذیر است زیرا مقدار H_1^* خود وابسته به مقدار V_1 است.

معادلات اوبوسان برای مدل‌سازی جریان‌های کاملاً آشفته و متلاطم مناسب است. اما برای جریان با تلاطم کمتر (زیر حد آشفتگی) معادله ناگلر بهتر جواب می‌دهد.

جدول ۱: مقادیر K_A و K_N برای انواع پایه‌های پل

نوع پایه	نسبت بازشدگی پل، M									
	۰/۹۰		۰/۸۰		۰/۷۰		۰/۶۰		۰/۵۰	
	K_A	K_N	K_A	K_N	K_A	K_N	K_A	K_N	K_A	K_N
Length / Width	۰/۹۶	۰/۹۱	۱/۰۲	۰/۸۷	۱/۰۲	۰/۸۶	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۸۹
	۰/۹۹	۰/۹۴	۱/۱۳	۰/۹۲	۱/۲۰	۰/۹۵	۱/۲۶	۱/۰۳	۱/۳۱	۱/۱۱
	–	۰/۹۵	–	۰/۹۴	–	۰/۹۲				
	–	۰/۹۱	–	۰/۸۹	–	۰/۸۸				
	–	۰/۹۱	–	۰/۸۹	–	۰/۸۸				
	۱/۰۰	۰/۹۵	۱/۱۴	۰/۹۴	۱/۲۲	۰/۹۷				

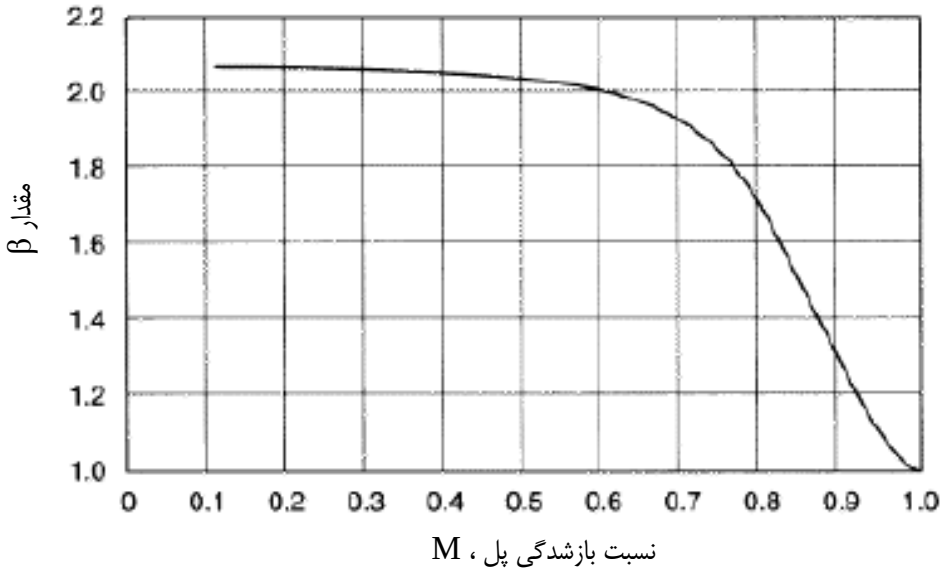
۵-۲- معادله ناگلر

معادلات ناگلر بر حسب دبی عبوری بین پایه‌ها (Q) و هد ($h = H_1^* + \beta V_1^2 / 2g$) به شکل زیر تنظیم کرد:

$$Q = K_N b \sqrt{2g} (Y_4 - \theta \frac{V_4^2}{2g})(H_1^* + \beta \frac{V_1^2}{2g})^{1/2} \qquad (۱۸)$$

omoorepeyman.ir

مقادیر β و θ از روشهای تجربی و یا از طریق تستهای آزمایشگاهی بدست می‌آیند. معمولاً θ حدود ۰/۳ فرض می‌شود. البته اگر تاثیر پایه‌ها کم و ناچیز باشد و $Y_3 = Y_4$ باشد، $\theta = 0$ است اما زمانیکه جریان متلاطم و آشفته باشد بزرگتر از ۰/۳ خواهد بود. مقدار β با نسبت بازشدگی (M) تغییر می‌کند. این تغییرات در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷- مقدار β در معادله ناگلر برای جریان عبوری از پایه‌ها

۵-۳- مطالعات یارنل

در تحقیقات یارنل عوامل زیر دیده شده است.

- تاثیر شکل دماغه پایه
- تاثیر شکل پشت پایه
- تاثیر تنگ شدگی کانال بوسیله پایه‌ها
- تاثیر طول پایه
- تاثیر زاویه برخورد جریان با پایه
- تاثیر دبی جریان

در شرایط زیربحرانی میزان فراآب $H_1^* = Y_1 - Y_4$ از معادله زیر بدست می‌آید.

$$H_1^* = K\,Y_4\,Fr_4^2\left(K + 5Fr_4^2 - 0.6\right)\left(a + 15a^4\right) \qquad (۱۹)$$

omoorepeyman.ir

در معادله فوق K ضریب شکل پایه یارنل (جدول ۲)، $Y_4 = Y_N$ عمق نرمال در مقطع ۴، $Fr_4 = Fr_N$ عدد فرود عمق نرمال و $a = 1 - \frac{b}{B} = 1 - M$ نسبت تنگ‌شدگی کانال است. معادله ۱۹ تحت شرایط عمق نرمال حاصل شده است. رابطه تعیین فراآب نیز به‌صورت زیر نیز قابل بیان است.

$$H_1^* = 2K\frac{V_4^2}{2g}\left(K + 10w - 0.6\right)\left(a + 15a^4\right) \qquad (۲۰)$$

در معادله فوق w برابر $\frac{V_4^2}{2gY_4}$ ($Fr_4^2 = 2w$) است.

جدول ۲- مقادیر ضرایب پایه یارنل

K	شکل پایه
۰/۹	دماغه و پشت به شکل نیم‌دایره باشد.
۰/۹	دماغه و پشت به شکل عدسی باشد.
۰/۹۵	پایه‌های جفت با دیافراگم میانی
۱/۰۵	پایه‌های جفت بدون دیافراگم میانی
۱/۰۵	پایه‌هایی با دماغه و پشت ۹۰ درجه مثلثی
۱/۲۵	پایه‌های مستطیل شکل

۶- محاسبه نیروهای وارده بر پایه پل‌ها

در این قسمت نیروهایی که لازم است در طراحی پایه‌های پل در نظر گرفته شوند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. منشا این نیروها جریان آب است. این نیروها شامل نیروهای هیدرودینامیک، نیروی وارد از طرف اجسام شناور و در مناطق سردسیر نیروی ناشی از برخورد قطعات یخ می‌باشد.

۶-۱- نیروی هیدرودینامیکی وارد بر پایه پل‌ها

مقادیر نیروهای هیدرودینامیک (نیروی کشانه و نیروی جانبی) برحسب نیوتن به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$F_D = \frac{C_D \rho U_0^2 Y_0 L}{2} \qquad (۲۱)$$

$$F_L = \frac{C_L \rho U_0^2 Y_0 L}{2} \qquad (۲۲)$$

ضرایب نیروهای هیدرودینامیکی C_D و C_L بستگی به شکل پایه‌ها، فاصله بین آنها، زاویه پیشروی و عدد رینولدز جریان دارد. اصولاً برای محاسبه ضرایب نیروی کشانه و جانبی نمی‌توان روابط دقیقی ارائه کرد، لذا برآورد آنها در پروژه‌های بزرگ

omoorepeyman.ir

نیاز به ساخت مدل فیزیکی دارد. ضرایب C_D و C_L باید از روشهای رایج و معتبر (نشریات FHWA , AASHTO) محاسبه شود.

۶-۲- نیروی ناشی از اجسام شناور

نیروی وارده از طرف اجسام شناور به پایه‌های پل ممکن است به یکی از دو حالت زیر باشد:

الف) نیروی حاصل از برخورد اجسام شناور به پایه‌ها به صورت ضربه

ب) نیروی هیدرودینامیک وارد بر پایه‌ها در اثر گیر کردن اجسام در پشت پایه‌ها

در مورد نیروی حاصل از ضربه اجسام شناور، طراح باید نیروی حاصل از برخورد یک جرم دو تنی، که با سرعت جریان حرکت کرده و پس از برخورد در طول ۱۵۰ میلی‌متر و ۷۵ میلی‌متر به ترتیب برای پایه‌های بتنی توخالی و توپر متوقف می‌شود را در نظر بگیرد. البته در بعضی موارد برخورد یک جسم ۳ تنی را نیز با سرعت ۴/۵ متر بر ثانیه گزارش کرده‌اند.

نیروی متوسط برخورد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F = \frac{M \times U_0^2}{2d} \qquad (۲۳)$$

در مورد نیروهای هیدرودینامیک اعمالی از طرف اجسام شناور گیرکرده به پایه‌ها، توصیه شده است که نیرو در عمق حدوداً ۱/۲ متر به پایه اعمال شود. وسعتی که برای اجسام شناور تجمع یافته پشت یک پایه باید در نظر گرفته شود، معادل نصف مجموع دهانه‌های مجاور آن و حداکثر تا ۲۱ متر باشد. رابطه زیر برای محاسبه فشار حاصل از تجمع اجسام گیر کرده ارائه شده است:

$$P_d = 0.517 U_0^2 \qquad (۲۴)$$

اگر تجمع اجسام در پشت پایه‌ها اتفاق بیفتد، سرعت جریان در زیر این اجسام افزایش یافته و در نتیجه آبشستگی نیز افزایش می‌یابد که این افزایش باید در نظر گرفته شود. به این نکته نیز باید توجه شود که اگر پایه پل به یک سیستم ضربه‌گیر مستقل مجهز باشد، با توجه به سیستم ضربه گیر ممکن است نیازی به طراحی پایه در مقابل نیروهای اجسام شناور نباشد و همچنین اینکه معمولاً ضربه و نیروهای هیدرودینامیک حاصل از اجسام شناور همزمان بر پایه ها اعمال نمی‌شوند.

۶-۳- نیروی ناشی از برخورد یخ به پایه‌های پل

در مناطق سردسیر نیروی ناشی از برخورد قطعات یخ قابل بررسی است. مقدار نیروی وارد از طرف یخ به نوع پایه و مقاومت یخ و چگونگی انهدام و از بین رفتن یخ بستگی دارد. انهدام یخ به یکی از صورت‌های آب‌شدن، خردشدن، برش یا خمش امکان دارد. رابطه زیر برای برآورد میزان نیروی ناشی از یخ که بصورت افقی به پایه پل وارد می‌شود، ارائه شده است.

$$F_h = C_n \times C_p \times S_i \times t_i \times b_p \qquad (۲۵)$$

در رابطه فوق F_h نیروی افقی وارد بر پایه برحسب کیلونیوتن و b_p عرض پایه برحسب متراست. ضرایب فرمول فوق باید از روشهای رایج و معتبر (نشریات FHWA , AASHTO) محاسبه شود.

omoorepeyman.ir

۷- تحلیل عبور جریان از روی خاکریزها

گاهی اوقات پل حجم آب قابل توجهی را از خود عبور می‌دهد. در چنین مواردی ساخت خاکریزی که ارتفاع آن بالاتر از تراز سیلاب باشد غیراقتصادی است و ساخت آبروها و بازشدگی‌های چند دهانه نیز عملی نیست. در این شرایط تنها راه حل مناسب و عملی اینست که اجازه عبور آب از روی خاکریز داده شود. ارائه این راه حل مشروط به اینست که خاکریز هنگام عبور آب آسیب نبیند و موقعیت جاده نیز حساس و استراتژیک نبوده و بازبودن دائمی آن لازم و ضروری نباشد.

خاکریزهای با ارتفاع بیشتر مانع بزرگتری در مقابل جریان محسوب می‌شوند و فراآب بیشتری تولید می‌کنند. بنابراین جریان سیلابی شدیدتری ایجاد خواهد شد. نکته مهم دیگری که نباید فراموش شود اینست که اگر قرار است خاکریز جاده علاوه بر ملاحظات طراحی مانند سد نیز عمل کرده و حجم زیادی آب در سیلاب‌دشت بالادست را نگهداری کند، لازم است خاکریز بر اساس قوانین ایمنی سدها نیز کنترل و طراحی شود. در اینصورت ارتفاع خاکریزها قطعاً بیشتر از حد استاندارد بوده و جهت نگهداری مناسب و حفظ ایمنی آن باید در طول عمر مفید خود مرتباً تحت بازرسی‌های ویژه قرار گیرد. اما اگر آب به شکل کنترل شده‌ای از روی خاکریزها عبور داده شود، این مسائل و مشکلات را در پی نخواهد داشت.

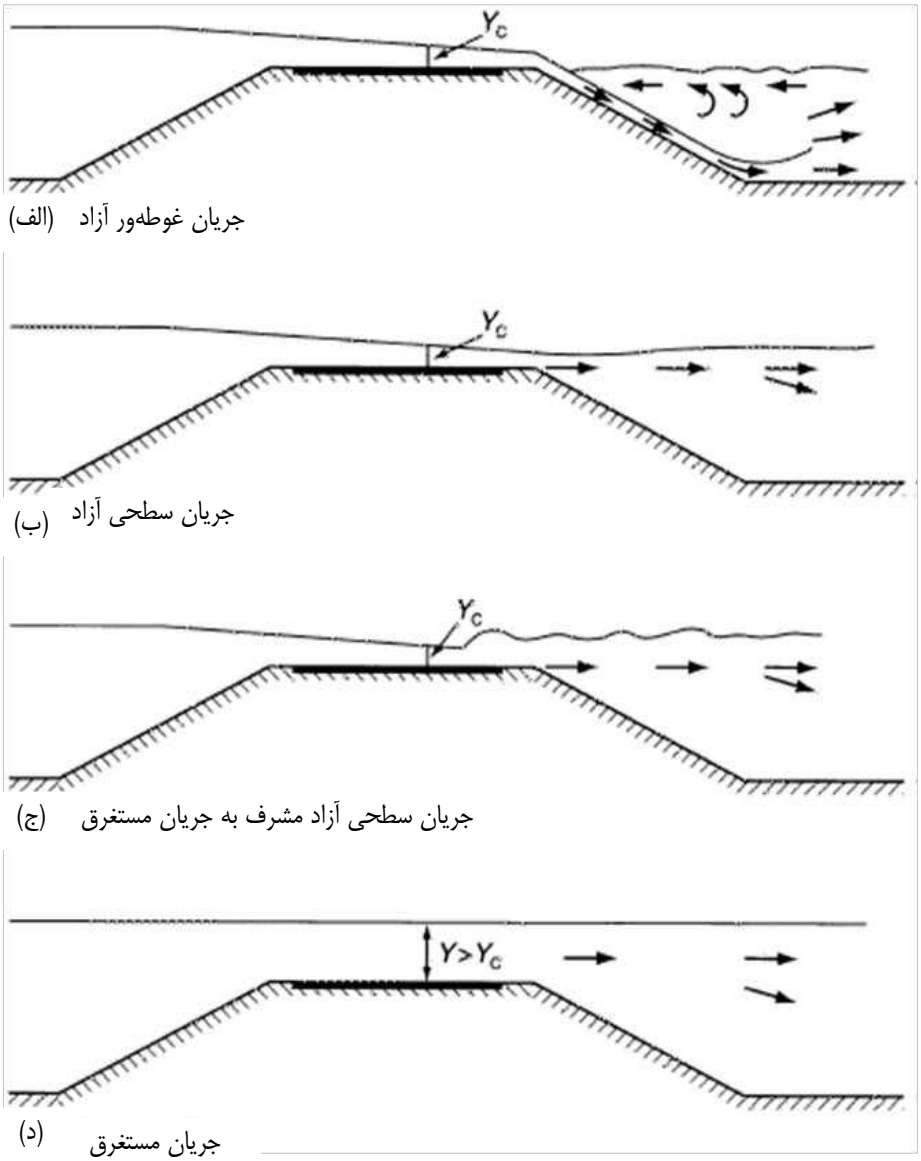
۷-۱- خاکریزهایی که مثل سرریز عمل می‌کنند

وقتیکه خاکریزهای جاده مانند دریچه اطمینان طراحی شوند و به عبارت دیگر عبور آب از روی آنها مجاز دانسته شود، بایستی عملکرد هیدرولیکی‌شان ارزیابی شود. همانطور که در شکل ۱۸ قابل مشاهده است، چهار نوع جریان اتفاق می‌افتد که عبارت از جریان غوطه‌ور آزاد، جریان سطح آزاد، جریان سطح آزاد مشرف به جریان مستغرق و جریان مستغرق است.

با توجه به شکل ۱۸ در مراحل اول عمق بحرانی (Y_c) همواره روی راس خاکریز قرار می‌گیرد ولی در آخرین مرحله عمق آب روی راس خاکریز بیشتر از عمق بحرانی است. جریان آزاد به دو جریان **غوطه‌ور آزاد** (شکل ۱۸-الف) و جریان **سطحی آزاد** (شکل ۱۸-ب) تقسیم می‌شود. بین این دو، جریان غوطه‌ور مخرب‌تر است زیرا در این جریان، جت آبی با سرعت زیاد در شیب وجه پایین‌دست خاکریز بوجود می‌آید که در پی آن پرش هیدرولیکی مستغرق هم ایجاد می‌شود. زمانیکه تراز پایاب به اندازه کافی بالا بیاید جریان وارد مرحله تبدیل از حالت غوطه‌ور به حالت سطحی آزاد می‌شود. اگر تراز پایاب به اندازه کافی افزایش یابد جریان سطحی آزاد وارد مرحله گذار (شکل ۱۸-ج) به جریان مستغرق (شکل ۱۸-د) می‌شود و از آن به بعد هر چقدر تراز پایاب افزایش یابد جریان همچنان بصورت **مستغرق** باقی خواهد ماند.

نوع جریان ایجاد شده در سایت به چندین عامل بستگی دارد. مهمترین آنها تراز پایاب مورد انتظار در کانال پایین‌دست و سیلاب‌دشتها و نوع جریان عبوری از پل است. این احتمال وجود دارد که در پل جریان نوع ۳ ایجاد شود. در این حالت جریان عبوری از خاکریز از نوع جریان آزاد خواهد بود و یا اگر در پل جریان نوع ۱ بوجود آید، جریان عبوری از خاکریز از نوع جریان مستغرق خواهد بود. نوع جریان عبوری از پل روی ضرایب مؤثر بر دبی نیز تاثیر می‌گذارند. در جریان آزاد، دبی فقط به هد بالادست بستگی دارد. اما در جریان مستغرق دبی هم به هد بالادست و هم هد پایین‌دست وابسته است.

omoorepeyman.ir

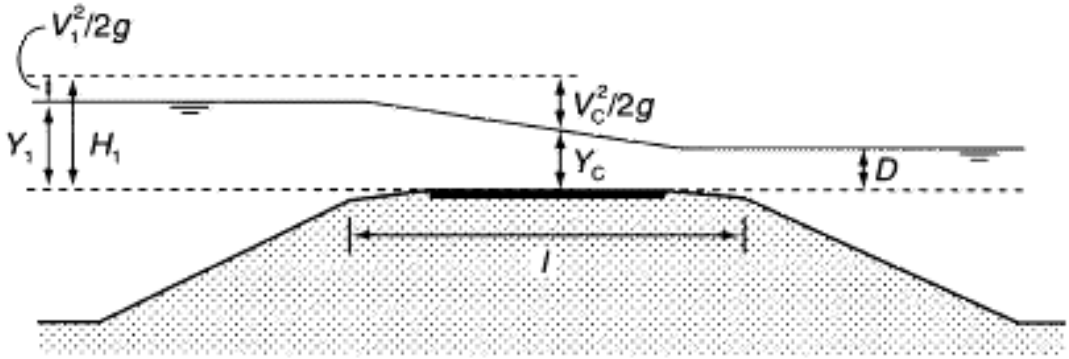


شکل ۱۸-انواع اصلی جریان عبوری از یک خاکریز

omoorepeyman.ir

۷-۲- دبی عبوری از خاکریز

شکل زیر مقطع عرضی خاکریز یک بزرگراه را نشان می‌دهد با فرض اینکه عمق بحرانی روی راس خاکریز قرار داشته باشد، معادله دبی به صورت زیر پیشنهاد شده است.



شکل ۱۹- مقطع عرضی خاکریز و معرفی متغیرهای اصلی آن

$$Q = C_F\, L_E\, (H_1)^{3/2} \qquad (۲۶)$$

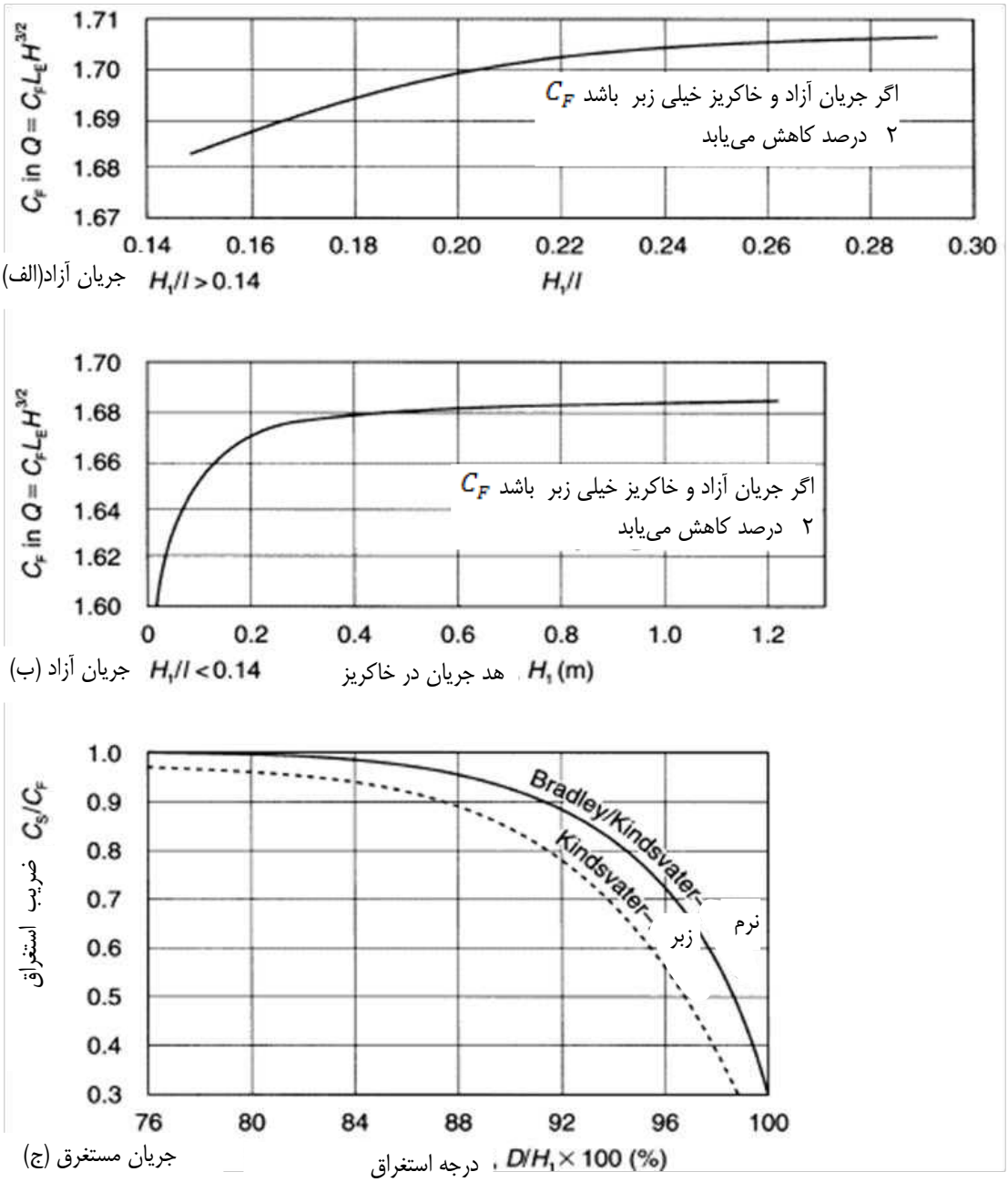
در مراجع مقدار ضریب C_F عدد ۱/۷۰۵ پیشنهاد شده است. ضریب C_F برای شرایط جریان آزاد از شکل‌های ۲۰- الف و ۲۰- ب حاصل می‌شود. بطور معمول مقدار C_F بین ۱/۵۷ تا ۱/۷۱ قرار دارد.

اگر خاکریزها مستغرق باشند (شکل ۱۸-د) محاسبات به همین روش انجام می‌شود. با این تفاوت که عمق بحرانی روی راس خاکریز نخواهد بود. در این حالت ضریب دبی به صورت C_s تعریف می‌شود و مقدار آن بین ۰/۵ تا ۱/۷۱ است. مقدار این ضریب بسته به شرایط تعیین می‌گردد. لذا معادله دبی بصورت زیر حاصل می‌شود.

$$Q = C_F L_E\, (H_1)^{\frac{3}{2}} \left[\frac{C_S}{C_F}\right] \qquad (۲۷)$$

از شکل ۲۰-الف و ۲۰-ب مقادیر C_F و از شکل ۲۰-ج نسبت $\frac{C_S}{C_F}$ بدست می‌آید.

omoorepeyman.ir



شکل ۲۰- ضرایب دبی برای خاکریزها (الف) و (ب) برای جریان آزاد و (ج) برای جریان مستغرق

۷-۳- ملاحظات لازم در طرح خاکریز جاده ساحلی

استفاده از مصالح مناسب از جمله مواردی است که می‌بایست مورد توجه خاص واقع شود. باید توجه داشت که در قسمت-هایی که در معرض آب هستند، استفاده از مواد حل شدنی توصیه نمی‌گردد. همچنین از خاک‌هایی که مواد پوسیدنی دارند مانند خاک‌های جنگلی، خاک‌های نباتی و خاک‌های سطحی در پوشش شیب‌ها نباید استفاده کرد.

پایداری نهایی خاکریز باید مدنظر قرار گیرد. بدین منظور استفاده از موادی با مقادیر رس زیاد مجاز نیست. مصالح رسی مستعد تورم و انقباض با شرایط رطوبتی مختلف هستند. سنگ‌های رسی نیز بعد از چندین دوره تر و خشک شدن متلاشی

omoorepeyman.ir

می‌شوند. جهت رسیدن به پایداری مورد نظر، حداکثر اندازه ذرات در لایه‌های مختلف باید با توان دستگاه متراکم کننده سازگار باشد.

برای خاکریزهایی با ارتفاع بیش از ۱۵ متر، استفاده از مصالحی با قابلیت زهکشی توصیه شده است. در اینگونه خاکریزها بعلت بالابودن ابعاد طراحی و ساخت، نمی‌توان از قوانین تجربی استفاده کرد، بلکه به مطالعات خاصی در زمینه مکانیک خاک و سنگ نیاز است. برای خاکریزهای با عرض زیاد، بایستی از مصالحی با زاویه اصطکاک بالا استفاده کرد. این مصالح به علت بالاتر بودن توان باربری برشی و حساسیت کم در مقابل آب مناسب هستند. استفاده از مصالح دانه‌ای با دانه‌بندی نسبتا یکنواخت نیز توصیه شده است. در این مصالح، فعالیت زیادی جهت رسیدن به تراکم مورد نظر لازم نیست.

خاکریز راه می‌بایست در لایه‌های متوالی به صورت افقی و با ضخامتی متناسب با دانه‌بندی (حدود ۳۰ سانتی‌متر) احداث می‌گردد. کنترل خاکریز احداث شده از لحاظ واژگونی چندان مطرح نیست بلکه لغزش و تثبیت خاکریز از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای کنترل لغزش شیب خاکریزها می‌توان از روشهای متداول در مهندسی ژئوتکنیک مانند بیشاپ، بیشاپ اصلاح شده، فلنیوس و .. استفاده کرد. منظور از تثبیت خاکریز نیز جلوگیری از فرسایش خاکریز در اثر برخورد با جریان است. روش‌های مختلفی جهت تقویت خاکریز و مقابله با فرسایش وجود دارد. ازجمله این روشها استفاده از ریپ رپ یا گابیون است که در ادامه بدان‌ها پرداخته شده است. در این روش‌ها با استفاده از مصالح مناسب و مقاوم در مقابل تنش برشی حاصل از جریان، از خاکریز محافظت می‌گردد. با توجه به اینکه معمولا دانه‌بندی مصالح ریپ رپ با دانه‌بندی مصالح خاکریز تفاوت زیادی دارد، استفاده از یک یا چند لایه فیلتر که دارای دانه‌بندی میانی باشد ضروری است.

۸- روش‌های اصلاح جریان عبوری از محل پل

راه‌حل‌های متفاوتی برای کنترل فراآب و جلوگیری از طغیان در بالادست وجود دارد که در طراحی پل‌ها به بهینه‌بودن عملکرد هیدرولیکی پل کمک می‌کند. از جمله اینکه موارد می‌توان با انتخاب پایه‌های لاغر گردگوشه و یا حتی با حذف پایه‌ها و نیز استفاده از کوله‌های شیبدار[1] به جای کوله‌های قائم کارایی هیدرولیکی پل را افزایش داد. البته اجتناب از ساخت بازشدگی‌های کج یا بازشدگی‌های با خروج از مرکزیت نیز تا حدی زیادی مؤثر است. اما گاهی ممکن است اقدامات اضافی دیگری برای اصلاح جریان عبوری از پل لازم باشد. به عنوان مثال وقتیکه از نظر اقتصادی و یا سایر ملاحظات، پل را باید در محل خاص و راستای مشخصی بنا کرد و یا زمانیکه کانال چند شاخه است و یا پتانسیل جابجایی و تغییر مسیر دارد، انجام پاره‌ای از کارهای اصلاحی لازم و ضروری است. بکارگیری این روشهای اصلاحی کارایی هیدرولیکی پل در دبی طراحی را افزایش می‌دهد. بهتر است روش‌های اصلاحی در ابتدای طراحی پل مد نظر قرار گیرند. زیرا بکارگیری آنها بعد از طراحی و یا ساخت پل، هزینه بیشتری تحمیل می‌کند.

ممکن است بدلایل مختلف پل‌های ساخته‌شده همیشه همان رفتار هیدرولیکی پیش‌بینی شده در زمان طراحی را از خود بروز ندهند. مثلا ممکن است بازشدگی محل پل کوچکتر از آن باشد که سیلاب‌های ایجاد شده را از خود عبور دهد. در نتیجه فراآب خیلی بزرگی بوجود می‌آید و این ممکن است باعث تغییر شکل کانال یا آبشستگی شده و خسارات سازه‌ای غیر قابل پیش‌بینی را بوجود آورد. در چنین حالاتی نیز انجام بعضی کارهای اصلاحی ضروری است.

اصطلاح "کارهای اصلاحی" یک اصطلاح عمومی است و شامل موارد زیر است:

- بکارگیری لبه‌های گردگوشه یا پخ خورده برای ورودی‌های بازشدگی
- استفاده از دیوار هدایت آب

[1] Spillthrough

omoorepeyman.ir

- استفاده از دایک آبشکن
- طراحی آبراهه با حداقل انرژی مخصوص
- کاربرد روشهای اصلاح کانال، استفاده از موج‌شکن و اصلاح مسیر رودخانه

همه روشهای فوق می‌تواند برای یک تراز آب مشخص در بالادست، دبی عبوری از پل را افزایش داده یا اینکه تراز آب بالادست را برای عبور دبی مشخص کاهش دهد. بکارگیری این روش‌ها آبشستگی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. دو روش اول بیشترین کاربرد در اصلاح جریان عبوری از میان پل را داشته و دو مورد آخرکمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پدیده برگشت آب و فراآب به دلیل افزایش هد آب در بالادست ایجاد می‌شود تا بر افت انرژی ناشی از عبور جریان آب از بازشدگی غلبه کند. آبراهه‌های ناکارآمد، افت انرژی نسبتاً بزرگی را ایجاد می‌کنند که در نتیجه آن فراآب بزرگی نیز بوجود خواهد آمد.

اگر فراآبی به اندازه ۰/۵ متر در سیلاب‌دشت‌هایی با شیب عرضی ۱ به ۱۰۰ ایجاد شود، ۱۰۰ متر از سیلاب‌دشت خشک را نیز آب فرا می‌گیرد (از هر طرف ۵۰ متر). هر قدر فراآب بیشتر و سیلاب‌دشت‌ها پهن‌تر و هموارتر باشند، سرعت غرقاب-شدن سیلاب‌دشت خشک بیشتر است. در چنین مواردی کاهش فراآب (حتی به اندازه مقداری کم) می‌تواند بسیار مفید باشد.

۸-۱- شکل بالادست سازه پل (گردگوشگی در ورودی جریان)

اصطلاح گردگوشگی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که لبه‌های وجه بالادست بازشدگی آبراهه تیز نباشد، به عبارت دیگر لبه‌ها مدور، گردگوشه و یا پخ زده شده باشند. گردگوشه کردن ورودی یکی از ساده‌ترین روشهای بهبود عملکرد هیرولیکی پل است و باعث می‌شود دبی عبوری حدود ٪۲۵ افزایش یابد.

هر قدر میزان انحناء و گردگوشگی ورودی‌های بازشدگی به منحنی خطوط جریان آب نزدیکتر باشد فشردگی اولیه و در نتیجه افت انرژی کمتر می‌شود. معمولاً فقط گردگوشگی لبه‌های وجه بالادست مؤثر است.

در جریان نوع ۳ شکل (۲۱-الف)، یعنی زمانیکه تراز آب تا قسمت فوقانی بازشدگی بالا می‌آید (تا حد استغراق یا غوطه‌وری آبراهه)، نسبت بازشدگی در محاسبه فراآب بی‌تاثیر خواهد بود. بنابراین دبی را می‌توان از معادله ۱۲-۲۸ بدست آورد. اندیس u نشاندهنده وجه بالادست پل می‌باشد.

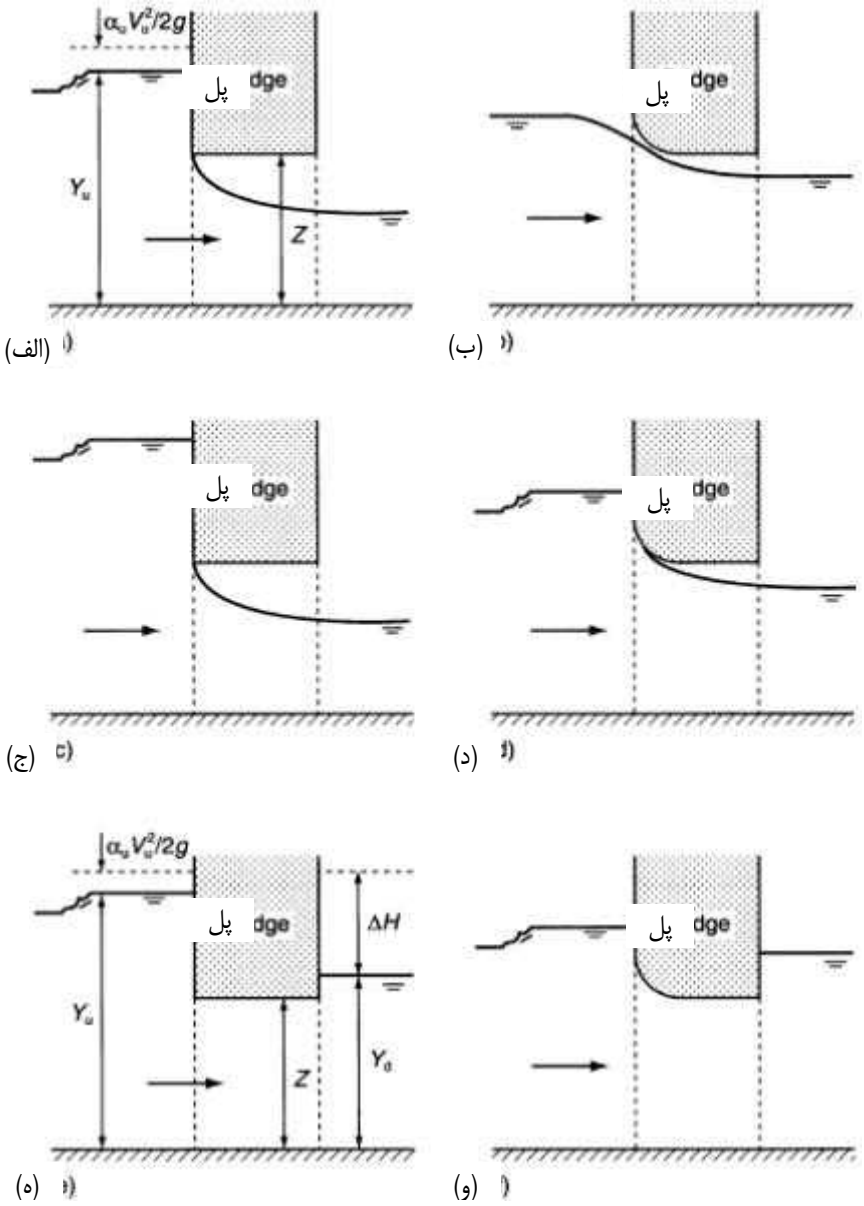
$$Q = C_d a_w [2g(Y_u - \frac{Z}{2} + \frac{a_u V_u^2}{2g})]^{1/2} \qquad (۲۸)$$

اگر گردگوشگی لبه ورودی انقباض را کاهش دهد، ضریب دبی (C_d) افزایش می‌یابد. بر اساس فرمول ۲۸ دبی عبوری از پل با استفاده از Y_u و شکل هندسی آبراهه (a_w،C_d و z) تعیین می‌شود. پس می‌توان گفت در این حالت، پل کنترل کننده جریان است و این مبحث به کنترل سازه‌ای معروف است. در کنترل سازه‌ای دبی و تراز آب بالادست مستقل از شرایط کانال پایین‌دست هستند.

در حالتیکه ترازهای آب بالادست و پایین‌دست هر دو بالاتر از قسمت فوقانی بازشدگی باشند (شکل ۲۱-ه)، جریان از نوع ۱ است و در این حالت دبی را می‌توان از فرمول ۲۹ بدست آورد.

$$Q = C_d a_w [2g(\Delta H)]^{1/2} \qquad (۲۹)$$

omoorepeyman.ir



شکل ۲۱- تاثیر ورودیهای گردگوشه که عموماً عمق آب در بالادست (Y_u) را کاهش و عمق آب در پایین‌دست(Y_d) را افزایش می‌دهد. (الف) کاهش مناسب و کافی عمق بالادست می‌تواند جریان نوع ۳ را از طریق بازشدگی به جریان درون کانال بازتغییر دهد. (ب) با گردگوشه کردن لبه پیشانی تاثیر بزرگی در کارآیی کانال حاصل می‌شود. (ج) اگر در ابتدا جریان نوع ۳ در کانال رخ دهد، با گرد گوشه کردن پیشانی عملکرد هیدرولیکی بهبود می‌یابد.(د) با گردگوشگی انقباض قائم کاهش یافته و در نتیجه سرعت متوسط آب و در پی آن افت انرژی کاهش می‌یابد. (ه) اگر جریان ابتدایی در کانال از نوع ۱ باشد. (و) با گردگوشگی اختلاف هد کاهش می‌یابد.

omoorepeyman.ir

که در آن ΔH از رابطه ۱۲-۳۰ بدست می‌آید.

$$\Delta H = (Y_u + \frac{a_u V_u^2}{2g} - Y_d) \quad (۳۰)$$

ΔH را می‌توان از رابطه $\Delta H = (Y_u - Y_d$ نیز محاسبه کرد.

در این حالت ΔH (شامل Y_d) و هندسه بازشدگی (a_w،C_d) بر دبی عبوری از پل تاثیر می‌گذارند. بنابراین می‌توان گفت در اینجا کانال کنترل کننده جریان است. زیرا آبراهه پر از آب است و افت اصطکاک نسبتاً بزرگی بوجود می‌آید. به علاوه تقابل بین آب خروجی از بازشدگی و آب موجود در پایین‌دست کانال نیز تولید افت انرژی بزرگی می‌نماید. لذا در این وضعیت بزرگترین فراآب بوجود خواهد آمد. گردگوشگی، C_d را افزایش می‌دهد اما در این حالت، چون انقباض ایجاد شده کمتر از جریان نوع ۳ است، گردگوشگی تاثیر کمتری در بهبود عملکرد هیدرولیکی بازشدگی دارد.

۸-۱-۱- تاثیر گردگوشگی بر عمق نرمال و فراآب

عمق بالادست (Y_u) از دو جزء عمق نرمال و فراآب تشکیل می‌شود، که مقدار هر دو با افزایش دبی زیاد می‌شود.

$$Y_u = \text{normal depth} + \text{afflux} \quad (۳۱)$$

برای یک کانال با دبی مشخص، عمق نرمال در جریان یکنواخت ثابت است و از معادله مانینگ قابل محاسبه است. در کانال‌های با تراز آب غیر نرمال، عمق نرمال همان عمق آب بدون وجود پل است. در اعداد فرود پایین و یا تراز آب غیرنرمال، ممکن است فراآب ایجاد شده خیلی کوچک باشد. در این حالت دلیل اصلی طغیانها، وجود عمق نرمال بزرگ است. بنابراین در این شرایط، اصلاح کانال (به جای پل) روش بهتری برای کاهش شدت طغیان آب است.

گردگوشگی ورودی بازشدگی مقدار فراآب را کاهش می‌دهد، اما چون عمق نرمال ثابت است تاثیر آن در کاهش Y_u خیلی کم است. اگر عمق نرمال نسبتاً بزرگ باشد، مقدار کمی کاهش در Y_u و احتمالاً کاهش قابل توجهی در فراآب ایجاد خواهد شد. بیشترین تاثیر گردگوشگی در کاهش فراآب زمانی رخ می‌دهد که نسبت $\frac{Y_u}{Z}$ بین ۸/. تا ۱/۶ قرار گیرد.

اگر در یک آبراهه مستطیلی شکل با پیشانی افقی و تخت، سطح آب آنقدر بالا بیاید که آبراهه کاملاً مستغرق شود(شکل ۲۱-الف) مؤلفه افقی سرعت آب خروجی از بازشدگی (جریان جت) در نزدیکی سطح آب نسبتاً کوچک اما مؤلفه قائم سرعت به سمت پایین مقدار بزرگی به خود می‌گیرد و همین مساله باعث ایجاد چاله‌ها و حفره‌های ناشی از آبشستگی در پایین‌دست می‌شود. در آبراهه‌های مستغرق حتی ممکن است عمق آبشستگی به ۶۰٪ هم برسد.

با گردگوشه کردن این ورودی(شکل ۲۱-ب) انقباض قائم کاهش یافته و سطح مقطع بیشتری از بازشدگی جهت عبور آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه سرعت متوسط جریان خروجی پایین‌تر آمده و سرعت انبساط آب نیز یکنواخت‌تر می‌شود و در مجموع افت هد کمتری بوجود می‌آید. گردگوشگی لبه پایه‌ها و کوله‌ها نیز به همین صورت در کاهش فراآب تاثیر قابل توجهی دارند.

هندسه ورودیهای بازشدگی ممکن است حتی نوع جریان آبراهه را نیز تغییر دهد. ایجاد این تغییر به تراز سطح آب بستگی دارد. مثلاً ممکن است جریان نوع ۳ را به جریان داخل کانال(شکل ۲۱-الف تا ۲۱-ب) و یا جریان فوق بحرانی را به جریان زیر بحرانی تغییر دهد. بطورکلی گردگوشگی ورودی، سرعت جریان در بازشدگی را کاهش و در نتیجه آبشستگی در آبراهه و پایین‌دست کانال را نیز کاهش می‌دهد.

omoorepeyman.ir

۸-۱-۲- گردگوشگی همه لبه‌های ورودی

در جریان درون کانال، افزایش دبی یا کاهش تراز بالادست ناشی از گردگوشگی لبه‌های ورودی نسبتاً کم است. این حالت مخصوصاً در وضعیت $\frac{Y_u}{Z} = 0.8$ (حداکثر عمق آب در بالادست به ارتفاع بازشدگی) به حداقل خود کاهش می‌یابد. بنابراین اگر لازم است که بهبود وضعیت هیدرولیکی به اندازه‌ای باشد که در کاهش طغیان جریان نقش مهمی ایفا کند، توصیه می‌شود از راه‌حلهای دیگر جهت برطرف کردن این مشکل استفاده شود. اما زمانیکه بازشدگی مستغرق و فشردگی قائم زیاد است، کاهش تراز آب و افزایش دبی خروجی با این روش به راحتی دست‌یافتنی است خصوصاً اگر جریان از نوع ۳ باشد.

با فرض اینکه r شعاع گردگوشگی و یا عرض پخ و b عرض بازشدگی باشد موارد زیر به عنوان توصیه ارائه می‌گردد:

تمامی ورودی‌های گردگوشه و پخزده شده با $\frac{r}{b} > 0.025$ ، تاثیر بیشتری در بهبود عملکرد پل دارند.

در $\frac{r}{b} < 0.030$ هیچ اختلافی بین تاثیر ورودیهای مدور و پخ زده شده وجود ندارد. در $\frac{r}{b} > 0.050$ مدورها خیلی بهتر از پخ زده شده‌ها عمل می‌کنند. ورودی گردگوشه با $\frac{r}{b} = 50$ معمولاً عملکرد برتری داشت و شاید بهتر باشد مبنای عملکرد بهینه قرار گیرد.

مقدار C_d برای بازشدگیهای طاقی بیشتر از مستطیلی است. زیرا انقباض قائم ناشی از وجود پیشانی تخت و افقی در طاقها وجود ندارد.

بطورکلی می‌توان گفت که گردگوشه کردن ورودیهای بازشدگی بطور مؤثری عملکرد هیدرولیکی را بهبود می‌بخشد. خصوصاً در شرایطی که جریان مستغرق و انقباض قائم ناشی از پیشانی پل زیاد باشد.

۸-۱-۳- گردگوشگی جزئی ورودی‌ها

پخ خوردگی نیمه پایینی طاق

پخ زدن نیمه پایینی طاق از آن جهت مفید است که این قسمت همواره در تماس با جریان است.

معایب اصلی این نوع پخزدگی اینست که در ترازهای آب پایین تاثیرش کم و در ترازهای آب بالا به دلیل مؤثر نبودن در کاهش انقباض قائم، عملاً بدون تاثیر است. پخزدن نیمه بالایی طاق در ترازهای آب بالا مفید است. اما باید اطمینان حاصل کردکه زمان طغیان، تراز آب به آن حد برسد.

پخزدن نیمه بالایی طاق

این نوع پخزدگی برای زمان‌هایی که جریان قسمت‌های پایینی آبراهه را اشغال می‌کند، مفید نیست. تاثیر این شکل طاق فقط در جریان‌هایی مؤثر است که تراز آب بالاتر از نیمه طاق (نقطه شروع پخ) باشد. در نتیجه پخزدگی تا $\frac{Y_u}{Z} = 0.5$ هیچ تاثیری ندارد. در ترازهای بالاتر عملکردش مشهود می‌شود. ولی بطور کلی در پلهای طاقی اعمال یک پخ کوچک اما سرتاسری در طاق، عملکرد بهتری از پخ بزرگ در بخشی از طاق نشان می‌دهد.

گردگوشگی پیشانی بازشدگی مستطیلی شکل به تنهایی

این نوع مدور کردن پیشانی پل در اعداد فرود بالا، مؤثرتر است زیرا در کاهش انقباض قائم در بالادست بسیار مفید است.

omoorepeyman.ir

۸-۱-۴- گردگوشگی بخشی از ورودی (United States Geological Survey—USGS)

کاربرد این تکنیک مشکل است زیرا نیازمند محاسبه نسبت بازشدگی (M)، عدد فرود (F_3) در مقطع عرضی بین کوله‌ها در بالادست پل، مقدار افت سطح آب بین وجه بالادست و وجه پایین دست پل(Δh) است.

بنابراین مؤسسه USGS پس از انجام آزمایشات و تحقیقات فراوان نتایج را برای پخ خوردگی دیوار هدایت آب به اندازه ۳۰، ۴۵ و ۵۰ درجه تحت جریان درون کانالی و یا شرایط استغراق ، محاسبه و به صورت گراف‌هایی تحت عنوان K_r، K_w و K_T ارائه و جهت محاسبه ضریب دبی ، C، از آنها استفاده کرده است. این گراف‌ها و نحوه کاربرد آنها در فصول قبلی بطور کامل توضیح داده شد. [K_r برای دیوار هدایت آب با لبه‌های مدور، K_w برای دیوارهای هدایت آب پخ زده شده و K_T برای شرلیط استغراق آبراهه مورد استفاده قرار می‌گیرد.]

به عنوان مثال برای کوله نوع I بازشدگی با نسبت ۰/۵ (M=0.5) ، اگر لبه ورودی مدور باشد برای $\frac{r}{b} = 0.08$، مقدار K_r=۱/۱۰۶ حاصل می‌شود. اما برای لبه پخ زده شده با زاویه ۳۰ درجه و $\frac{w}{b} = 0.08$ مقدار K_w =۱/۰۱۶۶ اما برای زاویه ۴۵ درجه K_w =۱/۱۰۶ بدست می‌آید. با توجه به مقادیر فوق می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش زاویه پخ بهبود عملکرد بیشتری مشاهده می‌شود.

در مورد کوله‌های نوع IV نیز همین روند صادق است. در نسبت‌های بالای $\frac{r}{b}$ (بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۴) بسته به نوع کوله و مقدار M ، روند بهبود عملکرد هیدرولیکی شدت کمتری پیدا می‌کند.

۸-۲- انواع کوله‌ها و دیوارهای هدایت آب

همانطور که قبلاً هم بیان شد بعضی از انواع کوله‌ها از نظر هیدرولیکی مؤثرترند و دیوارهای هدایت آب نیز تاثیر به سزایی در افزایش دبی عبوری دارند. بعلاوه باید یادآور شد که نوع شیبدار کوله (Spillthrough) در کاهش برگشت آب و کاهش عمق آبشستگی تاثیرگذار است. این دو از مهمترین عوامل طراحی پل هستند. دیوار هدایت آب که در تعداد زیادی از پل‌ها وجود دارد، به دو منظور طراحی می‌شود. یکی به عنوان نگهدارنده مصالح خاکریز و دیگری به منظور هدایت‌کردن شیپوری مانند خطوط جریان به مرکز بازشدگی تا آب با حداقل جریان گردابه‌ای از آبراهه عبور کند.

این دیوارها نقش قطعات گردگوشه را برای کوله‌ها ایفا می‌کنند و به عبارت دیگر این دیوارها به عنوان عامل گردگوشه‌کننده لبه‌های ورودی جریان به بازشدگی، تاثیر گذارند. دیوارها نمی‌توانند بیش از محدوده پای خاکریز گسترش یابند. ولی اگر دیوارها از این محدوده عبور کنند، مانند یک تبدیل، بین آبراهه و کانال عمل می‌کنند. وسعت و نحوه عملکرد این تبدیل بستگی به فاصله انتهایش از بالادست و پایین‌دست بازشدگی دارد. در اینحالت طول مؤثر آبراهه افزایش می‌یابد. آبراهه‌های طولانی (بلند) مؤثرتر از آبراهه‌های کوتاه هستند. زیرا در آبراهه‌های بلند جریان پس از خروج از بازشدگی به تدریج منبسط می‌شود اما در آبراهه‌های کوتاه جریان به یکباره و بلافاصله پس از خروج از بازشدگی گسترش می‌یابد. بنابراین اگر پاره‌ای مسائل طراحی و اجرا اجازه دهند، کانال‌های طولانی‌تر و یا دیوارهای هدایت آب گسترده‌تر، ارجح هستند.

اطلاعات نسبتاً کمی در مورد عملکرد دیوارهای هدایت آب با طول زیاد وجود دارد. اما آنچه مسلم است اینست که اگر اندازه و شکل این دیوارها مناسب انتخاب شود، باعث اصلاح جریان عبوری خواهند شد. بعضی از شکل‌ها و ابعادهای این دیوارها تاثیر قابل توجهی در بهبود عملکرد هیدرولیکی پل ندارند.

omoorepeyman.ir

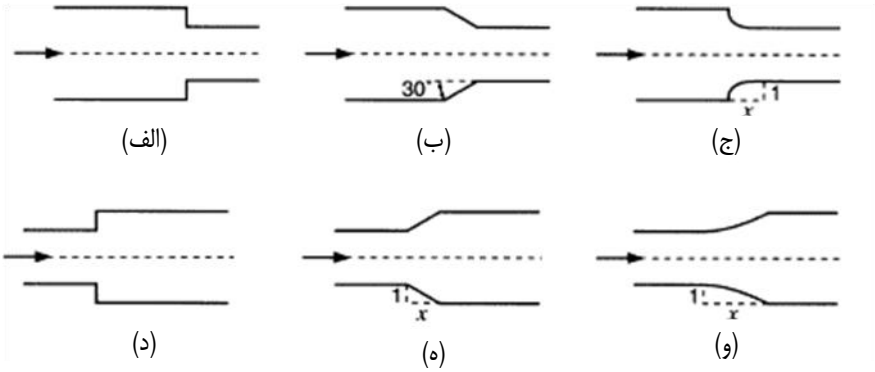
۸-۲-۱- دیوارهای هدایت آب طولانی که مانند یک مبدل جریان عمل می‌کنند

در اینحالت مجموع دیوار هدایت آب و کوله‌ها در پلان مانند کوله‌هایی که منحنی‌الشکل هستند، طراحی می‌شود. دیوارهای هدایت آب دو طرف مانند یک تبدیل برای جریان عمل می‌کنند. نتایج تحقیقات نشان داده است که دیوارهای هدایت آب بیشترین تاثیر را در بازشدگی مستطیلی دارند. این تاثیر در پلهای با دهانه کوچکتر و پلهای طاقی کمتر است.

از اینگونه دیوارهای هدایت آب می‌توان به جای ورودی‌های گردگوشه تا قبل از حد $\frac{Y_u}{Z} = 1.1$ استفاده کرد. باید توجه داشت که استفاده نامناسب ار این دیوارها هیچگونه تاثیری در اصلاح جریان عبوری نخواهد داشت.

۸-۲-۲- مبدل‌های جریان در کانال رو باز

هدف طراحی باید انتقال جریان بصورت روان و با شیب ملایم از کانال اصلی به بازشدگی آبراهه و مجدداً از بازشدگی آبراهه به کانال اصلی باشد. به عبارت دیگر با انتخاب نوع مناسب و ابعاد و اندازه کافی برای مبدل می‌توان تمام افت انرژی به جز افت ناشی از اصطکاک را کاهش داده و یا حذف کرد. بعضی از مبدلهای استاندارد در شکل ۲۲ نشان داده شده‌اند. در مبدلها افت جریان عموماً با انقباض جریان و انبساط مجدد آن رخ می‌دهد. یعنی انرژی پتانسیل یکبار به جنبشی و دوباره از حالت جنبشی به پتانسیل تبدیل می‌شود. البته مقدار انرژی نهایی کمتر از انرژی اولیه است و مقداری از آن تلف می‌شود. مقدار انرژی تلف شده در انبساط حدود ۲ برابر اتلاف در انقباض است.



شکل ۲۲- مبدلهایی با طراحی مختلف الف) انقباض بدون وجود مبدل ب) انقباض با وجود مبدل پخ خورده مستقیم ج) انقباض با وجود مبدل ماهیچه‌ای شکل د) انبساط بدون وجود مبدل ه) انبساط با وجود مبدل پخ خورده مستقیم و) انبساط با وجود مبدل ماهیچه‌ای شکل.

در طراحی هیدرولیکی پلها موارد زیر به عنوان پیشنهاد ارائه می‌گردد:

- در جریان‌های همگرا، ورودیهای به شکل ۲۲-ج که در آن انقباض جریان توسط یک ورودی ماهیچه‌ای باریک شونده انجام می‌شود، بهترین عملکرد را دارد. در این حالت کاهش افت انرژی تا حدود ۷۰٪ هم می‌رسد. اما ورودی‌های با لبه تیز (شکل ۲۲-الف) در انقباض جریان، بدترین عملکرد را دارد.
- در انبساط جریان، شکل ۲۲-د بدترین کارایی و شکل ۲۲-ه با شیبی حدود ۱ به ۴ بهترین تاثیر را دارد. در این حالت کاهش افت انرژی تا حدود ۶۶٪ هم می‌رسد. شکل ۲۲-و با شیب ۱ به ۴ نیز عملکرد قابل قبولی دارد.

omoorepeyman.ir

- بطور کلی طول دیوار حائل و زاویه شیب آن در عملکرد و کارایی آبراهه ناثیر به سزایی دارد. یعنی هر چه طول تبدیل کوچکتر و زاویه همگرایی تندتر باشد، وجود دیوار هدایت آب کم تاثیرتر است و حتی گاهی تاثیر منفی هم دارد. این موضوع در مورد آبراهه پل و کانال پایین‌دست هم صدق می‌کند.
- در وجه پایین‌دست، مبدلهای کوتاه با گردگوشگی کم احتمالاً تاثیر چندانی ندارند.

۸-۳- دایک‌های موج‌شکن

دایک‌های موج‌شکن اساساً همان دیوارهای هدایت آب بزرگ در بالادست جریان هستند. کاربرد آنها زمانیست که سازه پل باید در رودخانه‌هایی عریض ساخته شود و پل دارای خاکریزهای نسبتاً طولانی است. به عبارت دیگر در جاهاییکه جریان باید از سیلاب‌دشت‌های وسیع با حرکت شیپوری‌مانند به مدخل آبراهه و بازشدگی پل هدایت شود، می‌توان از دایک استفاده کرد.

دایک‌ها به ۲ دلیل زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- آنها را می‌توان جهت اصلاح و بهبود عملکرد هیدرولیکی آبراهه بکار برد. در اینصورت تا حد ۵٪ فراآب در بالادست کاهش می‌یابد
- اصلی‌ترین دلیل استفاده از دایک‌ها کاهش آبشستگی است که بدینوسیله پتانسیل تخریب پل کاهش می‌یابد.

بیشترین احساس نیاز به تعبیه دایک‌ها زمانیست که جریان آب تمایل دارد در امتداد وجه بالادست خاکریز به سمت مدخل بازشدگی حرکت کند. حرکت جریان به موازات خاکریزها و به سمت بازشدگی است. این جریان در نزدیکی کوله‌ها در دهانه بالادست بازشدگی تحت زاویه ۹۰ درجه با جریان اصلی برخورد می‌کند.(شکل ۲۳-الف)

در اثر برخورد این دو جریان، جریان منحنی الشکل آشفته‌ای ایجاد می‌شود که باعث افزایش پتانسیل آبشستگی می‌گردد.

جریان آبی که در امتداد خاکریز حرکت می‌کند(جریان کناری) باعث کاهش عرض بازشدگی یا معبر جریان اصلی می‌شود. به عبارت دیگر شدت انقباض جریان اصلی را افزایش داده و با کاهش عرض ، سرعت جریان را زیاد می‌کند.

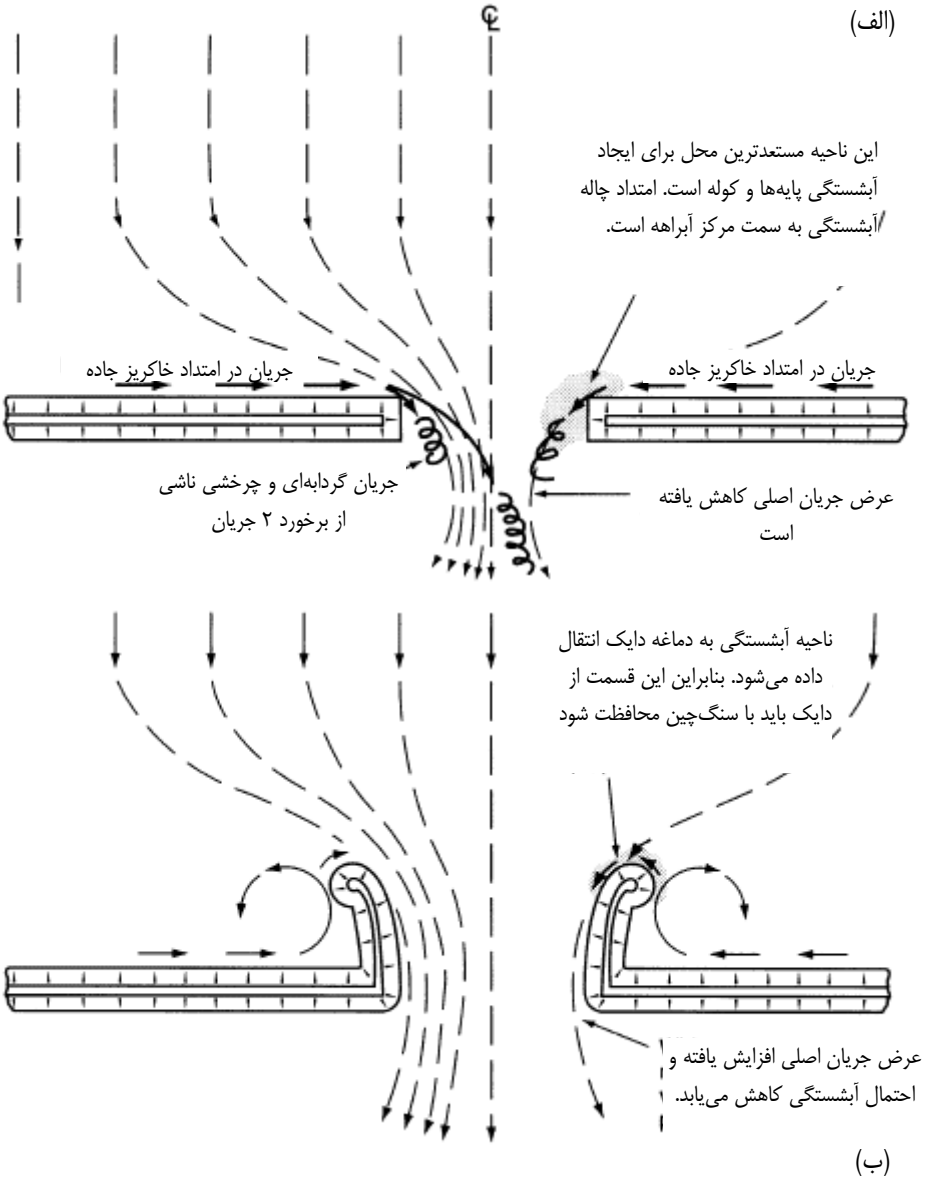
جریانهای کناری هر قدر بزرگتر باشند وضعیت بحرانی‌تر می‌شود. اما در جاهاییکه در بالادست پل کانال‌های زهکش موازی با خاکریز تعبیه شود و یا طول خاکریزها کوتاه باشد و یا چندین بازشدگی در عرض رودخانه ساخته شود، جریانهای کناری یا ایجاد نخواهند شد و یا در صورت ایجاد تاثیرگذار نخواهند بود.

هدف از ساخت دایکها هدایت جریان اصلی کانال به درون بازشدگی است، در حین اینکه جریانهای کناری را نیز کاهش داده و یا متوقف می‌کند و به نحوی نقطه برخورد دو جریان که همان نقطه وقوع آبشستگی است را به انتهای دایک (دماغه دایک) منتقل می‌کند. به این ترتیب محل آبشستگی از کوله‌ها و پایه‌ها دور می‌شود. عمیقترین آبشستگی در دماغه دایک رخ می‌دهد.

طراح باید شکل هندسی، طول و ارتفاع دایک‌ها را کاملاً مقتضی و بر اساس ضوابط محاسبه کند. توصیه می‌شود دایکها به شکل یکچهارم بیضی با نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک ۲/۵ به ۱ طراحی شوند. برای پلهایی که عمود بر مسیر رودخانه‌اند، قطر بزرگ باید عمود بر خاکریز باشد.

برای محاسبه طول دایک، باید نسبت دبی $\frac{Q_{fp}}{Q_{30}}$ محاسبه شود. Q_{fp} دبی یکطرف سیلاب‌دشت در مقطع ۱ بر حسب متر مکعب بر ثانیه است. Q_{30} دبی در ۳۰ متر اول بازشدگی نزدیک به کوله است که در مقطع ۱ اندازه‌گیری می‌شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۲۳- تاثیر دایکها در جاییکه جریان‌های کناری (در امتداد خاکریز جاده) وجود دارد و احتمال آبشستگی زیاد است.
الف) ساخت آبراهه بدون دایک که منجر به برخورد ۲ جریان و تولید جریان‌های گردابه‌ای و آبشستگی می‌کند.
ب) ساخت آبراهه با استفاده ازدایک که باعث انتقال محل برخورد جریانها به نقطه‌ای دورتر از پایه‌ها و کوله می‌شود. بنابراین احتمال تخریب پل کاهش می‌یابد.

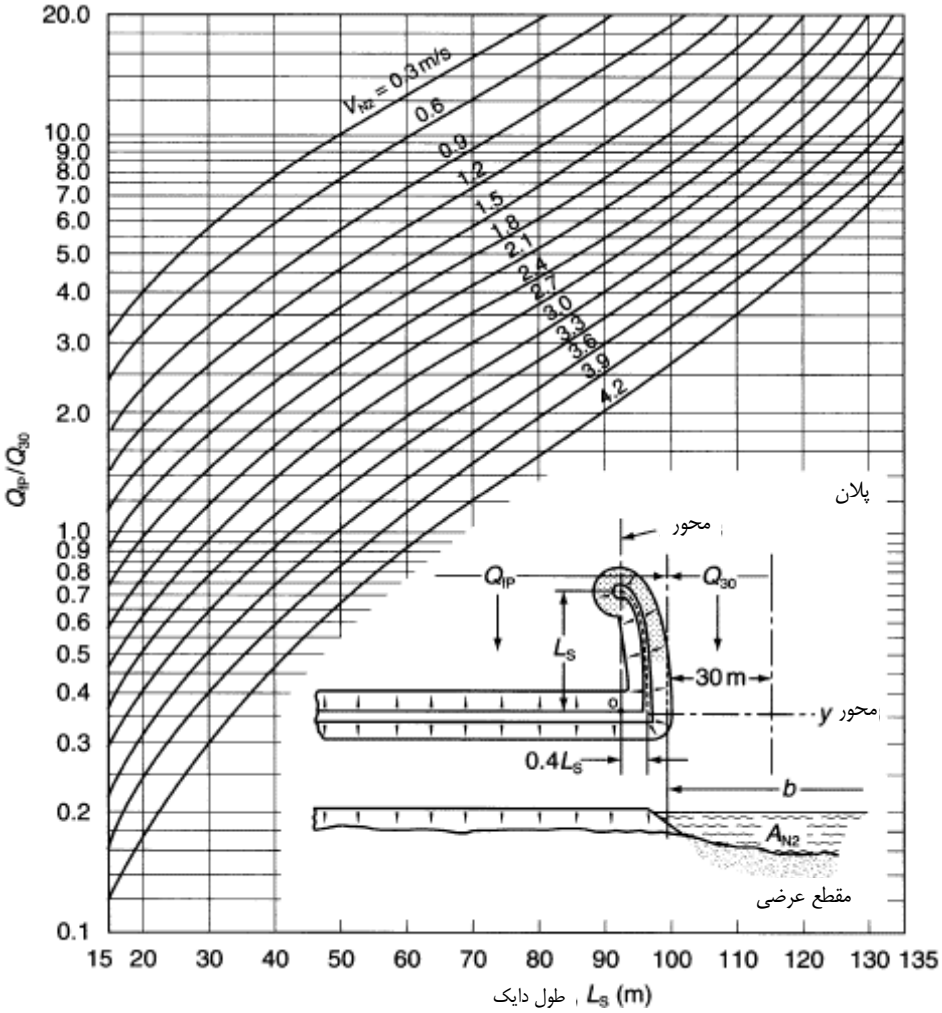
omoorepeyman.ir

این نسبت بستگی به Q_{fp} و Q_{30} دارد که هر دو در مقطع ۱ اندازه‌گیری می‌شوند (شکل ۲۴). این نسبت همراه با سرعت جریان در نزدیکی کوله، $V_{N2} = \frac{Q}{A_{N2}}$ ، که همان سرعت متوسط جریان در عمق نرمال در مقطع ۲ است، تعیین-کننده طول دایک (L_S) هستند.

با توجه به شکل ۲۴ مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت جریان و نیز با افزایش نسبت $\frac{Q_{fp}}{Q_{30}}$ ، طول دایک نیز افزایش می‌یابد. موارد زیر جهت طراحی دایک توصیه می‌شود:

- طراحی دست بالا بسیار بهتر از طراحی دست کم یا ضعیف است.
- اگر طول بدست آمده از نمودار شکل ۲۴ کمتر از ۱۵ متر است، نیازی به تعبیه دایک نیست.
- اگر طول بدست آمده بین ۱۵ متر تا ۳۰ متر باشد، باید دایکی با طول حداقل ۳۰ متر ساخته شود. دایکهای کوتاه باعث افزایش گرادیان انرژی و فرسایش بیشتر ناشی از آبشستگی می‌شوند. بنابراین پتانسیل آبشستگی مهمترین فاکتور کنترل کننده برای تعیین طول دایک است.
- ممکن است طول بدست آمده از شکل ۲۴ برای پلهای بیه نیز مناسب باشد. البته هیچ نسبت مستقیمی بین طول دایک و دهانه پل وجود ندارد.
- بهتر است در طراحی دایکها محتاط بوده و مدل مربوط به هر محل توسط نرم‌افزارهای موجود ساخته و آنالیز شود.
- ارتفاع دایک باید حداقل ۳۰ سانتیمتر بیشتر از عمق آزاد یا عمق جریان طراحی پس از انقباض باشد و به عبارت دیگر ارتفاع دایک باید در حدی باشد که جریان از روی آن عبور نکند.
- بهتر است دایک از مصالح خوب و مناسب مثل سنگهای با اندازه مناسب ساخته شوند و یا با مصالح مستحکم و یا سنگ پوشانده شوند. توصیه می‌شود که اگر دایک‌ها بطور کامل از سنگ ساخته می‌شوند، وجه بیرونی آنرا با سنگهای بزرگ چنان پوشاند که جریان آب نتواند آنها را حرکت دهد و اگر از خاک ساخته می‌شوند باید همان استانداردهایی را که برای تراکم و کوبش خاکریز جاده بکار می‌برند، برای دایکهای خاکی نیز استفاده کنند.
- اگر در طراحی دایک بهینه‌سازی و صرف حداقل هزینه مد نظر است، می‌توان فقط وجه خارجی دایک در محل دماغه، یعنی جاییکه حداکثر آبشستگی رخ می‌دهد، را با سنگهای بزرگ پوشاند و باقیمانده وجه خارجی را بوسیله پوشش گیاهی و یا ژئوتکستایل پوشاند. در ضمن بعد از هر طغیان دایکها باید بازرسی و در صورت نیاز تعمیر شوند.

omoorepeyman.ir



شکل ۲۴- نمودار تقریبی تعیین کننده طول دایک‌ها نسبت به $\frac{Q_{fp}}{Q_{30}}$

- اگر رویه دایکهای خاکی با سنگ پوشانده می‌شود، این سنگ باید از نوع خوب دانه‌بندی شده باشد و زیر آن از لایه فیلتر مناسب و یا ژئوممبرین استفاده شود و نهایتاً دایک با ریپ رپ محافظت شود. در محدوده دماغه رویه باید سنگ‌چین (ریپ رپ) تا زیر تراز آبشستگی ادامه یابد.
- در صورت استفاده از مصالح غیر چسبنده، سنگ‌چین رویه (ریپ رپ) را می‌توان تا بستر رودخانه یعنی تا جاییکه احتمال فرسایش بستر در ضمن جریان وجود دارد، ادامه داد. اما اگر از مصالح چسبنده جهت حفاظت از دایک استفاده می‌شود، باید محدوده محافظت شده تا محلی که احتمال وقوع بدترین آبشستگی وجود دارد ادامه یافته و حتی گودالهای موجود نیز با این مصالح پر شوند.

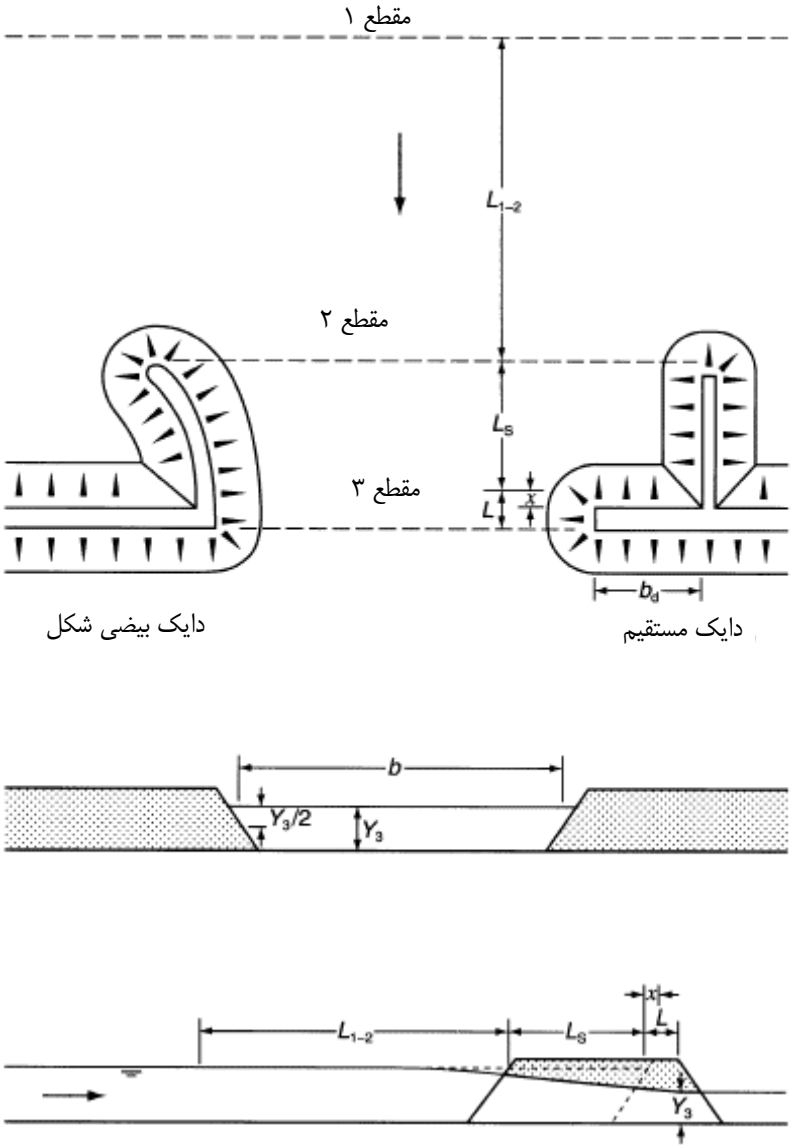
omoorepeyman.ir

- از جمله پیشنهادهای دیگر اینست که پوشش گیاهی تا حد امکان نزدیک به پای دایک ادامه یابد تا به کاهش جریان عرضی کمک کنند. بایستی از ایجاد هرگونه حفاری و برداشت مصالح در این محدوده پرهیز کرد و نیز اجتناب از حفر کانالهای زهکشی در طول خاکریزهای جاده ضروری است. جهت زهکشی محل محصور شده بین دایک و خاکریز، استفاده از لوله‌های کوچکی که از میان دایک عبور می‌کنند کافی است.
- دایکها اغلب بصورت جفت در دو طرف بازشدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند اما اگر جریان جانبی فقط در امتداد یک خاکریز بوجود آید، احداث یک دایک کافی است.
- شکل هندسی دایک باید متناسب با شرایط محل انتخاب شود. به عنوان مثال در خم رودخانه ممکن است مجبور به افزایش انحناء داخل خم و کاهش انحناء بخش خارجی آن با استفاده از دایک باشیم. لذا باید از دایک با شکل هندسی خاص استفاده کرد. در پلهای کج ممکن است طول دایک در جاییکه آبها محصور می‌شوند(نزدیک به زاویه حاده تقاطع مسیر جاده با رودخانه) بیشتر باشد.
- دایکها باید طوری طراحی شوند که خطوط جریان را تا حد امکان منطبق بر جریان اصلی کنند. نه اینکه بطور اتوماتیک عمود بر خاکریزها طراحی شوند.
- دایکهای مستقیم در تولید جریان مستقیم و موازی در بازشدگی‌ها بهتر عمل می‌کنند. خصوصاً اگر در دهانه پل پایه‌هایی نیز وجود داشته باشد.

برای استفاده از روش USGS در طراحی دایکها، باید ضریب تعادل K_d را از گرافهای شکل‌های ۲۵ و ۲۶ برای بازشدگی نوع III تعیین نمود. جالب است که بدانید در شکل ۲۶-الف برای پلهای معمولی(کج نیستند) مقدار K_d بسته به شرایط و نوع دایک بین ۱ تا ۱/۴ قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان گفت که دایکها می‌توانند بطور مؤثری ضریب دبی را افزایش دهند. مقدار این ضریب (K_d) برای دایکهای بیضی شکل بیشتر است.

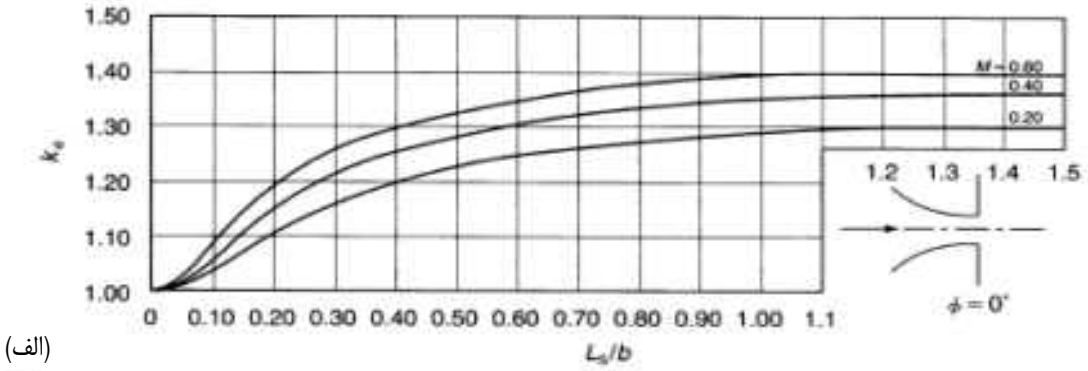
در شکل ۲۶-الف ضریب تعادل با نسبت بازشدگی($M = \frac{a}{A}$) و طول دایک (L_S) تغییر می‌کند.

omoorepeyman.ir

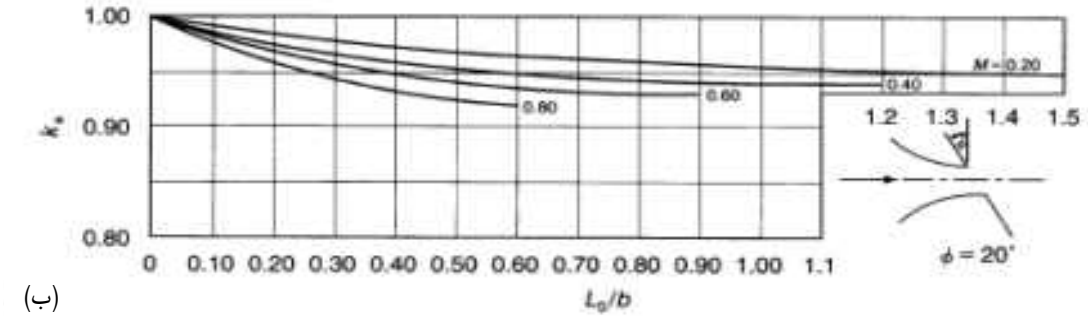


شکل ۲۵- مشخصات دایک‌های مستقیم و بیضی شکل

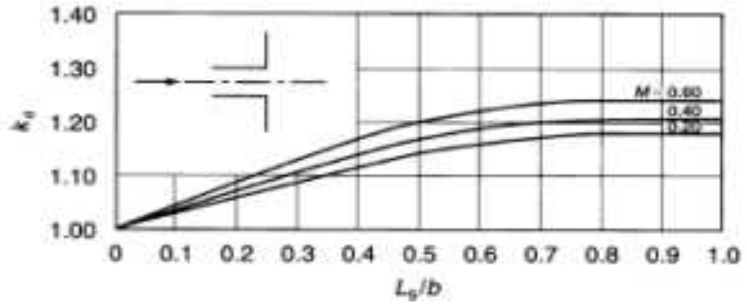
omoorepeyman.ir



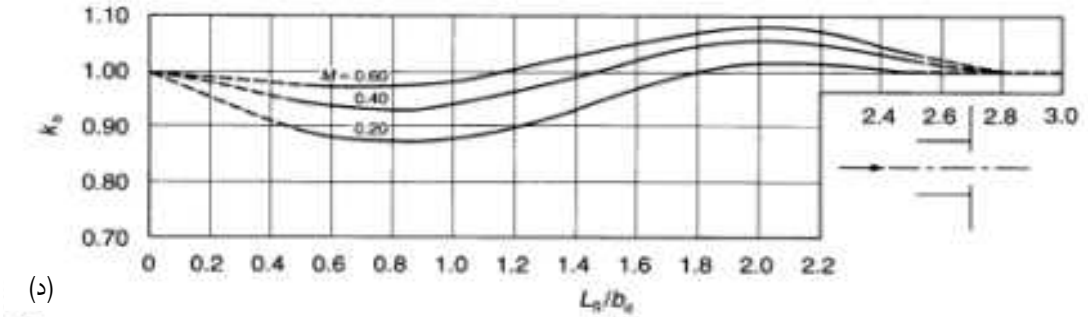
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۲۶- ضرایب تعدیل برای دایک‌ها الف) دایک‌های بیضی شکل، بدون کجی ب) دایکهای بیضی شکل با کجی ۲۰ درجه، ج) ضریب تعدیل برای دایکهای مستقیم که به اندازه b_d از کوله فاصله دارند.

امور پیمان
omoorepeyman.ir

۸-۴- اصلاح رودخانه

بعضی اوقات به جای بهبود راندمان هیدرولیکی آبراهه پل، بهتر است تنها وضعیت رودخانه اصلاح شود و گاهی اوقات می‌توان هم کانال رودخانه و هم شرایط پل را توامان اصلاح نمود. باید یادآور شد که فرسایش ناشی از حرکت جانبی کانال احتمالاً بزرگترین دلیل ایجاد خسارت و یا ریزش پلهاست.

بنابراین پایداری کانال به اندازه اصلاح جریان، در بهبود عملکرد هیدرولیکی مؤثر است. چند روش به عنوان نمونه در زیر توضیح داده می‌شود.

-کاهش تراز آب غیر عادی جریان

در سایتهایی که دارای عددهای فرود پایین هستند و در آنها عمق‌های نرمال بزرگ یا تراز دبی غیرطبیعی بوجود می‌آید، موضوع اصلاح کانال مطرح می‌شود. عمومی‌ترین روش اصلاحی این کانال‌ها برطرف کردن خم‌ها است. به این وسیله مسیر کوتاه و شیب آن زیاد می‌شود. به عبارت دیگر تمامی موانع برداشته می‌شوند تا کانال یکنواخت شده و ضریب مانینگ (n) کاهش یابد. یک کانالِ بطور ایده‌آل اصلاح شده کانالی است که بعد از اعمال کلیه کارهای اصلاحی، تقریباً مستقیم و دارای مقاطع یکنواخت باشد تا بدین ترتیب ضریب دبی افزایش یابد.

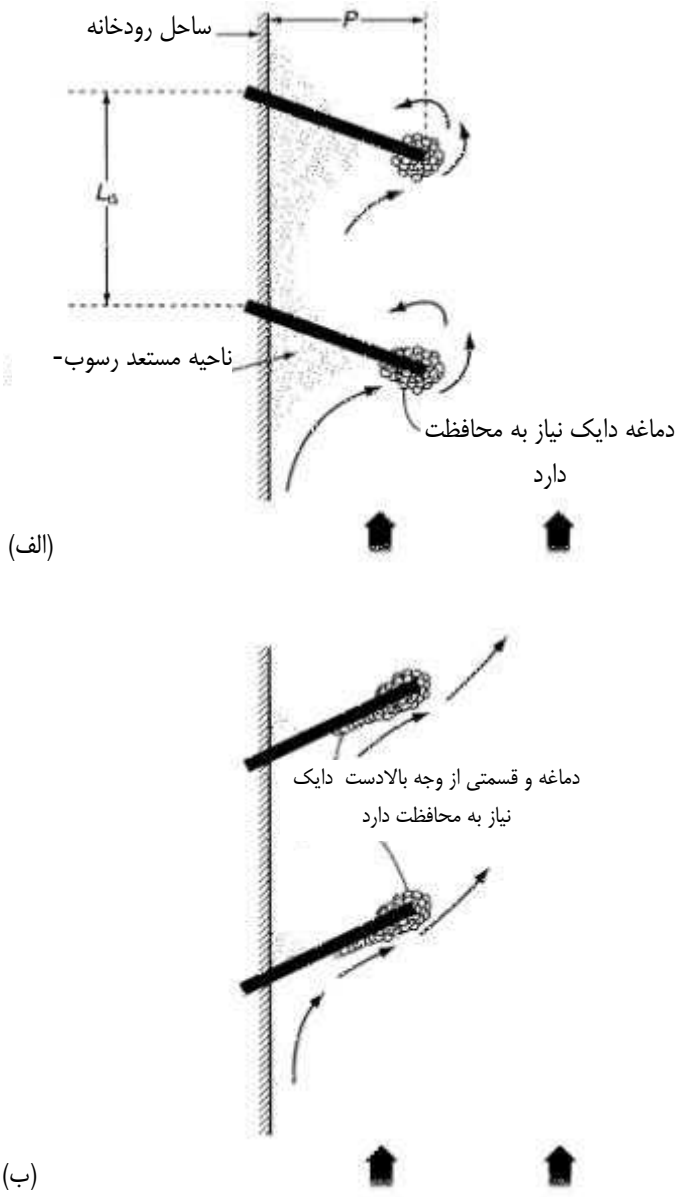
این مسئله از نظر بهبود عملکرد هیدرولیکی مؤثر است اما باید برای ملاحظات زیست محیطی نیز اهمیت خاص قائل شد. توجه داشته باشید که در روش‌های اصلاحی بهینه‌بودن کانال و پایدارسازی آن نیز مد نظر قرار گیرد. البته در اغلب موارد حین وقوع طغیان رودخانه‌ها تمایل شدید برای بازگشت به خط سیر قبلی خود را دارند و حذف خم‌ها باعث ایجاد فرسایش و فروریختگی دیواره‌ها می‌شود.

-اصلاح کانال در مجاورت پل

به‌طور ایده‌آل بهتر است پل عمود بر مسیر جریان و کانال ساخته شود. ممکن است این امر از نظر ریخت‌شناسی رودخانه و یا مسائل اقتصادی امکان‌پذیر نباشد. در اینصورت باید اقدامات دیگری جهت برآورده کردن شرایط و نیز بهینه کردن طرح انجام داد. اگر جهت خم رودخانه مرتباً عوض شود و یا زاویه برخورد مسیر کانال با پل تحت تاثیر ناپایداریهای رودخانه تغییر کند، بایستی با اتخاذ روشهای خاصی کانال را در محدوده ساخت پل پایدار کرد. این روشها عبارتند از پایدارکردن دیوارهای ساحلی با استفاده از سنگ‌چین (rip rap)، گابیون و یا هر نوع سیستم حفاظتی دیگر.

البته در بعضی شرایط با رعایت احتیاط و پاره‌ای ملاحظات زیست‌محیطی، از بین بردن پیچ و خم‌ها و ایجاد کانالی جدید و ایده‌آل(مطابق شرایط طراحی) ترجیح داده می‌شود. اگر مسیر پل عمود بر رودخانه نباشد(پل کج باشد)، می‌توان با استفاده از دایکها اثرات کجی را کاهش داد. در ضمن موج‌شکن‌ها و دیوارهای ساحلی را می‌توان برای آرام کردن و کنترل جریان در کانال بکار برد. موج‌شکن‌ها و دیوارهای ساحلی می‌تواند به جای دایک‌ها و یا در ترکیب با آنها اجرا شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۲۷- استفاده از موج‌شکن و دایک برای کنترل جریان
الف) دایکهای کند کننده جریان که بصورت زاویه دار و متمایل به بالادست ساخته می‌شوند.
ب) دایکهای منحرف کننده خطوط جریان که بصورت زاویه دار و متمایل به پایین‌دست تعبیه می‌شوند.
این دایک‌ها جریان را به سمت مرکز کانال هدایت می‌کند.

-اصلاح نسبت بازشدگی

عملکرد هیدرولیکی پل تا حدود زیادی به نسبت بازشدگی پل بستگی دارد. در رودخانه‌هاییکه عرض کانال زیاد و جریان کم عمق است، اگر عرض بازشدگی کم باشد، انقباض بزرگی در جریان ایجاد خواهد شد که نشانگر عملکرد ضعیف

omoorepeyman.ir

هیدرولیکی بازشدگی است. جهت رفع این مشکل می‌توان عرض بازشدگی را افزایش داده و با اعمال بعضی کارهای اصلاحی B را کاهش داد. با این روش کانال باریکتر می‌شود. این کار را می‌توان با استفاده از دیوارهای ساحلی ایجاد کرد. این نوع راه-حلها باید به دقت بررسی و میزان تاثیرشان ارزیابی شود.

بهترین راه‌حل استفاده از موج‌شکن است. موج‌شکن‌ها جریان آب را به آرامی به بخش مشخص شده‌ای از کانال هدایت می‌کنند (شکل‌های ۲۷). البته استفاده از دایک‌های طولی (دیوارهای راهنما) که داخل کانال رودخانه ساخته می-شود، نیز پیشنهاد می‌شود. اما بطور کلی ایجاد دیوارهای ساحلی اقتصادی‌تر از ساخت موج‌شکن‌هاست. و اگر بطور مقتضی طراحی و در محل مناسب خود ساخته شوند، عملکرد بهتری هم خواهند داشت.

- کنترل فرسایش

در صورت وجود خطر فرسایش دیوارهای ساحل رودخانه در مجاورت پل، می‌توان از موج‌شکن‌ها استفاده کرد.

موج‌شکن‌ها با تغییر مسیر جریان در کانال و نیز ایجاد شرایط رسوب‌گذاری روی محدوده محافظت شده، نقش مؤثری در کنترل فرسایش دارند.

- موج‌شکن‌ها

موج‌شکن‌ها معمولاً برای محافظت دیوارهای ساحلی نزدیک به پل، از خطر فرسایش و یا برای تغییر راستای خطوط جریان اصلی در کانال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. موج‌شکن‌ها به شکل خاکریزهای باریک و طولانی و یا دیواره‌هایی هستند که از ساحل کانال به سمت خط مرکزی کانال کشیده شده‌اند. موج‌شکن‌ها را می‌توان بصورت تکی یا گروهی استفاده کرد. اگر موج شکن بصورت تکی بکار گرفته شود، ممکن است در جریان آشفتگی شدیدی ایجاد و در نتیجه آبشستگی عمیقی در انتهایش ایجاد شود.

نوع موج‌شکن مورد استفاده بستگی به هدف کاربر دارد :

- آیا می‌خواهد خط ساحلی را از فرسایش حفظ کند.
- یا اینکه شرایط رسوب‌گذاری در محل را فراهم کند.
- یا خطوط جریان را به حالت قبلی (طبیعی) خود برگرداند.
- یا آنها را از حالت طبیعی به مسیر جدید هدایت کند.
- یا اینکه کانال را برای کنترل جریان باریکتر کند.

اهداف فوق را می‌توان به ۲ دسته کندکننده و منحرف‌کننده جریان دسته‌بندی کرد. البته گاهی می‌توان ترکیبی از هر دو را بکار برد. موج‌شکن‌های کند کننده معمولاً عمود بر مسیر اصلی جریان در بالادست ساخته می‌شوند. بنابراین ناحیه-ای از آب راکد ایجاد می‌شود. این آب کاملاً آماده رسوب‌گذاری در وجه بالادست است.

آبشستگی معمولاً در دماغه موج‌شکن ایجاد می‌شود. این ناحیه باید به اندازه کافی در برابر آبشستگی محافظت شود.

موج‌شکن‌ها ممکن است از مصالح نفوذپذیر یا غیر قابل نفوذ ساخته شوند. نوع نفوذپذیر آن در رودخانه‌هایی که حجم زیادی سیلت با خود حمل می‌کنند، محیط مساعدتری برای رسوب‌گذاری ایجاد می‌کند. این نوع موج‌شکن ارزان است و می‌توان آنرا از دو ردیف الوار چوبی که با درختچه، بوته، سنگ، چوب و یا فنسهای جمع‌آوری کننده آشغال پوشانده شده است، ساخت. هر قدر نفوذپذیری این دیواره بیشتر باشد، سطح و عمق آبشستگی کمتر است.

omoorepeyman.ir

اگر موج‌شکن‌ها زاویه‌دار و متمایل به جهت پایین‌دست ساخته شوند، جهت جریان بوسیله آنها تغییر یافته و به سمت مرکز کانال هدایت می‌شود. دراینصورت ممکن است انجام عملیات حفاظتی در تمام وجه بالادست مورد نیاز باشد. موج-شکن‌هایی که فقط برای انحراف جهت جریان ساخته می‌شوند، باید نفوذناپذیر باشند. خاکریزهای سنگی و سازه‌های چوبی مستحکم از این نوع هستند. برای ساخت موج‌شکن‌ها موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- موج‌شکن‌ها برای کانال‌های با عرض کمتر از ۴۶ متر مناسب نیستند.
- موج‌شکن‌ها در خم‌هایی با شعاع کمتر از ۱/۷ متر کارایی لازم را ندارند.
- بیشتر موج‌شکن‌ها برای حفاظت کانال‌هایی که ارتفاع دیوار ساحلی‌شان کمتر از ۶ متر است کاملاً مناسب هستند.
- اگر دیواره‌های ساحلی نامنظم هستند می‌توان موج‌شکن‌ها را همراه با سایر روش‌های حفاظتی بکار برد.
- آنها را می‌توان در رودخانه‌هایی که انواع رسوبات را حمل می‌کنند، بکار برد. اما نوع رسوب در طراحی موج‌شکن مؤثر است.
- موج‌شکن‌ها می‌توانند برای رودخانه‌های تفریحی و قایق‌ها خطرناک باشند.
- یک اشتباه رایج در استفاده از موج‌شکن‌ها اینست که آنها را در مسافت طولانی در بالادست تعبیه می‌کنند اما محدوده ساخت آنها و نیز تعدادشان در پایین‌دست به اندازه کافی نیست.
- طول ساحل رودخانه‌ای که با موج‌شکن محافظت شده است در داخل خم‌ها افزایش می‌یابد و در سمت دیگر خم کاهش می‌یابد اما اگر p قسمتی از عرض کانال باشد که موج‌شکن‌ها تا آن فاصله پیش آمده‌اند، طول موج‌شکن باید بین p تا 2p باشد. این قانون را باید هم در بالادست و هم در پایین‌دست رعایت کرد.
- اگر یک گروه ۴ تایی از موج‌شکن‌ها استفاده شود، طول محافظت شده افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به مسایل اقتصادی و انتظارات هیدرولیکی می‌توان طول بهینه را بدست آورد. فاصله بین موج‌شکن‌ها L_G نیز بر همین اساس تعیین می‌شود.
- موج‌شکن‌های با طول زیاد بیشتر در جاهاییکه سرعت جریان زیاد است، استفاده می‌شوند. بنابراین محدوده بیشتری از دماغه موج‌شکن باید حفاظت شود. البته طول موج‌شکن‌ها نباید آنقدر زیاد باشد که باعث ایجاد مشکلات هیدرولیکی برای دیواره ساحلی شود. عبور قایق‌ها، یخ و کنده‌های درخت نیز بایستی مد نظر قرار گیرد.
- بهتر است طول موج‌شکن‌های نفوذناپذیر کمتر از ۱۰٪ عرض کل کانال باشد و برای نفوذپذیرها این نسبت به مقداری بین ۱۵٪ تا ۲۵٪ افزایش می‌یابد.

از طریق معادله زیر نیز می‌توان L_G را محاسبه نمود.

$$L_G < \frac{C Y^{1.33}}{2 g n^2} \qquad (۳۲)$$

C مقدار ثابت ۰/۶ و Y عمق متوسط جریان بر حسب متر است.

- ارتفاع راس موج‌شکن باید با توجه به جریان سیلابی و تراز دیوارهای ساحلی تعیین شود. گاهی اوقات ممکن است ارتفاع کل موج‌شکن ثابت نباشد و هر چه از دیوار ساحلی به سمت مرکز کانال حرکت کنیم، افزایش یا کاهش یابد. البته تصمیم‌گیری در مورد ابعاد هندسی تمام موج‌شکن‌های یک کانال می‌تواند یکسان نباشد. اگر تراز دبی طراحی پایین‌تر از دیوار ساحلی رودخانه است، حداقل ارتفاع برای موج‌شکن باید ۱/۵ متر کمتر از تراز دبی طراحی می‌باشد. اما اگر تراز دبی طراحی بالاتر از دیوارهای ساحلی است، موج‌شکن‌ها باید با ارتفاعی برابر ارتفاع دیوارهای ساحلی ساخته شوند.

omoorepeyman.ir

- معمولاً بیشتر موج‌شکن‌های مخصوص انحراف جریان در بالادست زاویه ۱۵۰ درجه با مسیر جریان اصلی دارند. در موج‌شکن‌های بعدی این زاویه کم می‌شود و در آخرین آنها می‌تواند به ۹۰ درجه (عمود بر مسیر جریان) برسد.
- شیب جانبی خاکریزهای موج‌شکن باید حدود ۱ به ۳ و عرض خاکریز موج‌شکن در راس، بین ۲ تا ۲/۵ متر انتخاب شود.

۹- ارائه روش‌های محاسباتی میزان آبشستگی

آبشستگی و فرسایش در رودخانه ها ممکن است بر اثر پدیده‌های طبیعی و یا تغییرات بوجود آمده توسط بشر حاصل گردد. همچنین این پدیده ممکن است در طول یک مسیر طولانی از رودخانه یا در یک بازه محدود رخ دهد. فرسایش کلی اطراف پایه‌ها و کوله‌های یک پل عبارتست از مجموع سه مورد آبشستگی عمومی، آبشستگی موضعی و آبشستگی تنگ‌شدگی که در ادامه هر یک از این موارد به صورت جداگانه تشریح خواهد شد.

فرسایش یا آبشستگی عمومی، فرسایشی است که بواسطه افزایش دبی و سرعت، عمق جریان افزایش یافته و باعث می‌شود که بستر عادی رودخانه عمیق تر گردد. به عبارت دیگر این نوع آبشستگی یک کاهش در تراز بستر است که در اثر عدم تعادل میان رسوب حمل شده و ظرفیت انتقال رسوب ایجاد می‌شود.

آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل در اثر یک سیستم گردابی حادث می‌شود. این سیستم گردابی در اثر انحراف جریان توسط پایه‌ها ایجاد می‌شود. سیستم اصلی گردابی که به تشکیل حفره های آبشستگی کمک می‌کند از برخورد جریان به جلو پایه و انحراف آن به طرف پایین ایجاد می‌شود. جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر رودخانه در جلو پایه گودالی را حفر می‌کند که در داخل این گودال جریان چرخشی ایجاد گردیده و به تدریج عمق حفره اضافه می‌شود. جریان چرخشی در جلو پایه به دو طرف پایه نیز امتداد می‌یابد و شکلی به خود می‌گیرد که در پلان شبیه نعل اسب است، از این رو به آن گرداب نعل اسبی اطلاق می‌شود که در شکل زیر قابل مشاهده است.

وجود سازه‌ها با موانع در آبراهه یا بستر سیلابی رودخانه بر روی الگوی جریان و شدت آن تأثیر گذار است که به نوبه خود مورفولوژی رودخانه، هندسه موضعی کانال و رابطه بین تراز آب و دبی را تغییر می‌دهد. علاوه بر تأثیر گذاشتن بر روی فرسایش عمومی، وجود سازه‌ها یا موانع در بالادست باعث توسعه فرسایش در فواصل کم و در پایین دست باعث تغییر شدید پروفیل جریان و مقادیر سرعت ها می‌گردد. به این نوع فرسایش، آبشستگی در اثر تنگ‌شدگی گویند. ایجاد مانع در بستر سیلابی با زهکشی طبیعی مداخله کرده و جریان را از سیلابدشت‌ها به آبراهه اصلی رودخانه منحرف می‌سازد که موجب ازدیاد شدت دبی در آبراهه اصلی می‌شود. این ازدیاد شدت دبی، که توسط پایه‌های پل‌ها نیز افزایش می‌یابد، عمق آبشستگی و افت هد در دهانه پل را افزایش می‌دهد.

۹-۱- آبشستگی در مصالح غیرچسبنده

متخصصین و طراحان به منظور انتخاب یک روش طراحی مناسب جهت تعیین عمق آبشستگی در شرایط مختلف، تحقیقات و مطالعات بسیاری انجام داده‌اند. نتایج این تحقیقات نیز طیف گسترده‌ای از روابط مختلفی را به وجود آورده که هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند. به علت رفتار پیچیده‌ای که بین حرکت آب و رسوبات، به خصوص در مجاورت یک مانع مانند یک پل به وجود می‌آید، اکثراً روابط به دست آمده تجربی و با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی می‌باشد. مسلماً میزان دقت روابط به دست آمده، رابطه مستقیم با تعداد پارامترهای موثر در نظر گرفته شده در ایجاد آبشستگی دارد. به طوری که هر

omoorepeyman.ir

چقدر بتوان تعداد پارامتر بیشتر همراه با تاثیر دقت آنها را لحاظ نمود، رابطه به دست آمده در تعیین عمق آبشستگی نیز دقیق تر خواهد بود.

۹-۱-۱- تخمین عمق فرسایش عمومی

جهت تعیین آبشستگی عمومی روابط و مدل های مختلفی ارائه شده است. در این قسمت دو رابطه زیر ارائه شده است.

الف) روش بلنچ

بلنچ با توجه به نوع دانه‌بندی بستر دو رابطه برای تعیین عمق آبشستگی عمومی بیان کرد. رابطه اول برای ماسه با دانه‌بندی $0.06 \le d_{50} \le 2$ می‌باشد در حالیکه رابطه دوم برای بسترهای شنی با $d_{50} > 2$ قابل استفاده است.

$$y_{ms} = 1.2\left[\frac{q^{2.3}}{d_{50}^{1.6}}\right] \quad \text{اگر} \quad 0.06 \le d_{50} \le 2 \qquad (۳۳)$$

$$y_{ms} = 1.23\left[\frac{q^{2.3}}{d_{50}^{1.6}}\right] \quad \text{اگر} \quad d_{50} > 2 \qquad (۳۴)$$

ب) روش مازا آلوارز و اچاواریا آلفارد

در روش مازا آلوارز و اچاواریا آلفارد محدوده اصلی قطر دانه رسوبات از سیلت تا ماسه درشت دانه می‌باشد، این رابطه برای ماسه‌ها و شن‌ها توصیه شده است (عموما $d_{75} < 6mm$). هیچ داده‌ای جهت اصلاح ضرایب برای مصالح درشت دانه‌تر در اختیار نمی‌باشد و مقادیر پیش بینی شده برای مصالح ریز دانه تر با مقادیر مشاهده شده اختلاف زیادی دارد.

این روش برای یک رودخانه عریض بدست آمده است. برای یک رودخانه باریک به جای عرض سطح آب (w)، شعاع هیدرولیکی متوسط در نظر گرفته می شود.

$$y_{ms} = 0.365\left(\frac{Q^{0.784}}{w^{0.784} d_{50}^{0.157}}\right) \qquad (۳۵)$$

۹-۱-۲- تخمین عمق فرسایش موضعی

پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی موضعی را می‌توان به چهار دسته تقسیم بندی کرد که در جدول ۳ به طور خلاصه آورده شده است.

۹-۱-۲-۱- آبشستگی اطراف پایه های استوانه ای

جهت تخمین حداکثر عمق آبشستگی در اطراف پایه‌های استوانه‌ای شکل در مصالح غیر چسبنده روابط متعددی ارائه شده است. در عمل با توجه به جدول ۴ از معادلات زیر استفاده می شود و زمانیکه عدد فرود از ۰/۸ بیشتر شود مطالعه روی آبشستگی با استفاده از مدل فیزیکی صورت می‌گیرد.

$$d_s = 1.17U^{0.62}b^{0.62} \qquad (۳۶)$$

$$d_s = 1.59U^{0.62}b^{0.67} \qquad (۳۷)$$

$$d_s = 1.11y^{0.5}b^{0.5} \qquad (۳۸)$$

$$d_s = 1.8y^{0.75}b^{0.25} - y \qquad (۳۹)$$

$$y = 0.38q^{0.67}D_{50}^{-0.17} \qquad (۴۰)$$

omoorepeyman.ir

$$y = 0.47q^{0.8}D_{90}^{-0.12} \quad (۴۱)$$

$$y = 0.23(s-1)^{-0.43}q^{0.86}D_{90}^{-0.29} \quad (۴۲)$$

U سرعت در محل بالادست پایه به متر در ثانیه, y عمق در مقطع بالادست محل پایه به متر است.

جدول ۳- پارامتر های موثر بر آبشستگی موضعی

پارامترهای مربوط به سیال	
	شتاب ثقل (g)
	جرم واحد حجم سیال (ρ)
	لزجت سینماتیکی (μ)
پارامترهای هیدرولیکی	
	سرعت متوسط جریان در بالادست (V_0)
	عمق جریان بالادست (d_0)
	شیب کانال (S)
	دبی در واحد عرض (q)
	سطح مقطع جریان وشکل آبراهه (A)
	ضریب زبری مانینگ (n)
پارامتر های هندسی	
	قطر و یا عرض پایه عمود بر جریان (b)
	طول پایه در جهت جریان (L)
	شکل پایه
	زاویه محور پایه با جهت جریان (θ)
	فاصله پایه ها
	سطح پایه (زبری و صافی آن)
	سیستم حفاظتی پایه ها
	اجسام شناور که بوسیله جریان حمل می شوند
پارامترهای رسوب	
	اندازه مواد رسوبی (D_{50})
	جرم واحد حجم مواد کف بستر (ρ_s)
	توزیع دانه بندی مواد کف بستر (σ)
	شکل ذرات
	زاویه ایستایی (φ)
	چسبندگی خاکهای چسبنده
	طبقه بندی، لایه بندی، ترکیب مواد کف بستر و لایه های زیرین آن
	تغییرات مصنوعی یا طبیعی در رژیم رسوبات

omoorepeyman.ir

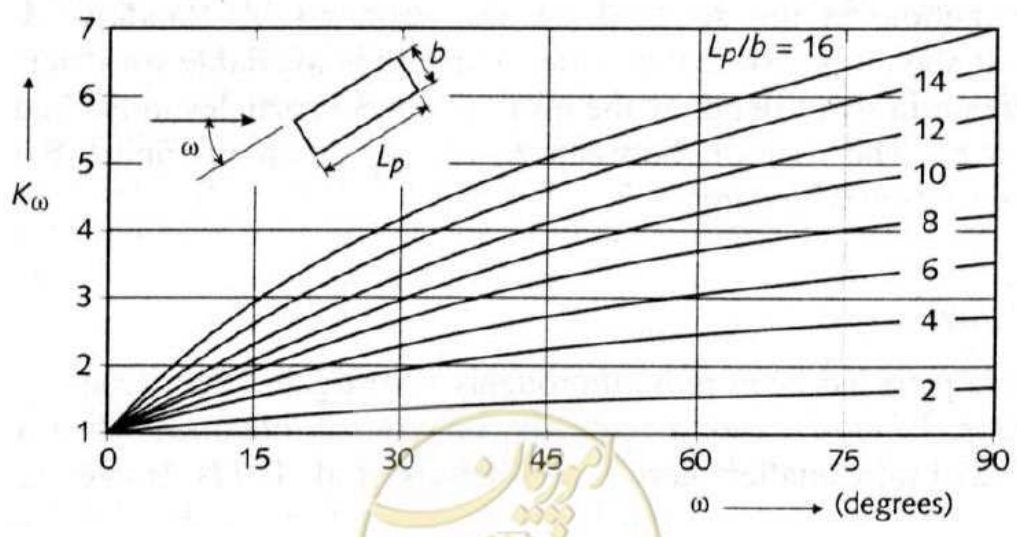
جدول ۴- شرایط استفاده از روابط تخمین عمق آبشستگی موضعی

شرایط آبشستگی	شن یا ماسه	عدد فرود $F=\frac{U}{\sqrt{gy}}$	D_{50}	رابطه مناسب
آب صاف	ماسه	-	-	۵-۱۰
حمل رسوب	ماسه	F<. /۵	-	۷-۱۰
		F>. /۵	-	۶-۱۰ یا ۷-۱۰ هر کدام که مقدار بیشتری را نشان داد.
		F<. /۳	۰/۰۰۱<D_{50}<۰/۰۰۴	۸-۱۰ و ۹-۱۰
آب صاف	شن	-	-	۱۱-۱۰
حمل رسوب	شن	-	-	۱۰-۱۰

۹-۱-۲-۲- آبشستگی اطراف پایه‌های غیر استوانه‌ای

آبشستگی در پایه‌های غیر استوانه‌ای با اعمال ضرایبی در رابطه آبشستگی اطراف پایه های استوانه‌ای بدست می‌آید. در حقیقت آبشستگی در اطراف پایه‌های غیر استوانه‌ای علاوه بر موارد گفته شده در مورد پایه‌های استوانه‌ای تابع دو عامل دیگر یعنی جهت جریان و یا به عبارتی زاویه برخورد با پایه و دیگری نسبت طول به عرض پایه می‌باشد. پایه‌های غیر استوانه‌ای را می‌توان با دماغه‌ای تیزتر از پایه استوانه‌ای طراحی کرد و دماغه تیز قدرت گرداب نعل اسب را کاهش می‌دهد و در نتیجه عمق آبشستگی کمتر می‌گردد. از طرفی پایه‌های با دماغه پهن‌تر دارای آبشستگی بیشتر می‌باشند.

با اعمال دو ضریب K_ω و K_s در روابط مربوط به آبشستگی پایه های‌استوانه‌ای، رابطه جهت پایه غیر استوانه‌ای بدست می‌آید که K_ω مربوط به اثر زاویه برخورد آب با پایه و K_s ضریب شکل پایه پل است که در شکل ۲۸ و جدول ۵ آورده شده است.



شکل۲۸ جهت تعیین ضریب K_ω

omoorepeyman.ir

جدول ۵ جهت تعیین ضریب K_s

شکل پایه در پلان	نسبت طول به عرض	K_s
استوانه ای	۱	۱
عدسی	۲	۰/۹۱
	۳	۰/۷۶
	۴	۰/۶۷
	۷	۰/۴۱
دماغه سهموی	-----	۰/۸
مثلثی ۶۰ درجه	-----	۰/۷۵
مثلثی ۹۰ درجه	-----	۱/۲۵
بیضوی	۲	۰/۹۱
	۳	۰/۸۳
طاقدیسی	۴	۰/۸۶
مستطیلی	۲	۱/۱۱
	۴	۱/۴
	۶	۱/۱۱

۹-۱-۲-۳- آبشستگی اطراف کوله پل‌ها

مقدار عمق آبشستگی اطراف دیواره های جانبی پل توسط افراد متعددی مورد بررسی قرار گرفته شده است. اغلب معادلات ارائه شده بر مبنای اطلاعات بدست آمده از مدل های آزمایشگاهی می باشد. لارسن دو رابطه برای حداکثر عمق آبشستگی پای دیواره جانبی پل (به صورت قائم) پیشنهاد کرده است:

$$\frac{d_s}{d_o} = 1.5 \cdot \left(\frac{L}{d_o}\right)^{0.48} \qquad \text{اگر } (\tau_o > \tau_c) \qquad (۴۳)$$

$$\frac{L}{d_o} = 2.75 \cdot \left(\frac{d_s}{d_o}\right) \cdot \left[\frac{(d_s/(11.5d_o)+1)^{7/6}}{(\tau_o/\tau_c)^{0.5}} - 1\right] \qquad \text{اگر } (\tau_o < \tau_c) \qquad (۴۴)$$

لارسن پیشنهاد کرد که چنانکه دیواره قائم نباشد و به صورت شیب دار باشد در آنصورت d_s محاسبه شده از روابط فوق در ضریب ۰/۸ ضرب شود تا مقدار عمق آبشستگی در دیواره های شیب دار به بدست آید.

۹-۱-۳- تخمین عمق فرسایش در اثر تنگ شدگی

این نوع فرسایش بر اثر تنگ‌شدگی مقطع جریان بدلیل احداث آبشکن یا کوله پل بوجود می‌آید. نظر به اینکه در فرسایش تنگ شدگی تغییرات موضعی سرعت در مقطع رودخانه در ایجاد گردابه‌های مختلف نقش اصلی را بازی می‌کند، لذا مدل

omoorepeyman.ir

سازی عددی این پدیده با استفاده از مدل های کامپیوتری دو بعدی بسیار مفید است. با این وجود، روابط تجربی وتحلیلی نیز جهت تعیین عمق فرسایش وجود دارد.

برای تخمین آبشستگی در اثر تنگ شدگی می توان از معادله حاکم بر حرکت رسوب و معادله مقاوم در مقابل جریان استفاده کرد. با کاربرد معادله شوکلیچ به عنوان معادله حاکم بر حرکت رسوب و همچنین استفاده از معادله مانینگ در نهایت رابطه زیر جهت تعیین عمق آبشستگی بدست می‌آید.

$$\left(\frac{ds}{d_1}\right)=\left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{3.5}-1 \qquad (۴۵)$$

روش دیگر استفاده از تئوری استراب (Straub) می‌باشد. در این تئوری فرض می‌شود که در اثر تنگ شدگی، فرسایش بستر شروع شود و این فرسایش تا جایی که تنش برشی در بستر برابر تنش برشی بحرانی باشد ادامه پیدا می‌کند. با استفاده از این تئوری رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{d_s}{d_1}=\left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\frac{6}{7}}\left(\frac{\tau_1}{\tau_2}\right)^{\frac{3}{7}} \qquad (۴۶)$$

لازم به ذکر است که مطالب بیشتری درخصوص تعیین عمق آبشستگی بهمراه مثالهای متعدد در نشریه شماره ۳۰۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور آمده است که جهت مطالعه بیشتر بسیار ارزشمند است.

۹-۲- آبشستگی در مصالح چسبنده

رسوبات چسبنده، رسوباتی هستند که بین ذرات آنها پیوند و چسبندگی وجود داشته باشد. چنانچه ۸۰ تا ۹۰ درصد رسوبات یک منطقه از ۰/۰۷۵ میلیمتر(الک شماره ۲۰۰) کوچکتر باشند، رسوبات چسبنده نامیده می‌شود. خاصیت چسبندگی این رسوبات ناشی از نیروهای الکتروشیمیائی بین ذرات می‌باشد. این نیروها که نیروهای غالب بین ذرات است، از لحاظ مقدار از نیروی وزن ذرات بزرگتر می باشند و ضمناً با بسیاری از عوامل محیطی رسوبات و ترکیبات آنها مرتبط هستند. همین مسأله سبب پیچیدگی در بررسی پدیده‌های هیدرولیکی مربوط به رسوبات چسبنده، از جمله آستانه حرکت ذرات شده است.

در مورد این رسوبات به علت دخالت ماهیت شیمیائی ذرات در پروسه حرکت و ته‌نشینی، که خود با بسیاری از عوامل فیزیکی- شیمیائی آب و رسوبات مر تبط است، پیدا کردن شرایط کلی برای آستانه حرکت این رسوبات بسیار مشکل است. لذا پیدا کردن شرایط هیدرولیکی در لحظه شروع حرکت این رسوبات، وابسته به انجام آزمایشهای فیزیکی و کارهای آزمایشگاهی می‌باشد.

در مورد آبشستگی بسترهایی که از مصالح چسنده تشکیل شده‌اند، تحقیقات نسبتاً کمی انجام شده است. اما واقعیت اینست که مصالح چسبنده در مقایسه با مصالح غیر چسبنده در برابر آبشستگی مقاوم‌ترند. البته این موضوع به معنای کمتر بودن عمق آبشستگی نیست. بلکه در مصالح چسبنده مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا عمق آبشستگی کامل حاصل شود. به عنوان مثال پل سوهاری گریک در ایالات متحده که بستر آن از نوع مصالح چسبنده بود، ناشی از آبشستگی ایجاد شده طی دوره‌ای ده ساله تخریب شد.

omoorepeyman.ir

بعضی روشهای تئوری به نیروهای اعمالی بر ذرات رسوب در معرض جریان پرداخته و زمان رخداد اولین حرکت ذرات و شروع فرسایش را تخمین می‌زنند. اما این روش‌ها برای مصالح چسبنده یا بستر یخی قابل استفاده نیستند. زیرا اگر بستر از نوع مصالح چسبنده اشباع باشد، ممکن است به جای یک ذره در یک زمان، یک توده بهم چسبیده در یک زمان از بستر جدا شده و حرکت کند. با این وصف به دلیل عدم وجود معادلات خاص برای خاکهای چسبنده بهتر است از معادلات مخصوص خاکهای غیر چسبنده که در بخشهای قبلی توضیح داده شد، استفاده کرد.

با توجه به پیچیده بودن ماهیت رسوبات چسبنده، رنج وسیعی از تنش برشی بحرانی برای آنها پیشنهاد شده است. در جدول ۶ نمونه‌ای از تحقیقات انجام شده ارائه شده است.

جدول ۶- تنش برشی بحرانی اندازه‌گیری شده در رس

نویسنده	رنج تنش برشی بحرانی (نیوتن بر مترمربع)
Dunn (1959)	۲۵-۲
Enger et al. (1968)	۱۰۰-۱۵
Hydrotechnical Construction, Moscow (1936)	۲۰-۱
Lyle and Smerdon (1965)	۲/۲۵-۰/۳۵
Smerdon and Beasley (1959)	۵-۰/۷۵
Arulanandan et al. (1975)	۴-۰/۱
Arulanandan (1975)	۲/۷-۰/۲
Kelly and Gularte (1981)	۰/۴-۰/۰۲

رابطه زیر جهت تخمین عمق آبشستگی در خاکهای چسبنده پیشنهاد شده است.

$$d_s = 0.18\left(\frac{VD}{\nu}\right)^{0.635} \quad (۴۷)$$

V سرعت جریان در محل پایه است.

۱۰- روش‌های مقابله با آبشستگی

وجود پایه و کوله پل در مسیر رودخانه جریان‌های سه‌بعدی را در مجاورت پایه یا کوله ایجاد می‌کند. این جریانها می‌تواند سبب ایجاد آبشستگی موضعی در محل پلها گردد. با افزایش آبشستگی، زیر پی پایه‌ها و کوله پل خالی شده و ممکن است منجر به واژگونی عرشه پل و یا در نهایت تخریب پل گردد. با استفاده از روشهای مختلف می‌توان نسبت به مهار آبشستگی اقدام کرد. روش‌های مختلفی برای مقابله با آبشستگی وجود دارد که در این قسمت به نحوه استفاده از ریپ رپ، گابیون و طوق محافظ اشاره می‌گردد.

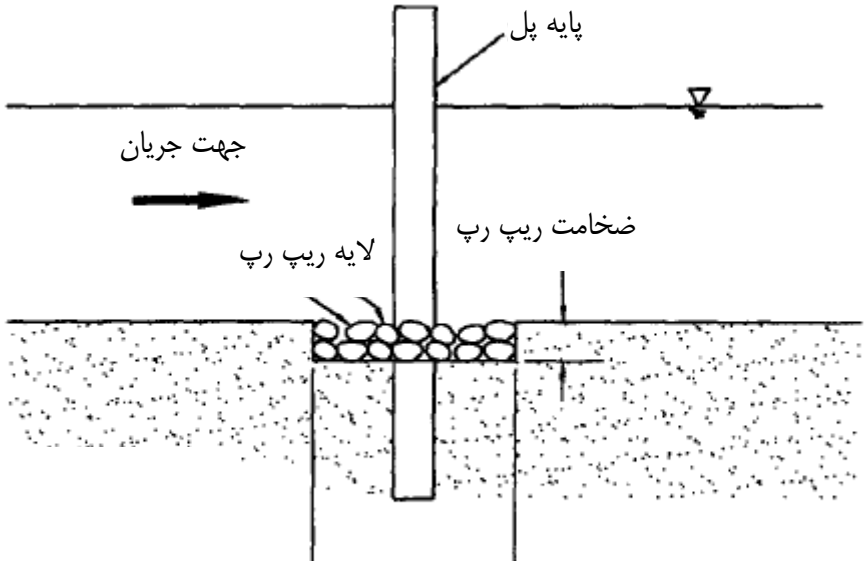
۱۰-۱- ریپ رپ

استفاده از ریپ رپ یکی از روشهای تثبیت بستر یا خاکریز کناره رودخانه است. اساس این روش بر پایه مقاوم سازی مصالح

omoorepeyman.ir

بستر توسط مصالحی تحت عنوان ریپ رپ (سنگ‌چین) است. جهت کاهش ریسک شکست پل در پلهای موجودی که در معرض آبشستگی قرار دارند از مصالح ریپ رپ با قابلیت مقابله با تنشهای برشی حاصل از جریان استفاده می‌گردد. مصالح مناسب جهت استفاده بعنوان ریپ رپ در اکثر رودخانه‌ها قابل استحصال است. همچنین اجرای ریپ رپ از سایر روشهای حفاظتی آسانتر است. لایه ریپ رپ شکل‌پذیر بوده و بعلت نشست و یا جابجایی سطح زیر آن دچار خرابی کامل نمی‌گردد. خرابیهای موضعی نیز در آن بسهولت رفع شده و از لحاظ دوام و مقاومت در سطح بالایی قرار دارد. نمای شماتیک لایه ریپ رپ در محل پایه پل در شکل ۱۲-۲۸ نشان داده شده است.

مصالح مورد استفاده بعنوان ریپ رپ باید از جنس مناسب و از نوع سنگ سالم بدون درز و ترک و مقاوم در مقابل فرسایش، هوازدگی، خشک و ترشدن و انجماد و ذوب مکرر باشند. سنگ‌های آذرین و دگرگونی حجیم و غیر لایه‌ای عموماً برای این منظور مناسبند. سنگهای آهکی و ماسه‌سنگ در صورتی که فاقد رگه‌های شیل و مارن بوده و متراکم و سخت باشند نیز مناسب خواهند بود(البته به شرط دارا بودن ابعاد قابل قبول). سایر سنگهای رسوبی مانند شیل، سنگ رس، لای و به طور کلی سنگهای آرژیلی و نیز سنگهای حاوی مواد انحلال پذیر(مانند سنگ گچ)، بعلت ضعف ذاتی‌شان برای استفاده در قشر ریپ رپ محافظ مناسب نیستند.



شکل ۲۹-نمای شماتیک لایه ریپ رپ در محل پایه پل

معمولاً سنگدانه‌های تیز گوشه کارایی بیشتری نسبت به سنگدانه‌های گردگوشه دارند، زیرا از نوع گردگوشه نمی‌توان در شیبهای بیشتر از ۳ (افقی): ۱ (عمودی) استفاده کرد. از سنگدانه‌های با سطح تخت نیز نمی‌توان در پوشش استفاده نمود. اگر از قطعات بتن شکسته به عنوانِ پوشش استفاده می‌گردد، توصیه می‌شود قطعاتی انتخاب شود که ضخامت آنها کمتر از ۰/۳۳ طول آنها باشد. مصالح دانه‌بندی شده ریپ‌رپ (غیر یکنواخت) بهتر از مصالح یکنواخت در مقابل فرسایش مقاوم هستند. همچنین مصالح شکسته مورد استفاده در بستر کارایی بالاتری دارند.

تراز فوقانی لایه ریپ رپ می‌بایست در تراز بستر یا پایین‌تر از آن قرار گیرد. منظور از تراز بستر در این مورد، تراز بستر بعد از آبشستگی است. برای حفظ ثبات و پایداری ریپ رپ و بمنظور جلوگیری از شسته‌شدن ذرات خاک از لابه‌لای قطعات

omoorepeyman.ir

سنگی درشت، لازم است این لایه روی یک لایه فیلتر متشکل از شن و ماسه با دانه‌بندی مناسب استقرار یابد. طراحی لایه محافظ ریپ‌رپ شامل انتخاب قطر، وزن و دانه‌بندی مصالح، ضخامت لایه و نیز طراحی فیلتر زیر لایه است.

برای محاسبه میزان مقاومت سنگدانه‌ها در مقابل فرسایش، دو روش متداول سرعت مجاز و نیروی برشی مجاز وجود دارد. برای محاسبه مقدار D_{50} برای پوشش ریپ رپ رابطه زیر ارائه شده است.

$$D_{50} = 0.00594 \frac{V_a^3}{d_{ave}^{0.5} \times k_1^{1.5}} \quad (۴۸)$$

$$k_1 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \phi}{\sin^2 \theta}} \quad (۴۹)$$

θ زاویه شیب خاکریز نسبت به افق و ϕ زاویه ایستایی دانه‌های ریپ رپ است.

هنگامی که از رابطه ۱۲-۴۸ در اطراف کوله‌های پل و خاکریز هدایت جریان در نزدیکی کوله‌ها استفاده می‌شود، باید از سرعت جریان در مجاورت کوله‌ها بجای سرعت متوسط استفاده شود. سرعت جریان در مجاورت کوله‌ها تابعی از نوع کوله و میزان تنگ شدگی رودخانه به دلیل ساخت پل است. توصیه شده است که با استفاده از سرعت متوسط جریان در رابطه ۱۲-۴۸ مقدار D_{50} محاسبه شده و در ضریب ۱/۸۴ ضرب شود.

روش دیگری که در تعیین اندازه ریپ رپ در محل کوله پل ارائه شده است بر مبنای عدد فرود جریان کار می‌کند. به اینصورت که اگر عدد فرود جریان در محل تنگ شدگی پل از ۰/۸ کمتر باشد رابطه زیر برقرار است.

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(S_s - 1)} \left(\frac{U^2}{gy} \right) \quad (۵۰)$$

K ضریب ثابتی است که برای کوله شیبدار برابر ۰/۸۹ و برای کوله قائم برابر ۱/۰۲ می‌باشد. S_s چگالی ذرات ریپ رپ است. اگر عدد فرود جریان در محل تنگ شدگی پل از ۰/۸ بیشتر باشد رابطه زیر برقرار است.

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(S_s - 1)} \left(\frac{U^2}{gy} \right)^{0.14} \quad (۵۱)$$

U و y به ترتیب سرعت و عمق جریان در محل تنگ شدگی پل است.

در رابطه فوق K برای کوله شیبدار برابر ۰/۶۱ و برای کوله قائم برابر ۰/۶۹ می‌باشد. رابطه زیر نیز برای تعیین اندازه ریپ رپ در محل پایه پل ارائه شده است.

$$D_{50} = \frac{1}{5.956\sqrt{y}} \left(\frac{U}{U' \sqrt{(S_s - 1)g}} \right)^3 \quad (۵۲)$$

$$U' = \frac{0.3}{A \times B} \quad (۵۳)$$

omoorepeyman.ir

$$A=\begin{cases}0.398\times Ln\left(\frac{D}{D_{50}}\right)-0.034\times\left[Ln\left(\frac{D}{D_{50}}\right)\right]^2 & 1\le\left(\frac{D}{D_{50}}\right)\prec 50\\ 1 & \left(\frac{D}{D_{50}}\right)\ge 50\end{cases} \quad (۵۴)$$

$$B=\begin{cases}0.783\times\left(\frac{y}{D}\right)^{0.322}-0.106 & 0\le\left(\frac{y}{D}\right)\prec 3\\ 1 & \left(\frac{D}{D_{50}}\right)\ge 3\end{cases} \quad (۵۵)$$

روابط فوق تنها برای پایه‌های دایره‌ای و مستطیلی و بدون تاثیر زاویه برخورد جریان کاربرد دارد. همچنین در روابط مذکور فرض گردیده که در بستر رودخانه هیچ حمل رسوبی وجود نداشته باشد. در حالتی که شرایط مفروض حاکم نباشد بایستی اندازه ریپ رپ را با نظر مهندس طراح افزایش داد.

توزیع مناسب دانه‌بندی سنگدانه‌های پوشش ریپ رپ در مقاومت آنها مؤثر است. بدین منظور توزیع دانه‌بندی طبق جدول ۷ پیشنهاد شده است. ضخامت مناسب لایه ریپ رپ نیز بر مقاومت آن تاثیر دارد. سنگهای بزرگ و تک افتاده منجر به تخریب پوشش می‌شود. معیارهایی را جهت محاسبه ضخامت لایه پوشش ریپ رپ باید مدنظر قرار داد. از جمله اینکه ضخامت لایه نباید از D_{100} یا D_{50} ۱/۵(هرکدام که بزرگتر باشد) کمتر باشد. همچنین حداقل ضخامت لایه ۳۰۰ میلی‌متر است. در مواقعی که ریپ رپ در زیر آب اجرا می‌شود بایستی به مقدار بدست آمده، ۵۰ درصد اضافه شود. در مواقعی که لایه ریپ رپ در شرایط برخورد آشغالهای شناور و قطعات یخ باشد یا در معرض امواج ناشی از باد، حرکت قایق و کشتی قرار گیرد، به مقدار ضخامت پوشش ۱۵۰ الی ۳۰۰ میلی‌متر اضافه می‌شود.

جدول۷- حدود توزیع دانه‌بندی ریپ رپ

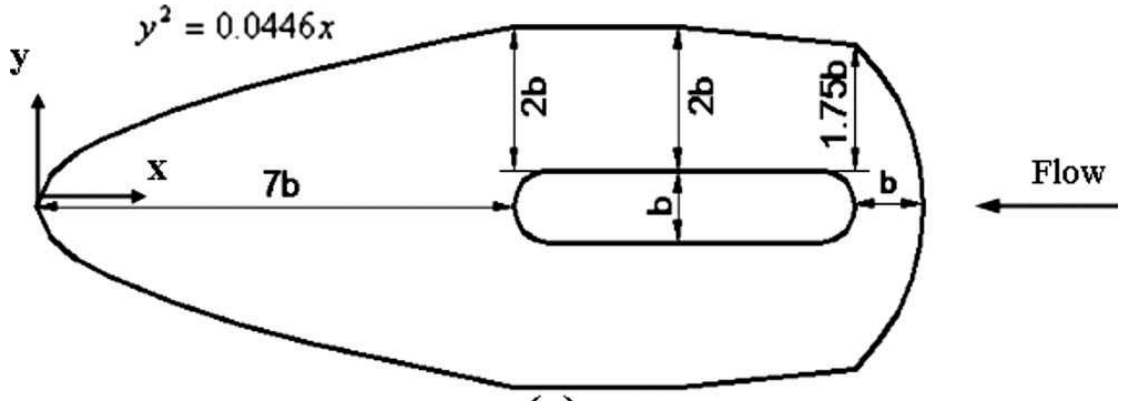
درصد دانه های کوچکتر از	دامنه وزن سنگدانه ها	دامنه ابعاد سنگدانه ها
۱۰۰	$3.0\ W_{50}$ ~$5.0\ W_{50}$	$1.5\ D_{50}$ ~$1.7\ D_{50}$
۸۵	$2.0\ W_{50}$ ~$2.75\ W_{50}$	$1.2\ D_{50}$ ~$1.4\ D_{50}$
۵۰	$1.0\ W_{50}$ ~$1.5\ W_{50}$	$1.0\ D_{50}$ ~$1.4\ D_{50}$
۱۵	$0.1\ W_{50}$ ~$0.2\ W_{50}$	$0.4\ D_{50}$ ~$0.6\ D_{50}$

برای حفظ ثبات و پایداری ریپ رپ و بمنظور جلوگیری از شسته شدن ذرات خاک از لابه‌لای قطعات سنگی درشت، لازم است این لایه روی یک لایه فیلتر متشکل از شن و ماسه با دانه‌بندی مناسب استقرار یابد. فیلتر یک لایه انتقالی از شن، سنگدانه‌های کوچک یا باریک است که بین پوشش ریپ رپ و خاک زیرین قرار می‌گیرد. فیلتر از انتقال ریزدانه‌ها از منافذ ریپ رپ جلوگیری می‌کند و بار ناشی از وزن سنگدانه‌ها را توزیع نموده و منجر به نشست یکنواخت خاکریز می‌شود. نسبت D_{15} لایه فوقانی به D_{85} لایه تحتانی بایستی کمتر از ۵ باشد. همچنین نسبت D_{15} لایه فوقانی به D_{15} لایه تحتانی بایستی از ۵ بزرگتر و از ۴۰ کمتر باشد.

omoorepeyman.ir

لازم به ذکر است فیلتر نسبت به ریپ رپ پوششی، لایه تحتانی و نسبت به خاکریز، لایه فوقانی محسوب می‌گردد. هرگاه استفاده از یک لایه فیلتر محدودیتهای ارائه شده را ارضا ننماید، استفاده از فیلتر چند لایه ضروریست. ضمناً نباید بیش از ۵ درصدِ مصالح فیلتر از الک شماره ۲۰۰ عبور نماید. ضخامت لایه فیلتر نیز بین ۱۵۰ الی ۳۸۰ میلیمتر در فیلترهای تک لایه و ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلیمتر برای هر لایه در فیلترهای چند لایه در نظر گرفته می‌شود.

مساحت تحت پوشش لایه ریپ رپ در اطراف پایه‌ای که مقطعش گرد است، دایره‌ای به قطر ۴ برابر قطر پایه توصیه شده است. همچنین مساحت پوشش لایه ریپ رپ در اطراف پایه مستطیلی در راستای جریان مطابق شکل ۳۰ پیشنهاد شده است. در این حالت نیز مساحت ریپ رپ با افزایش زاویه برخورد وسیع‌تر خواهد شد.



شکل ۳۰-سطح تحت پوشش لایه ریپ رپ در محل پایه‌های مستطیل شکل پل

۱۰-۲- گابیون

یکی از روش‌های مهار آبشستگی اطراف کوله‌ها و پایه‌های پل، استفاده از سازه‌های توری سنگی یا گابیونی است. گابیون پوششی متشکل از سبدهای سیمی مکعب مستطیل یا استوانه‌ای است که با سنگ پر می‌شوند. برای تهیه این‌گونه پوشش‌ها، سبدهایی را پر از سنگ کرده و با قفل نمودن، به آنها شکل داده می‌شود. در این سازه‌ها از سنگ و توری‌های فلزی استفاده شده است. در حقیقت توری‌های فلزی نقش پایداری سنگ‌های داخل آنرا بازی می‌کند. استفاده از این روش زمانی اهمیت پیدا می‌کند که سنگ‌هایی با اندازه‌های بزرگ و تیزگوشه برای محافظت از آبشستگی اطراف پایه و کوله وجود نداشته باشد و یا تهیه و حمل آن اقتصادی نباشد و بالاجبار از قلوه سنگهای موجود رودخانه‌ای استفاده شود. گابیون باید قدرت کافی برای کنترل وزن سنگ‌هایی را داشته باشد و بتواند در برابر فشارهای بالای جریان آب و فشار توده‌های خاک به خوبی مقاومت نماید. استفاده از سازه‌های گابیون معمولاً انعطاف‌پذیری بهتری نسبت به سازه‌هایی دارد که از مصالح بنایی، آجری، بتنی یا بلوک ساخته می‌شوند. جعبه‌های گابیون با مواد پرکنندهٔ مناسب نظیر قلوه سنگها پر شده و به کمک بست‌هایی به یکدیگر متصل می‌گردند و به شکل مناسب در کنارهٔ رودخانه بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند. این جعبه‌ها با ماشین یا بصورت دستی پر می‌شوند. پر کردن ماشینی گابیونها ارزانتر و سریعتر است اما دقت روش دستی را ندارد. در روش دستی معمولاً دیوار تمام شده ظاهر بهتری دارد. توری‌ها باید بطور کامل از مصالح پرکننده پر شده و مصالح به خوبی درون آن قرار گیرند. به طوری که فضای خالی میان سنگها به حداقل برسد. امکان جابجا شدن سنگ‌ها نیز باید کم باشد.

اگر سایش یا سایر عوامل خارجی سبب تخریب روکش گالوانیزهٔ سیمها یا تخریب خود سیمها شود عمر گابیون به شدت کاهش می‌یابد. همچنین امکان خوردگی توریها در آبهای با PH (اسیدیته) زیر ۷ یا بالای ۱۲ وجود دارد. بنابراین می‌توان

omoorepeyman.ir

برای جلوگیری از خوردگی از روکش پلی وینیل کلراید برای سیم‌ها استفاده کرد. آبهای شور و آبهای آلوده (نظیر آبهای آلوده به فاضلاب صنعتی یا خانگی) موجب خوردگی سیمهای گالوانیزه می‌شوند. سایش، خوردگی و عوامل انسانی از جمله عوامل اصلی محدود کننده عمر سازه‌های گابیون می‌باشند.

برخی ملاحظات برای طراحی سازه گابیونی به قرار زیر است:

۱- اندازه چشمه‌های گابیون می‌بایست از حداقل قطر سنگدانه‌های مورد استفاده کمتر باشد تا سنگها بطور کامل توسط توری فلزی محافظت شوند.

۲- توریهای فلزی باید خاصیت ضد زنگ داشته باشند.

۳- در حین اجرای سازه گابیون جعبه‌های آن بصورت محکم بسته شوند.

۴- در حین بکارگیری گابیون در کف بستر و یا برای محافظت دیواره‌ها با توجه به مصالح زیرین می‌بایست یک و یا چند لایه فیلتر استفاده شود تا مصالح زیرین از داخل خلل و فرج آن شسته نشود.

۵- در حین استفاده از سازه گابیون برای محافظت خاکریزهای جانبی پلها می‌بایست پایداری خاکریزها مورد بررسی قرار گیرد.

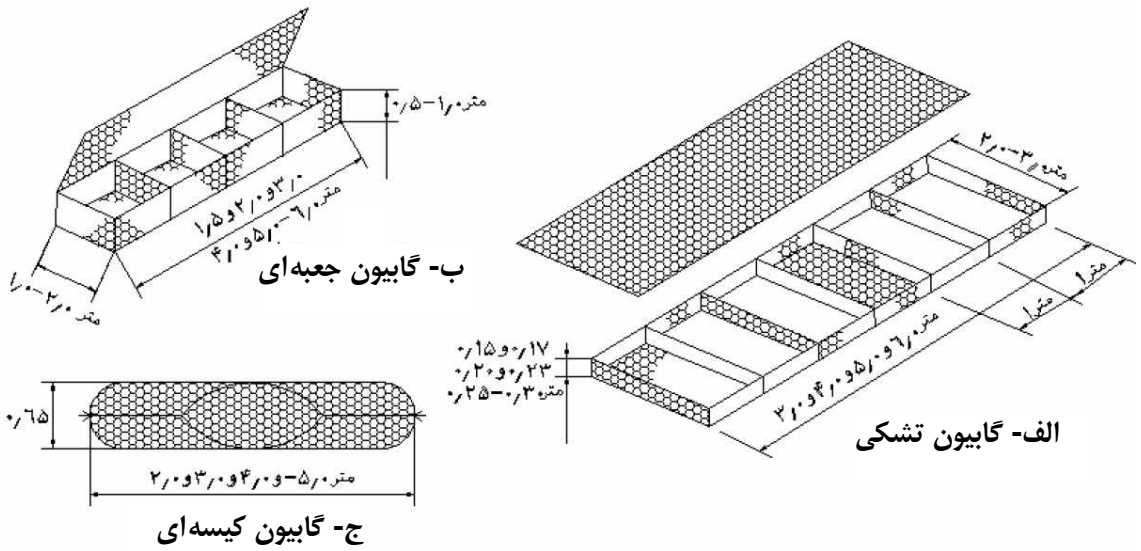
۶- برای بدست آوردن قطر سنگدانه مورد استفاده و یا اندازه گابیون، سرعت طراحی معمولاً دو برابر سرعت جریان بالادست پل در نظر گرفته می‌شود.

عموماً از این نوع سازه‌ها در جاهایی استفاده می‌شود که اندازه سنگ‌های موجود و قابل دسترس، در حد استفاده در ریپ رپ نباشد. معمول‌ترین نوع تخریب این‌گونه پوشش‌ها، پارگی سبدها است. وقتی سبدها پاره می‌شوند، سنگ‌های درون سبدها توسط جریان آب شسته و برده می‌شوند. نوع دیگر تخریب در مواردی مشاهده شده است که سبدهای گابیون در سطوح پرشیب و با سرعت جریان زیاد بکار برده می‌شوند. در چنین شرایطی، سنگ‌های درون سبدها به سمت پایین دست حرکت کرده و باعث تغییر شکل سبدها می‌گردند. پوشش‌های گابیونی معمولاً به سه صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱۰-۲-۱- گابیون تشکی

واحدهای گابیون مستقل به صورت جعبه‌هایی با ضخامت کم و طول زیاد در کنار هم قرار می‌گیرند تا یک تشک انعطاف‌پذیر روی کف یا کناره بستر رودخانه‌ها و سطوح شیبدار دیگر مانند خاکریزهای دیوار هدایت تشکیل دهند. سبدهای گابیونی تشکیل دهنده تشک، دارای عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و عرض ۲ تا ۳ متر و طول ۳ تا ۶ متر هستند (شکل۳۱).

omoorepeyman.ir



شکل ۳۱- انواع مختلف گابیون

تحت شرایط هیدرولیکی یکسان یک گابیون تشکی به ضخامت کمتری نسبت به پوششهای سنگی دیگر نیاز دارد. تعیین ضخامت گابیون تشکی با سرعت و تنش برشی جریان مرتبط است. در این رابطه، دو شرایط اساسی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد:

الف- حرکت اولیه سنگها درون گابیون تشکی

ب- شرایطی که شکل تشک در اثر حرکت سنگ تغییر یافته ولی تشک تخریب نشده است.

تحقیقات نشان دادند که گابیون تزریق نشده به ضخامت ۲۳ سانتی‌متر قابلیت مقاومت در مقابل سرعتهای زیاد را دارد. تزریق بتن یا آسفالت داخل توری باعث افزایش سرعتهای مجاز می‌گردد. قابل توجه است که مقاومت سیمهای شبکه نقش اساسی در مهار پایداری تشکها دارد. اندازه سنگهای پرکننده باید یکنواخت‌تر از ریپ رپ باشد. کوچکترین اندازه باید بزرگ-تر از بازشدگی شبکه گابیون باشد. اما بزرگترین اندازه سنگها باید به اندازه کافی کوچک باشد تا خلل و فرج بزرگ بین سنگها را به حداقل برساند. قلوه سنگهای کف بستر رودخانه معمولاً به منظور کاهش هزینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. تزریق درون شبکه گابیون با آسفالت یا بتن باعث به حداقل رساندن خوردگی و خراش می‌گردد. در شرایطی که امکان خوردگی و یا خراشیدگی شبکه تورها زیاد است، باید از کاربرد شبکه گابیون با توجه به ویژگیهای آن مطمئن شد. حتی در نواحی که به دلیل کیفیت آب، ممکن است بگونه‌ای سیمهای گالوانیزه دچار خوردگی گردد، استفاده از پوشش پلی وینیل کلراید روی سیم‌ها توصیه می‌شود.

۱۰-۲-۲- گابیون جعبه‌ای یا بلوکی

گابیونهای بلوکی، دارای سبدهای با عمقی تقریباً معادل با عرض آن می‌باشند. این‌گونه پوشش‌ها، معمولاً به صورت مستطیلی یا ذوزنقه‌ای است و اغلب در یک الگوی پلکانی، شکل داده می‌شوند (شکل۳۱). از این نوع گابیونها اغلب برای احداث دیوار هدایت آب استفاده می‌گردد.

omoorepeyman.ir

استفاده از اینگونه پوششها بدلیل شکل جعبه‌ای و یا مکعب مستطیلی آنها، بجز در مجاورت شیبهای تند، چندان معمول نیست و عموماً گابیونهای تشکی کاربرد بیشتری دارند. چرا که دارای انعطاف‌پذیری بیشتر بوده و به حجم کمتری از سنگ نیاز دارند. طرح گابیونهای جعبه‌ای معمولاً توسط کارخانه‌های سازنده ارائه می‌شود.

گابیونهای جعبه‌ای برای حفاظت کف بستر رودخانه و در محیطهای با شدت زیاد اغتشاش جریان نظیر پایین‌دست کالورتها، بندها، سرریزها و ... کاربرد زیادی دارند. به منظور طراحی گابیونهای جعبه‌ای در این وضعیت، رابطه زیر برای تعیین اندازه سنگها مناسب است.

$$D_{50} = C\frac{U_b^2}{Sg(S-1)} \qquad (۵۶)$$

در معادله فوق که برای گابیونهای جعبه‌ای و تشکی با ضخامت ۳۰۰ میلی‌متر ارائه شده است، مقدار C به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$C = 12.3Ti - 1.65 \qquad (۵۷)$$

مقادیر شدت اغتشاش Ti برای شرایط مختلف جریان با استفاده از جدول زیر قابل استحصال است.

جدول ۸- سطح مختلف اغتشاش

موقعیت	سطح اغتشاش	
	کیفی	شدت اغتشاش
بازه‌های مستقیم و خمهای ملایم	نرمال (پایین)	۰/۱۲
گوشه‌های پوششها در بازه‌های مستقیم	نرمال (شدید)	۰/۲
پایه‌های پل، آب شکنها، تبدیلها	متوسط تا شدید	۰/۳۵-۰/۵
پایین دست سازه‌های هیدرولیکی (سرریزها، کالورتها، حوضچه‌های آرامش)	خیلی شدید	۰/۶

رابطه دیگری که به رابطه پیلارزیخ معروف است، به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$D_{50} = \frac{A\times 0.035}{\Delta\times\varphi_{cr}} K_T K_h K_s^{-1}\frac{U_d^2}{2g} \qquad (۵۸)$$

$$K_s = \cos\alpha\times\sqrt{1-\left(\frac{\tan\alpha}{\tan\phi}\right)^2}\times\frac{\sin(\phi-\beta)}{\sin\phi} \qquad (۵۹)$$

A ضریب تصحیح پایداری که برابر ۰/۷۵ برای حفاظت پیوسته و بین ۱ تا ۱/۵ برای حفاظت گوشه‌ها و تبدیلها می‌باشد، φ_{cr} ضریب پایداری برابر ۰/۰۷، K_T ضریب اغتشاش که مقدار آن برای اغتشاش نرمال رودخانه معادل ۱ و برای اغتشاش شدید جریان ۱/۵ تا ۲ می‌باشد. K_h ضریب عمق است که بصورت $K_h = \left(\frac{D_{50}}{y}\right)^{0.2}$ قابل تعریف می‌باشد. در این رابطه y عمق آب در محل پنجه کناره و ϕ, β, α به ترتیب شیب کناره، شیب طولی رودخانه و زاویه اصطکاک داخلی

omoorepeyman.ir

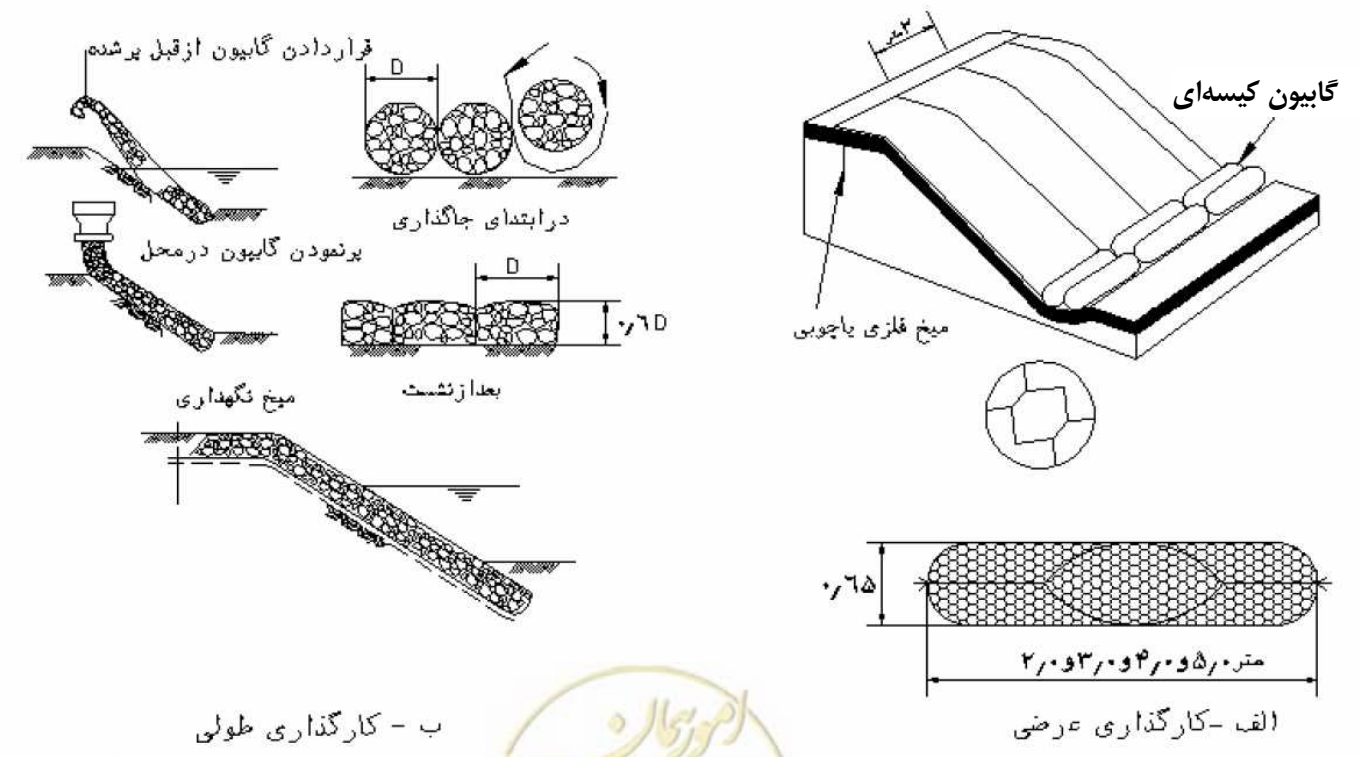
ذرات است. U_d سرعت متوسط در عمق است. رابطه ۱۲-۵۸ بعلت وجود D_{50} در دوطرف معادله می‌بایست به صورت سعی و خطا حل گردد.

۱۰-۲-۳- گابیون کیسه‌ای

گابیون کیسه‌ای از توریهای استوانه‌ای شکل تشکیل شده و با قطعات و اجسام سنگین مانند سنگ، قطعات بتنی و آجر پر می‌شود. انعطاف پذیری از خصوصیات لازم برای توریهای آن است تا بر روی سطوح ناهموار قابل تطبیق باشند. جنس توریها از سیمهای گالوانیزه و یا نایلون است. از این نوع گابیون برای حفاظت پنجه شیبها با قرار دادن کیسه در امتداد کناره و در راستای جریان رودخانه استفاده می‌شود. کیسه‌های توری ابتدا با سنگ و دیگر قطعات پر شده و سپس به وسیله جرثقیل در محل مناسب آن در خشکی یا در زیر سطح آب کار گذاشته می‌شود.

گابیونهای کیسه‌ای را می‌توان جهت ایجاد پوشش روی شیب کناره قرار داد. معمولاً کارگذاری کیسه‌ها به دو صورت طولی و عرضی انجام می‌شود که در شکل زیر نشان داده شده است. کیسه‌های گابیونی به شکل سوسیس مانند از سنگ پر می‌شوند و سپس در محل موردنظر جاگذاری می‌گردند. کارگذاری کیسه به صورت عرضی معمولاً برای پنجه خاکریزها استفاده می‌شود.

کیسه‌های گابیون از جنس گالوانیزه و یا پلیمرهای فشرده هستند و در صورتی که از کیسه گالوانیزه استفاده شود، چنانچه PH آب رودخانه کمتر از ۷ و یا بیشتر از ۱۲ باشد، بایستی توریها با مواد PVC پوشش داده شوند. قطر کیسه‌ها در حدود ۶۰ سانتی‌متر و طول آن از ۲ تا ۵ متر متفاوت می‌باشد.



شکل ۳۲- کاربرد و مشخصات گابیون کیسه‌ای

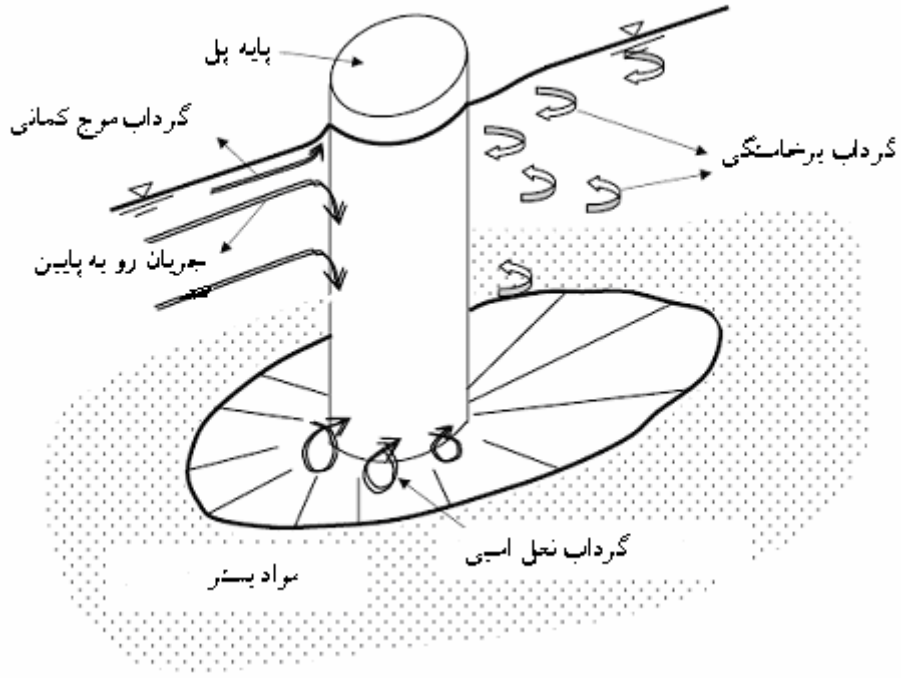
omoorepeyman.ir

۱۰-۳- طوق محافظ

بر اساس تحقیقات انجام یافته در زمینه مکانیزم آبشستگی، جریان نزدیک شونده به پایه پل در اثر برخورد به آن متوقف می‌شود. بدلیل وجود مؤلفه عمودی سرعت، یک گرادیان فشار عمودی در جلوی پایه شکل می‌گیرد و گرادیان فشار ایجاد شده، جریان رو به پائینی را در جلوی پایه ایجاد می‌کند.

جریان رو به پایین عامل اصلی آب شستگی اطراف پایه می‌باشد. این جریان مانند یک جت عمودی، رسوبات بستر را از جای خود خارج می‌کند. تشکیل گودال‌های موضعی آبشستگی در اطراف پایه‌های پل در رودخانه‌های دارای بستر آبرفتی یک امر اجتناب ناپذیر است و طراحان پلها باید تمهیداتی بیاندیشند که این پدیده باعث تخریب پل نشود.

جریانهای رو به پایین پس از برخورد به بستر در جلوی پایه گودالی را حفر می‌کنند که در داخل این گودال جریانهای چرخشی ایجاد گردیده و باعث می‌شود که عمق حفره بتدریج افزایش یافته و تا رسیدن به وضعیت تعادل ادامه یابد. این جریانهای چرخشی درون حفره جلوی پایه، بتدریج بطرفین پایه امتداد پیدا می‌کند و در پلان شکلی شبیه به نعل اسب به خود می‌گیرد. به همین دلیل این جریان‌ها به گردابه‌های نعل اسبی موسومند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبشستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند. در شکل ۳۳ جریان و الگوی آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل نشان داده شده است.



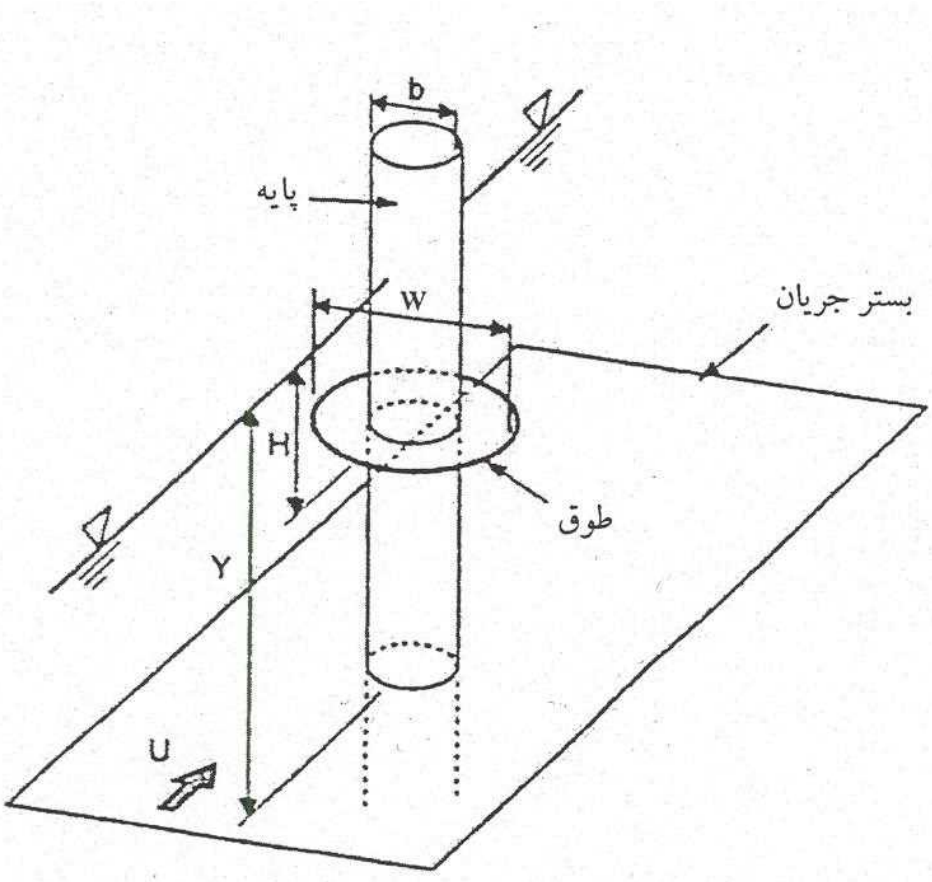
شکل ۳۳- جریان و الگوی آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل

یکی از روشهای تثبیت غیر مستقیم بستر اطراف پایه‌ها و کوله‌های پل، استفاده از طوق محافظ است. در شکل ۳۴ نمونه‌ای از کاربرد طوق در فاصله H از تراز سطح آزاد آب نشان داده شده است. طوق، یک صفحه صاف به ضخامت خیلی کم است که اطراف پایه یا کوله پل در بستر نصب می‌گردد. طوق نباید خیلی ضخیم باشد، چرا که ضخامت زیاد آن، سبب ایجاد مانع در برابر جریان شده و آبشستگی را افزایش می‌دهد.

omoorepeyman.ir

با نصب طوق در اطراف پایه و کوله پل، از برخورد مستقیم جریان رو به پایین به بستر و فرسایش ناشی از آن در اطراف پایه و کوله جلوگیری می‌گردد. استفاده از این روش در برخی موارد سبب کاهش عمق آبشستگی خواهد شد. علاوه بر آن استفاده از طوقهایی به عرض سه برابر عرض پایه زمان رسیدن به تعادل(حداکثر عمق آبشستگی) را بمراتب افزایش می‌دهد.

در برخی موارد بعلت مشکلات اجرایی طوق در ترازی بالاتر از بستر نصب می‌گردد که همان مقدار جریان عبور کننده از زیر طوق سبب ایجاد جریان رو به پایین شده و منجر به آبشستگی بستر می‌گردد. توصیه می‌شود طوق در تراز بستر یا اندکی پایین‌تر از آن نصب شده تا کارایی حداکثر داشته باشد.



شکل ۳۴- استفاده از طوق در اطراف پایه استوانه‌ای شکل

در صورتیکه طوق در تراز بستر نصب گردد، سطح بستر درست در نزدیکی سازه بوسیله آن محافظت می‌گردد اما در پشت پایه آبشستگی رخ داده و حفره آبشستگی در عقب پایه ایجاد می‌شود. این حفره بتدریج خود را به سمت بالادست پایه کشیده و در اطراف طوق توسعه می‌یابد. سپس آبشستگی مانند حالت بدون طوق ولی با شدت کمتر توسعه می‌یابد. میزان خالی شدن زیر طوق به ابعاد طوق و میزان تنش برشی وارد بر بستر (سرعت جریان) بستگی دارد.

در صورتیکه تنش برشی بالادست پایه‌ها در آستانه حرکت ذرات کف باشد، می‌توان نتیجه گرفت که وقتی طوق با قطر سه برابر قطر پایه گرد و عرض سه برابر عرض پایه مستطیلی در اطراف پایه و در سطح بستر نصب گردد، عمق حداکثر آبشستگی ۲۵ درصد کاهش پیدا کرده و زمان شروع پیشرفت آبشستگی به تاخیر می‌افتد. گرچه عملکرد طوق در کاهش عمق آبشستگی چشمگیر نیست اما تاخیر شروع آبشستگی در اطراف پایه و کوله سبب می‌شود که در رنج وسیعی از

omoorepeyman.ir

سیلابهای گذرنده از مقطع پل در مقابل شروع آبشستگی مقاومت کند. استفاده همزمان از دو طوق نیز می‌تواند به کاهش بیشتر عمق آبشستگی کمک کند. به طور مثال اگر یک طوق در سطح بستر و طوق دیگری به اندازه ۰/۶ عرض پایه در زیر آن نصب گردد، عمق آبشستگی در شرایط آستانه حرکت تا حد ۴۵ درصدکاهش یافته و شروع آبشستگی در زیر طوق دوم اتفاق نمی‌افتد.

در مواردی که مقدار تنش برشی بستر کمتر باشد (مثلا در سیلاب دشتها)، استفاده از طوقهای محافظ مؤثرتر است. توصیه شده که تراز مبنای نصب طوق در بستر، تراز بعد از آبشستگی در اثر تنگ‌شدگی باشد. اگر زمان تداوم هیدروگراف دبی طراحی پل کوتاه بوده و تنش برشی ایجاد شده در بستر بالادست، در دبی طراحی از ۹۵ درصد تنش برشی آستانه حرکت ذرات کمتر باشد، استفاده از طوقی به قطر سه برابر عرض پایه توصیه شده است. اگر زمان تداوم هیدروگراف دبی طراحی پل طولانی باشد و تنش برشی بستر بالادست در دبی طراحی از ۹۵ درصد تنش برشی آستانه حرکت ذرات کمتر باشد، علاوه بر طوق فوق استفاده از طوق دیگری با همان اندازه و در فاصله ۰/۶ برابر عرض یا قطر پایه در زیر طوق اولی نیز پیشنهاد می‌گردد.

استفاده از طوق محافظ در مواردی که تنش برشی بستر بالاتر از آستانه حرکت باشد توصیه نمی‌شود. در مواردی که پایه مستطیلی بصورت مایل در مقابل جریان قرار گیرد، اثر استفاده از طوق محافظ کاهش پیدا می‌کند. در چنین مواردی آبشستگی موضعی قطعاً افزایش پیدا خواهد کرد.

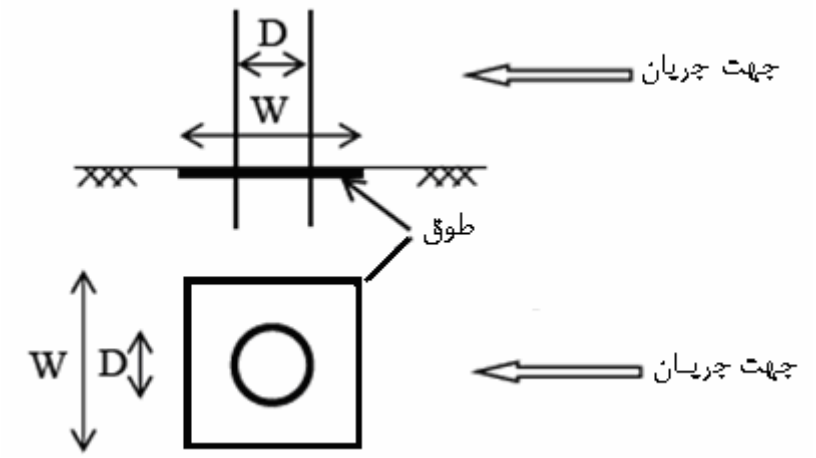
طوقها با ابعاد مختلف در کاهش آبشستگی موضعی پایه‌های پل استوانه‌ای شکل موثرند.لذا معادله زیر را برای تعیین ماکزیمم عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل که توسط طوق محافظت شده است، ارائه می‌شود.

$$\left(\frac{ds_p - ds_c}{ds_p}\right) = 0.057 \times \left(\frac{B}{b}\right)^{1.612} \times \left(\frac{H}{Y_0}\right)^{0.837} \qquad (۶۰)$$

B قطر طوق، b قطر پایه، H فاصله طوق تا سطح آزاد آب و Y_0 عمق جریان است.

علاوه بر طوقهای دایره‌ای شکل می‌توان از طوقهای مستطیل شکل نیز استفاده کرد. در شکل ۳۵ نمونه‌ای از این طوقها نشان داده شده است. در طوقهای مستطیل شکل با افزایش عرض طوق کارایی آن در کاهش عمق آبشستگی و افزایش زمان تعادل بیشتر می‌گردد. نتایج آزمایشها نشان داده است طوقی که اندازه‌اش به اندازه ۱/۵ برابر قطر پایه باشد، تاثیر قابل توجهی در کاهش عمق آبشستگی ندارد و به نظر میرسد که حداقل عرض لازم برای طوق به منظور کاهش آبشستگی باید دو برابر قطر پایه باشد. طوقهای نصب شده در زیر و روی سطح بستر مؤثرتر از طوقهای قرار گرفته در بالای بسترند. همچنین نتایج نشان داد که طوقهای مستطیلی در مقایسه با طوقهای دایره‌ای شکل، تأثیر بیشتری بر پراکنده سازی و تضعیف عملکرد گردابه‌ای ایجاد شده در اطراف پایه دارند.

omoorepeyman.ir



شکل ۳۵- مدل پایه استوانه‌ای و طوق مستطیلی شکل در اطراف آن

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Guide To Bridge Hydraulics

No. 387

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs
Department of Technical and Execution Affairs

Nezamfanni.ir

The Ministry of Road & Urban Development

Road, Housing & Urban Development Research Center

bhrc.ac.ir

2015

omoorepeyman.ir

این ضابطه :

شامل مطالعات اولیه مورد نیاز جهت طراحی هیدرولیکی پل‌ها، بررسی نحوه تاثیر پل بر جریان رودخانه، بررسی عوامل تاثیرگذار بر عملکرد هیدرولیکی پل، نحوه محاسبه دبی، تحلیل جریان عبوری از پایه‌های پل. محاسبه نیروهای وارده بر پایه پل ها. تحلیل عبور جریان از روی خاکریزها، روش‌های اصلاح جریان عبوری از محل پل، ارائه روش‌های محاسباتی میزان آبشستگی و روش‌های مقابله با آبشستگی است.

omoorepeyman.ir