

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

# دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آبشستگی پل

نشریه شماره ۳۰۲

وزارت راه و ترابری  
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری  
پژوهشکده حمل و نقل

معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و  
کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

### فهرست برگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله  
**دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آبشستگی پل / معاونت امور فنی، دفتر امور فنی،**  
تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و  
فناوری، پژوهشکده حمل و نقل. - تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری،  
مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۱۳۸۴.

۱۴۳ ص. مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش  
خطرپذیری ناشی از زلزله؛ نشریه شماره ۳۰۲) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛  
۸۴/۰۰/۷۶)

ISBN 964-425-663-8

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۶۹۵۳۶ مورخ ۱۳۸۴/۴/۲۱  
کتابنامه: ص. ۱۴۰-۱۴۳

۱. فرسایش پلها. ۲. پلها - پی و پایه. ۳. پل و پل سازی - طرح و ساختمان. الف. ایران. وزارت راه  
و ترابری. پژوهشکده حمل و نقل. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی، موزه  
و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۴ ش. ۳۰۲ ۲۴ س / ۳۶۸ TA

ISBN 964-425-663-8

شابک ۹۶۴-۴۲۵ - ۶۶۳-۸

### دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آبشستگی پل

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک  
علمی، موزه و انتشارات

چاپ اول، ۳۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۷۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۴

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: چاپ زحل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



بسمه تعالی

ریاست جمهوری  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
رئیس سازمان

شماره:	۱۰۱/۶۹۵۳۶	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۸۴/۴/۲۱	
موضوع:		
دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آبشستگی پل		
<p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) به پیوست نشریه شماره ۳۰۲ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آبشستگی پل» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد.</p> <p>دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.</p> <p>عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها و یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، ارسال دارند.</p>		
<p>حمید سرگاء معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان</p>		



## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی :

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید :

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

۲- ایراد مورد نظر را به صورت 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 دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود .

نشانی برای مکاتبه : تهران، خیابان شیخ‌بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله  
صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷  
<http://tec.mporg.ir/>



## بسمه تعالی

### پیشگفتار

بهره‌گیری از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی با رویکرد کاهش هزینه، زمان و ارتقاء کیفیت، از اهمیتی ویژه برخوردار بوده و در نظام جدید فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور، مورد تأکید جدی قرار گرفته است.

براساس مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد نیاز طرحهای عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرحهای عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین اینگونه مدارک علمی، از مراکز تحقیقاتی دستگاههای اجرایی ذیربط استفاده شود. در این راستا مقرر شده است، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری در تدوین ضوابط و معیارهای بخش راه و ترابری عهده‌دار این مهم باشد.

معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور نیز در راستای وظایف و مسئولیتهای قانونی و به منظور هماهنگی و همگامی با فناوریهای جدید، اقدام به تدوین این نشریه با عنوان «دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آبستگي پل» نموده است. هدف اصلی از تهیه این دستورالعمل ارائه روشهای لحاظ نمودن آبستگي در طراحی پلها بوده که مواردی در زمینه مطالعات هیدرولیکی نیز به آن اضافه شده است. متذکر می‌شود در زمینه مطالعات هیدرولیکی پلها مباحث دیگری نیز وجود دارد که امید است در آینده تهیه و تدوین شود.

در خاتمه از جناب آقای دکتر رضا غیائی، تدوین کننده اصلی این نشریه و کارشناسان مشروح زیر که در تهیه، تدوین، بررسی و اظهار نظر و مدیریت آن در پژوهشکده حمل و نقل و دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌نماید.

آقای دکتر محمود صفارزاده  
آقای مهندس میرمحمود ظفری  
آقای دکتر کیومرث عماد  
آقای مهندس مهران غلامی  
آقای دکتر رضا غیائی  
آقای مهندس علی فقیهی محدث  
آقای مهندس مجید ملامحسن الماسی

آقای مهندس حمیدرضا بهرامیان  
خانم مهندس بهناز پورسید  
آقای مهندس علی تبار  
آقای دکتر ابراهیم جباری  
آقای مهندس یوسف جعفریور  
آقای مهندس مهدی دینیون  
آقای دکتر امیر زراتی

امید است در آینده شاهد توفیق روزافزون این کارشناسان، در خدمت به جامعه فنی مهندسی کشور باشیم.

معاون امور فنی

تابستان ۱۳۸۴



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱- اهمیت مطالعه و روشهای بررسی آبشستگی
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ اهمیت مطالعه آبشستگی و سابقه تحقیقات
۳	۳-۱ تاریخچه ای از تخریب پلها
۳	۱-۳-۱ مطالعه موردی: پل بالا رود
۴	۲-۳-۱ مطالعه موردی: پل اول مُند
۹	۳-۳-۱ مطالعه موردی: پل تالار
۱۰	۴-۳-۱ مطالعه موردی: پل گاومیش در نیوزلند
۱۳	۴-۱ روشهای بررسی آبشستگی
۱۳	۱-۴-۱ رفتار نگاری آبشستگی
۱۳	۲-۴-۱ مدلسازی فیزیکی
۱۳	۳-۴-۱ مدلسازی عددی و کامپیوتری
۱۴	۴-۴-۱ کاربرد روابط تحلیلی - تجربی
۱۵	فصل ۲- شناسایی رودخانه
۱۵	۱-۲ مقدمه
۱۶	۲-۲ منابع اصلی اطلاعات مورد نیاز
۱۷	۳-۲ عملیات ارزیابی و بررسی مقدماتی محل
۱۸	۱-۳-۲ پایداری آبراهه جریان
۱۹	۲-۳-۲ شکل رودخانه
۲۲	۳-۳-۲ مراحل نمونه برداری و گروه بندی
۲۳	۴-۲ بازرسی محل
۲۴	۵-۲ جمع آوری اطلاعات طراحی
۲۹	فصل ۳- برآورد متغیرهای هیدرولیکی
۲۹	۱-۳ مقدمه
۲۹	۲-۳ عملیات هیدروگرافیکی
۳۰	۳-۳ عملیات هیدرولیکی
۳۱	۴-۳ دوره بازگشت سیلاب
۳۱	۵-۳ روشهای هیدرولوژیکی برآورد دبی و تراز آب طراحی

## عنوان

## صفحه

۳۲	..... روش اول ۱-۵-۳
۳۴	..... روش دوم ۲-۵-۳
۳۵	..... روش سوم ۳-۵-۳
۳۸	..... روش چهارم ۴-۵-۳
۳۹	..... روش پنجم ۵-۵-۳
۳۹	..... روشهای هیدرولیکی برآورد دبی و تراز آب ۶-۳
۳۹	..... روندیابی جریان متغیر تدریجی دائمی ۱-۶-۳
۴۰	..... روندیابی جریان غیر دائمی ۲-۶-۳
۴۰	..... نرم افزارهای کامپیوتری ۳-۶-۳
۴۱	..... شکل هندسه هیدرولیکی رودخانه ها ۷-۳
۴۱	..... کانالهای با بستر ماسه ای ۱-۷-۳
۴۵	..... آبراهه های با بستر شنی ۲-۷-۳
۴۶	..... آبراهه های با بستر چسبنده ۳-۷-۳
۴۷	..... حداکثر عمق آبراهه ۴-۷-۳
۴۹	..... فصل ۴ - شناسایی انواع فرسایش ۴-۳
۴۹	..... انواع فرسایش ۱-۴
۵۰	..... فرسایش عمومی ۲-۴
۵۱	..... فرسایش در زمان سیلاب ۱-۲-۴
۵۲	..... حالت‌های شاخه ای و پیچرودی ۲-۲-۴
۵۲	..... فرسایش در پیچرود و خم رودخانه ۳-۲-۴
۵۴	..... فرسایش در رودخانه شاخه ای ۴-۲-۴
۵۵	..... فرسایش در محل تقاطع دو مسیر ۵-۲-۴
۵۵	..... تأثیر سازه های هیدرولیکی، پل و سد ۶-۲-۴
۵۶	..... مدل‌های ریاضی بررسی آبشستگی عمومی ۷-۲-۴
۵۶	..... نکات مهم مطالعه فرسایش عمومی ۸-۲-۴
۵۷	..... فرسایش تنگ شدگی ۳-۴
۵۷	..... فرسایش در محل تنگ شدگی جریان ۱-۳-۴
۵۸	..... فرسایش در محل آبشکنها ۲-۳-۴
۶۰	..... دایکها ۳-۳-۴
۶۱	..... فرسایش در اطراف کوله های پل ۴-۳-۴

..... ۶۱	۵-۳-۴ مدل‌های ریاضی تخمین فرسایش تنگ شدگی
..... ۶۱	۴-۴ فرسایش عمومی
..... ۶۱	۱-۴-۴ الگوهای جریان در اطراف یک پایه دایره ای
..... ۶۴	۲-۴-۴ رفتار جریان در اطراف پایه مستطیل و کوله
..... ۶۴	۳-۴-۴ آبستگی در شرایط جریان غیر دائمی
..... ۶۵	۴-۴-۴ آبستگی در نزدیکی گروه شمعها
..... ۶۷	<b>فصل ۵- روش طراحی برای فرسایش کل</b>
..... ۶۷	۱-۵ انواع فرسایش
..... ۶۸	۲-۵ تخمین عمق فرسایش عمومی
..... ۶۹	۳-۵ تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی
..... ۶۹	۱-۳-۵ راه حل فرسایش تنگ شدگی مستطیلی طولانی
..... ۷۱	۴-۵ تخمین عمق فرسایشهای موضعی
..... ۷۱	۱-۴-۵ اطلاعات مورد نیاز
..... ۷۱	۲-۴-۵ رابطه فرسایش
..... ۷۲	۳-۴-۵ تخمین عمق فرسایش موضعی
..... ۷۲	۴-۴-۵ حداکثر عمق فرسایش موضعی مناسب در اطراف پایه ها یا کوله ها
..... ۷۲	۵-۵ تخمین عمق فرسایش کل
..... ۷۴	۶-۵ سایر ملاحظات
..... ۱۱۳	<b>فصل ۶- کاربرد روش طراحی برای فرسایش کل</b>
..... ۱۱۳	۱-۶ مقدمه
..... ۱۱۴	۲-۶ مثال اول : تحلیل آبستگی تنگ شدگی و موضعی در پایه ها
..... ۱۱۶	۳-۶ مثال دوم : تحلیل آبستگی موضعی کنار پایه ها
..... ۱۱۸	۴-۶ مثال سوم : تحلیل آبستگی موضعی کنار پایه با تجمع آشغالها
..... ۱۲۰	۵-۶ مثال چهارم : تحلیل آبستگی تنگ شدگی و موضعی کوله ها
..... ۱۲۳	۶-۶ مثال پنجم : ( مشابه مثال چهار )
..... ۱۲۶	۷-۶ مثال ششم : تحلیل آبستگی تنگ شدگی و موضعی کنار کوله ها
..... ۱۲۸	۸-۶ مثال هفتم : تحلیل آبستگی تنگ شدگی و موضعی
..... ۱۳۱	۹-۶ مثال هشتم : تحلیل آبستگی پل در خم رودخانه ( مطالعه موردی بالادست خم رودخانه در پل کامرون کریک )
..... ۱۳۶	۱۰-۶ مثال نهم : تحلیل آبستگی در رودخانه شاخه ای ( براساس اطلاعات رودخانه فصلی وایتاکی WAITAKI )
..... ۱۴۰	مراجع



## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۱	۱-۲- تقسیم بندی ابعاد دانه ها .....
۲۵	۲-۲- فهرست کنترل اطلاعات پایه (نیل ۱۹۷۵).....
۳۰	۱-۳- حداقل فاصله بین ایستگاههای اندازه گیری تراز آب.....
۳۱	۲-۳- دوره بازگشت سیلاب طرح.....
۳۲	۳-۳- تخمین دبی سیلاب.....
۳۷	۴-۳- ضرایب آب سطحی.....
۴۷	۵-۳- مشخصات فیزیکی انواع خاک بستر.....
۴۷	۶-۳- ضریب نسبت عمق حداکثر آبراهه ( $h_{max}$ ) به عمق متوسط آبراهه ( $h_{avr}$ ).....
۷۵	۱-۵- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی.....
۸۹	۲-۵- روابط برای تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی در شرایط بستر زنده.....
۹۰	۳-۵- جمع بندی ضرایب مؤثر برای تخمین عمق فرسایش موضعی در اطراف پایه های پل.....
۹۲	۴-۵- جمع بندی عوامل مؤثر در تخمین عمق فرسایش موضعی در اطراف کوله های پل.....
۱۱۳	۱-۶- خلاصه ای از نحوه تخمین آبشستگی در مثالها.....



## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۵	۱-۱- شمای قرارگیری پلهای بالارود.....
۵	۲-۱- نمای پایین دست پل ماشین رو بالارود.....
۶	۳-۱- نمای پایین دست پل راه آهن بالارود (الف) نمای دور پایین دست (ب) نمای نزدیک پایین دست.....
۷	۴-۱- نمای پایین دست پل راه آهن بالارود پس از اصلاح پایین دست پی بصورت سطح شیبدار.....
۷	۵-۱- وضعیت پی یکی از پایه های پل ماشین رو بالارود.....
۹	۶-۱- مقطع رودخانه در محل پل اول مند در سال ۱۳۴۶ و پس از سیل آذر ۱۳۶۵.....
۱۱	۷-۱- شمای توسعه و تغییرات رودخانه رانگیتیکی در نزدیکی محل پل گاومیش ها (bulls).....
۱۲	۸-۱- شمای عمومی شکست پل گاومیش ها در ژوئن ۱۹۷۳.....
۱۷	۱-۲- نمایی از یک رودخانه متشکل از قسمت آبراهه و قسمت سیلابی.....
۲۱	۲-۲- تقسیم بندی انواع شکل رودخانه.....
۲۲	۳-۲- مراحل و مودهای مختلف توسعه خمیدگی رودخانه.....
۴۲	۱-۳- عرض متوسط مقطع در رودخانه با بستر ماسه ای.....
۴۴	۲-۳- عمق متوسط مقطع در رودخانه با بستر ماسه ای.....
۴۵	۳-۳- عرض متوسط مقطع در رودخانه با بستر شنی.....
۴۶	۴-۳- عمق متوسط مقطع در رودخانه با بستر شنی.....
۴۸	۵-۳- عمق متوسط مقطع در رودخانه با بستر چسبنده (رسی).....
۴۹	۱-۴- شمای عمومی انواع فرسایش اطراف پایه پل.....
۵۱	۲-۴- مقیاس های مختلف مناسب برای بررسی انواع فرسایش.....
۵۳	۳-۴- شمای عمومی یک پیچرود محلی (با تلماسه های متناوب).....
۵۴	۴-۴- شمای عمومی خم رودخانه.....
۵۶	۵-۴- شمای عمومی تقاطع دو شاخه در یک رودخانه.....
	۶-۴- شمای عمومی پروفیل سرعت جریان و نحوه آبستگي در اثر وجود تنگ شدگی پایه های پل برای آبراهه خمیده و آبراهه مستقیم.....
۵۸	
۶۰	۷-۴- شمای عمومی آبشکن در رودخانه.....
۶۳	۸-۴- نمای شماتیک الگوی جریان در اثر برخورد با یک پایه استوانه ای.....
۶۵	۹-۴- نمای شماتیک الگوی جریان در اطراف کوله های مستطیلی کوتاه و طویل.....
۶۷	۱-۵- انواع مختلف فرسایش در محل یک پل.....
۹۴	۲-۵- کیفیت ارتباط عوامل فرم آبراهه، شرایط هیدرولیکی، مشخصات رسوبی و پایداری نسبی.....

## عنوان

## صفحه

۹۶	..... ۳-۵ نسبت حداکثر عمق جریان در محل یک خم. $\frac{Y_{bs}}{y_s}$ با در نظر گرفتن ضریب اطمینان واحد.....
۹۷	..... ۴-۵ دسته بندی فرم بسترهای ایجاد شده بر اثر عوامل مختلف جریان و مشخصات رسوب.....
۹۸	..... ۵-۵ نرخ حرکت جانبی آبراهه بصورت تابعی از انحنای خم، عرض آبراهه، ارتفاع دیواره خارجی، توان جریان و.....
۹۹	..... ۵-۶ میزان تغییرات در عرض آبراهه نسبت به تغییرات در عمق آبراهه در شرایط اصلاح آبراهه (سیمون، ۱۹۹۵).....
۱۰۰	..... ۷-۵ روش تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی پل در شرایط بستر زنده هنگامی که جریان از سیلابدشتهها عبور می نماید.....
۱۰۱	..... ۵-۸ تعریف پارامترهای لازم برای تحلیل فرسایش موضعی.....
۱۰۲	..... ۵-۹ روش محاسبه سرعت در نزدیکی لایه محافظ (نزدیک بستر).....
۱۰۳	..... ۵-۱۰ روش تخمین عمق فرسایش موضعی در محل پایه های پل.....
۱۰۴	..... ۵-۱۱ روش تخمین عمق فرسایش موضعی در محل کوله‌های پل.....
۱۰۶	..... ۵-۱۲ روش تخمین عمق فرسایش موضعی در محل پایه های غیر یکنواخت.....
۱۰۷	..... ۵-۱۳ راهکار تخمین عمق فرسایش موضعی در محل پایه‌های پل.....
۱۰۷	..... ۵-۱۴ راهکار تخمین عمق فرسایش موضعی در محل کوله‌های یک پل.....
۱۰۸	..... ۵-۱۵ روش طراحی کلی.....
۱۱۰	..... ۵-۱۶ شمای توزیع فرضی آبستنگی متوسط بر اساس پیشنهاد نیل (۱۹۷۳).....
۱۱۰	..... ۵-۱۷ متغیرهای مقطع عرضی برای یافتن سرعت مناسب در روش مازا آلوارز و اچاواریا آلفارو (۱۹۷۳).....
۱۱۱	..... ۵-۱۸ نمودار شیلدز برای تعیین آستانه حرکت رسوب.....
۱۱۱	..... ۵-۱۹ نمودار سرعت مناسب برای رسوبات غیر چسبنده (نیل ۱۹۸۷).....
۱۱۶	..... ۶-۱ نمودار مثال ۲.....
۱۱۷	..... ۶-۲ نمودار مثال ۲.....
۱۱۹	..... ۶-۳ نمودار مثال ۳.....
۱۲۱	..... ۶-۴ نمودار مثال ۴.....
۱۲۴	..... ۶-۵ نمودار مثال ۵.....
۱۲۷	..... ۶-۶ نمودار مثال ۶.....
۱۲۹	..... ۶-۷ نمودار مثال ۷.....
۱۳۲	..... ۶-۸ نمودار مثال ۸.....
۱۳۶	..... ۵-۹ نمودار مثال ۹.....



## فصل اول

### اهمیت مطالعه و روشهای بررسی آبشستگی

#### ۱-۱- مقدمه

لازمه طراحی صحیح پل و ابنیه مشابه، شناسایی و منظور نمودن کلیه عواملی است که ممکن است بصورت مستقیم یا غیر مستقیم در طول عمر مفید یک سازه باعث تخریب یا کاهش کارایی آن گردد. پدیده آبشستگی اطراف پایه پلها از جمله عوامل مهمی است که باعث تخریب کامل یا موضعی پلها در نقاط مختلف دنیا شده و ایران ما نیز از این موضوع مستثنی نیست، لذا ضرورت تدوین دستورالعملی جهت ارائه نحوه مطالعات و محاسبات آبشستگی پایه پل احساس گردید و این امر در دستور کار قرار گرفت. در این مجموعه سعی شده تا راهنمائیها و دستورالعملهای لازم جهت مطالعه آبشستگی پایه پل برای مهندسان، طراحان و مجریان پروژه های طراحی، ساخت، نصب و نگهداری پلها ارائه گردد.

#### ۱-۲- اهمیت مطالعه آبشستگی و سابقه تحقیقات

یکی از عمده ترین مشکلات سازه‌هایی نظیر پلها که پایه‌های آنها داخل آب رودخانه قابل فرسایش قرار می‌گیرند، آبشستگی ایجاد شده در اطراف پایه‌ها است. شکست کامل یا موضعی برخی از پلها به علت فرسایش اطراف پایه‌ها اتفاق می‌افتد. فرسایش ممکن است در پایه‌ها یا سواحل رودخانه رخ دهد که این فرسایش در مرحله بعد می‌تواند منجر به تغییر کلی مسیر جریان و در نتیجه تغییر در پارامترهای سازه طراحی شود.

امروزه اساس تئوری طراحی سازه‌ای پلها فوق العاده پیشرفت کرده است، اما برآورد دقیق عمق فرسایش اطراف پایه‌ها هنوز موضوع تحقیق می‌باشد که دلیل اصلی آن طبیعت پیچیده مسأله فرسایش است. می‌توان گفت اکثر روش‌های برآورد عمق فرسایش اطراف پایه‌ها مبتنی بر داده‌های آزمایشگاهی است.

اهمیت بررسی موضوع آبشستگی پایه‌های پل با ذکر این مطالب روشن می‌شود که بدانیم میلیونها پل در سطح جهان وجود دارد (بیش از هزاران عدد از این پلها در کشور ماست) که به دلیل وقوع سیلابهای سالانه آبشستگی در اطراف پایه‌های آنها پدیدار شده و احتمال تخریب آنها در صورتیکه برای محافظت از آنها طرحی اندیشیده نشده باشد حتمی است. این مطلب وقتی بحرانی تر

می‌شود که بدانیم پلها درست زمانی تخریب می‌شوند که ما بیشترین احتیاج را به راههای دسترسی جهت کمک به آسیب دیدگان از بلایای طبیعی داریم (به عنوان مثال در مواقع سیلابی). بنابراین دیده می‌شود که به غیر از مسأله اقتصادی، مسأله حفاظت پلها در برابر آبستگي یک موضوع انسانی اجتماعی است. شاید به همین دلیل، این مسأله بعد از جنگ جهانی دوم بیش از پیش مورد توجه محققین قرار گرفته است. بجز چند تحقیق مختصر که قبل از جنگ جهانی بر روی آبستگي و روشهای محافظت در برابر آن انجام شد، اوج تحقیقات در این زمینه طی چهار دهه اخیر بوده است.

نظر به اینکه در خصوص محافظت پل در برابر آبستگي به طور کامل تحقیق نشده و این پدیده به لحاظ اقتصادی هزینه سنگینی را به دنبال دارد، گاهی اوقات با توجه به نوع پروژه ها آبستگي به مقدار کم قابل قبول فرض می‌شود. رودخانه‌ها سالیان متمادی در جریان بوده‌اند و مانند هر سیستم طبیعی دیگر در خلال جریان خود به سمت تعادل پیشرفته‌اند. تعادل رودخانه زمانی است که میزان رسوب ورودی و خروجی در هر بازه از آن با یکدیگر مساوی باشد. رودخانه به طور طبیعی برای رسیدن به چنین حالتی، رفتارهایی را از خود نشان می‌دهد که در نهایت منجر به تعادل فیزیکی آن می‌گردد. با این وجود سیلاب‌های سالانه عامل مهمی در برهم زدن این سیستم بوده و سالانه مقدار زیادی از فرسایش در مسیر رودخانه را باعث می‌شوند. در این میان جنس بستر، شیب رودخانه، ابعاد مقطع و میزان دبی عواملی هستند که هر کدام دارای نقشی در تعیین شکل رودخانه می‌باشند. پدیده آبستگي زمانی اتفاق می‌افتد که به هر دلیل تنش برشی بین جریان آب بستر و دیواره آبراهه از میزان لازم جهت حرکت ذرات تشکیل دهنده مقطع بیشتر شود.

روش‌های زیادی برای جلوگیری از آبستگي پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان روش‌های سنگ چین، حفاظت توری سنگی (گابیونی)، ایجاد پایه‌های ثانوی جهت محافظت پایه اصلی و غیره را نام برد. روشهای فوق از نوع روش های غیر هیدرولیکی برای رفع این پدیده می‌باشند که بسیار پر هزینه نیز هستند.

بررسی آبستگي اطراف پایه پل از دیرباز مورد توجه متخصصین و دانشمندان بوده است. در قرون اخیر میزان این توجه افزایش یافته است. شاید اولین مرجع در این خصوص به یادداشتهای لئوناردو داوینچی برگردد که به گفته آقای ماکاگنو<sup>۱</sup> چنین نوشته است: "آبی که از اطراف یک جسم متقارن عبور می‌کند در حین گذشتن از طرفین بصورت متقارن چاله ای ایجاد می‌نماید که آنرا حفره آبکند مینامند."

اولین مطالعات پایه ای در خصوص آبستگي در اوایل قرن بیستم در آزمایشگاه زونر<sup>۲</sup> توسط انگلس<sup>۳</sup> در آلمان انجام شد (روز-اینس)<sup>۴</sup>. پس از آن آزمایشات و مطالعات قابل توجهی در آزمایشگاه چاتو<sup>۵</sup> توسط چاپرت و انگلدینگر<sup>۶</sup> به انجام رسید که نتایج آنها بیانگر تغییرات میزان آبستگي در انواع مختلف آب شفاف و سیلاب با بستر متحرک بود. در همان سالها لارسن و همکاران<sup>۷</sup> نتایج تحقیقات در خصوص آبستگي اطراف پایه‌های پلها در مراکز تحقیقات هیدرولیکی آیووا را منتشر کردند. مطالعات دیگری در زمینه آبستگي در اطراف دیواره‌های کناری کوله پلها در دانشگاه کلرادو توسط شن و همکاران<sup>۸</sup> و لین و همکاران<sup>۱</sup> صورت پذیرفت.

<sup>1</sup> Macagno E / (1986)

<sup>2</sup> Zeuner

<sup>3</sup> Engels

<sup>4</sup> Rouse and Ince / (1957)

<sup>5</sup> Chatou

<sup>6</sup> Chabert and Engeldinger / (1956)

<sup>7</sup> Laursen and Toch / (1956) – Laursen ( 1958 , 1962 , 1963 )

<sup>8</sup> Shen et al 1966 / 1969

مطالعات مشابهی در طی سالهای دهه ۵۰ میلادی تا به حال در دیگر کشورهای دنیا انجام شده است. برخی از این تحقیقات بر اساس اندازه گیری‌های آزمایشگاهی استوار بوده و برخی دیگر بر مبنای اطلاعات جمع آوری شده از طبیعت بنا نهاده شده‌اند. در سالهای اخیر بیشترین تحقیقات در خصوص آبخستگی توسط ملویل<sup>۲</sup> انجام گردید که مطالعات وی منتج به روابطی برای برآورد حداکثر عمق آبخستگی در حالت‌های مختلف پایه پل شده است. بخشهایی از این دستورالعمل نیز از میان مدارک منتشره توسط وی ترجمه شده است.

در ایران نیز گزارش‌های فنی مختلفی در سازمانهای متعدد مرتبط با موضوع تهیه شده‌اند. مرکز تحقیقات راه و ترابری و مرکز تحقیقات راه آهن نیز در این زمینه فعالیتهایی داشته‌اند. کارهای تحقیقاتی آزمایشگاهی نیز در دهه اخیر در تعدادی از دانشگاهها آغاز شده و نتایج جالبی نیز به همراه داشته‌است. در دانشگاه تهران مطالعاتی در خصوص تأثیر پایه‌های متوالی پلها و زاویه پایه پلها در میزان آبخستگی و نیز روشهای کاهش آبخستگی توسط گیاهی و همکاران (۱۳۷۷) الی (۱۳۸۰) انجام شده است. از جمله روشهای پیشنهادی ایشان افزایش توأم حلقه و سپری به پایه پل برای کاهش آبخستگی بوده است.

### ۱-۳-۱ تاریخچه‌ای از تخریب پلها

تا به حال پلهای مختلفی در ایران و سراسر جهان در اثر آبخستگی خراب شده‌اند. در ادامه به منظور روشن تر شدن اهمیت مطالعات دقیق آبخستگی پل تنها به چند مورد تخریب پلها بعنوان نمونه اشاره می‌شود.

#### ۱-۳-۱-۱ مطالعه موردی: پل بالارود

پل بالارود یکی از پلهایی است که در اثر آبخستگی دچار خرابی گردیده است. این پل در محور اهواز- اندیمشک و در استان خوزستان و بر روی رودخانه بالارود (که از منطقه ای به نام چنار و در شمال اندیمشک سرچشمه می‌گیرد) واقع شده و شامل ۲۴ دهانه ۱۲ متری است. عرشه اولیه این پل از شاهتیرهای بتنی- فلزی ساخته شده و پایه‌های آن از دیواره‌های بتن مسلح می‌باشد.

مجموعه پلهای بالارود شامل دو پل مستقل می‌باشد که یکی از آنها برای عبور قطار و دیگری برای عبور وسایط نقلیه چرخ لاستیکی اختصاص داده شده است. پل قطار رو در بالا دست و پل ماشین رو در پایین دست واقع شده‌اند. شکل (۱-۱) نمایش دهنده موقعیت قرارگیری پل های بالارود می‌باشد.

بنابر اطلاعات جمع آوری شده عمده ترین دلیل ایجاد آبخستگی و در نتیجه خرابی پل، برداشت بی رویه مصالح رودخانه‌ای از فاصله بسیار نزدیکی در پائین دست و بالادست پایه‌ها می‌باشد. متأسفانه بدلیل عدم نظارت کامل مسئولین عده‌ای سودجو بدون توجه به خسارات احتمالی که در آینده ممکن است رخ دهد در دهه ۶۰ و ۷۰ اقدام به برداشت بی رویه مصالح رودخانه‌ای از سواحل رودخانه نموده‌اند که همین مسئله موجب خالی شدن اطراف پی پایه‌ها و در نتیجه واژگونی قسمتی از پل ماشین رو در سال ۱۳۷۳ گردیده است. شکل (۱-۲) نشان دهنده پل ماشین رو بالارود می‌باشد. در سال ۱۳۷۳ در اثر آبخستگی بیش از حد عرشه بین دهانه‌های P10 و P19 اولیه بصورت کامل تخریب شد. قسمتهای خراب شده هم اکنون در پایین دست پل وجود دارد که در شکل

<sup>1</sup> Lin et al 1961

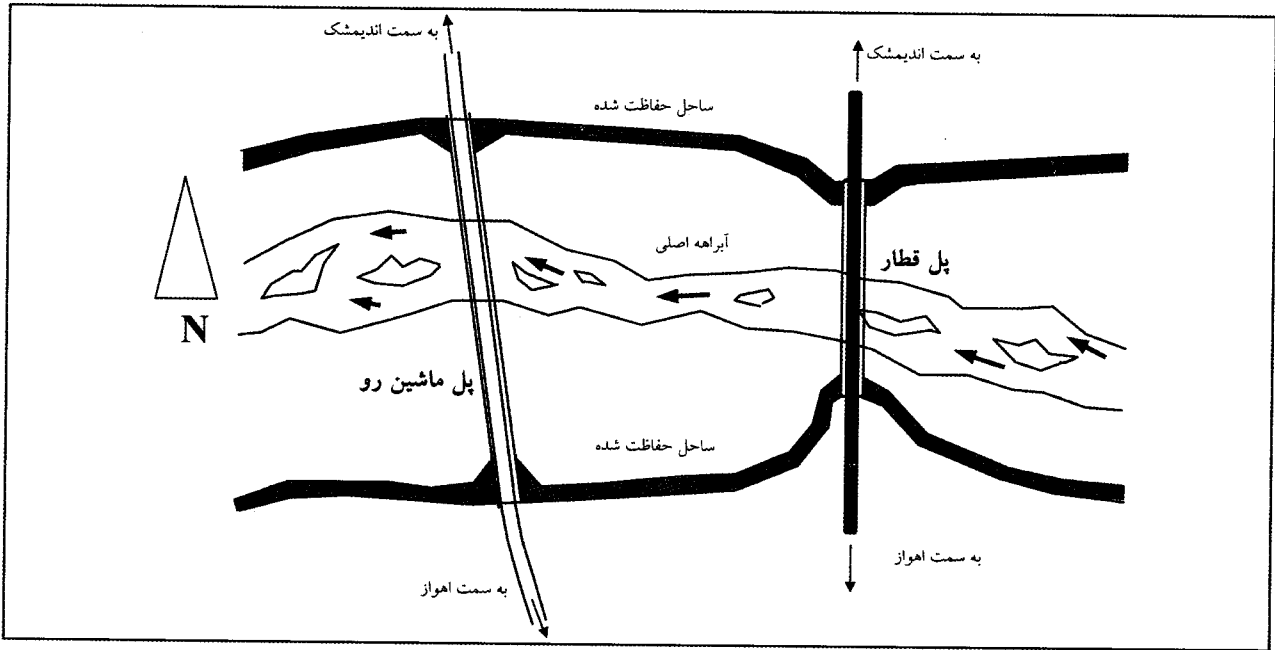
<sup>2</sup> Melville B 1977

(۲-۱) نیز دیده می شود. پس از تخریب در محل مورد نظر پلی با چهار دهانه ۲۵ متری با عرشه فلزی و پایه های شمع فلزی احداث گردید که در شکل مذکور قابل ملاحظه است. بنابر شواهد موجود، در بستر رودخانه و در پائین دست پل به فاصله ۲۰۰ متری آن ۷ متر پایین افتادگی بستر مشاهده شده است که این مقدار رقم قابل توجهی بوده و ناشی از برداشت مصالح در پائین دست پل می باشد.

برداشت بیش از اندازه مصالح علاوه بر پل پایین دست ماشین رو ، بستر پل بالادست قطار رو را نیز تحت تأثیر قرار داده است و آبستگي بیش از حد در اطراف پایه ها را باعث شده است. شکل (۱-۳) نمای پایین دست پل قطار رو را نمایش می دهد. به منظور جلوگیری از تخریب و کاهش آبستگي بستر رودخانه در محل پل با بتن مسلح پوشیده شده بود. همانطور که در شکل (۱-۳-ب) دیده می شود آبستگي در پایین دست بستر تقویت شده بتنی نیز به حدود ۲ متر بالغ شده است. به منظور کاهش خطرات ناشی از آبستگي سطح پایین دست ، دال روی بستر بصورت شیب دار ترمیم گردیده است که در شکل (۱-۴) دیده می شود. متأسفانه هم اکنون نیز آبستگي تا زیر بستر پی برخی پایه ها نفوذ کرده است. در شکل (۱-۵) نشان دهنده آبستگي در یک طرف یکی از پایه های قدیمی است که عمق حفره آبکند تا حدود: ۰/۵ متر تخمین زده می شود.

### ۱-۳-۲- مطالعه موردی: پل اول مند

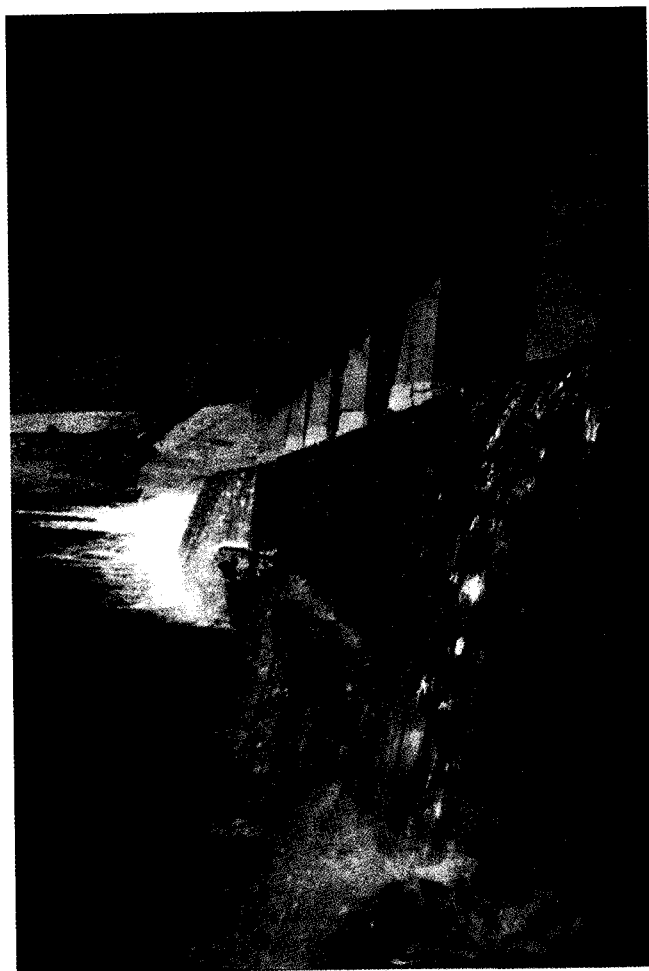
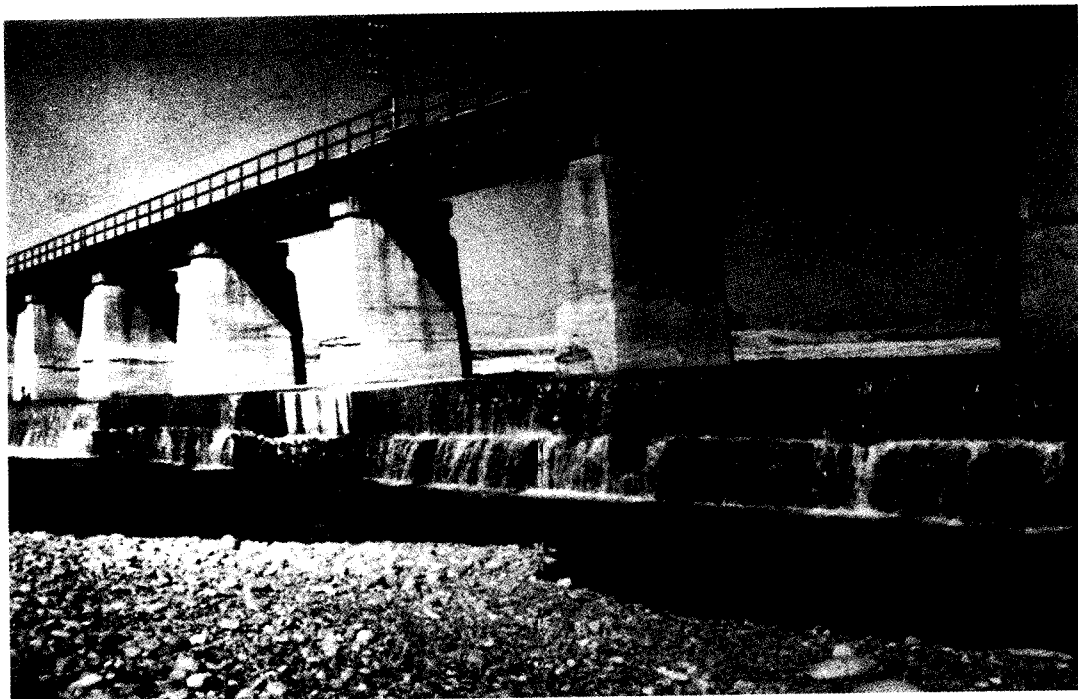
این پل که در قسمت پایین دست رودخانه مند و در نزدیکی خلیج فارس در امتداد جاده بوشهر-کنگان قرار دارد، در دهه ۴۰ و به منظور برقراری راه ارتباطی میان بندر بوشهر با بندر دیر و منطقه کنگان احداث گردیده است. طول کل این پل ۷۶۰ متر بوده و شامل ۱۹ دهانه ۴۰ متری می باشد. عرشه این پل از ۴ عدد شاهتیر بتن تنیده تشکیل شده است. عرض پل کلاً برابر ۹/۶ متر بوده و شامل دو سواره رو هر یک به عرض ۳/۵ متر می باشد.



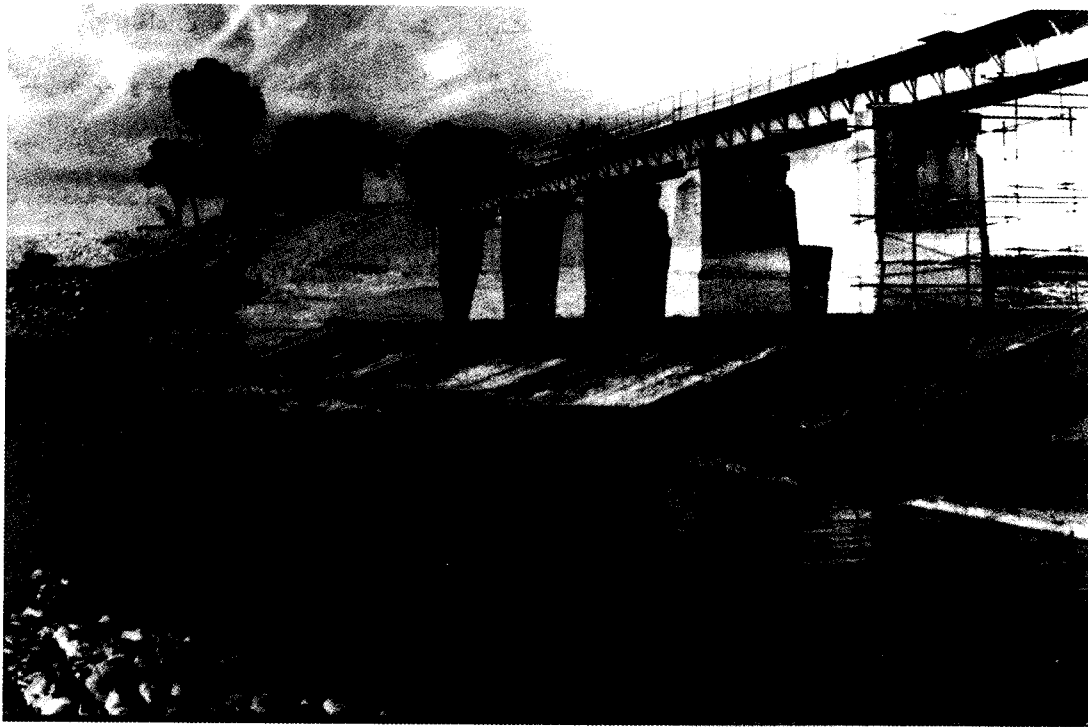
شکل ۱-۱- شمای قرارگیری پلهای بالارود



شکل ۱-۲- نمای پایین دست پل ماشین رو بالارود



شکل ۱-۳- نمای پایین دست پل راه آهن بالارود (الف) نمای دور پایین دست (ب) نمای نزدیک پایین دست



شکل ۱-۴- نمای پایین دست پل راه آهن بالارود پس از اصلاح پایین دست پی بصورت سطح شیبدار



شکل ۱-۵- وضعیت پی یکی از پایه های پل ماشین رو بالارود (آبستگی تا حدود ۵,۰ متر زیر پی ملاحظه می شود)

رودخانه مند از ارتفاعات جنوب شیراز که قسمتی از رشته کوه زاگرس است سرچشمه گرفته و در نزدیکی آبادی بردخون، حدفاصل بندر بوشهر و بندر دیر، به خلیج فارس تخلیه می‌گردد. قسمت اعظم مسیر رود از مناطق کوهستانی عبور کرده و پس از تلاقی با رود باغان، در نزدیکی روستای کامی وارد دشت می‌گردد. رژیم رودخانه مند فصلی و سیلابی بوده و در بهار و تابستان جریان آب رودخانه مند به حداقل می‌رسد بطوریکه می‌توان پیاده از رودخانه عبور نمود. ولی در فصل پائیز و زمستان بعلت بارانهای شدید عمق آب در محل پل تا ۷ متر نیز افزایش می‌یابد. در آذر ماه ۱۳۶۵ بزرگترین سیلی که اهالی محل بخاطر دارند اتفاق افتاد که طی آن بسیاری از آبادیهای مجاور رودخانه بکلی تخریب شده و تلفات مالی و جانی بسیاری وارد آمد.

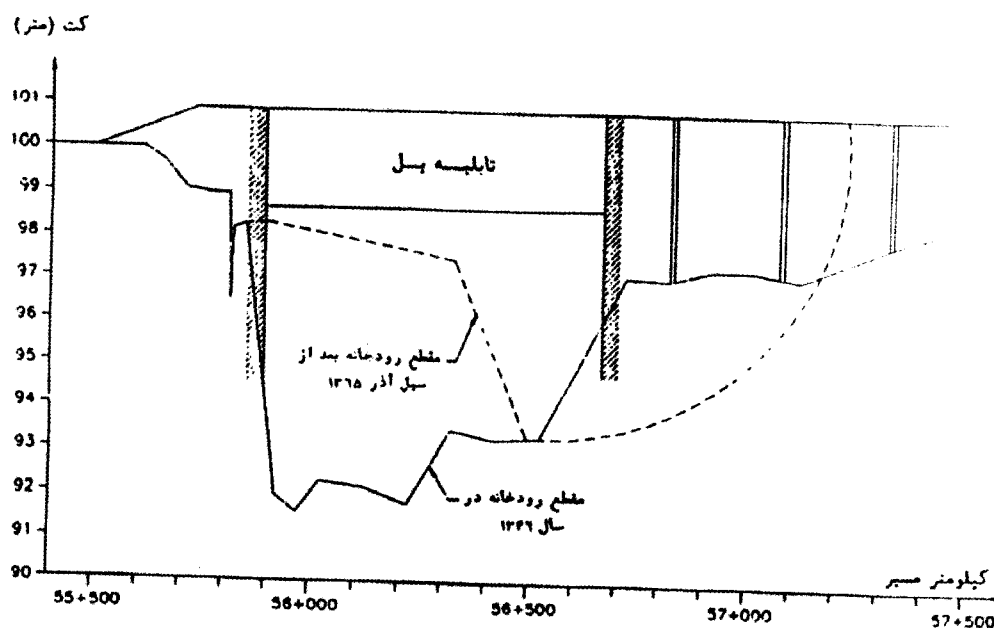
در محل پل مند سیل مذکور منجر به شسته شدن حدود ۴۰۰ متر از راه سمت شرق پل گردید که در شکل (۱-۶) این موضوع نشان داده شده است.

مطابق گزارشی که مسئولین اداره راه منطقه پس از بازدید محلی تهیه نمودند، در موقع عبور سیلاب، آب با ارتفاع تقریبی یک متر از روی تابلیه عبور کرده که با توجه به شواهد موجود ظرف حتی ۸۰ سال گذشته چنین سیلابی از رودخانه عبور نکرده است. در اثر وجود کوه، در سمت چپ بیشترین فشار آب به سمت دهانه‌های ۹ الی ۱۹ بوده که بعلت پر بودن زیر دهانه‌های ۲ الی ۱۱ از لجن و عدم کشش آب از دهانه‌های موجود، سیلاب از پشت کوله سمت کنگان جسم راه را به طول ۴۰۰ متر برده و عبور و مرور را متوقف نموده است. با توجه به توضیحات فوق مشخص می‌گردد که احتمالاً علت اصلی شسته شدن راه مسدود بودن دهانه‌های ۲ الی ۱۱ پل یعنی حدود ۴۰۰ متر از ۷۶۰ متر طول کل پل بوده و این امر باعث گردیده که رودخانه همان ۴۰۰ متر را در پشت کوله شرقی به منظور عبور خود باز نماید.

با توجه به اظهارات مسئولین و دست اندرکاران وزارت راه علل انسداد دهانه‌های فوق الذکر اینطور بیان شده که قبل از سیل مذکور جهت عبور بارهای سنگین پروژه گاز کنگان یک خاکریز در مجاورت پل احداث گردیده که با وقوع سیل، پشت این خاکریز رسوبات پر شده، بطوریکه هنگام وقوع سیل آذرماه ۱۳۶۵ این دهانه‌ها قادر به تخلیه سیلاب نبودند.

لازم به ذکر است که پس از خسارات وارده به پل، سریعاً این پل ترمیم و مورد بهره‌برداری مجدد قرار گرفت، با این حال با افزایش فعالیت‌های صنعتی در منطقه کنگان ترافیک محور فوق الذکر بطور چشمگیری افزایش یافته و لذا وزارت راه و ترابری اقدام به احداث راه دیگری در نزدیکی ساحل نموده است که این مسئله ساخت پل دیگری تحت نام پل دوم مند را طلب نموده است. گفته می‌شود با توجه به مشکلات ایجاد شده برای پل اول مند و همچنین متحرک بودن بستر این رودخانه، در طراحی پل دوم ضوابط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مربوطه در نظر گرفته شده و تمهیدات لازم هم در مسائل طراحی و هم در مسائل اجرایی اعمال گردیده‌اند.





شکل ۱-۶- مقطع رودخانه در محل پل اول مند در سال ۱۳۴۶ و پس از سیل آذر ۱۳۶۵

### ۱-۳-۳- مطالعه موردی: پل تالار

پل تالار در استان مازندران و در ابتدای کمربندی قائم شهر به بابل واقع شده است. رودخانه‌ای که این پل بر روی آن ساخته شده به همان نام تالار است که از پل سفید در جنوب قائم شهر سرچشمه گرفته و در محلی به نام کاله به دریای خزر می‌ریزد. این پل شامل ۱۹ دهانه ۱۲ متری بوده و سیستم عرشه آن به صورت تیرهای بتنی پیش ساخته می‌باشد. پایه‌های این پل که از بتن مسلح ساخته شده‌اند، شامل سر شمع و شمع بوده و این پایه‌ها یکبار توسط متخصصین وزارت راه و ترابری با احداث دو ستون با مقطع دایره در دو طرف آنها تقویت گردیده‌اند.

علت تقویت پایه‌ها آبستگي بیش از حدی است که برای پایه‌های این پل در سال ۱۳۶۹ رخ داده است. این آبستگي که بنابر اظهارات یکی از کارشناسان وزارت راه در بدترین حالت به ۱۰ الی ۱۴ متر هم رسیده باعث نمایان شدن شمعها و در نتیجه معلق شدن برخی پایه‌ها گردیده است. این وضعیت کاملاً موجودیت پل را به خطر انداخته چرا که عملاً در محلی که یکی از پایه‌ها دچار چنین شرایطی شده است، دهانه پل دو برابر گردیده و در نتیجه مقاومت و پایداری سازه پل تهدید می‌شود. به همین منظور طرح تقویت پایه‌ها توسط کارشناسان وزارت راه مطابق آنچه که در بالا اشاره شد ارائه گردید. البته خود این طرح هم طرح ایمن و مطمئنی نبوده و به همین خاطر تصمیم بر این شده که پل جدیدی به نام پل جدید تالار جایگزین پل قدیمی گردد.

نکته‌ای که لازم است به آن اشاره شود علت این آبستگي می‌باشد که بنابر توضیحات کارشناسان وزارت راه عمده‌ترین علت این پدیده برداشت بی‌رویه مصالح از پائین دست پل اعلام شده است. هر چند محتمل است که در طراحی پایه‌ها نیز مسائل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی بصورت کامل در نظر گرفته نشده و لذا پایه‌ها برای یک عمق آبستگي مناسب طراحی نگردیده‌اند. همین امر موجب خالی شدن بیش از حد خاک اطراف پی پایه‌ها شده تا اندازه‌ای که نوک شمعها بالاتر از جریان آب قرار گرفته‌اند.

۱-۳-۴- مطالعه موردی: پل گومیش<sup>۱</sup> در نیوزلند

پل گومیش در امتداد راه گومیش‌ها (Bulls Road) بر روی رودخانه رانگیتیکي نیوزلند<sup>۲</sup> در ساعت ۴:۴۵ بعد از ظهر روز ۱۵ ژوئن ۱۹۷۳ میلادی فرو ریخت. علت فرو ریختن پل (Bulls Road) آبستگي یکی از پایه‌ها و آویزان شدن عرشه به قسمت باقیمانده گزارش شده است. پل گومیش از سال ۱۹۴۹ مورد بهره برداری واقع شده است و جمعاً ۱۷ دهانه میانی ۲۶/۸ متری و ۲ دهانه انتهایی ۲۰ متری با عرشه مرکب فلزی-بتنی تشکیل دهنده بدنه پل بوده است.

کلیه پایه‌های پل از دیواره‌های بتن مسلح با پنج پایه سخت کننده تشکیل شده است. ارتفاع پایه دیواره‌ها متغیر بین ۶/۳ تا ۸/۳ متر بوده و هر یک بر روی یک پی شمعی شامل ۶ شمع در دو ردیف (جمعاً ۱۲ شمع) قرار گرفته است. هر شمع با مقطع هشت وجهی به طول ۰/۴ متر بوده و تا حدود ۹/۵ متری از زیر سه شمع فرو رفته است.

شمای عمومی رودخانه در سال ۱۹۴۷ (دو سال قبل از بهره برداری) در شکل (۱-۷) دیده می‌شود. در این حالت رودخانه در اطراف بالا و پایین دست پل بصورت منشعب گزارش شده است. در دوره‌های ۱۹۵۹ تا ۱۹۶۴ و ۱۹۶۵ تا ۱۹۷۳ در مجموع بترتیب ۳۸۰۰۰ تا ۴۶۰۰۰ و ۵۴۰۰۰ تا ۹۹۰۰۰ متر مکعب مصالح رسوبي از بستر رودخانه خارج شده است. برای کنترل آبستگي رودخانه در دوره ۱۹۴۹ تا ۱۹۷۳ فعالیتهای اصلاحی انجام شد که در اثر آنها قسمت خارجی پیچرود اطراف پل را محافظت می‌کرد.

در زمان احداث با وجود انشعابهای مختلف، عمق بستر در محل پل تقریباً یکنواخت بوده است. پس از احداث بعثت وجود پایه‌ها جریان در برخی از دهانه‌ها بیشتر شده و بستر پائین تر رفته است. سیلابهای مختلف قادر بوده‌اند که محل دهانه عمیقتر را جابجا کنند و بالتبع امتداد جریان اصلی عبوری از زیر پل نیز تغییر زاویه می‌داده است. شکل (۱-۷) نشان دهنده تغییرات نوع شکل بستر در دوره‌های مختلف زمانی می‌باشد. این نوع تغییر شکلها عموماً در دشتهای رخ می‌دهد و گاه ممکن است باعث شود که پل از محدوده اصلی خارج گردد. طراحان پل در ایران باید در این خصوص برای پل رودخانه‌ها در مناطق حوالی دریاها و دریاچه‌ها توجه زیادی داشته باشند.

در پل مورد بحث در سال ۱۹۶۶ تا ۱۹۷۱ بعثت احداث خاکریز محافظ در بالادست پل، محدوده جریان بصورت یک شاخه اصلی درآمد که شمای آن در شکل (۱-۷) دیده می‌شود. عمیق شدن بستر در آبراهه اصلی رودخانه باعث شد که در سالهای ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۲ پایین دست پایه‌های P و Q در شکل (۱-۸) آبسته شده و بدون حفاظ بماند. شیب متوسط کف رودخانه قبل از احداث پل در محدوده ۱/۵ کیلومتر بالادست تا ۳ کیلومتر پایین دست برداشت شده و بر اساس تراز متوسط رودخانه معادل ۰/۰۰۲۲۷ تخمین زده شده بود.

در سال ۱۹۹۲ جریان در زیر قسمت اصلی آبراهه برقرار بوده و تا حدود ۵ متر از پایه‌ها بیرون از آب بوده است. ضریب زبری مانینگ در نزدیکترین محل (حدود ۸۰ کیلومتری بالا دست) رودخانه برداشت شده و حدود ۰/۰۳۴ تا ۰/۰۴۸ تخمین زده شده است. سیلابهای مختلف و تغییر جهت های مسیر اصلی رودخانه باعث آبستگي در اطراف پایه‌های میانی پل شده بود. شکل (۱-۸) الف) نمایش دهنده مقاطع عرضی بستر در نزدیکی پایه‌های P و Q پل در سال ۱۹۷۳ می‌باشد. در ۱۰ ژوئن ۱۹۷۳ پس از بارش فراوان دبی سیلاب از ۶۰ به ۲۶۰ متر مکعب بر ثانیه رسید و دوباره در ۱۴ ژوئن به ۶۱ متر مکعب بر ثانیه برگشت. البته در ۱۳ ژوئن یک زلزله در منطقه اتفاق افتاد. همچنین مجدداً در ۱۵ ژوئن دبی سیلاب تا حداکثر ۶۷۵ متر مکعب بر ثانیه بالا رفت و در ۱۶

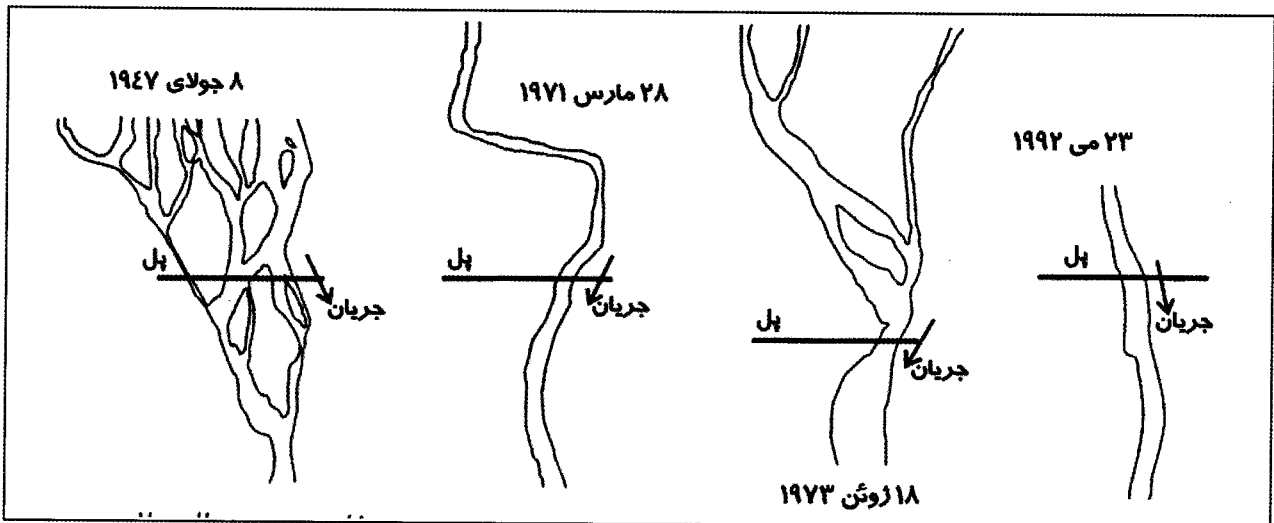
<sup>۱</sup>Bulls Road Bridge<sup>۲</sup>Rangitikei river on state highway 1

ژوئن تراز سیلاب تا لبه بالایی سر شمع‌ها پایین آمد. مطالعات نشان داد که در حالت شکست پایه‌های پل، سرعت متوسط مقطع (بصورت فرضی مستطیلی به عرض ۹۰ متر) در حدود ۲/۸ متر بر ثانیه و عدد فرود معادل ۰/۵۴۴ بوده است.

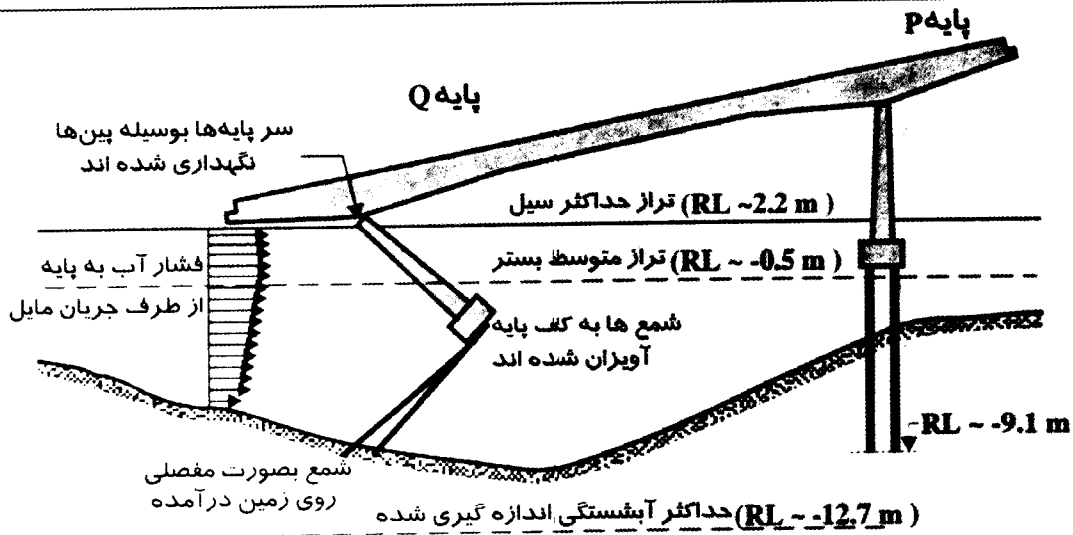
شکل (۱-۸) شمای عمومی شکست پل را نشان می‌دهد. براساس گزارش‌ها عوامل اصلی شکست و تخریب پل را می‌توان به

صورت زیر بر شمرد:

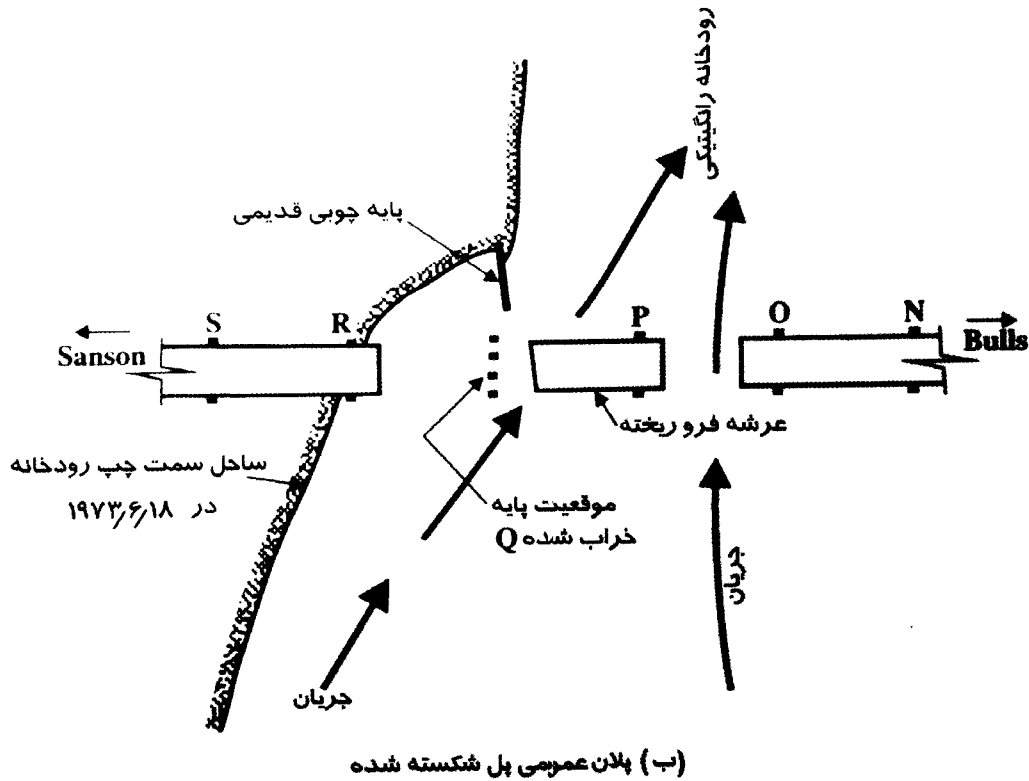
- فشار آب در جهت مایل پایه‌ها
  - شیب بسیار زیاد کف
  - وجود بستر ریزدانه ماسه‌ای قابل آبشستگی در ترازهای زیرین کف بستر
  - وجود آبشستگی قبلی و کاهش میزان گیرداری شمع زیر پایه‌ها
- در حین تخریب ابتدا پایه Q بر اثر موارد فوق خراب شده و سپس پایه P نیز مقداری چرخیده و باعث افتادن عرشه گردید.



شکل ۱-۷- شمای توسعه و تغییرات رودخانه رانگیتیکی در نزدیکی محل پل گاومیش‌ها (bulls). کوله شمالی پل در سمت چپ شکل‌ها واقع شده است.



(الف) دید از پایین دست (به سمت غرب).  
 ترازهای نشان داده شده نسبت به آف سر شمع‌ها می‌باشد.



شکل ۱-۸- شمای عمومی شکست پل گاومیش‌ها در ژوئن ۱۹۷۳

#### ۱-۴- روشهای بررسی آبشستگی

برای تعیین عمق آبشستگی در مجاورت پایه یک پل نیاز به شناخت کافی از این پدیده و انواع مختلف آن می‌باشد تا با توجه به اطلاعات موجود روش مناسب برای تخمین عمق فرسایش مشخص گردد.

عمق نهایی آبشستگی ایجاد شده در مجاورت پایه پل برابر مجموع عمق‌های فرسایش ناشی از آبشستگی عمومی، تنگ شدگی و موضعی می‌باشد. تخمین عمق آبشستگی عمومی کار ساده‌ای نیست زیرا این نوع فرسایش بر اثر سیلاب بوجود می‌آید و میزان آن به شدت و بزرگی سیلاب مربوطه بستگی دارد. روابط پیشنهاد شده در این زمینه اکثراً میزان فرسایش موضعی در اطراف پایه پلها را با دقت زیاد بیان می‌کند.

به طور کلی چهار روش کاربردی برای تعیین و پیش بینی عمق آبشستگی اتفاق افتاده، مورد استفاده قرار می‌گیرد که در زیر شرح داده می‌شود.

##### ۱-۴-۱- رفتار نگاری آبشستگی

این روش بر اساس استفاده از وسایل ویژه و مجهز به منظور رفتارنگاری آبشستگی ایجاد شده در محل پایه پل استوار است. این روش، روش دقیقی است که بیشتر برای پلهای ساخته شده مناسب می‌باشد تا بدین طریق مشکلات موجود شناسایی شده و طرح مورد نظر در برابر تهدیدهای ناشی از آبشستگی، محافظت و یا تقویت گردد. نتایج این روش همچنین می‌تواند برای طراحی و اجرای پلهای مشابه که در شرایط مشابه محیطی ساخته خواهند شد مورد استفاده قرار گیرند. عمده ترین مشکلی که در این رابطه وجود دارد این است که بعضی از راه حل‌های مورد استفاده در این روش به علت به کارگیری دستگاههای پیشرفته و مجهز که بتواند در زیر آب عمل رفتارنگاری را با دقت انجام دهند، بسیار گران و پرهزینه می‌باشد.

##### ۱-۴-۲- مدلسازی فیزیکی

با استفاده از این روش می‌توان رفتار آبشستگی را هم برای پلهای در دست احداث و هم برای پلهای ساخته شده بررسی نمود. البته نباید فراموش کرد که این روش هزینه‌های قابل توجه برای تهیه مدل آزمایشی پل مورد بررسی به همراه داشته و همچنین مشکلات مربوط به تطبیق شرایط واقعی با مدل را نیز دارد. در هر صورت این روش به علت مشاهده‌ای بودن و دقت قابل قبول نتایج آن، راه حل خوبی جهت بررسی رفتار آبشستگی و در نهایت تعیین عمق فرسایش می‌باشد. هر چند دقت نتایج در این روش به دقت انتخاب مصالح بستر در مدل فیزیکی وابسته بوده و حساسیت زیادی دارد.

##### ۱-۴-۳- مدلسازی عددی و کامپیوتری

استفاده از مدل‌های عددی و کامپیوتری روشی نسبتاً دقیق و سریع برای تعیین عمق آبشستگی می‌باشد. این روش اساساً مبتنی بر تئوریه‌ها و روابط ریاضی بوده، بطوری که در ابتدا با استفاده از روابط مربوط به فرسایش بستر رودخانه و تئوریه‌های ارائه شده در رابطه با هیدرولیک پلها و آبشستگی آنها، یک مدل عددی تهیه می‌گردد. پس از این مرحله و با توجه به مدل عددی تهیه شده، برای پل مورد نظر یک مدل کامپیوتری که قابل انطباق با شرایط و حالات مختلف باشد، ساخته می‌شود.

#### ۱-۴-۴- کاربرد روابط تحلیلی - تجربی

استفاده از روابط تحلیلی - تجربی ساده ترین، سریعترین و ارزاترین روش برای تخمین آبستتگی پایه یل است. هر چند که دقت این روش از دیگر روشها کمتر است. اساس این روش بر استفاده از روابط تحلیلی - تجربی که توسط محققین در طول سالیان زیاد بدست آمده استوار می باشد. این روابط برآزش نتایج تعداد زیادی آزمایشات آزمایشگاهی و مطالعات موردی بر روی پلهای ساخته شده است.

در این دستورالعمل سعی خواهد شد روابط گوناگونی که توسط محققین برای حالت های مختلف تهیه شده است بصورت کاربردی ارائه گردد. همچنین در موارد خاص به برخی از مدل های کامپیوتری آماده برای مطالعه جریان در رودخانه و تخمین آبستتگی نیز اشاره خواهد شد.

## فصل دوم

### شناسایی رودخانه

#### ۲-۱- مقدمه

شناسایی رودخانه مبحث جامع و پیچیده‌ای است که لازمه آن بررسی کلیه متغیرها و عوامل مؤثر در تشکیل و تغییر شکل رودخانه می‌باشد. مطالعه حوضه آبریز، بارشها، سیلابها، جنس زمین، پوشش طبیعی، شیب طولی رودخانه، ابعاد مقطع عرضی رودخانه، شکل مقطع، موقعیت رودخانه رژیم مورفولوژیک، شاخه‌ای بودن، پیچروندی بودن و دیگر مشخصات مربوط به رودخانه کلیات شناسایی رودخانه را شامل می‌شوند. برای آشنایی کامل با مباحث مختلف شناسایی رودخانه مراجعه به کتب مرجع مربوطه توصیه می‌شود. آنچه در ادامه فصل حاضر ارائه شده است تنها خلاصه‌ای از مباحث عمده مربوط به شناسایی رودخانه می‌باشد.

رودخانه‌هایی که آب را در یک جهت انتقال می‌دهند بر خلاف دلتاها و مصب رودخانه‌هایی<sup>۱</sup> که جریان در دو جهت را تجربه می‌کنند، به دو دسته خودشوی<sup>۲</sup> و غیر خودشوی<sup>۳</sup> تقسیم بندی می‌شوند. رودخانه‌های خودشوی موجب فرسایش کناره‌های خود و شستگی بسترشان می‌شوند، بگونه ای که شکل هندسه هیدرولیکی خود را بر اساس دبی، شیب دره و رسوبات شکل گرفته از مناطق بالادست هماهنگ می‌کنند. این رودها دارای بسترهای سیلابی در هر دو طرف آبراهه اصلی می‌باشند و هر چند گاه با بالا آمدن تراز آب از آبراهه اصلی، آب بر روی این بسترها سوار شده و جریان می‌یابد.

آبراهه اصلی به قسمتی از رودخانه اطلاق می‌شود که نسبت به نقاط دیگر عمیق‌تر بوده و دبی‌های کم از مسیر آن حرکت می‌کنند. بقیه مقاطع رودخانه را بسترهای سیلابی می‌گویند. شکل (۲-۱) نمایش دهنده وضعیتهای مختلف مقطع رودخانه در حالت‌های طغیان و فروکش سیلاب است. رفتار رودخانه‌های غیر خودشوی به همین گونه است، با این تفاوت که شرایط توپوگرافی منطقه قیود بیشتری بر کانال جریان و هندسه آن اعمال می‌کنند. این گونه رودخانه‌ها معمولاً در مقایسه با رودخانه‌های خودشوی، باریکتر و عمیقتر می‌باشند و بندرت آب از دیواره آنها بالا می‌زند. در قسمتهای پیچروندی<sup>۴</sup> (که شکل پلان رودخانه بصورت تقریباً

<sup>1</sup> Estuaries

<sup>2</sup> Alluvial

<sup>3</sup> Incised

<sup>4</sup> Meander

سینوسی در می آید) پهناي کمر بند آبراهه نسبت به پهناي آبراهه مستقیم در رودخانه‌های غیر خودشوی معمولاً بزرگتر از همین پارامتر در رودخانه‌های خودشوی می‌باشد.

رسوبات داخل هر دو نوع آبراهه به دو طریق بار معلق<sup>۱</sup> و بار بستر<sup>۲</sup> منتقل می‌شوند. بار معلق از مواد ریزی که معمولاً در حالت معلق می‌باشند تشکیل شده است که اغلب آنها ناشی از فرسایش حوضه آبریز مربوط می‌باشند. این مواد به همراه جریان سطحی وارد آبراهه اصلی شده‌اند. بخش درشت‌تر بار معلق عموماً در اثر فرسایش و شستگی بستر رودخانه بوجود آمده‌اند که بهنگام کاهش جریان و افت ظرفیت حمل رسوب رودخانه ته‌نشین خواهند شد. بار بستر که غالباً متشکل از مواد درشت است در امتداد بستر رودخانه و با تماس تقریباً مداوم با آن حرکت می‌کند.

## ۲-۲- منابع اصلی اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز برای شناسایی رودخانه معمولاً از طریق منابع گوناگون قابل استحصال است. از جمله این منابع موارد زیر را می‌توان برشمرد:

### الف) نقشه‌های توپوگرافی

این نقشه‌ها اطلاعاتی راجع به الگوی آبراهه اصلی، عرض آبراهه اصلی و عرض بستر سیلابی فراهم می‌سازد. چنانچه نقشه‌های قدیمی‌تر نیز موجود باشد، مقایسه با آنها اطلاعات با ارزشی در ارتباط با پایداری آبراهه، حرکت و انتقال پیچ و خمها و وجود صخره‌های بیرونی که حرکت جانبی را محدود می‌کند، به دست می‌دهد.

### ب) نقشه‌های زمین شناسی و کاربری زمین<sup>۳</sup>

این نقشه‌ها ممکن است در شرکتها و در بخشهای دولتی مربوط به زمین شناسی، کشاورزی، جنگلداری، فرسایش خاک، مدیریت و حفاظت از آب و خاک، آبیاری و تولید توان هیدروالکتریکی موجود باشند.

### ج) عکسبرداری هوایی شامل عکسهای زاویه دار<sup>۴</sup>

هنگامی که عکسهای هوایی گرفته شده در فاصله‌های زمانی و مکانی مشخص موجود باشند، این عکسها منابع با ارزشی خواهند بود. چرا که علاوه بر هندسه آبراهه اطلاعاتی راجع به پایداری آبراهه و سیلابهای ممکن را در اختیار می‌گذارند. عکسهای هوایی معمولاً موقعیتهای پیشین آبراهه رودخانه‌ها را نشان می‌دهند. برای بدست آوردن حداکثر استفاده، باید در پی کسب راهنمایی در مورد زمان و مشخصات برداشت‌های انجام شده بود.

### د) عکسهای ماهواره ای

مقیاس خطی چنین عکسهایی معمولاً 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 آنجائی که در فاصله‌های زمانی سالانه تهیه شده‌اند) پایداری آبراهه و مقدار سیلاب بکار گرفته شوند.

<sup>1</sup> Suspended Load

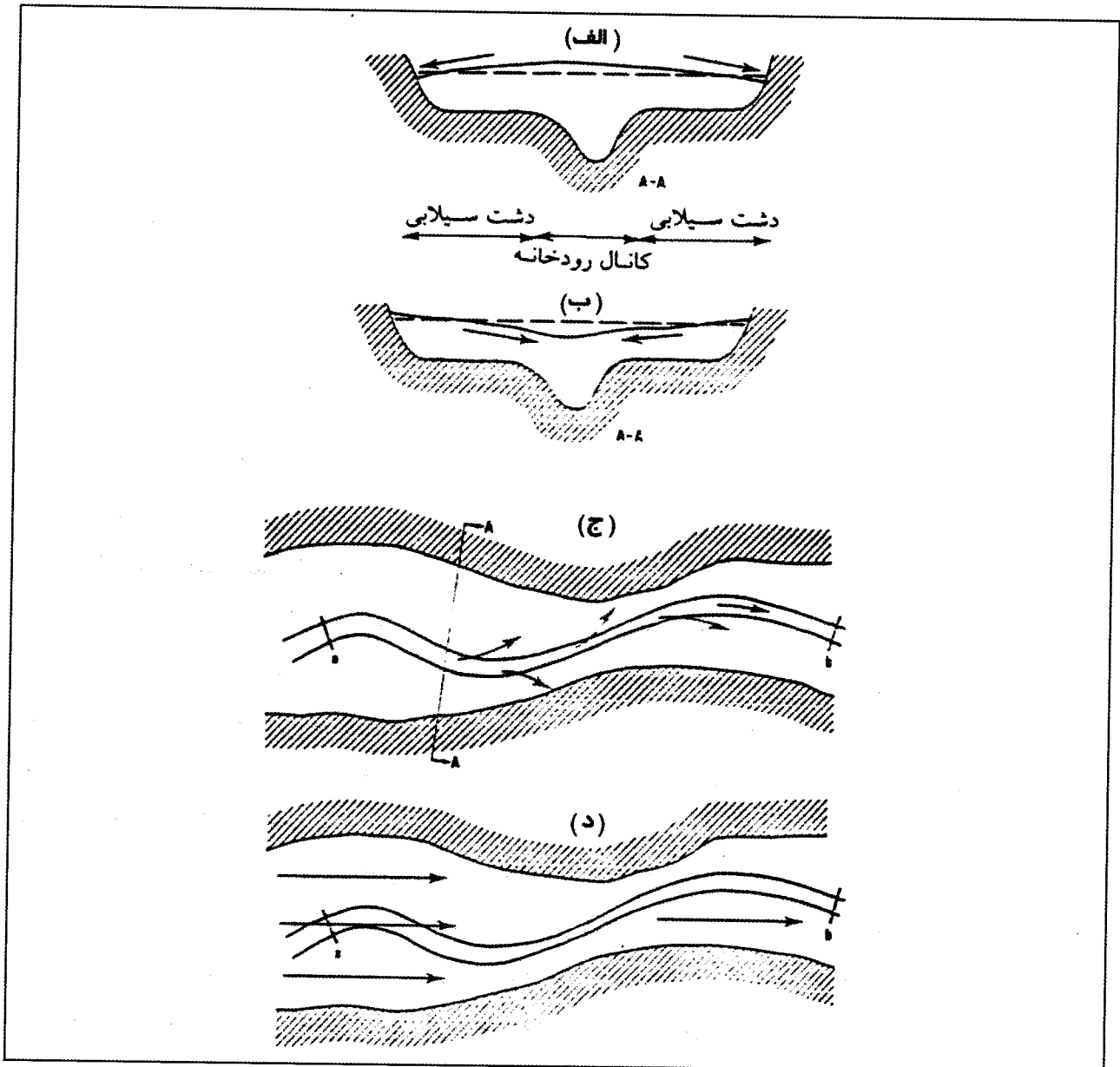
<sup>2</sup> Bed Load

<sup>3</sup> Land use survey maps

<sup>4</sup> Oblique



برنامه ریزی‌ها و اطلاعات مربوط به عملیات ساخت و نگهداری ساختمانهای اصلاح رودخانه و کنترل سیلاب، می‌تواند در شناخت رفتار آبراهه نقش بسزائی ایفا کند، خصوصاً اگر کارهای مهندسی در طول آبراهه انجام شده باشد و مشکلات مربوط به ساخت و نگهداری این ساختمانها بصورت مناسبی گزارش شده باشد.



شکل ۲-۱- نمایی از یک رودخانه متشکل از قسمت آبراهه و قسمت سیلابی (الف) در حالت آغاز سیلاب (ب) در حالت فروکش سیلاب (ج) بالا آمدن آب بر روی قسمت سیلابی (د) جریان سیلاب حداکثر

### ۳-۲- عملیات ارزیابی و بررسی مقدماتی محل

هدف از انجام عملیات ارزیابی مقدماتی محل، بدست آوردن یک شناخت عمومی از رفتار رودخانه توسط آزمودن اطلاعات موجود و بازرسی محل است. در این عملیات اطلاعاتی راجع به موضوعات زیر باید جمع آوری کرد.

- الف) رژیم آبراهه رودخانه، باید مشخص شود که رودخانه از نوع خودشوی دارای بستر سیلابی عریض یا از نوع غیر خودشوی با بستر سیلابی کم عرض است ( به بند ۲-۱ مراجعه شود).
- ب) پایداری آبراهه رودخانه، باید مشخص کرد که آبراهه اصلی از کدام نوع ( پایدار استاتیکی، پایدار دینامیکی و یا ناپایدار) است (به بند ۲-۳-۱ مراجعه شود).
- ج) الگوی جریان آبراهه اصلی رودخانه، اگر از نوع سینوسی است، باید مشخص شود که آیا جابجائی مسیر آبراهه اصلی فعال است یا خیر (به بند ۲-۳-۲ مراجعه شود).
- د) محدوده تراز آب، بخصوص ترازهای سیلاب و تداوم وقوع آن (به بند ۳-۵ مراجعه شود).
- ه) محدوده دبی، بویژه دبی سیلاب و تداوم وقوع آن ( به فصل ۳ مراجعه شود).
- و) عرض آبگذر، عرض بستر سیلابی، طول و عرض پیچ و خمهای مسیر.
- ز) نوع و دسته بندی مصالح بستر (به بند ۲-۳-۳ مراجعه شود).
- ح) نوع مواد تشکیل دهنده کناره های رودخانه.
- ط) محل تمامی صخره های بزرگ بیرونی فرسایش ناپذیر که، ممکن است جابجائی آبراهه اصلی را محدود کنند.

### ۱-۳-۲- پایداری آبراهه جریان

رودخانه‌ها را می‌توان با توجه به پایداری آنها به رودخانه‌های پایدار استاتیکی - پایدار دینامیکی و ناپایدار تقسیم بندی کرد.

#### الف) رودخانه‌های پایدار استاتیکی

این گونه رودخانه‌ها به مرحله‌ای از توسعه خود رسیده‌اند که در آن نیروهای ناشی از آب در جریان برای شستن بستر، فرسایش کناره‌ها و حتی انتقال مقادیر چشمگیر رسوبات به حالت معلق و یا بار بستر، کافی نمی‌باشند. مرزهای آبراهه اصلی این گونه رودخانه‌ها برای بخش عظیمی از سال غیر فعال و ثابت می‌باشند. رفتار آبراهه اصلی بشکلی است که مرزهای آن بصورت ثابت به نظر می‌آیند. البته تغییر در روند عمومی جریان ممکن است موجب تغییر شکل هندسی آبراهه اصلی در این گونه رودخانه گردد.

#### ب) رودخانه‌های پایدار دینامیکی

این دسته از رودخانه‌ها معمولاً پیوسته فعال می‌باشند و قابلیت شستن و ته نشین کردن مواد بستر و فرسایش و ته نشین نمودن مواد کناره‌ها و حمل مقادیر قابل ملاحظه‌ای از رسوب را دارند. هر چند شکل آبراهه این گونه رودخانه‌ها در طی یک مدت کوتاه دستخوش تغییرات می‌شود، اما تغییرات حاصل بشکل پیش رونده نبوده و در محدوده یک حالت متوسط می‌باشند. البته الگوی پلان این رودخانه‌ها ممکن است تغییر کند، اما این تغییرات شکل اولیه پلان را بطور قابل ملاحظه‌ای عوض نمی‌کند مگر در مناطقی که تغییرات زیادی در خصوصیات مرزهای آبراهه در طول آبراهه وجود داشته باشد.

#### ج) رودخانه‌های ناپایدار

این گونه رودها معمولاً مقدار بسیار زیادی رسوب با خود حمل می‌کنند و بطور مداوم در حال شستن و ته نشین کردن مواد و فرسایش کناره‌های خود می‌باشند. این دسته مواد ته نشین شده موجب تغییر شکل جریان می‌شود که در نتیجه آن آبراهه تغییراتی پیش‌رونده در شکل، موقعیت و الگو به خود می‌بیند. رفتار اینگونه رودخانه‌ها معمولاً غیر قابل پیش بینی بوده و معمولاً به سختی قابل

کنترل می‌باشند. روش‌های مقابله با چنین شرایطی اغلب شامل یک برنامه ریزی اساسی در مدیریت حوضه آبریز می‌باشد که در طی آن کنترل فرسایش در حوضه آبریز، ساخت مهارهای رسوب در قسمتهای بالادست رودخانه، تدابیری جهت حفاظت جداره‌های کناری و ساخت موانع سیلابی لحاظ شده است.

### ۲-۳-۲- شکل رودخانه

الگو یا شکل پلان یک رودخانه به لحاظ اینکه بیانگر درجه و نوع کنترل لازم برای جلوگیری از به خطر افتادن پل و متعلقات جانبی آن توسط سیلاب رودخانه می‌باشد دارای اهمیت است. چهار نوع الگوی مختلف وجود دارد که عبارتند از مستقیم<sup>۱</sup>، پیچرویی<sup>۲</sup>، تداخلی<sup>۳</sup> و منشعب<sup>۴</sup>. شکل (۲-۲) نمایش دهنده انواع مختلف شکل رودخانه می‌باشد.

#### الف) رودخانه‌های مستقیم

بندرت رودخانه‌ها در طولی بیشتر از ده برابر عرض آنها مستقیم می‌باشند. چنانچه رودخانه‌ها بصورت آبراهه‌های منفرد مستقیم باشند، احتمالاً از نوع پایدار استاتیکی هستند. ضریب نوسان محور (ضریب سینوسی) این رودخانه‌ها نسبتاً کم در حدود ۱ الی ۱/۲۵ است. (شکل ۲-۲ الف و ب)

#### ب) رودخانه‌های پیچرویی

این رودخانه‌ها بسیار معمول هستند، الگوی ضریب سینوسی محور این رودخانه‌ها بیش از ۱/۲۵ است که شکل (۲-۲ ج) و (۲-۲ د) نمونه‌هایی از آنهاست. نوسان منظم در آنها بسیار نادر است. تغییرات در ذرات تشکیل دهنده مواد کناره‌ها می‌تواند موجب جلوگیری و یا تشدید میزان فرسایش گردد که خود دلیل حرکت غیر یکسان پیچ و خم‌ها در امتداد طول رودخانه است. آبراهه‌های پر پیچ و خم معمولاً از نوع پایدار دینامیکی هستند. با پیشروی الگوی حرکت به سمت پایین دست، مشخصات مقطع آنها در حوالی یک مقدار متوسط نوسان می‌کند. طول پیچش رودخانه‌های خودشوی حدود ۶ برابر عرض آبراهه اصلی می‌باشد در حالیکه عرض پیچش می‌تواند تا هفده برابر عرض آبراهه اصلی باشد. اگر رودخانه غیر خودشوی باشد، طول و عرض پیچش به ترتیب در حدود یازده و بیست و هفت برابر عرض آبراهه اصلی خواهند بود.

روابط تجربی برای برآورد طول و عرض پیچش در بسترهای ماسه‌ای و یا شنی موجود می‌باشند، لیکن میزان حرکت و تغییرات این پیچشها محدوده وسیعی را نشان می‌دهند، در نتیجه دستورالعمل مطمئنی برای برآورد این میزان وجود ندارد. معادلات زیر را می‌توان برای برآورد طول و عرض پیچش رودخانه بکار برد.

<sup>1</sup> Straight

<sup>2</sup> Meandering

<sup>3</sup> Braided

<sup>4</sup> Anabranching

$L_m = 65Q_D^{0.5}$	طول پیچش	(۱-۲)
$B_m = 2.86L_m$	عرض پیچش (رودخانه با بستر سیلابی)	(۲-۲)
$B_m = 2.2L_m$	عرض پیچش (رودخانه های غیر خودشوی)	(۳-۲)

که در روابط فوق  $L_m$  طول پیچش ( $m$ )،  $Q_D$  دبی غالب ( $m^3/s$ ) که معمولاً برابر دبی در حالت بالآمدهگی آب تا جداره‌های کناری آبراهه اصلی است و  $B_m$  عرض پیچش رودخانه ( $m$ ) می باشند. شکل (۳-۲) نمایش دهنده انواع و مراحل مختلف تغییر شکل در یک پیچرود است.

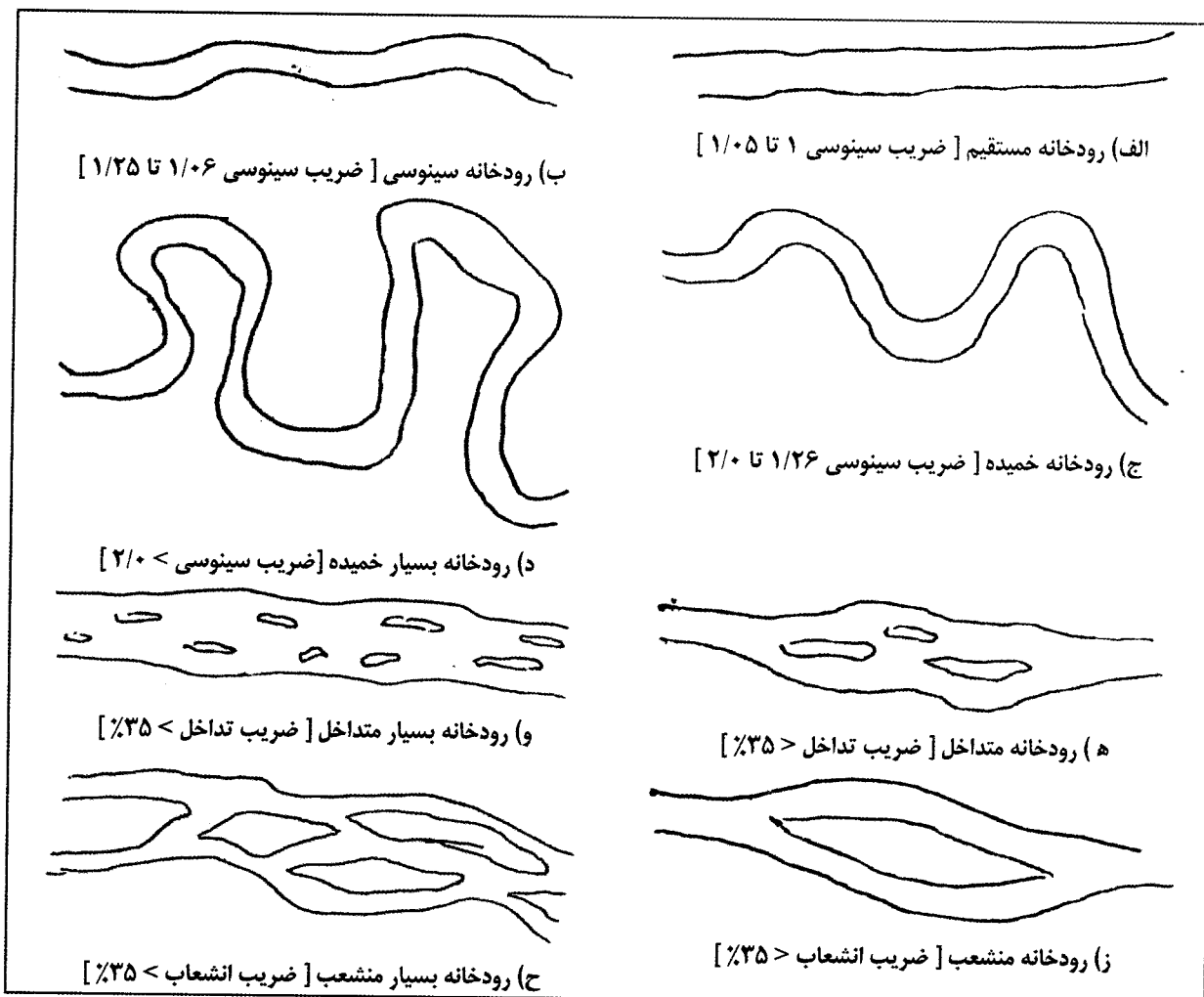
نکته مهم در رژیم پیچرودی این است که این رژیم با حرکت به سمت پایین دست به آرامی کاهش پیدا می کند. پیچهای مسیر ممکن است توسط خود مسیر قطع شده (با یک میانبر قطع شوند) که این حالت به خواص فرسایش دیواره‌ها در محل پیچ بستگی دارد. یک میانبر می تواند برای مدتی شرایط غیر پایدار در رودخانه پدید آورد که دلیل آن تغییر شیب طولی در محل میانبر می باشد. تغییر یک شکل پیچرود یا مسیرهای میانبر ممکن است باعث شوند مسیر رودخانه از زیر پلی که قبلاً احداث شده تغییر کند و پل بدون استفاده بماند یا درمحل که نیاز به احداث پل نبوده است رودخانه با مسیر جاده تلاقی نماید. بنابراین شناخت رفتار رودخانه و پایداری آن باید برای هر طرحی که قرار است بر روی رودخانه اجرا شود مورد بررسی قرار گیرد.

### ج) رودخانه‌های تداخلی

در این رودخانه‌ها بصورت موضعی رسوب‌گذاریهایی دیده می شود که این محدوده‌های رسوب‌گذاری شده همانند جزیره‌های خشک کوچک در داخل بستر به نظر می رسند. شکل‌های (۲-۲-ه) و (۲-۲-و) دو نمای مختلف را نشان می دهند. این آبراهه‌ها معمولاً ناپایدار بوده و با توجه به اینکه بیشتر از حد توان حمل خود حاوی رسوبات هستند، در فواصل کوتاه رسوب‌گذاری می کنند. این مسئله موجب کمتر شدن شیب رودخانه شده و باعث نشست مقادیر بیشتری از رسوب می گردد. مواد ته نشین شده اغلب تا اندازه‌ای زیاد می شوند که جریان را منحرف نموده موجب تغییر مسیر آبراهه گردند.

### د) رودخانه‌های منشعب (شاخه‌ای)

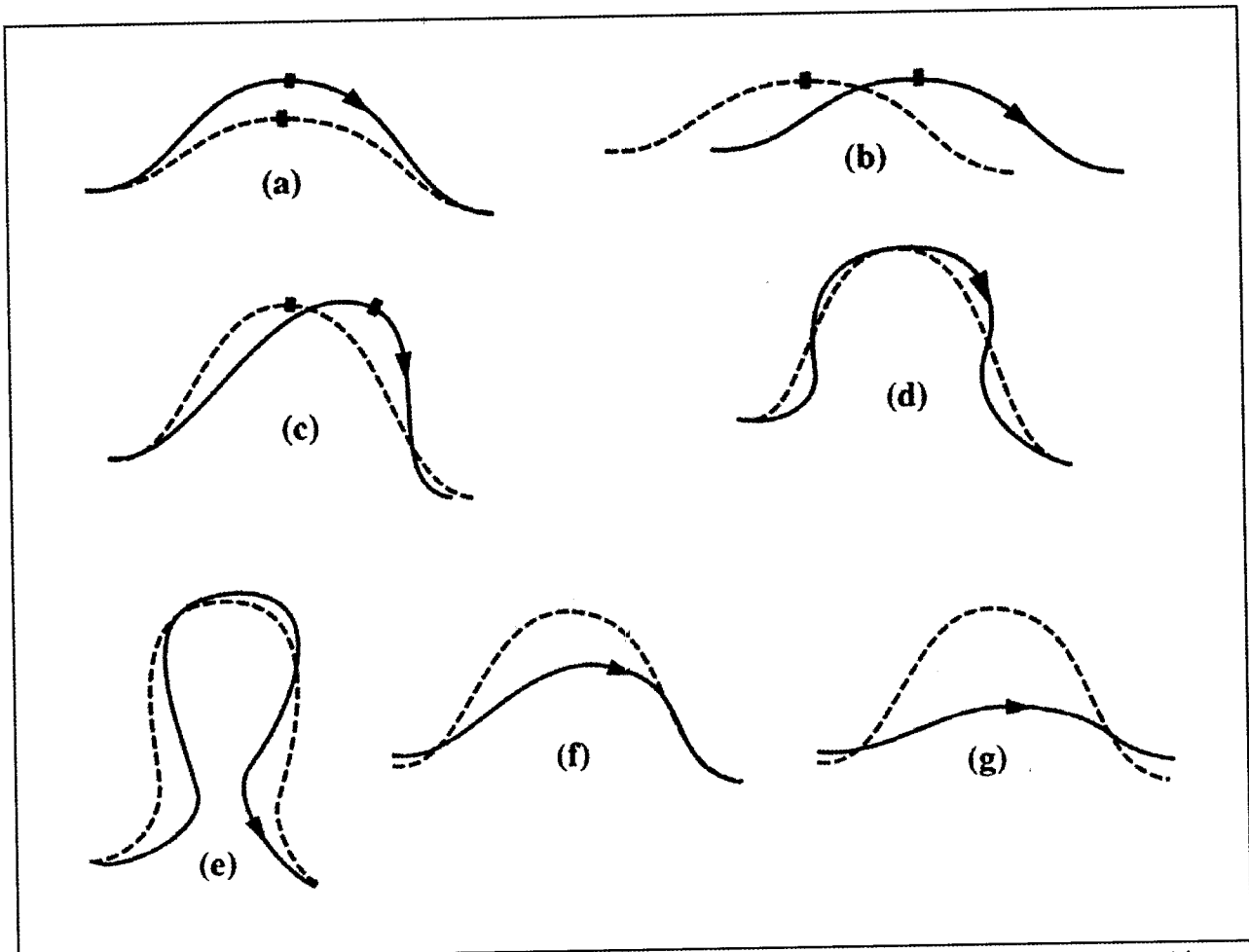
این نوع رودخانه‌ها معمولاً در دشتهای سیلابی با شیب بسیار کم و بستر فرسایش پذیر دیده می شوند. بعلت شیب بسیار کم، آب مسیرهای متعدد در داخل خاک باز کرده و در مدت طولانی این مسیرها بصورت چند شعبه آبراهه نسبتاً موازی که در فواصلی از هم جدا شده و سپس به هم می پیوندند باقی می ماندند. شکل (۲-۱-ز) و (۲-۱-ح) نمایش دهنده این نوع رودخانه‌ها هستند. در دشتهای مسطح که رودخانه به دریاها نزدیک می شود این شکل رودخانه نسبتاً عمومیت دارد.



شکل ۲-۲- تقسیم بندی انواع شکل رودخانه ( ضریب سینوسی بیانگر میزان نوسان متناوب محور رودخانه است. ضریب تداخل نشان دهنده میزان خشکی های داخل سیلابدشت رودخانه عریض و ضریب انشعاب نشانگر میزان جزیره های واقع در مسیر رودخانه های انشعابی است. )

جدول ۲-۱- تقسیم بندی ابعاد دانه ها

ابعاد دانه	2 mm	0/6	0/2	0/06	0/02	0/006	0/002
نوع خاک	شن	ماسه	ماسه متوسط	ماسه ریز	سیلت درشت	سیلت متوسط	سیلت نرم
رس							



شکل ۲-۳- مراحل و موده‌های مختلف توسعه خمیدگی رودخانه (جریان در جهت نمایش داده شده بوده و خط چین مرحله قبل و خط پر مرحله توسعه یافته خمیدگی را نشان می‌دهد). (a) توسعه خمیدگی (b) انتقال خمیدگی (c) چرخش خمیدگی (d) تغییر شکل به حلقه‌های کوچکتر (e) قطع کردن خمیدگی با نزدیک شدن (f) قطع مورب خمیدگی با تند آب (g) قطع کردن خمیدگی با تنداب

[Brice and Blodgett 1978]

### ۲-۳-۳- مراحل نمونه برداری و گروه بندی

نمونه برداری از مصالح بستر و دیواره‌ها یکی از گام‌های مهم در شناخت نوع رودخانه می‌باشد. مصالح بستر عموماً از نوع ریزدانه سیلت و رس، ماسه و یا شن می‌باشند. مراحل نمونه برداری توضیح داده شده در زیر با توجه به مواد مختلف بستر می‌باشد. اسامی خاص مواد بستر با توجه به دسته بندی مندرج در جدول (۱-۲) صورت گرفته است.

#### الف) سیلت و رس

نمونه‌های دست نخورده‌ای از مواد ریزدانه سیلت و رس در بستر رودخانه و ارتفاعات مختلف در زیر آن، باید توسط لوله نمونه‌گیری بدست آیند. بخشی از هر نمونه باید برای تعیین چگالی، بل، مقدار رطوبت، حد روانی و حد پلاستیک و توزیع اندازه ذرات مورد استفاده قرار گیرد.

**ب) ماسه**

مواد ماسه‌ای بستر را می‌توان با استفاده از یک بیل خارج نمود در حالیکه مواد در اعماق بیشتر را باید به کمک نمونه‌گیر اوگر<sup>۱</sup> و یا لوله نمونه‌گیری با کفشک سطحی<sup>۲</sup> و یا با دریچه درپوش دار صاف<sup>۳</sup> خارج نمود. هر یک از نمونه‌ها باید خشک شده، از الک گذرانده و سپس وزن شوند تا دسته بندی بر اساس وزن آنها انجام شود.

**ج) شن**

شن و سنگهای موجود در سطح بستر رودخانه باید با ایجاد شبکه های مربعی با ضلع یک متر در مساحتی به عرض کل ۹ متر و طول کل ۹ متر نمونه گیری شوند. حدود یکصد سنگ که در زیر خطوط متقاطع شبکه قرار دارند باید خارج شوند. هر سنگ دارای سه محور عمود بر هم می باشد، محور اصلی، محور میانی و محور فرعی. طول محور میانی هر سنگ اندازه گیری می شود، و سنگها با توجه به تعداد آنها و نه وزن آنها دسته بندی می شوند که این دسته بندی بر اساس طول محور میانی صورت می پذیرد. شن و سنگهای موجود در اعماق کم زیر بستر را می توان با حفر گودال و نمونه گیری توده ای خارج کرد. این نمونه‌ها پس از خشک کردن و گذراندن از الک، بر اساس وزن برای نمونه های با ذرات کوچک و بر اساس تعداد برای توده های با ذرات درشت، به سادگی قابل دسته بندی هستند.

موادى که در اعماق خیلی بیشتری هستند و قابل حفاری و گود برداری نمی‌باشند باید توسط نمونه‌گیر با قطر حداقل ۱۰۰ mm خارج شوند و دسته بندی آنها نیز مطابق با نمونه های توده‌ای که در بالا به آن اشاره شد انجام می‌شود.

**۲-۴- بازرسی محل<sup>۴</sup>**

هدف از بازرسی محل بدست آوردن درک بهتری از رفتار رودخانه و مصالح تشکیل دهنده آن است که با بررسی مرزهای آبراهه، ترجیحاً در مواقع کم آبی آن انجام می‌شود. اطلاعات گرد آوری شده ما را قادر خواهد ساخت تا رفتار رودخانه در اثر تغییرات در شرایط موجود را پیش بینی کنیم، همچنین خصوصیات هیدرولیکی که در انتخاب طراحی عمومی پل اثر خواهند داشت را مشخص نموده و نیز مقدار کاری که باید برای اصلاح رودخانه انجام شود و نیز برنامه های حفاظت کناره ها را تعیین کنیم.

بازرسی محل باید موارد زیر را مشخص کند :

الف) نوع و دسته بندی مواد بستر.

ب) وجود مواد روان در بستر و ساختار آنها.

ج) مواد تشکیل دهنده کناره ها.

د) نوع گیاهان موجود در کناره ها.

ه) تندی شیب جداره های کناری و نشانه های وجود فرسایش در آنها.

و) گودالها و خوردگیهای ناشی از فرسایش و تشکیل گودال<sup>۵</sup> در کناره ها.

<sup>1</sup> Auger

<sup>2</sup> Basket shoe

<sup>3</sup> Flap valve

<sup>4</sup> Site investigation

<sup>5</sup> Embayments

ز) وجود صخره‌های فرسایش ناپذیر.

ح) نشانه‌هایی از گل و لای بر روی بوته‌ها، درختان و یا کناره‌های رودخانه که ممکن است بیانگر تراز سطح آب در سیلاب اخیر باشد.

ط) اثرات آب بر روی دیواره‌ها، آبشکن‌ها<sup>۱</sup> و پایه‌های پل‌های موجود که می‌تواند نشان دهنده تراز سطح بالای سیلاب اخیر باشد. زمانیکه نتایج حاصل از عملیات جمع آوری اطلاعات اولیه کامل گشت، محل‌های قابل قبولی برای احداث پل به لحاظ شرایط رودخانه‌ای را می‌توان انتخاب کرد. بعد از این مرحله عملیات محلی دقیق و با جزئیات بیشتر از محل‌های انتخاب شده ضرورت دارد.

## ۲-۵- جمع آوری اطلاعات طراحی

با توجه به اینکه مطالعه و درک دقیق رفتار رودخانه و تغییرات محل و رفتار آن ممکن نیست، طراح باید مجموعه‌ای از تغییرات مسیر رودخانه که ممکن است بر روی طرح مورد نظر اثر بگذارد را با توجه به تجربیات بدست آمده در شرایط مشابه مورد مطالعه قرار دهد. در غیر اینصورت احتمال بوجود آمدن حوادث غیر منتظره بسیار زیاد خواهد بود. از اینگونه حوادث می‌توان به عبور جریان از کنار پل، شستگی کوله‌ها، تغییر زاویه مسیر جریان با سازه‌ها و فرسایش جدی آبراهه رودخانه اشاره کرد. پیشگیری کامل از این اتفاقات با بکارگیری دستورالعمل‌های از پیش نوشته شده امکان‌پذیر نمی‌باشد. ولی این دستورالعمل‌ها کمک‌های مناسبی بدین منظور محسوب می‌شوند. با بکارگیری دستورالعمل پیشنهادی برای جمع آوری اطلاعات طراحی نیل (۱۹۷۵) امکان وقوع این پدیده‌ها می‌تواند کاهش یابد. دستورالعمل‌های کلی ارائه شده توسط وی عوامل مهم در انتخاب محل پل یا سازه‌های دیگر که باید مدنظر قرار گیرد را نشان می‌دهند.

نیل فهرست اطلاعات پایه مورد نظر برای طراحی یک پل را به شرح جدول (۲-۲) بیان نموده است.

<sup>۱</sup> Jetties



جدول ۲-۲: فهرست کنترل اطلاعات پایه (نیل ۱۹۷۵)

اطلاعات پایه	مطالعات دفتری مورد نیاز	مطالعات صحرائی مورد نیاز	
نقشه ها، نمودارها، عکسهای هوایی	نقشه های هوایی	مقایسه تغییرات آبراهه نسبت به آخرین نقشه ها یا عکسهای موجود	
	زمین شناسی سطحی یا نقشه های خاکشناسی		
	نقشه های آبهای زیر زمینی		
	عکسهای سه بعدی کوچک مقیاس جهت مکانیابی		
	عکسهای بزرگ مقیاس برای تهیه پلانهای اجرایی		
پلها و سایر سازه های موجود (برای مقایسه کارایی و مناسب بودن آنها)	ابعاد بازشدگی سازه برای عبور جریان	کنترل محلی	
	جزئیات و زمانهای اجراء تغییرات، خسارات، تعمیرات، خرابی و ...	جمع آوری دلایل برای تعمیرات انجام شده و ...	
	پروفیل طولی جاده در سیلابدشت	کنترل اینکه سازه اصلی پل و جاده در محل مرتفع تری ساخته شده اند یا خیر؟	
	ترازهای پایه	یافتن دلایلی برای فرسایشهای رخ داده در محدوده سازه و کنترل کارایی روشهای کنترل فرسایش بکار رفته	
	سیلابها و ترازهای یخ زدگی ثبت شده در محل	جمع آوری مشاهدات محلی خصوصاً برای زمان سیلاب از نظر سیل بردگی یا تغییر مسیر جریان بر اثر سیلاب	
	نمونه گیری های انجام شده	جمع آوری مشاهدات محلی برای بالاترین تراز سیلاب، آثار خرابی، آثار بجای مانده از یخ زدگی ها، داغاب جریان روی سازه های موجود، شاهدها، عکسهای محلی و غیره	
	نقشه برداری های انجام شده پیش از فرسایش		
	تراز سطح آب و دبی جریان	دبی ها و ترازهای ثبت شده نزدیکترین ایستگاه هیدرومتری، خصوصاً ماکزیمم های سالانه	کنترل علائم بجای مانده از یخ زدگی و یا برگشت آب
		منحنی فراوانی سیلاب نزدیکترین ایستگاه ها یا حوزه آبریز	
		منحنی دبی-اشل نزدیکترین ایستگاه های هیدرومتری	
منحنی های تداوم جریان و هیدروگرافهای سالانه		اطلاعات منتشر نشده و یا غیر معتبر از نهادهای مختلف، آرشیو روزنامه ها، ...	
اطلاعات ثبت و بررسی شده در مورد جزر و مدها، موجها، موجهای طوفانی، ... در دریاچه ها و آبهای ساحلی			
سیلابهای طراحی و سایر معیارهای وابسته که برای طراحی سدهای بالادست یا سایر سازه های وابسته بکار رفته			
تحقیق و مشاهده سرعت و جهت جریان برای جریانهای ماکزیمم			
هندسۀ هیدرولیکی و ظرفیت آبراهه	بکار بردن عکسهای هوایی برای تهیه نقشه برداری روی زمین	اندازه گیری ابعاد آبراهه و کرانه های سیلابگیر عکسبرداری از آبراهه و محیط اطراف آن	
	بکار بردن عکسهای هوایی برای کمک به مشاهدات	مشاهده و بررسی محل های سرریز شدن جریان از آبراهه اصلی و آبراهه های کاهنده از میزان سیلاب	

جدول ۲-۲ (ادامه) : فهرست کنترل اطلاعات پایه (نیل ۱۹۷۵)

اطلاعات پایه	مطالعات دفتری مورد نیاز	مطالعات صحرایی مورد نیاز
هندسه هیدرولیکی و ظرفیت آبراهه (ادامه)	کنترل شیب با کمک نقشه های توپوگرافی	اندازه گیری شیب آبراهه
	کنترل زمینهایی که تحت تأثیر قرار می گیرند با استفاده از نقشه های هوایی	تخمین میزان زمینهایی که تحت اثر بازگشت آب قرار می گیرند
		یافتن محل مقاطع کنترل، تندآبها، آبشارها
شرایط یخ زدگی و ذرات دیگر	ضخامت یخ زدگی های ثبت شده	مشاهده محلی برای یافتن شرایط بد یخ زدگی، و دلایل ایجاد آن و ضخامت و ابعاد قطعات یخ در آن حالت
	اطلاعات ثبت شده در مورد رفتار و حرکت یخ خصوصاً قالبهای یخی	مشاهده الوارها و ذرات دیگر و تأثیر آنها روی سیلاب
	اطلاعات ثبت شده مربوط به پی کنی شمع کنی سازه های موجود	نمونه برداری و عکسبرداری از مصالح بستر
اطلاعات ژئوتکنیکی	اطلاعات حفر چاه ها در منطقه	یافتن بزرگترین سنگی که بوسیله سیلاب حرکت داده شده
	اطلاعات آزمایشهای خاک	توصیف و عکسبرداری از مصالح دیواره آبراهه
		مشاهده لایه های زمین
آبراهه و ساحل	مقایسه نقشه ها و عکسهای هوایی در سالهای مختلف برای پیدا کردن حرکت و جابجایی پیشرفتگی طبیعی ساحل، دیوارهای ساحل و فرسایش ساحلی و ...	انجام آزمایشات خاک تا حداکثر عمق فرسایش محتمل
		اندازه گیری حداکثر عمق فرسایش در خمها، تنگ شدگیها، تپه ها و سازه های موجود
		جمع آوری مشاهدات محلی در مورد حرکت دیواره ها، فرسایش ساحل، حرکت زمین، ... و علل بوجود آورنده آنها
		بدست آوردن دانه بندی مصالح بستر
		مشاهده و بررسی طبیعت و حرکت فرم بستر
مهندسی و کنترل جریان (در مورد جریانهای تنظیم شده)	روشهای بهره برداری از سازه های هیدرولیکی در حالت معمولی یا اضطراری	مشاهده و یافتن عملیات مهندسی ثبت نشده لایروبی برداشت شن و ماسه، تصحیح مسیر، انحراف جریان و غیره
	ارائه دلیل برای گسترش یا ایجاد سازه های کنترل جریان	آزمایش شرایط سازه ای سازه های کم اهمیت

جدول ۲-۲ (ادامه): فهرست کنترل اطلاعات پایه (نیل ۱۹۷۵)

اطلاعات پایه	مطالعات دفتری مورد نیاز	مطالعات صحرائی مورد نیاز
اطلاعات حوضه زهکش و هواشناسی (خصوصاً برای حوضه‌هایی که اطلاعات هیدرومتری ناقصی دارند)	مساحت زهکشی پائین ساختمان مورد نظر	کنترل پوشش زمین و کاربری زمین در محل ممکن است کنترل در محل نیاز داشته باشد
	پوشش زمین و کاربری زمین در حال حاضر و تغییرات صورت گرفته	
	شیبها، جنس خاک، نفوذپذیری	
	میزان ذخیره در دریاچه ها، مخازن و غیره	
شرایط طوفانی	احداثات آبی که ممکن است روی آب دهی و سیلاب تأثیر بگذارد	شدت و توزیع بارش های طوفانی بارش برف، درجه حرارت و سایر عواملی که روی جریانهای ناشی از ذوب برف تأثیر می گذارد اطلاعات مربوط به باد که روی ارتفاع موجها تأثیر می گذارد



## فصل سوم

### برآورد متغیرهای هیدرولیکی

#### ۳-۱- مقدمه

برای کنترل آبشستگی پایه پل یکی از اصلی ترین اطلاعات مورد نیاز دانستن سرعت یا دبی جریان در محدوده پل می باشد. در این فصل ابتدا عملیات مورد نیاز برای جمع آوری اطلاعات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی شرح داده شده و سپس روشهای مختلف برای تخمین دبی سیلاب طراحی ارائه می گردد. در ادامه فصل نیز مشخصات عمومی شکل کانال با توجه به دبی جریان و مشخصات فیزیکی محدوده پل مورد بررسی قرار خواهند گرفت. با استفاده از این اطلاعات می توان دبی و سرعت جریان در محدوده پل را تخمین زد.

#### ۳-۲- عملیات هیدروگرافیکی

عملیات هیدروگرافیکی به طور ایده آل شامل موارد مشروحه زیر است.

مقاطع آبراه رودخانه و بستر سیلابی باید در امتداد خط فرضی روگذر پل و در فواصل ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۶ و ۱۲ برابر عرض آبراهه سیلابی در بالا دست و در فواصل ۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ برابر عرض آبراهه در پایین دست پل بدست آیند. تمامی ارتفاعات باید بر اساس یک مبدأ مشترک اندازه گیری شوند. چنانچه پس زدگی آب به صورت یک معضل وجود نداشته باشد (برای مثال آبراهه ممکن است با شیب تند باشد، دهانه پل خیلی عریض باشد و یا سیلاب هیچگونه مشکلی بوجود نیاورد) تعداد مقاطع مورد نیاز کاهش می یابد.

شکل پلان کانال و بستر سیلابی باید به کمک نقشه های عملیاتی موجود و قابل اطمینان بدست آیند. چنانچه این نقشه ها موجود نباشد، باید برداشت مقاطع در امتداد دو کناره های آبراهه سیلابی انجام شود تا الگوی آبراهه بدست آید. این برداشت باید تا فاصله ۱۲ برابر عرض آبراهه در بالادست و ۶ برابر عرض آبراهه در پائین دست محل پل ادامه داشته باشد.

تعیین گروه دسته بندی مواد بستر باید حداقل در چهار نقطه در مقطع عرضی رودخانه، در محل پل، و در دو مقطع در بالادست به فواصل ۰/۵ و ۱ برابر عرض آبراهه مشخص شوند.

باید نمونه‌های رسوبی را از بستر رودخانه و در فواصل پائین دست پل، به اندازه ۱/۵ برابر عمق آبراهه پائین تر از پل، بدست آورد. توصیه می‌شود که یک تخمین حدودی از عمق آبشستگی انجام شود تا در انتخاب عمق نمونه برداری رسوب دقت شود. روش‌های نمونه برداری در فصل دوم مورد بحث قرار گرفته‌اند.

### ۳-۳- عملیات هیدرولیکی

خصوصیات توپوگرافیکی یک رودخانه، بجز ارتفاع بستر آن معمولاً خیلی سریع تغییر نمی‌کنند. بنابراین، جمع آوری اطلاعات کافی و قابل اطمینان در مورد بستر رودخانه و سطح بستر سیلابی در یک عملیات منفرد میسر است. این درحالی است که ویژگی‌های هیدرولیکی یک رودخانه بطور مداوم در حال تغییر بوده و تنها توسط انجام عملیات متعدد در طی مدت زمان طولانی است که اطلاعات کافی برای تحلیل آماری و ارائه رهنمود در بدست آوردن مقادیر حدی که طراحی و ایمنی پل را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بدست می‌آید.

به ندرت اتفاق می‌افتد که یک پل در حوالی یک ایستگاه قدیمی اندازه‌گیری دبی قرار گیرد، لیکن به محض اینکه محل احداث پل پیش بینی، شد، لازم است یک ایستگاه اندازه‌گیری دبی در حوالی آن احداث شود.

لازم است دبی عبوری از محل محور پل در چندین حالت جریان اندازه‌گیری شود. هر اندازه‌گیری دبی باید مربوط به یک روز، زمان و تراز آب خاص (بر اساس استاندارد برداشت دبی) باشد. مقدار و جهت سرعتها بهتر است در حدود ده نقطه و یا بیشتر در عرض آبراهه رودخانه و در چندین موقعیت طولی در زمان جریان با شدت بالا اندازه‌گیری شوند. این اندازه‌گیری‌های سرعت می‌تواند بخشی از برنامه اندازه‌گیری دبی، که در بالا به آن اشاره شد، باشد.

شناورهای<sup>۱</sup> سرعت سنج باید حداقل در دو وضعیت مختلف جریان با شدت بالا آزمایش شوند. حداقل شش شناور که در فواصلی در عرض کانال قرار گرفته باشند، و در امتداد طولی در فاصله سه برابر عرض کانال در بالادست و یک برابر عرض کانال در پائین دست محل فرضی پل را پوشش دهند باید مورد آزمایش قرار گیرند.

برای تعدادی از دبی‌ها باید شیب سطح آب اندازه‌گیری شود. ایستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب باید به حد کافی از هم فاصله داشته باشند تا دقت لازم در اندازه‌گیری شیب با در نظر گرفتن دقت اندازه‌گیری تراز آب حاصل شود.

چنانچه عدم اطمینان کلی در اندازه‌گیری تراز آب در دو ایستگاه حدود ۰/۰۵ m (با در نظر گرفتن کلیه خطاها در اندازه‌گیری تراز بین دو ایستگاه) و دقت لازم برای یافتن شیب ۵٪ باشد، حداقل فاصله بین ایستگاه‌ها می‌تواند از جدول شماره (۳-۱) بدست آید.

جدول ۳-۱ حداقل فاصله بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری تراز آب

حداقل فاصله بین ایستگاهها (متر)	شیب سطح آب
۵۰۰	۰/۰۰۲
۱۰۰۰	۰/۰۰۱
۵۰۰۰	۰/۰۰۰۲

<sup>۱</sup>-Float tracks

### ۳-۴- دوره بازگشت سیلاب

در برآورد دوره بازگشت سیلاب طراحی فاکتورهایی مانند احتمال تلفات جانی و خسارات اقتصادی بر اثر خرابی‌های موجود آمده باید در مقابل هزینه‌های اضافی تحمیل شده به پروژه مورد توجه قرار گیرند. ماهیت این مسأله بگونه‌ای است که هیچگونه تضمینی وجود ندارد که مثلاً در مورد یک پل طراحی شده برای سیلاب برآورد شده هزار ساله دبی بیشتر از دبی طراحی در سال اول از عمر سازه اتفاق نیفتد، هر چند که احتمال وقوع چنین امری بسیار ناچیز است. برای شرایط موجود در انگلستان، جرج<sup>۱</sup> مقادیر ثبت شده در جدول (۳-۲) را توصیه می‌کند. در صورت موجود بودن، استفاده از دوره بازگشت توصیه شده توسط آئین نامه طراحی راه و پل ارجح است.

جدول ۳-۲ دوره بازگشت سیلاب طرح

وضعیت پل	دوره بازگشت پیشنهادی (سال)
پل محل اتصال دو خیابان در مجموعه شهری با جمعیت زیاد	۱۰۰۰
پل اتصال راه و بزرگراه بین شهری	۱۵۰
پل راههای روستایی و محلی	۳۰
پل قابل استغراق	۵

### ۳-۵- روشهای هیدرولوژیکی برآورد دبی و تراز آب طراحی

روشهای هیدرولوژیکی تخمین دبی و تراز آب سیلاب بر اساس کاربرد آماری و محاسباتی اطلاعات هیدرولوژیک اندازه گیری شده یا مشاهده شده استوار می‌باشد. با توجه به اینکه روشهای هیدرولوژیکی مناسب برای تخمین دبی کمتر در مراجع فارسی ارائه شده‌اند پنج نوع مختلف این روشها در ادامه شرح داده می‌شود. خلاصه این روشها در جدول (۳-۳) ارائه گردیده است. برای اطلاع بیشتر از مبانی کاربردی و فرمولهای مورد استفاده در این روشها مراجعه به کتب مرجع هیدرولوژی توصیه می‌شود.

<sup>1</sup> George

جدول ۳-۳- تخمین دبی سیلاب

روش	۱	۲	۳	۴	۵
اطلاعات موجود	- مقادیر اندازه گیری دبی و تراز سطح آب بصورت منظم در محل پل	- مقادیر اندازه گیری دبی و تراز سطح آب بصورت منظم در یک ایستگاه اندازه گیری - اندازه گیری تراز سطح آب بصورت همزمان در محل پل و ایستگاه	- اندازه گیری شدت مدت بارش در حوضه - اندازه گیری مقدار بارش در چند ایستگاه در همان حوضه - نقشه توپوگرافی - نقشه زمین شناسی نشان دهنده نوع خاک - نقشه انواع پوشش گیاهی - مقاطع عرضی و شیب طولی رودخانه	- اندازه گیری شدت مدت بارش در حوضه - اندازه گیری مقدار بارش در چند ایستگاه در همان حوضه - منحنی هیدروگراف و دبی واحد ناشی از منحنی هیدروگراف بارش واحد - مقاطع عرضی و شیب طولی رودخانه	- فرمول دبی سیلاب (رابطه هیدروگراف واحد و ...)
تحلیل ها	۱- منحنی دبی-اشل ۲- برون یابی منحنی دبی-اشل ۳- تحلیل فراوانی داده های دبی ۴- انتخاب دبی و تراز آب طراحی	۱- منحنی دبی-اشل ۲- برون یابی منحنی دبی-اشل ۳- تحلیل فراوانی داده های دبی ۴- انتخاب دبی و تراز آب طراحی	۱- تحلیل فراوانی داده های بارش ۲- رابطه شدت-مدت بارش ۳- رابطه شدت-مساحت بارش ۴- محاسبات شدت-روان آب بارش ۵- محاسبه تراز آب	۱- تحلیل فراوانی داده های بارش ۲- رابطه شدت-مدت بارش ۳- رابطه شدت-مساحت بارش ۴- رابطه شدت-روان آب بارش ۵- تحلیل هیدروگراف واحد ۶- محاسبات مربوط به تراز آب	۱- رابطه سیلاب ۲- محاسبات تراز آب

## ۳-۵-۱- روش اول

این روش برای محلهای فرضی ساخت پلی است که اندازه گیری‌های مرتب از دبی و تراز آب در طول سالیان متمادی در آن صورت گرفته که ترجیحاً این مدت کمتر از ده سال نباشد.

## منحنی دبی - اشل

اندازه گیری های دبی و تراز آب که نسبت به یک مبدأ ثابت بدست می‌آیند در یک جدول منظم می‌شوند. این مبدأ همان مبدأ مقایسه‌ای است که در عملیات توپوگرافیکی در نظر گرفته شد. این جدول زمان برداشت‌ها و نیز یکنواخت بودن تراز جریان و یافت و خیزدار بودن آن را مشخص می‌کند. نرخ تغییرات دبی نسبت تراز آب بر روی یک نمودار لگاریتمی رسم می‌شوند. با این شرط که



هیچ نشانه‌ای از تغییر سیستماتیک در رابطه دبی-اشل در طول زمان دیده نشود، یک منحنی منظم از وصل کردن نقاط حاصله بدست می‌آید.

البته توجه به این نکته لازم است که برای نقاطی که در زمان سیلابها برداشت شده‌اند رابطه دبی-اشل برای زمان شروع سیلاب و فروکش کردن سیلاب یکسان نبوده و منحنی دبی-اشل در زمان شروع سیلاب بالاتر از منحنی دبی-اشل در زمان فروکش کردن سیلاب باشد. به این ترتیب در عمل برای بدست آوردن یک منحنی دبی-اشل باید مناسبترین منحنی از بین نقاط بدست آمده رسم شود.

### برون یابی<sup>۱</sup> منحنی دبی-اشل

استخراج اطلاعات خارج از محدوده اندازه گیری شده از نمودار دبی-اشل مشکل و با احتمال ایجاد خطای زیاد همراه می‌باشد، چرا که مقطع کانال با افزایش دبی به طور چشمگیری تغییر می‌کند. بخشی از این تغییر مقطع ممکن است بعلت بالازدن آب از بستر بالایی و بخشی دیگر بعلت آبستتگی بستر صورت پذیرد. مورد اول نسبتاً آسان قابل تخمین است، لیکن برآورد مورد دوم بسیار سخت است.

عمل برون یابی نمودار دبی-اشل می‌تواند با ادامه دادن منحنی رسم شده صورت پذیرد. البته بایستی هیچگونه انفصالی در رابطه عمق-مساحت مقطع وجود نداشته باشد و آبستتگی اتفاق نیفتد. چنین انفصالی به هنگام رسیدن دبی به حالت پر (تا مرز کناره‌ها) و پخش جریان در سیلابدشته‌ها محتمل می‌باشد.

روش دیگر برون یابی منحنی دبی-اشل، استفاده از رابطه مناسب جریان در کانال (مانند رابطه مانینگ) است :

$$Q = (A/n) R^{0.67} S^{0.5} \quad (1-3)$$

با فرض عدم وقوع آبستتگی و ثابت فرض کردن  $S^{0.5}/n$  و با جایگزینی  $(A/P=R)$  در معادله (۱-۳) داریم :

$$Q = JA^{1.67} P^{-0.67} \quad (2-3)$$

چنانچه کانال عریض باشد،  $R=y$  خواهد بود و از معادله (۱-۳) خواهیم داشت :

$$Q = JAy^{.67} \quad (3-3)$$

که در آن  $Q$  دبی  $(m^3/s)$ ،  $A$  مساحت مقطع  $(m^2)$  و  $R$  شعاع هیدرولیکی  $(A/P)$  بر حسب  $(m)$ ،  $S$  گرادیان

هیدرولیکی،  $P$  پیرامون مرطوب  $(m)$ ،  $y$  عمق متوسط جریان  $(m)$  و  $n$  زبری می‌باشد و داریم  $J = S^{0.5}/n$ .

اگر انتظار می‌رود که آبستتگی قابل توجهی در بستر رخ دهد برای هر تراز آب انتخاب شده موارد زیر انجام می‌شود :

الف) جریان در آبراهه اصلی به کمک یک رابطه مناسب جریان با بستر زنده<sup>۲</sup> برآورد می‌شود که در آن اعماق مختلف آبستتگی

(نحوه توزیع آبستتگی در عرض آبراهه) در نظر گرفته شده باشد و نتایج حاصل با رابطه دبی-اشل بدست آمده برای دبی‌های

کوچکتر مقایسه می‌گردد. این روش نتایج تقریبی خوبی بدست می‌دهد.

ب) جریان بر روی بستر سیلابی به کمک یکی از روابط مناسب جریان کانال و با فرض عدم وجود آبستتگی محاسبه می‌شود.

<sup>1</sup> Extrapolation

<sup>2</sup> Live bed

### تحلیل فراوانی داده های دبی

تخمین اندازه دبی سیلاب برای یک دوره بازگشت زیاد عموماً استخراج تعداد بیشتری از اندازه گیری ها را ضروری می سازد. روش عمل مورد استفاده بستگی به فرضیات در نظر گرفته شده در توزیع تئوریک فراوانی رخدادها دارد.

اساساً، حداکثر سیلابهای اندازه گیری شده در هر سال برای مدت آماری موجود بر حسب مقادیر آنها فهرست می شوند. تداوم (مدت) هر سیلاب وابسته به اندازه رودخانه و میزان افت و خیز در سیلابها می باشد. در رودخانه های بزرگ که تغییر دبی در طول یک روز ممکن است کوچک باشد، دبی روزانه می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در رودخانه های کوچکتر جریان ساعتی و یا مقیاس کوچکتر زمانی را می توان انتخاب کرد. دوره بازگشت<sup>۱</sup> دبی سیلابی سالانه با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T_r = \frac{r+1}{m} \quad (4-3)$$

که در آن  $T_r$  دوره بازگشت بر حسب سال،  $r$  تعداد کل سلاهای برداشت آمار و  $m$  رتبه هر دبی پس از مرتب سازی فوق است.  $m=1$  رتبه سیلاب حداکثر اندازه گیری شده و  $m=r$  رتبه سیلاب اندازه گیری شده مورد نظر است. سپس دبی بر حسب فاصله زمان وقوع بر روی کاغذ گرافیکی معمولی، کاغذ لگاریتمی خطی، کاغذ توزیع احتمال نرمال، کاغذ توزیع احتمال لگ نرمال و یا کاغذ توزیع گامبل - پاول رسم می شود. از آنجائی که برون یابی از روی یک منحنی در برخی مواقع مشکل است، نموداری که در آن داده ها تقریباً روی یک خط ظاهر می شوند انتخاب شده و بهترین خط بر آن برازش داده می شود. برون یابی کردن این خط تخمین دبی مربوط به دوره بازگشت انتخابی را ممکن می سازد. برای جزئیات بیشتر تخمین سیلاب حداکثر با استفاده از روشهای مذکور مراجعه به کتب مرجع هیدرولوژی توصیه می شود.

در مراجع پیشنهاد شده است که چنانچه لازم باشد سیلابهای حدی تخمین زده شوند، لازم است حداکثر دبی های سالانه مورد استفاده قرار گیرد. گاهی اوقات تحلیل بر روی سیلابهایی که بیشتر از یک مقدار انتخابی باشند صورت می گیرد. این عمل موجب ایجاد سری های گسسته با دوره بازگشت کمتر از آنچه برای سری های سالانه در نظر گرفته شد، می شود. برای داده های با تداوم بین یک تا ده سال برای مثال، دوره بازگشت ممکن است بین  $0.43$  تا  $0.95$  برابر دوره بازگشت مشتق شده از سری های سالانه باشد.

### انتخاب دبی و تراز آب طراحی

دبی طرح از برون یابی منحنی دبی - فراوانی برای دوره بازگشت انتخاب شده بدست می آید. تراز آب مربوط به این دبی با برون یابی منحنی دبی - اشل بدست می آید.

### ۳-۵-۲- روش دوم

این روش برای حالتی است که در اندازه گیری های دبی و تراز آب رودخانه برای دوره های حداقل ده سال یک ایستگاه در موقعیتی بجز محل پل موجود باشد. علاوه بر آن، اندازه گیری همزمان تراز آب در محل ایستگاه اندازه گیری دبی و در محل پل به تعدادی که در آن مقادیر مختلف و متعدد تراز آب وجود داشته باشد، لازم است.

<sup>1</sup> Recurrence interval

### رابطه دبی - اشل

مطابق روش اول اندازه گیری های مربوط به تراز آب و دبی جدول بندی می شوند. اندازه گیری های همزمان تراز آب که بر مبنای مبدأ فرض قبلی می باشد نیز باید جدول بندی شوند. داده های همزمان مربوط به تراز آب روی ورقه های ترسیم آورده می شوند، که باید بین آن بخش از داده هایی که مربوط به هنگام بالا آمدن، پایین افتادگی و یک نواختی جریان می باشند تمایز قائل شد. یک رابطه گرافیکی بین عمق آب در دو مقطع قابل رسم است. با استفاده از آن تراز آبهایی که در ایستگاه های اندازه گیری دبی ثبت شده اند باید به ترازهای معادل آن در محل فرضی پل تبدیل گردند. منحنی دبی - اشل برای محل پل به صورتی که در روش اول ارائه شد با استفاده از اندازه گیری های دبی و مقادیر تراز آب بدست آمده رسم می شود.

### برون یابی رابطه دبی - اشل

منحنی تغییرات دبی - اشل بدست آمده برای محل پل به همان صورتی که در روش اول ارائه شد برای برون یابی مقادیر دبی - اشل فوق الذکر بکار می رود.

### تحلیل فراوانی داده های دبی

سیلابهای حداکثر سالانه به همان ترتیبی که در روش اول ذکر شد فهرست شده و رسم می شوند که در آن از دبی های ثبت شده در محل اندازه گیری ایستگاه استفاده می گردد.

### انتخاب دبی و تراز آب طراحی

دبی طرح مانند روش اول بدست می آید و به کمک رابطه تئوریک دبی - اشل برون یابی شده برای محل پل، تراز آب متناظر با دبی طرح بدست می آید.

### ۳-۵-۳- روش سوم

این روش بر اساس روش ارائه شده توسط ریچاردز<sup>۱</sup> ارائه گشته و کاربری آن برای حوضه های آبریز که دارای آبراه اصلی و تعداد کمی انشعابات فرعی هستند می باشد. داده های موجود این روش عبارتند از :

الف) اندازه گیری های شدت - مدت بارش برای چندین سال (ترجیحاً بیشتر از ده سال) در یک ایستگاه که بیانگر شرایط بارش در تمام حوضه می باشد. چنانچه تعداد بیشتری از اینگونه ایستگاه ها وجود داشته باشند پیش بینی قابل اطمینان تری از دبی حاصل خواهد شد.

ب) اطلاعات ثبت شده بارش در چندین ایستگاه از حوضه آبریز برای یک طوفان و یا بطور مشابه نموداری از نسبت مدت بارش متوسط بر روی یک ناحیه به شدت بارش در یک نقطه بر حسب مساحت پوشش داده شده توسط شدت بارش متوسط.

ج) نقشه های توپوگرافی که اندازه، شکل و شبکه حوضه آبریز و نیز نوع پوشش گیاهی را نشان می دهند.

د) پلانی که نوع خاک را نشان می دهد.

<sup>1</sup> Richards

### تحليل فراوانی داده های بارش

بارش های یک ساعته ماکزیمم سالانه باید با توجه به مقادیر آنها به صورت نزولی مرتب شوند. سپس دوره بازگشت هر کدام به کمک رابطه (۳-۴) محاسبه می شود. در گام بعدی بارش ساعتی بر حسب دوره بازگشت بر روی یک کاغذ لگاریتمی - لگاریتمی و لگاریتمی احتمال رسم می شود. بهترین منحنی ها بر نقاط مزبور برازش داده می شود. منحنی که برای برون یابی مناسبتر باشد انتخاب شده و با توجه به دوره بازگشت مورد نظر بارش ساعتی متناظر برآورد می گردد.

### رابطه شدت - مدت بارش

رابطه زیر در مورد شرایط بارش حدی بر روی حوضه آبریز معتبر فرض می شود:

$$I = \frac{H}{T+1} \quad (5-3)$$

که در آن  $I$  شدت بارش در یک نقطه داخل حوزه آبریز ( $mm/hr$ )،  $T$  مدت تداوم طوفان بارش ( $hr$ ) و  $H$  ثابت بارش ( $mm$ ) است. با جایگذاری شدت بارش نقطه ای  $I$  و دوره بازگشت  $T$  خواسته شده در رابطه فوق ضریب ثابت بارش  $H$  بدست می آید.

### رابطه شدت - مساحت بارش

شدت بارش متوسط بر روی یک ناحیه کمتر از شدت بارش در نقطه ای داخل آن ناحیه است. چنانچه از قبل رابطه ای برای این مقادیر بدست آمده است، شدت بارش متوسط بر روی حوزه آبریز را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$i_s = I \cdot f(a) \quad (6-3)$$

که در آن  $i_s$  شدت متوسط بارش بر روی ناحیه داده شده ( $mm/hr$ ) و  $I$  شدت بارش در نقطه ای داخل ناحیه ( $mm/hr$ ) و  $f(a)$  ضریب تقلیل بارش برای ناحیه مورد نظر است. اگر این اطلاعات موجود نباشند، محل کلیه ایستگاه های اندازه گیری بارش داخل حوضه باید بر روی نقشه ای رسم شود. چند ضلعی تیسین<sup>۱</sup> برای هر ایستگاه رسم می گردد. برای هر یک از بارش ها شدت بارش برای تمام حوضه محاسبه می شود و ضریب تقلیل بارش از رابطه زیر بدست می آید:

$$f(a) = \frac{i}{I} \quad (7-3)$$

### محاسبات شدت - روان آب بارش

از روی نقشه عملیات توپوگرافیک بر روی مساحت حوضه آبریز و رودخانه در بخش بالادست محل فرضی پل اطلاعات زیر استخراج می گردد:

الف) شیب رودخانه اصلی بر روی طولی بین ۱۰ تا ۸۵ درصد از طول رودخانه در بالادست محل پل بدون در نظر گرفتن آبشارها و شیب های تند غیر معمول.

ب) طول حداکثر حوضه آبریز از محل پل.

ج) مساحت و شکل حوضه.

<sup>۱</sup> Thiessen

د) خصوصیات حوضه آبریز با توجه به نفوذپذیری و پوشش گیاهی آن. از توضیحات مربوط حوضه آبریز و استفاده از جدول (۳-۴) ضریب روان آب  $k$  تخمین زده می‌شود. با دانستن مقدار  $k$  و  $H$  ضریب  $C$  حوضه از رابطه زیر بدست می‌آید (فارادی و چارلتون ۱۹۸۳):

$$C = 0.706 (kH - 10.16)^{-0.42} \quad (۸-۳)$$

سپس زمان تمرکز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{t^3}{t+1} = \frac{CL_c^2 N}{kSHf(a)} \quad (۹-۳)$$

که در آن  $t$  زمان تمرکز ( $h$ )،  $L_c$  طول حوضه آبریز ( $km$ ) و  $C$  ضریب ثابت حوضه،  $k$  ضریب روان آب،  $S$  شیب متوسط رودخانه اصلی با حذف آبشارها و شیبهای نامعمول تند،  $H$  ضریب بارش ( $mm$ )،  $N$  ضریبی که به شکل بارش بستگی دارد (فرض می‌شود  $N=1.1$ ) و  $f(a)$  ضریب تقلیل مساحت برای شدت بارش می‌باشد. شدت بارش متوسط از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$i = \frac{H}{t+1} f(a) \quad (۱۰-۳)$$

و دبی از رابطه پائین قابل محاسبه است:

$$Q = 0.278 cia \quad (۱۱-۳)$$

که در آن  $Q$  دبی ( $m^3/s$ ) و  $i$  شدت بارش متوسط بر روی حوضه برای مدت زمان  $t$  ساعت ( $mm/hr$ ) و  $a$  مساحت حوضه ( $km^2$ ) می‌باشند.

جدول ۳-۴ ضرایب آب سطحی

ضریب $k$ برای حوضه کوچک	ضریب $k$ برای حوضه بزرگ	نوع حوضه آبریز
۱/۰	۰/۸	سنگی و غیر قابل نفوذ
۰/۸	۰/۶	بدون پوشش گیاهی و نفوذپذیری کم
۰/۶	۰/۴	با پوشش گیاهی یا کشاورزی اندک و نفوذپذیری کم
۰/۴	۰/۳	با پوشش گیاهی کامل و نفوذپذیری خوب
۰/۳	۰/۲	شن و ماسه ای با نفوذپذیری خوب
۰/۲	۰/۱	بسیار نفوذپذیر

### محاسبه تراز آب

محاسبات قبلی برای بدست آوردن دبی مربوط به یک دوره بازگشت مشخص بوده و برای محاسبه تراز آب متناظر، رابطه مناسبی برای جریان بر اساس مواد بستر کانال انتخاب می‌گردد و عمق جریان متناظر با این دبی، عرض، شیب و نوع مواد بستر محاسبه می‌شود.

چنانچه جریان از کناره‌های رودخانه بالا بزند، جریان در حالت پر تا کناره‌ها (بدون بستر سیلابی) محاسبه می‌شود و سپس به کمک یک معادله مناسب برای جریان بر روی بستر سیلابی (مانند مانینگ و یا دارسی)، عمق جریان بر روی بستر سیلابی محاسبه می‌گردد. با دانستن ارتفاع رقوم بالای کناره‌ها و عمق جریان بر روی کناره‌ها، ارتفاع سطح آب متناظر با دبی طرح بدست می‌آید.

### ۳-۵-۴- روش چهارم

این روش برای زمانیکه اطلاعات زیر موجود باشد بکار می‌رود.

الف) اندازه گیری های تداوم بارش برای چند سال (ترجیحاً بالای ده سال) در ایستگاهی که نماینده شرایط بارش بر روی حوضه است. چنانچه اطلاعات مربوط به چندین ایستگاه در دست باشد نتیجه قابل اطمینان تری بدست خواهد آمد.

ب) مجموعه‌هایی از اندازه گیری‌های متشکل از مقادیر مختلف دبی برای بدست آوردن گزارشی از هیدروگراف بارش و دبی حاصل از هیدروگراف متناظر در محل فرضی پل.

#### تحلیل فراوانی داده های بارش

مراحل مذکور در روش سوم برای این منظور بکار می‌رود.

#### رابطه شدت- مدت بارش

مراحل مذکور در روش سوم برای این منظور بکار می‌رود.

#### رابطه شدت- مساحت بارش

مراحل مذکور در روش سوم برای این منظور بکار می‌رود.

#### رابطه شدت- روان آب بارش

تنها در صورتیکه اطلاعات ثبت شده‌ای از اندازه گیری‌های دبی حداکثر و یا تخمین بر روی داده‌های ده ساله موجود باشد، می‌توان دبی مربوط به یک دوره بازگشت را محاسبه کرد. اگر دوره بازگشت برای شدت بارشهای مختلف به همراه رابطه‌ای بین حجم روان آب قابل دسترسی باشد، محاسبه دوره بازگشت برای روان آب دبی ممکن می‌گردد.

از روی هیدروگراف بارش، مربوط به یک بارش که در چندین ایستگاه حوضه ثبت شده اند، حجم کل بارش به کمک چند ضلعی (پلی گون) تیسن که برای رابطه مساحت در روش سوم به آن اشاره شد محاسبه می‌گردد.

برای بدست آوردن دبی هیدروگراف همان بارش، دبی پایه محاسبه می‌شود و از روی آن حجم روان آب و تداوم آن محاسبه می‌گردد. این مراحل برای چندین شدت بارش مختلف تکرار می‌گردد تا رابطه‌ای بین حجم بارش و حجم رواناب بدست آید، به این ترتیب حجم رواناب برای دوره بازگشت خواسته شده تعیین می‌گردد.

#### تحلیل هیدروگراف واحد

از اطلاعات ثبت شده در مورد دبی هیدروگراف های چندین بارش با شدت بارش یکنواخت (در حد معقول) و تداوم خواسته شده، جریان پایه از جریان کل جدا شده و هیدروگراف‌های واحد از رواناب مستقیم حاصله بدست می‌آیند. سپس یک هیدروگراف واحد متوسط از مجموعه هیدروگراف‌های واحد با تداوم یکسان تهیه می‌گردد که دقت عمل را بالا می‌برد. این هیدروگراف برای محاسبه جریان حداکثر منتجه از حجم بارش متناظر با دوره بازگشت انتخابی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای شرح جزئیات روش و یافتن مدت تداوم هیدروگراف واحد می‌توان به مراجع هیدرولوژی مراجعه نمود.

## محاسبات مربوط به تراز آب

دبی طرح از روی هیدروگراف واحد بدست می‌آید و تراز آب متناظر با آن به شیوه توضیح داده شده در روش سوم بدست می‌آید.

## ۳-۵-۵- روش پنجم

این روش هنگامی که اطلاعات زیر در دست باشد قابل استفاده است.  
 الف) یک رابطه سیلاب که برای ناحیه مربوط به محل فرضی پل قابل اعمال باشد.  
 ب) عملیات نقشه برداری طولی و عرضی بر روی رودخانه انجام شده باشد.

## رابطه سیلاب

لازم است که رابطه سیلاب انتخاب شده برای تخمین دبی برای رودخانه‌ای که قرار است پل بر روی آن ساخته شود مناسب باشد. این فرمول همچنین باید تخمینی از دبی برای دوره بازگشت خواسته شده بدست دهد و مشخص کند که دبی مذکور مقدار حداکثر لحظه‌ای است یا مقدار جریان متوسط برای دوره زمانی داده شده است.  
 روابط موجود با توجه به درجه پیچیدگی آنها متفاوت می‌باشند که از رابطه ساده بین دبی و مساحت حوضه تا روابط پیچیده‌ای که خصوصیات زیادی از حوضه و مشخصات هیدروگرافیک آن را شامل می‌شود، در بر می‌گیرند. برای اطلاع از این روشها می‌توان به کتب مرجع هیدرولوژی رجوع کرد.

## محاسبات تراز آب

تراز آب متناظر با دبی طراحی مورد نظر توسط مراحل توضیح داده شده در روش چهارم تعیین می‌گردد.

## ۳-۶- روشهای هیدرولیکی برآورد دبی و تراز آب

روشهای هیدرولیکی تخمین دبی و تراز آب سیلاب بر اساس تحلیل دستی یا کامپیوتری معادلات دیفرانسیل ساده شده یا معادلات دیفرانسیل کلی حاکم بر جریان متغیر بنا شده‌اند. با توجه به اینکه روشهای مختلف روندیابی در کتب مرجع فارسی به خوبی ارائه شده‌اند، در این قسمت تنها به بیان کلیات و نام این روشها و نیز نرم افزارهای کامپیوتری کاربردی اشاره می‌شود. برای اطلاع بیشتر از جزئیات روشها مراجعه به کتب مربوطه توصیه می‌شود.

## ۳-۶-۱- روندیابی جریان متغیر تدریجی دائمی

در این نوع روندیابی فرض اصلی بر دائمی بودن جریان در رودخانه (یعنی  $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ ) و متغیر بودن عمق آب در طول رودخانه

(یعنی  $\frac{\partial}{\partial x} \neq 0$ ) می‌باشد. در این حالت با کاربرد رابطه انرژی برنولی معادله حاکم بر جریان متغیر تدریجی بدست می‌آید. روشهای

مختلف برای حل معادله جریان متغیر تدریجی دائمی ارائه شده است که می‌توان آنها را به دو گروه کلی تقسیم بندی نمود.

الف) گروه اول شامل روشهایی است که در آنها ابتدا موقعیت تعدادی مقطع عرضی در مسیر رودخانه تعیین شده و سپس برای دبی مورد نظر مقادیر عمق جریان در مقاطع مذکور محاسبه می‌گردد. روش استاندارد گام به گام<sup>۱</sup> معروفترین روش این گروه است. ب) گروه دوم شامل روشهایی است که در آنها ابتدا عمقهای مختلفی بین دو محدوده مورد نظر فرض می‌شوند و سپس فاصله و موقعیت مقاطع عرضی که این عمقها در آن مقاطع رخ می‌دهند محاسبه می‌گردد. مهمترین روش این گروه روش گام به گام مستقیم<sup>۲</sup> است.

برای اطلاعات بیشتر در مورد این روشها می‌توان به مراجع درسی هیدرولیک مراجعه نمود.

### ۳-۶-۲- روندیابی جریان غیر دائمی

در این نوع روندیابی فرض بر متغیر بودن عمق و دبی جریان نسبت به زمان و مکان می‌باشد. (یعنی  $\frac{\partial}{\partial t} \neq 0$  و  $\frac{\partial}{\partial x} \neq 0$ )، در این حالت معادلات حاکم بر جریان با ساده کردن معادله عمومی پیوستگی<sup>۳</sup> و اندازه حرکت<sup>۴</sup> (یا ناویراستوکس<sup>۵</sup>) برای حالت جریان یک بعدی بدست می‌آید. معادلات حاصله به معادلات سنت ونانت<sup>۶</sup> موسومند. حل همزمان معادلات سنت ونانت برای شرایط مرزی غیر دائمی، مقادیر عمق و دبی جریان را در نقاط و زمانهای مختلف در طول رودخانه بدست خواهد داد. حل این معادلات عموماً با استفاده از روشهای عددی انجام می‌پذیرد. برای اطلاع بیشتر از این نوع محاسبات می‌توان به کتابهای مرجع هیدرولیک پیشرفته یا هیدرولیک محاسباتی مراجعه نمود.

### ۳-۶-۳- نرم افزارهای کامپیوتری

برای مطالعه جریان یک بعدی متغیر تدریجی در حالت‌های دائمی و غیر دائمی نرم افزارهای مختلف کامپیوتری تهیه شده‌اند که هر یک توانایی و قابلیت مخصوص خود را دارند. در زیر به تعدادی از معروفترین این برنامه‌ها اشاره می‌شود. برای اطلاع دقیق از کارایی‌ها و توانایی‌های هر یک از برنامه‌های مذکور مراجعه به کتب راهنمای برنامه توصیه می‌شود.

#### الف) نرم افزارهای سری HEC

این نرم افزارها توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک ارتش آمریکا (HEC)<sup>۷</sup> برای کاربری‌های مختلف تهیه شده است. تعدادی از این نرم افزارها مربوط به روندیابی جریان متغیر تدریجی است.

نرم افزار HEC2 برای روندیابی جریان متغیر تدریجی دائمی بوده و قابل اجرا در سیستم عامل DOS می‌باشد. این نرم افزار معروفترین برنامه در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ محسوب می‌شد.

نرم افزار HECRAS<sup>۸</sup> ویرایش جدید در محیط Windows از نرم افزار HEC2 بوده و اخیراً نشر سوم (Version 3) آن نیز قابل دسترسی می‌باشد. نرم افزار HECRAS برای حالت‌های جریان دائمی و جریان غیر دائمی قابل کاربرد است.

<sup>1</sup> Standard step method

<sup>2</sup> Direct step method

<sup>3</sup> Continuity equation

<sup>4</sup> Momentum equation

<sup>5</sup> Navier - Stokes equation

<sup>6</sup> Saint - Venant equation

<sup>7</sup> Hydrologic Engineering Center

<sup>8</sup> HEC - River Analysis System



**ب) نرم افزار سری Mike**

این نرم افزارها که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک<sup>۱</sup> تهیه شده است برای کاربری‌های مختلف یک و دو بعدی آماده شده‌اند. برای انجام مطالعات جریان یک بعدی در رودخانه نرم افزار Mike11 برای مدلسازی جریان متغیر غیر دائمی و نیز مطالعات رسوب و محیط زیست قابل کاربرد است.

**ج) نرم افزارهای سری CECAD<sup>۲</sup>**

این سری نرم افزار که از سال ۱۳۷۵ در دانشکده فنی دانشگاه تهران تهیه شده است برای کاربری‌های مختلف مطالعات عمرانی می‌باشد. به منظور انجام مطالعات جریان با سطح آزاد در محیط یک بعدی رودخانه‌ها و مطالعات موج و جریان در محیط دو بعدی دلتاها، دریاچه‌ها، مخازن سدها، بنادر و دریاها برنامه‌های CEDAD-FSF و CEDAD-REM قابل استفاده است. قابلیت‌های مدلسازی رسوب و محیط زیست نیز در این برنامه در نظر گرفته خواهند شد.

**د) نرم افزار HEMAT**

این نرم افزار اخیراً در مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در ایران تهیه شده و در حال توسعه برای انجام مطالعات جریان با سطح آزاد در محیط یک بعدی و دو بعدی می‌باشد.

**۳-۷- شکل هندسه هیدرولیکی رودخانه‌ها**

هندسه هیدرولیکی رودخانه مشخصات عرض، عمق، شکل مقطع، شیب طولی و نحوه شکل گیری امتداد کانال را توضیح می‌دهد. این ویژگی بستگی به چند فاکتور مختلف اعم از دبی، خصوصیات جداره‌های کناری و بستر رودخانه، مقدار رسوبات حمل شونده توسط آبراهه و توانائی آبراهه در حمل مقدار رسوبات از منابع رسوبی در بالادست جریان دارد. هیچ روش مناسبی برای محاسبه هندسه آبراهه که بتوان آن را برای کلیه رودخانه‌ها بکار برد وجود ندارد. با این وجود، روشهای تجربی و نیمه تئوری متعددی برای تحلیل بکار گرفته می‌شوند که هر یک محدود به نوع خاصی از آبراهه‌ها با ویژگیهای مخصوص به خود می‌باشد. در این دستورات عملی، تنها خلاصه کوتاهی از روشهای مهم برای محاسبه هندسه هیدرولیکی آبراهه‌های پایدار استاتیکی و پایدار دینامیکی ارائه می‌شود. باید دانست که معادلات آورده شده در زیر را می‌توان تنها بعنوان یک راهنما در محاسبه هندسه هیدرولیکی بکار برد.

**۳-۷-۱- کانالهای با بستر ماسه‌ای**

روابط زیر بر گرفته از کار انجام شده توسط بلانچ<sup>۳</sup> می‌باشند.

$$B=14Q^{0.5} D_{50}^{0.25} F_s^{-0.5} \quad (۱۲-۳)$$

$$y=0.38q^{0.67} D_{50}^{-0.19} \quad (۱۳-۳)$$

در رابطه فوق  $B$  عرض متوسط آبراهه ( $m$ )،  $y$  عمق متوسط جریان ( $m$ ) و  $Q$  دبی یکنواخت معادل ( $m^3/s$ ) می‌باشد. دبی یکنواخت معادل می‌تواند همان هندسه آبراهه را ایجاد کند و معمولاً برابر جریان در حالت پر آبی (تا رسیدن به بالای کناره‌ها) در آبراهه‌های خودشوی فرض می‌شود.  $q$  برابر دبی واحد عرض یعنی  $Q/B$  است  $D_{50}$  اندازه میانی دانه‌های مواد

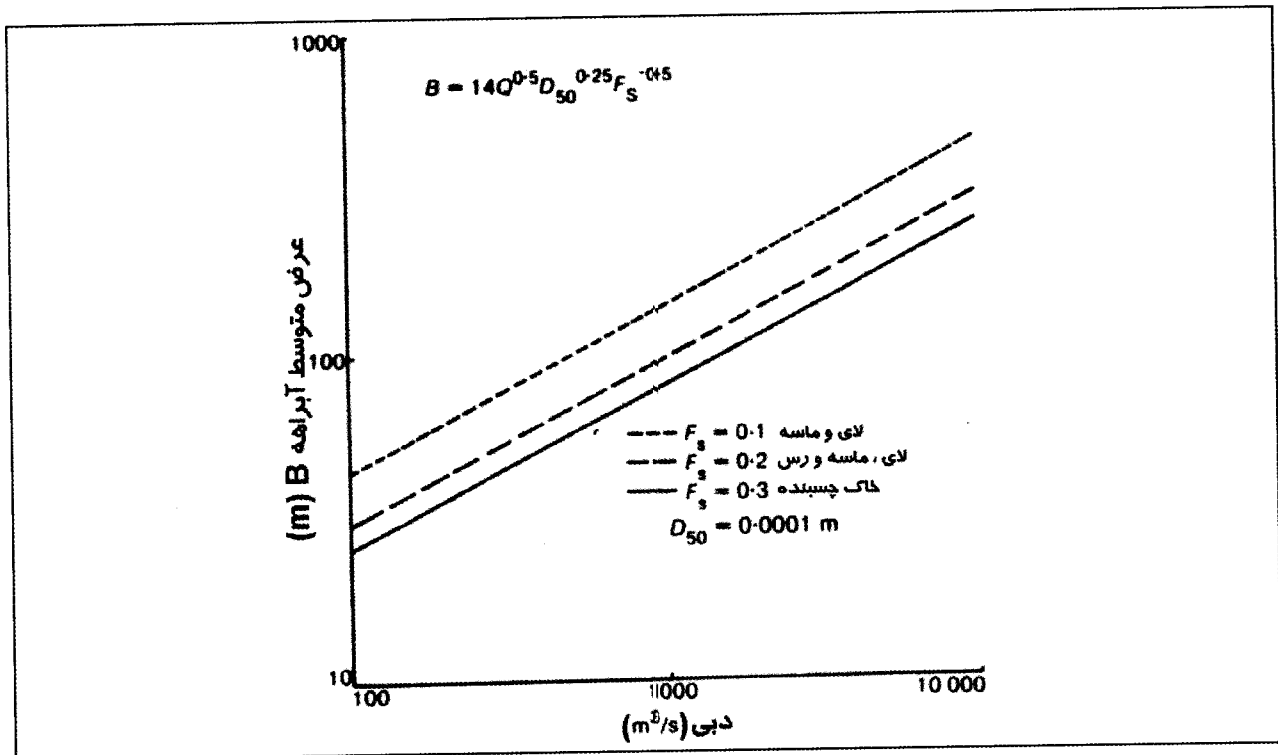
<sup>1</sup> Danish Hydraulic Institute

<sup>2</sup> CECAD: Civil and Environmental Computer Aided Design

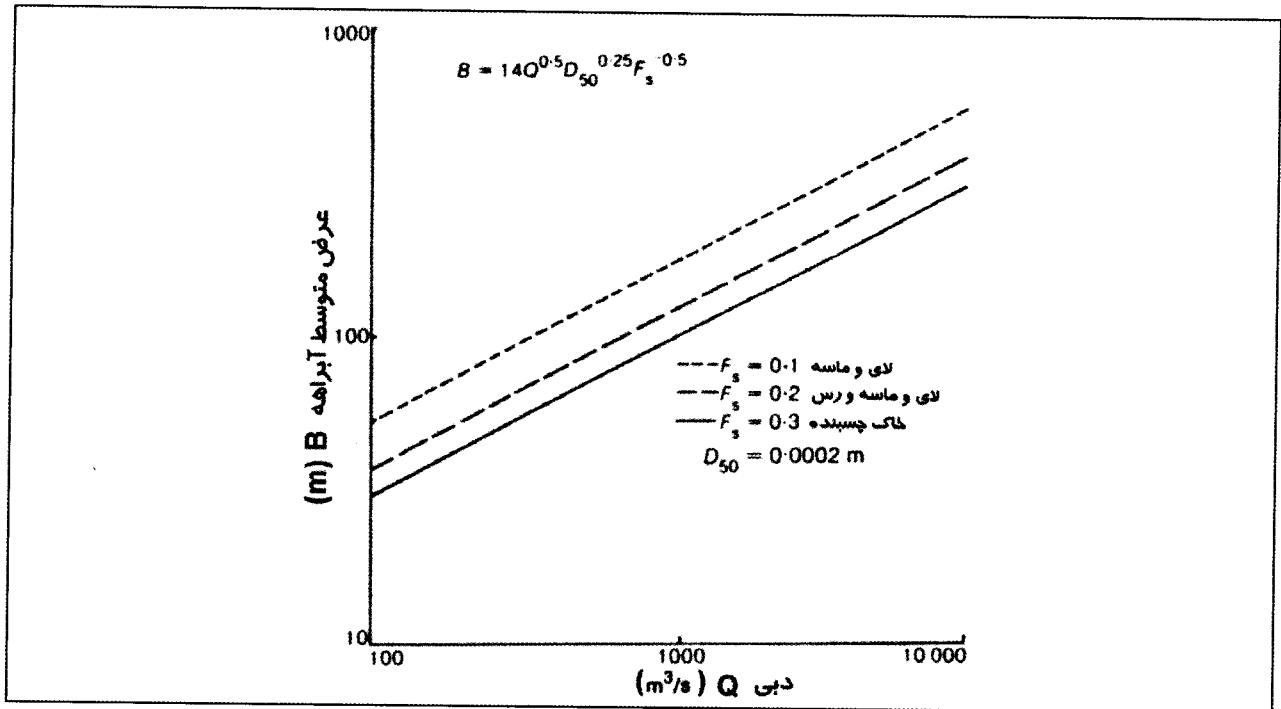
<sup>3</sup> Blench

بستر  $(m)$  و  $F_s$  ضریب کناره‌ها برای اعمال اثر زبری کناره‌ها می‌باشد (در خاک مخلوط ماسه ای  $F_s=0.1$ ، خاک مخلوط سیلتی و رسی  $F_s=0.2$  و خاک با جاذبه ملکولی چسبندگی بالا  $F_s=0.3$ ).

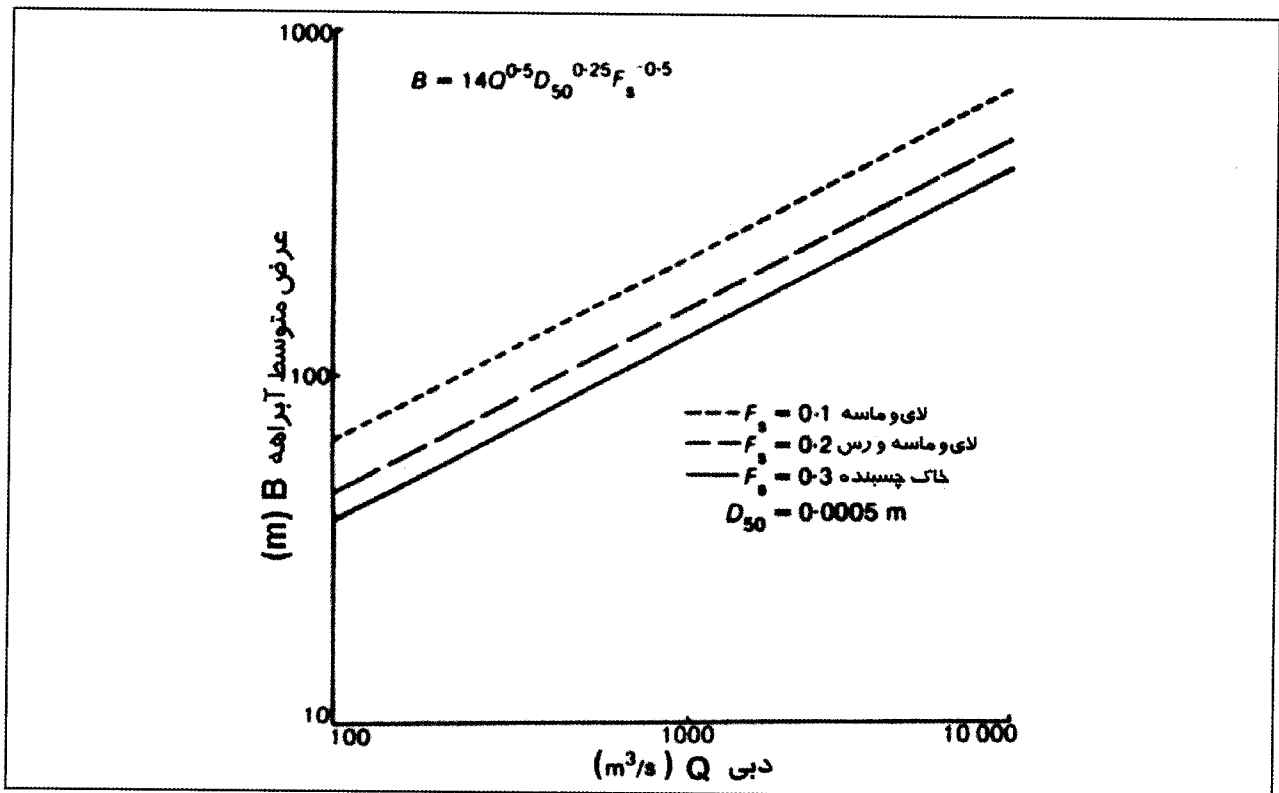
شکلهای ۱-۳-الف تا ۱-۳-د رابطه تغییرات بین پهنای آبراهه با دبی آن را که توسط روابط (۱۲-۳) بدست آمده‌اند، نشان می‌دهد. همچنین شکل ۲-۳ نمایش دهنده تغییرات بین عمق آبراهه و دبی آن که توسط رابطه (۱۳-۳) بیان شده است می‌باشد.



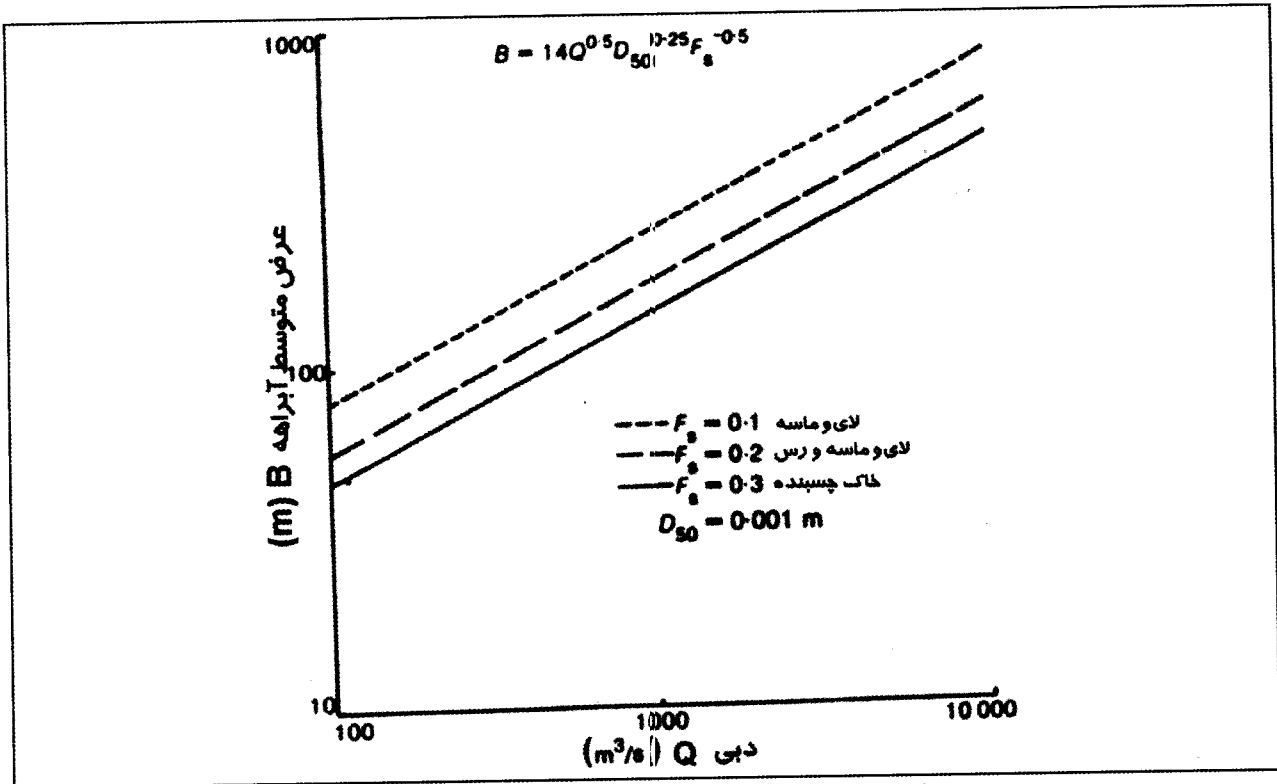
شکل ۱-۳-الف - عرض متوسط مقطع در رودخانه با بستر ماسه ای



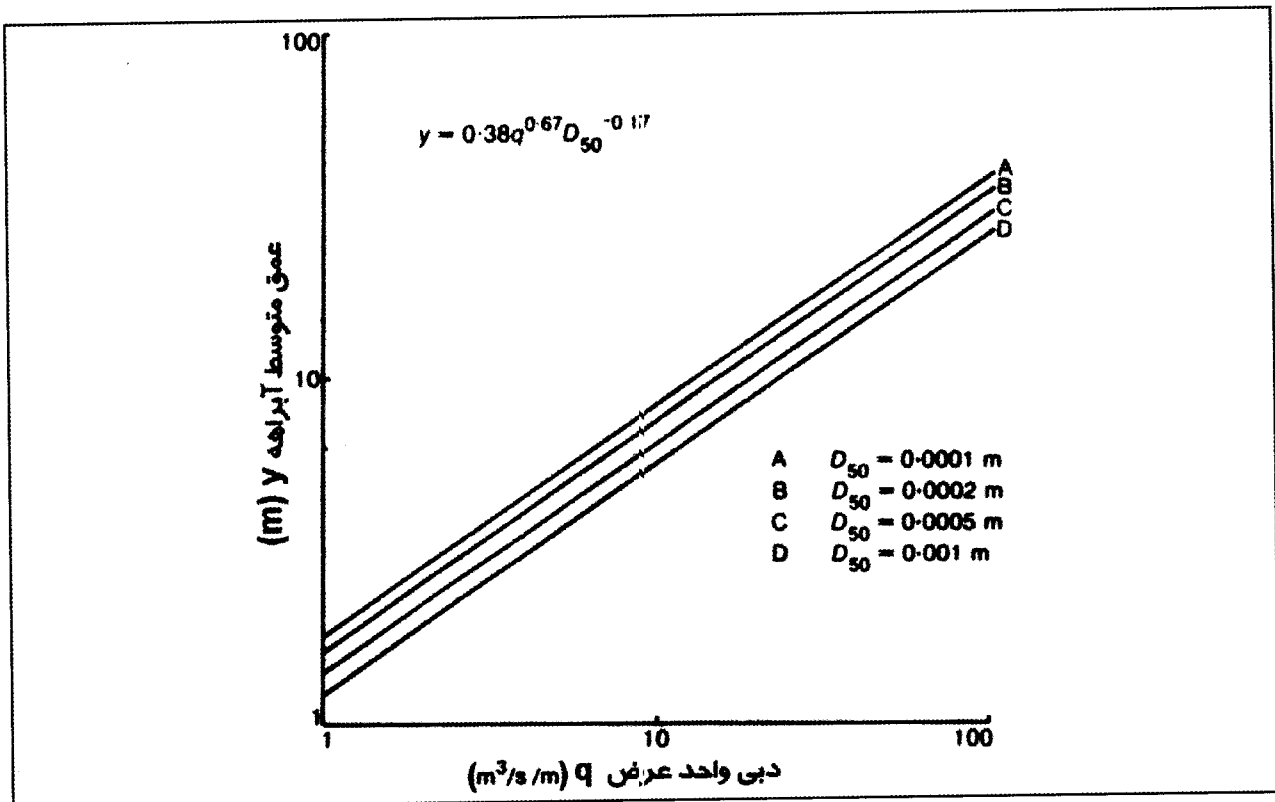
شکل ۳-۱-ب- عرض متوسط مقطع در رودخانه با بستر ماسه‌ای



شکل ۳-۱-ج- عرض متوسط مقطع در رودخانه با بستر ماسه‌ای



شکل ۳-۱-د عرض متوسط منقطع در رودخانه با بستر ماسه‌ای



شکل ۳-۲ عمق متوسط مقطع در رودخانه با بستر ماسه‌ای

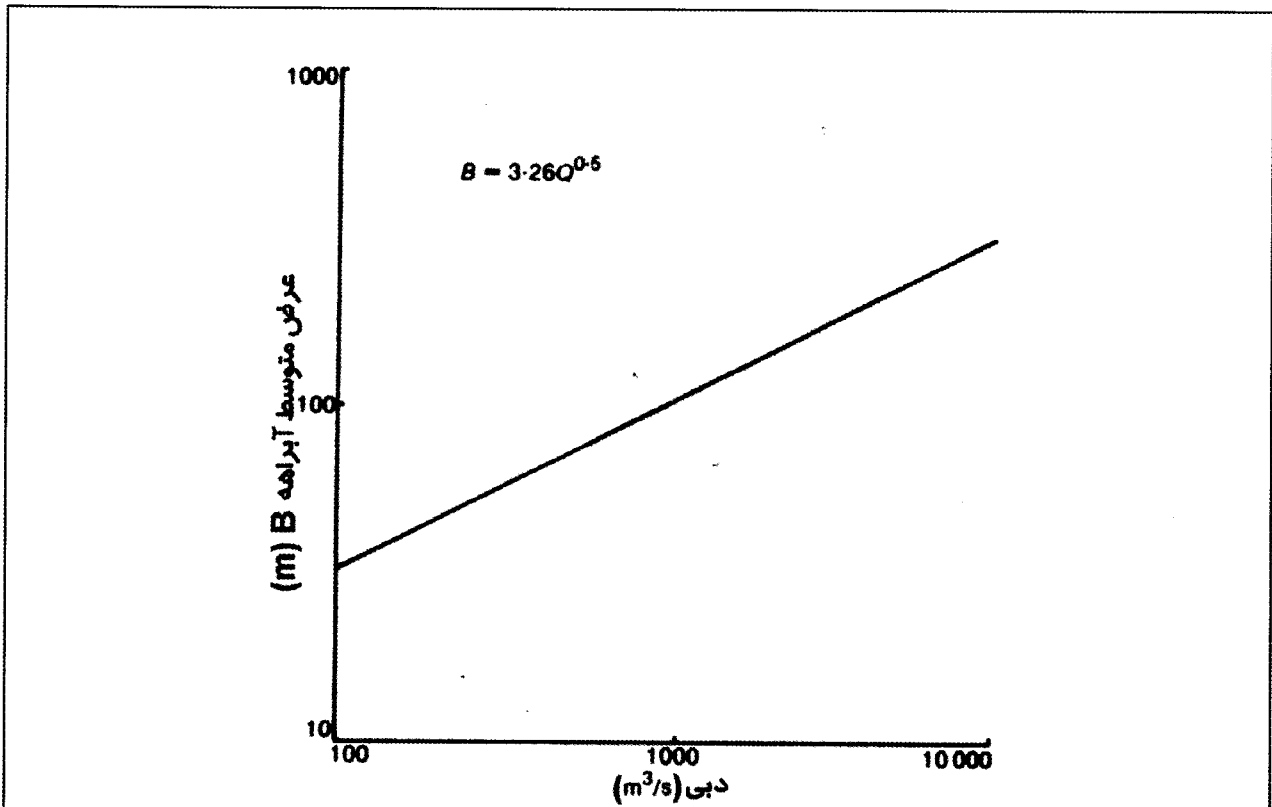
## ۳-۷-۲- آبراهه‌های با بستر شنی

روابط زیر از نتایج تحقیق کله‌هالز<sup>۱</sup> بدست آمده‌اند:

$$B = 3.26Q^{0.5} \quad (۳-۶)$$

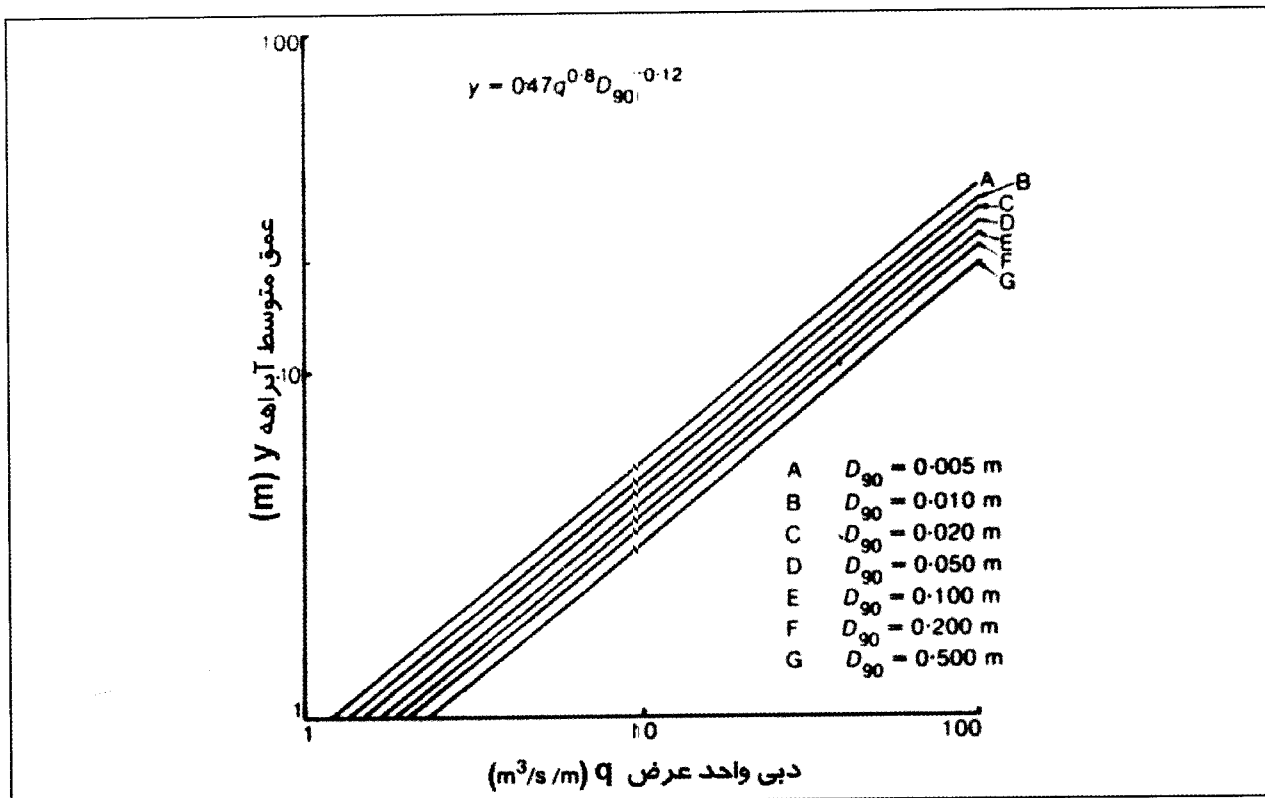
$$y = 0.47q^8 D_{90}^{-1.2} \quad (۳-۷)$$

که در آنها  $B$ ،  $Q$ ،  $y$ ،  $q$  مانند قبل تعریف می‌شوند و  $D_{90}$  اندازه دانه‌ای است که ۹۰ درصد دانه‌ها از آن کوچکتر هستند. شکل‌های ۳-۳ و ۳-۴ روابط بین عرض و یا عمق را با دبی که از روابط فوق الذکر بدست آمده‌اند، نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳ عرض متوسط مقطع در رودخانه با بستر شنی

<sup>1</sup> Kellerhals



شکل ۳-۴- عمق متوسط مقطع در رودخانه با بستر شنی

### ۳-۷-۳- آبراهه‌های با بستر چسبنده

مقاومت در برابر شستگی بسترهای غیر چسبنده غالباً مربوط به وزن شناوری ذرات آنها می‌باشد. در حالیکه مقاومت مواد چسبنده کمی پیچیده تر است و به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطح آنها و نیز چگالی و کیفیت آب بستگی دارد. تنها روش نسبتاً مطمئن در محاسبه آبشستگی در این مورد اندازه گیری مشخصات خاک و انجام آزمایش بر روی مدل‌هایی در آزمایشگاه است. با این وجود جدول شماره ۳-۵ بعنوان یک راهنما برای کمک در تخمین عمق متوسط جریان در یک آبراهه با بستر چسبنده ارائه شده است که بر اساس نوع و دسته بندی مواد بستر و ضریب تخلخل (نسبت حجم فضای خالی به حجم مواد جامد در یک توده خاک) مرتب شده است. چگالی‌های کل در جدول ۳-۵ با فرض دانسیته مخصوص ۲/۶۴ در نظر گرفته شده‌اند و با روابط زیر به ضریب تخلخل ارتباط داده می‌شوند:

$$\text{چگالی در حالت خشک} = \frac{\rho s}{e+1} \quad (۱۴-۳)$$

$$\text{چگالی در حالت اشباع} = \frac{\rho(s+e)}{e+1} \quad (۱۵-۳)$$

که در آنها،  $\rho$  چگالی آب،  $s$  دانسیته نسبی خاک و  $e$  ضریب تخلخل توده خاک می‌باشند.

جدول ۳-۵ مشخصات فیزیکی انواع خاک بستر

ضریب تخلخل	۰/۲-۱/۲	۰/۶-۱/۲	۰/۳-۰/۶	۰/۲-۰/۳
وزن مخصوص خشک ( $kg/m^3$ )	۱۲۰۰-۸۸۰۰	۱۶۵۰-۱۲۰۰	۲۰۳۰-۱۶۵۰	۲۲۱۰-۲۰۳۰
وزن مخصوص اشباع ( $kg/m^3$ )	۱۷۴۰-۱۵۵۰	۲۰۳۰-۱۷۴۰	۲۲۷۰-۲۰۳۰	۲۳۷۰-۲۲۷۰
نوع خاک	تنش کششی بحرانی $N/m^2$			
رس شنی	۱/۹	۷/۵	۱۵/۷	۳۰/۲
رس سنگین	۱/۵	۶/۷	۱۴/۶	۲۷/۰
رس	۱/۲	۵/۹	۱۳/۵	۲۵/۴
رس ضعیف	۱/۰	۴/۶	۱۰/۲	۱۶/۸

عمق جریان در یک آبراهه را می‌توان با این فرض محاسبه کرد که آبستتگی تا عمقی ادامه خواهد داشت که در آن تنش کششی روی بستر با تنش بحرانی برابر شود. بدین ترتیب:

$$y = 51.4n^{0.86} q^{0.86} \tau_c^{-0.43} \quad (۱۶-۳)$$

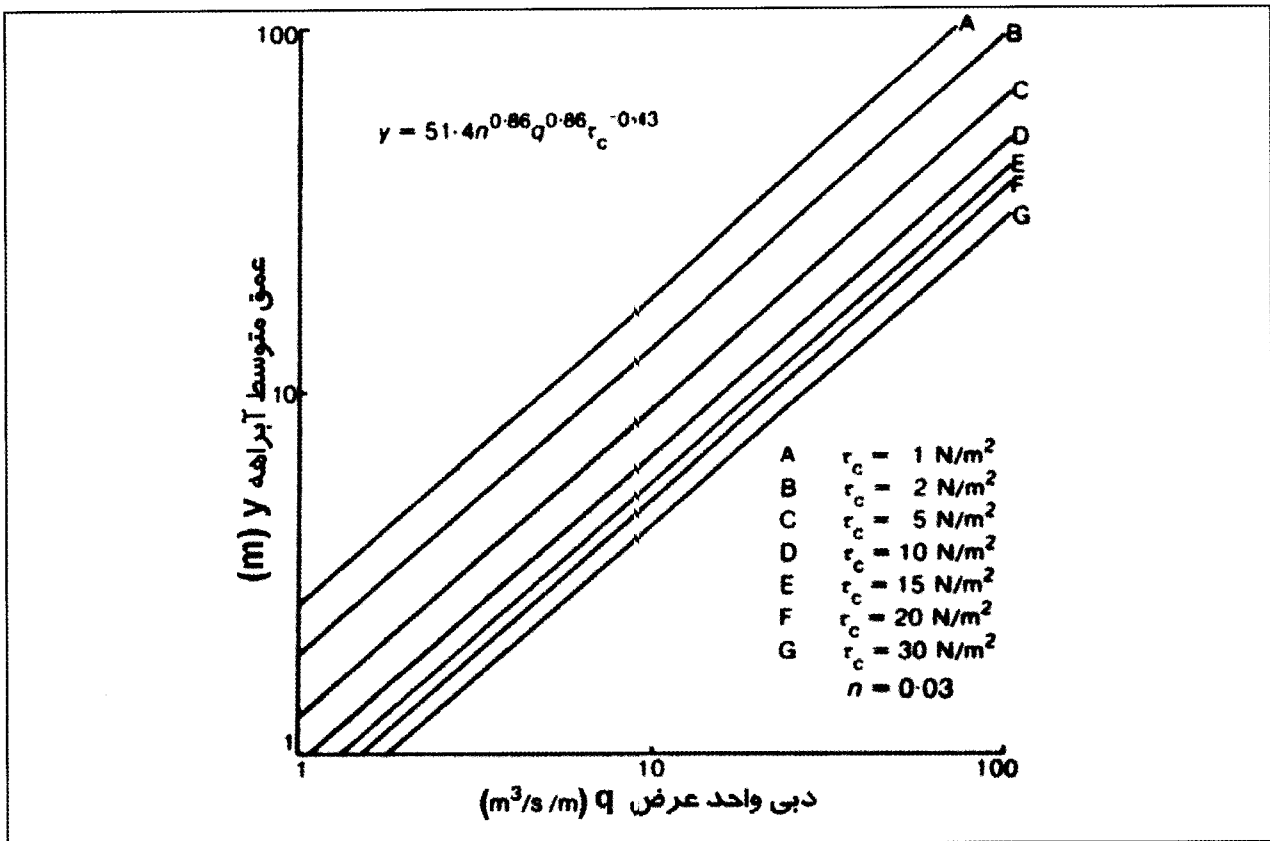
که در آن  $y$  عمق متوسط جریان ( $m$ )،  $n$  ضریب زبری در رابطه مانینگ و  $q$  دبی در واحد عرض ( $m^3/s/m$ ) و  $\tau_c$  تنش کششی بحرانی ( $N/m^2$ ) برای بوقوع پیوستن آبستتگی است. نمودار شکل (۳-۴) منحنی مربوط به معادله (۱۶-۳) با فرض  $n=0.03$  را نشان می‌دهد.

### ۳-۷-۴- حداکثر عمق آبراهه

معادلاتی که پیش از این آورده شدند امکان محاسبه عمق متوسط جریان  $y$  را فراهم می‌سازند. عمق حداکثر در آبراهه را می‌توان با اعمال ضرایبی بر عمق متوسط بدست آورد. این ضرایب را می‌توان به لیزی Lacey نسبت داد که در جدول (۳-۶) آورده شده‌اند. نیل Neill پیشنهاد کرده است که ضریب  $1/25$  که برای کانالهای مستقیم و رودخانه‌های خودسوی می‌باشند در صورتیکه در بستر سنگهای در حال حرکت وجود داشته باشد، باید به  $1/5$  افزایش یابد.

جدول ۳-۶: ضریب نسبت عمق حداکثر آبراهه ( $h_{max}$ ) به عمق متوسط آبراهه ( $h_{avr}$ )

نسبت $h_{max} / h_{avr}$	موقعیت
۱/۲۵	شاخه مستقیم کانال
۱/۵	خم ملایم
۱/۷۵	خم شدید
۲/۰	دور زدن تند و ناگهانی



شکل ۳-۵- عمق متوسط مقطع در رودخانه با بستر چسبنده (رسی)



## فصل چهارم

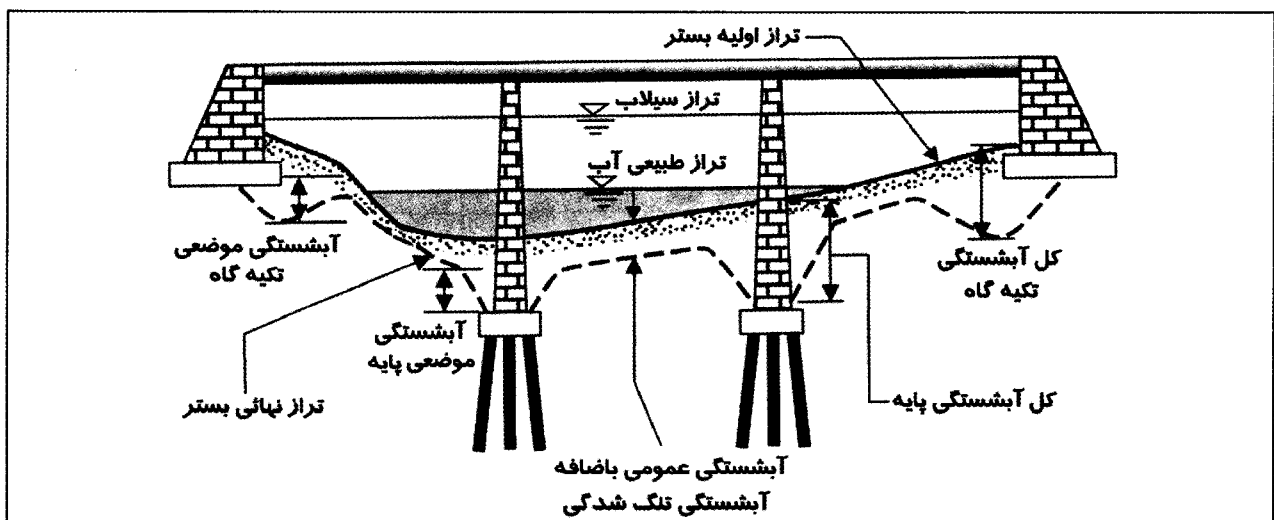
### شناسایی انواع فرسایش

#### ۴-۱- انواع فرسایش

فصل حاضر حاوی مباحث کیفی درباره انواع فرسایش در اطراف پل می‌باشد. روشهای مختلف محاسبه میزان فرسایش در فصل پنجم و مثالهای کاربردی در فصل ششم ارائه شده‌اند.

فرسایش در رودخانه‌ها ممکن است بر اثر پدیده‌های طبیعی و یا تغییرات بوجود آمده بوسیله بشر بوجود آید. همچنین این پدیده ممکن است در طول یک مسیر طولانی از رودخانه یا در یک فاصله موضعی رخ دهد. بعلاوه بر اثر گسترش رژیم طبیعی رودخانه، فرسایش موضعی در محل پیچروود و محل‌های تلاقی مسیرهای مختلف رودها بوجود می‌آید.

فرسایش کلی اطراف پایه‌ها و کوله‌های یک پل عبارتست از مجموع سه مورد آبستنگی عمومی، آبستنگی تنگ شدگی و آبستنگی موضعی که در شکل ۴-۱ بصورت شماتیک دیده می‌شود. بررسی هریک از موارد فوق به مقیاس محدوده مطالعاتی و داده‌های خاصی نیاز دارد.



شکل ۴-۱- شمای عمومی انواع فرسایش اطراف پایه پل

- شکل ۴-۲ نشان دهنده وضعیت مقیاس‌های مختلف در بررسی رودخانه می‌باشد که در زیر شرح داده شده است :
- مقیاس حوضه آبریز<sup>۵۱</sup> عموماً برای مطالعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی برآورد دبی جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند برای تخمین بار رسوب سطحی حوضه آبریز نیز می‌توان در این مقیاس کار کرد.
  - مقیاس طول محدود رودخانه<sup>۵۲</sup> برای مطالعه آبشستگی عمومی مسیر رودخانه می‌تواند مؤثر باشد که بدین منظور طولی در حدود چند کیلومتر تا چند ده کیلومتر مورد بررسی واقع می‌گردد. در صورت کم بودن اطلاعات می‌توان از مقیاس فواصل دور از پل<sup>۵۳</sup> نیز بدین منظور استفاده کرد.
  - مقیاس فواصل دور از پل که محدوده‌ای بین چند صد متر تا چند کیلومتر را شامل می‌شود می‌تواند برای مطالعه جریان و فرسایش در پیچرودها و خم رودخانه و تداخل آبراهه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. وجود اطلاعات مورد نیاز تعیین کننده محدوده مورد استفاده است. در صورت کم بودن اطلاعات در طول زیاد می‌توان از مقیاس فواصل نزدیک پل<sup>۵۴</sup> بدین منظور استفاده کرد.
  - برای مطالعه فرسایش تنگ شدگی و موضعی می‌توان از مقیاس فواصل نزدیک پل یا مقیاس آبشستگی محلی<sup>۵۵</sup> استفاده نمود. برای این مورد اطلاعات محدوده اطراف پل در فاصله چند ده متر تا چند صد متر مورد نیاز است.

#### ۴-۲- فرسایش عمومی

- فرسایش عمومی زمانی اتفاق می‌افتد که ظرفیت حمل رسوب رودخانه بر اثر عوامل طبیعی مانند سیلاب یا تغییرات ایجاد شده توسط بشر مانند احداث سد افزایش یابد. بعضی از حالت‌هایی که این فرسایش اتفاق می‌افتد توسط سیمونز و سنتورک<sup>۵۶</sup> (۱۹۷۷) و یانسن<sup>۵۷</sup> (۱۹۷۹) به صورت زیر دسته بندی شده‌اند :
- فرسایش در پائین دست مخازن سدها که بدلیل جلوگیری از عبور رسوبات از محل سد با ته نشینی در مخزن، افزایش توان فرسایش جریان در پائین دست سدها دیده می‌شود.
  - انتقال آب از یک حوضه به حوضه دیگر که باعث تغییر در ظرفیت حمل رسوب هر دو رودخانه می‌شود.
  - برداشت شن و ماسه از سیلابدشتهای رودخانه و برداشت از پیچرود که باعث کاهش اثر زبری و تغییر سطح مقطع جریان می‌شود.
- برای روشن شدن وضعیت‌ها و مشخصه‌های مختلف فرسایش عمومی حالت‌های مختلف محتمل بصورت زیر تشریح می‌شود.

<sup>51</sup> Catchment scale

<sup>52</sup> Stream section scale

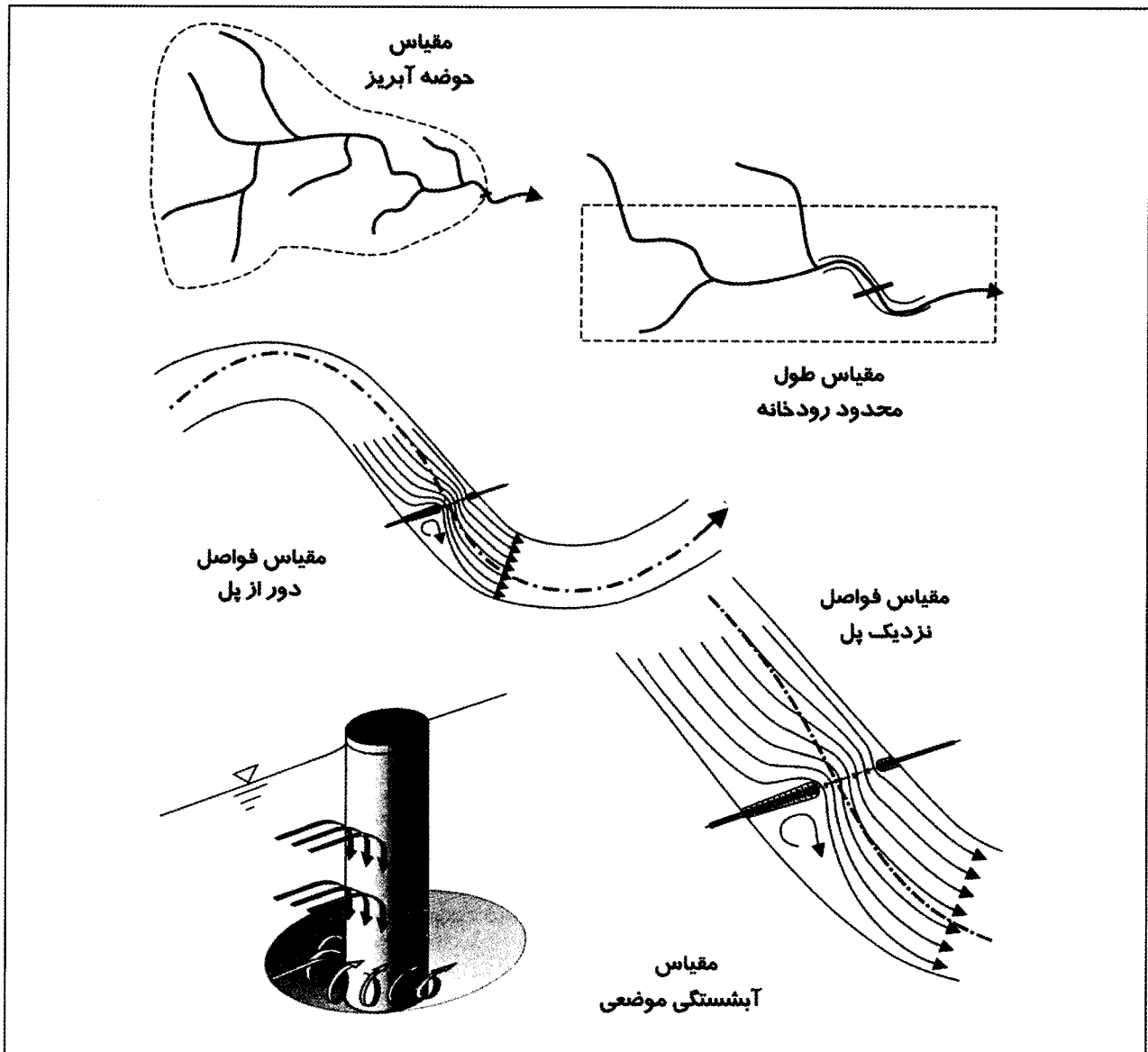
<sup>53</sup> Bridge far field scale

<sup>54</sup> Bridge near field scale

<sup>55</sup> Local scour scale

<sup>56</sup> Simons & Senturk

<sup>57</sup> Jansen



شکل ۲-۴ مقیاس‌های مختلف مناسب برای بررسی انواع فرسایش

## ۴-۲-۱- فرسایش در زمان سیلاب

بعضی از رودخانه‌ها در زمان سیلاب خیلی کم فرسایش پیدا می‌کنند، در مقابل بعضی دیگر در زمانهای غیر سیلابی نیز دچار فرسایش می‌شوند. اگر جریان سیلاب در طرفین رودخانه محدود شده باشد (یعنی تنها در آبراهه اصلی رود جریان داشته باشد) تغییرات زیادی در تراز سطح آب و کف رودخانه بوجود می‌آید. در مقابل در صورتیکه سیلاب بتواند از دیوارهای طرفین رود به سمت خارج از مسیر رودخانه سر ریز شده و به زمینهای مسطح اطراف جاری شود تغییرات تراز سطح آب و کف رودخانه کاهش چشمگیری نسبت به حالت قبل از خود نشان می‌دهد. به همین ترتیب احداث سازه‌های رودخانه‌ای و تغییرات بوجود آمده توسط بشر می‌تواند روی ظرفیت حمل و رسوب حمل شده یک رودخانه تأثیر گذاشته و باعث تغییرات عمده‌ای در بستر و یا مسیر آن رودخانه شود.

#### ۴-۲-۲- حالت‌های شاخه ای و پیچرودی

در جائیکه مسیرهای رودخانه بوسیله حفاظهای فرسایشی ساخت بشر محافظت نشده است، شمای پلان رودخانه به شکل‌های خاصی تغییر می‌کند. در دشتهای و پائین دست کوهها، توپوگرافی منطقه هندسه رودخانه را کنترل می‌کند. در این مناطق رودخانه به چند شاخه تقسیم شده و رودخانه‌های چند شاخه‌ای را تشکیل می‌دهند. در نقاط پائینتر طول رودخانه، مسیر رودخانه حالت دیگری به خود می‌گیرد که به آن حالت پیچرودی گفته می‌شود که شرح بیشتر در این زمینه در فصل دوم آمده است.

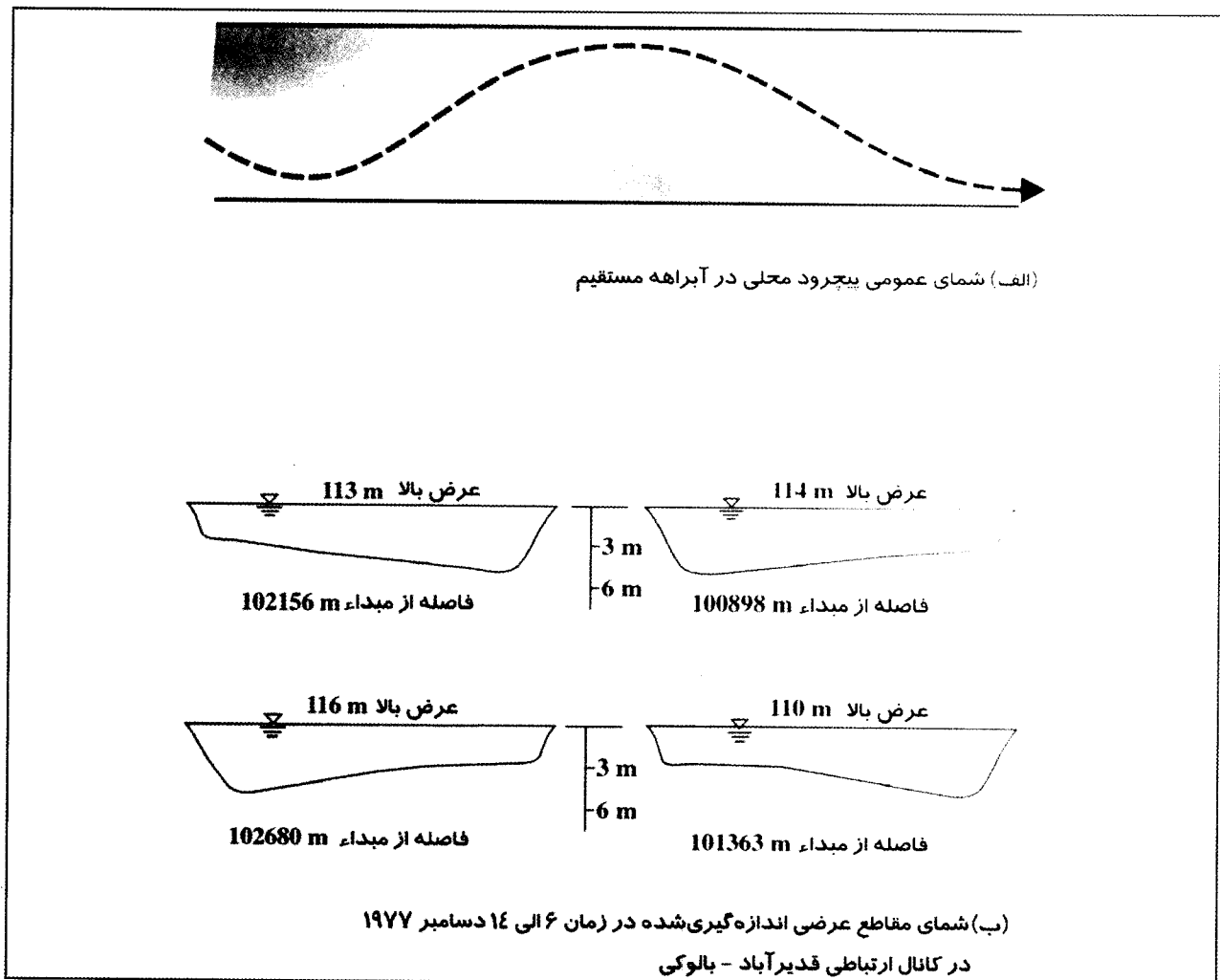
مشخصات رژیم جریان در یک رودخانه با تنظیمهای مختلف تغییر خواهد کرد، مانند احداث یک سد در بالادست. شوم<sup>۵۸</sup> (۱۹۷۷) مثالی از رودخانه پلت جنوبی<sup>۵۹</sup> ارائه کرده است که در آن رژیم رودخانه بدلیل کاهش دبی سیلاب از رژیم چند شاخه‌ای به رژیم پیچرودی تغییر کرده است. اگر یک جریان جانبی که دارای بار معلق زیادی است به جریان اصلی یک رودخانه اضافه شود در پائین دست محل ورود جریان جانبی، عرض جریان کاهش یافته و عمق جریان افزایش پیدا می‌کند. همچنین ورود مقادیر زیاد بار بستر از یک جریان جانبی به رودخانه باعث افزایش عرض جریان و کاهش عمق جریان رودخانه در پائین دست محل ورود جریان جانبی می‌شود.

#### ۴-۲-۳- فرسایش در پیچرود و خم رودخانه

جریانهایی که از مسیرهای خمیده عبور می‌کنند در اثر اندرکنش بین توزیع عمودی سرعت و انحنای عمومی جریان طولی، جریانهای ثانویه‌ای بوجود می‌آورند که باعث افزایش عمق جریان، سرعتهای جریان، سرعتهای موضعی و تنشهای برشی در ساحل خارجی خم می‌شود. این عوامل باعث افزایش عمق کف بستر بر اثر افزایش قدرت فرسایش جریان در ساحل خارجی خم و افزایش حجم مصالح ته نشین شونده در ساحل داخلی خم می‌شوند. شکل ۳-۴ نمایش دهنده این حالتهاست. بسته به شرایط جریان و دیواره های آبراهه خط القعر خم از محل طبیعی خود به سمت ساحل خارجی حرکت می‌کند. بطور معمول خط القعر آبراهه در سمت خارجی خم قرار دارد.

<sup>58</sup> Schum

<sup>59</sup> South Platte River



شکل ۳-۴- شمای عمومی یک پیچرود محلی (با تلماسه‌های متناوب)

موقعیت پیچرودها در سالهای مختلف جابجا می‌شود که به آن حرکت جانبی می‌گویند. حرکت جانبی پیچرودهای پر فعالیت مانند رودخانه کوسی<sup>۶۰</sup> در هند تا حدود ۱۰۰۰ متر در سال می‌رسد (جوگلکار<sup>۶۱</sup> ۱۹۷۱)، و برای رودخانه‌های کم فعالیت تر به حدود ۱۰ تا ۱۰۰ متر در سال می‌رسد (شوم<sup>۶۲</sup> ۱۹۷۷ و شن<sup>۶۳</sup> ۱۹۷۹). پیچرودهای پایدار نیز، حتی با توجه به حرکت جانبی کم آنها در طول مدت بهره برداری از سازه، حرکت زیادی را از خود نشان می‌دهند. این رفتار می‌تواند با برداشتهای صحرائی، نقشه‌ها و عکسهای هوایی مورد بررسی قرار گیرد.

الگوی جریان در پیچرودها و فرسایش ناشی از آن مسئله‌ای مرکب از جریانهای ثانویه مقطع و دانه بندی رسوبات می‌باشد. هم سطح آزاد جریان و هم تراز کف در طول عمود بر مسیر جریان در محل خم مقادیر ثابتی نداشته و بدست آوردن آنها مشکل است. این دو پارامتر نه تنها به طبیعت خم (از قبیل شکل پلان، فرسایش پذیری دیواره‌ها، جدائی مصالح بستر) بلکه به شیب جانبی سطح

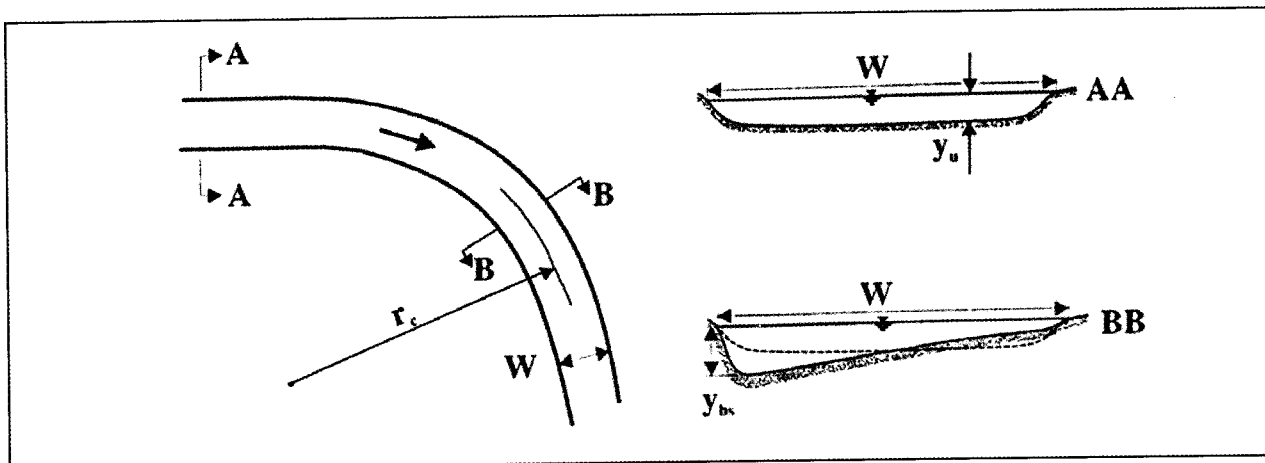
<sup>60</sup> Kosi River

<sup>61</sup> Joglekar

<sup>62</sup> Schum

<sup>63</sup> Shen

آب و جریان گردابی ثانویه که در محل خم بوجود می‌آید بستگی ندارند. هیچ رابطه تئوری بطور کامل نمی‌تواند اتفاقات پیچیده‌ای را که در محل خم بوجود می‌آیند توصیف کند ولی تقریبات مختلفی در این رابطه در دست می‌باشد.



شکل ۴-۴- شمای عمومی خم رودخانه

در مورد پلهایی که بر روی قسمت‌های خم‌دار رودخانه قرار گرفته‌اند، فرسایش خم باعث افزایش میزان فرسایش در محل کوله و یا پایه‌های پل که در قسمت خارجی خم قرار گرفته‌اند می‌شود (شکل ۴-۴). توجه به این نکته در مورد پلهایی که در محل خم رودخانه احداث می‌شود مهم است، چرا که معمولاً این پلها در قسمت خارجی خم (که عمق جریان بیشتر است) احداث می‌شوند. فرسایش در محل خم بخصوص برای جریان‌هایی که حامل قطعات شناور (مانند شاخ و برگ و تنه درختان) می‌باشند باعث افزایش میزان فرسایش در محل کوله‌های پل می‌شود. برای پلهایی که در محل خمها احداث می‌شوند توجه به ذرات شناور نسبت به مسیرهای مستقیم رودخانه دارای اهمیت بیشتری است.

#### ۴-۲-۴- فرسایش در رودخانه شاخه‌ای

خیلی از رودخانه‌ها خصوصاً رودخانه‌های عریض که دارای بستر شنی هستند، تمایل به گسترش آبراهه‌های فرعی خود دارند. در این گونه آبراهه‌ها پائین‌ترین نقطه آبراهه می‌تواند بطور چشمگیری پائین‌تر از تراز متوسط بستر قرار گیرد. در صورتیکه این قسمت از آبراهه با محل قرارگیری یکی از پایه‌های پل منطبق شود دو اثر فرسایشی با هم ترکیب شده و عمق فرسایش بیشتری را باعث می‌شوند.

رودخانه‌هایی که بستر شنی دارند بدلیل خواص بستر خود حرکت زیادی در قسمت دیواره‌های اطراف از خود نشان می‌دهند، که این خاصیت باعث جدایی جریان از اطراف و بوجود آمدن آبراهه‌های فرعی در این رودخانه‌ها می‌شود. این شبکه بوجود آمده از آبراهه‌ها، معمولاً در دبی‌های کم جریان بوجود می‌آیند. در دبی‌های زیاد جریان این شبکه آبراهه‌ها به ناهمواریهای مقطع تبدیل می‌شوند.

#### ۴-۲-۵- فرسایش در محل تقاطع دو مسیر

یکی از حالت‌هایی که فرسایش عمومی در مورد آنها صدق می‌کند محل برخورد دو مسیر جریان است. در محلی که دو مسیر جریان به یکدیگر می‌رسند و با زاویه‌ای به یکدیگر می‌پیوندند، دارای ترازهای متفاوتی می‌باشند و جریان چرخشی بوجود آمده در تشکیل محدوده فرسایش اثر چشمگیری دارد. شکل (۴-۵) شمای عمومی این موقعیت را نشان می‌دهد.

رودخانه‌هایی که دارای آبراهه‌های متقاطع می‌باشند دارای ناپایدارترین نوع جریان می‌باشند. پیچیدگی پدیده فرسایش در محل تقاطع تا حدی است که چاو (۱۹۵۹) برای مقاصد عملی استفاده از یک مدل فیزیکی را توصیه کرده است. اغلب مطالعات انجام شده برای تخمین فرسایش در تقاطع بر اساس روابط تجربی می‌باشد.

یکی از روابط برای محاسبه فرسایش عمومی در محل برخورد دو مسیر رودخانه توسط کلانس و ورمیر ارائه گردید. بر اساس داده‌های بدست آمده از رودخانه اوهاو<sup>۶۴</sup> در نیوزلند، ماوسلی<sup>۶۵</sup> (۱۹۸۱) رابطه‌ای برای تخمین عمق فرسایش در تقاطع ارائه داد. با استفاده از تحلیل رگرسیون چند گانه داده‌های ثبت شده، آشمو<sup>۶۶</sup> و پارکر<sup>۶۷</sup> (۱۹۸۳) نیز رابطه‌ای برای محاسبه میزان فرسایش تقاطع در آبراهه‌های با بسترهای ماسه‌ای غیر چسبنده بدست آوردند.

#### ۴-۲-۶- تأثیر سازه‌های هیدرولیکی، پل و سد

از لحاظ اقتصادی پوشش یک رودخانه با یک دهانه پل بندرت به صرفه می‌باشد بطور معمول قرار دادن پایه‌هایی در داخل جریان آبراهه اصلی و خاکریزها<sup>۶۸</sup> از سواحل دو طرف به سمت آبراهه سیلابی اصلی جریان، مناسبترین گزینه اقتصادی خواهد بود. این مسائل باعث مسدود شدن بخشی از سطح مقطع جریان و بالارفتن تراز سطح آب در بالادست پل می‌گردد. مقدار بالارفتگی تراز آب در بالادست پل و یا پس زدگی آب را می‌توان با استفاده از مباحث عمومی هیدرولیک محاسبه کرد.

فرسایش عمومی تابع رژیم جریان بوده و تغییرات سریع آن زمانی قابل ملاحظه است که سازه‌ای مانند پل یا سد بر روی مسیر رودخانه احداث شود. در پدیده فرسایش عمومی در زمان سیلاب تراز بستر رودخانه کاهش پیدا می‌کند، که برای طراح محدوده کاهش تراز بستر رودخانه عامل مهمی می‌باشد. اگر تراز و شیب سطح آب معلوم باشد، محاسبه سرعت متوسط و مساحت سطح مقطع جریان برای یک دبی مشخص قابل محاسبه است. در این حالت تخمین تراز متوسط و مقدار فرسایش با فرضیات موجود میسر است. نتایج حاصل از این محاسبات ساده شده تنها به عنوان یک تخمین محسوب می‌شوند.

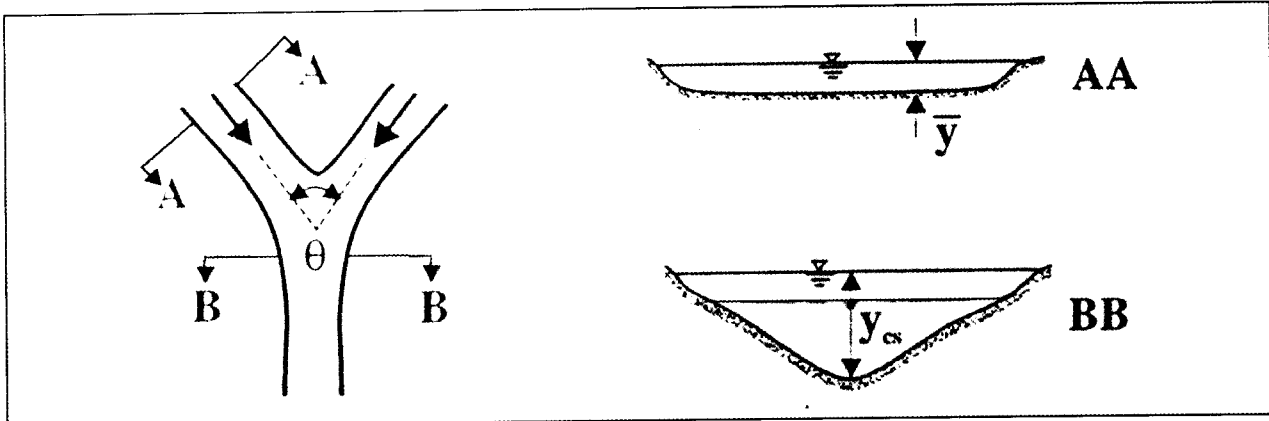
<sup>64</sup> Ohau

<sup>65</sup> Mosley

<sup>66</sup> Ashmore

<sup>67</sup> Parker

<sup>68</sup> Embankment



شکل ۴-۵- شمای عمومی تقاطع دو شاخه در یک رودخانه

#### ۴-۲-۷- مدل‌های ریاضی بررسی آبشستگی عمومی

تا به حال مدل‌های مختلف یک و دو بعدی برای مطالعات فرسایش تهیه شده است که در اینجا به معرفی تعدادی از معروفترین آنها می‌پردازیم.

در حالت‌های خاص تغییرات بستر رودخانه می‌تواند با استفاده از مدل‌های ریاضی یک بعدی موجود مانند HEC-6 (توماس)<sup>۶۹</sup> RIVMOR (کلاسن<sup>۷۰</sup> ۱۹۸۲) و مدل سوگرا<sup>۷۱</sup> (کنج<sup>۷۲</sup> و همکاران) بدست آید. مدل‌های گفته شده بدلیل یک بعدی بودن و یکنواخت فرض کردن فرسایش در دیواره‌های رودخانه و محدودیت، در دانه‌بندی مصالح بستر محدودیت زیادی دارند. در مدل‌های یک بعدی جریان در کل مقطع رودخانه بصورت یکنواخت فرض می‌شود که در نتیجه توجه‌های خاص خود را به همراه دارد.

در مقابل می‌توان از مدل‌های عددی دو بعدی مانند CECAD-FSF و MIKE21 نام برد که فاقد بعضی از محدودیت‌های فوق بوده اما نیازمند به معرفی اطلاعات هیدرولیکی بیشتری جهت مدلسازی می‌باشند. طراح می‌تواند با توجه به قضاوت مهندسی خود و محدودیت هر کدام از مدل‌های نامبرده یکی از آنها را برای مدل سازی انتخاب نماید.

در مدل‌های دو بعدی جریان در هر المان از بستر تا سطح آزاد آب بصورت یکنواخت فرض می‌شود. لذا جریان می‌تواند در مقطع رودخانه از سمت چپ تا راست بصورت متغیر منظور گردد که دقت‌های بالاتری نسبت به مدل‌های یک بعدی دارد. در حالت دو بعدی جریان در پیچ‌رودها، گردابه‌های افقی، تقاطع رودخانه‌ها و تنگ شدگی‌های رودخانه بصورت تقریباً واقعی مدل می‌شود.

#### ۴-۲-۸- نکات مهم مطالعه فرسایش عمومی

با توجه به نکات گفته شده یکی از مهمترین نکات در انتخاب محل پل شناخت کلی رودخانه یا مورفولوژی آن می‌باشد. درک رفتار کف و دیواره‌های رودخانه برای هر طراح سازه هیدرولیکی در رودخانه مهم است. سوالات زیر می‌تواند در این راستا مهم تلقی شود.

- آیا عملیات انجام شده در بالادست یا پائین دست بر رودخانه، تأثیر خواهد داشت ؟

<sup>69</sup> Thomas

<sup>70</sup> Klaassen et al.

<sup>71</sup> Sogreah

<sup>72</sup> Cunge et al.



- آیا کاهش ارتفاع عمده ای در بستر آبراهه بر اثر یک سیلاب بوجود می‌آید؟
  - آیا یکی از آبراهه‌های موجود گسترش پیدا خواهد کرد؟
  - آیا بار بستری که در مسیر جریان ته نشین می‌شود کاهش عمده ای در ظرفیت کشش هیدرولیکی آن بوجود می‌آورد؟
  - آیا رودخانه در مسیر جریان خود از یک سازه در طول عمر مفید سازه بصورت پیش بینی شده عبور خواهد کرد؟
- بدلیل اینکه هیچ جواب نهایی و مستقیمی برای این سؤالات در حالت کلی وجود ندارد، طراح می‌تواند به اطلاعات آزمایش با محدوده کاربری محدود و مشاهدات محلی و تغییرات برداشت شده کنونی از رودخانه مورد نظر، اتکا کند.

### ۴-۳- فرسایش تنگ شدگی

وجود سازه‌ها یا 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 پائین دست باعث تغییر شدید پروفیل جریان و مقادیر سرعتها می‌شود.

ایجاد مانع در بستر سیلابی با زهکشی طبیعی مداخله کرده و جریان را از سیلابدشته‌ها به آبراهه اصلی رودخانه منحرف می‌سازد که موجب ازدیاد در شدت دبی در آبراهه اصلی می‌شود. این ازدیاد شدت دبی، که توسط پایه های پلها نیز افزایش می‌یابد، عمق آبستتگی و افت هد در دهانه پل را افزایش می‌دهد.

شکل (۴-۶) نمایش دهنده وضعیت عمومی تغییرات پروفیل سرعت جریان در اثر وجود تنگ شدگی ناشی از پایه‌های پل می‌باشد.

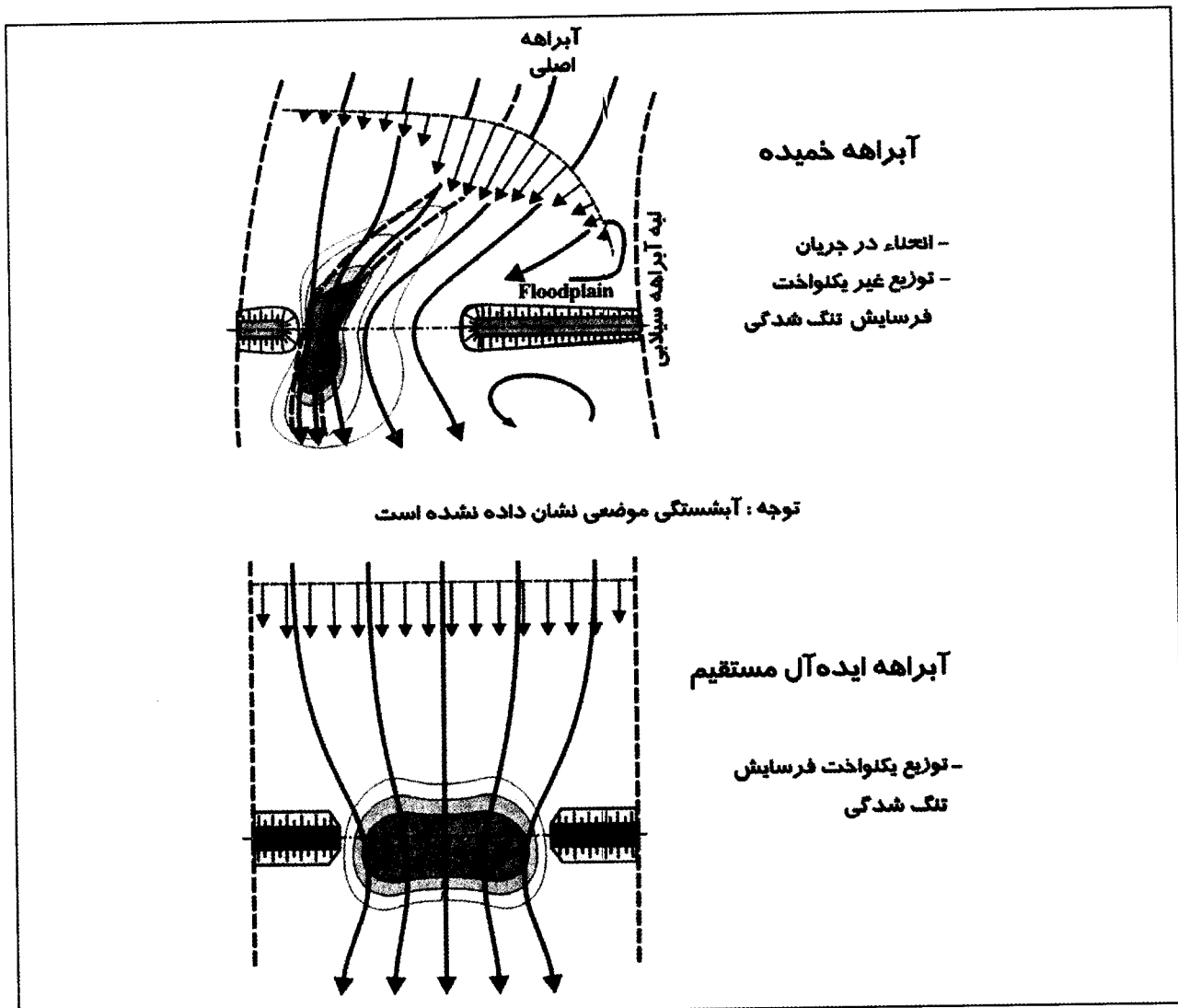
### ۴-۳-۱- فرسایش در محل تنگ شدگی جریان

برای کاهش هزینه‌های احداث پلها، معمولاً مجموع دهانه‌های پل، کوچکتر از عرض رودخانه در نظر گرفته می‌شود. این مسئله باعث کاهش سطح مقطع جریان و حتی مسدود شدن سیلابدشته‌های مقطع می‌شود. اگر بستر رودخانه قابل فرسایش باشد، تجمع جریان در محل تنگ شدگی باعث افزایش عمق جریان بر اثر فرسایش می‌شود.

برای مطالعات مقدماتی یا پروژه‌های بسیار کوچک افزایش عمق جریان در یک تنگ شدگی در مسیر طولانی می‌تواند به وسیله معادلات ساده شده حرکت جریان و پیوستگی و رسوب نوشته شود. در این شرایط برای مطالعه جریان می‌توان از رابطه شزی<sup>۷۳</sup> یا مانینگ<sup>۷۴</sup> استفاده نمود. همچنین برای مطالعه انتقال رسوب می‌توان از روابط ساده که دبی رسوب را به متوسط سرعت جریان در مقطع مرتبط می‌کند استفاده کرد.

<sup>73</sup> Chezy

<sup>74</sup> Manning equation



شکل ۴-۶- شمای عمومی پروفیل سرعت جریان و نحوه آبستکی در اثر وجود تنگ شدگی پایه‌های پل برای آبراهه خمیده و آبراهه مستقیم

#### ۴-۳-۲- فرسایش در محل آبشکنها<sup>۷۵</sup>

آبشکن، دیواره‌ای است که عمود بر ساحل رودخانه یا با زاویه خاصی نسبت به آن ساخته می‌شود تا جریان را از ساحل فرسایش پذیر رودخانه دور کند. نوع دیگری از این آب بندها، دیواره‌های هدایت جریان نامیده می‌شوند، که در اطراف یک سازه مثلاً یک کوله پل ساخته می‌شوند (و به آنها گوشواره‌های پل گفته می‌شود) تا آنرا از فرسایش محافظت نمایند. غالباً احداث آب شکنها باعث تنگ شدگی مسیر جریان می‌شوند که این موضوع باعث افزایش سرعت جریان در نزدیکی آب بند و افزایش سرعت متوسط در مقطع تنگ شده آبراهه می‌گردد. آبشکن‌ها دارای چندین وظیفه در حین اجرای کارهای اصلاح رودخانه و کارهای اصلاحی و ساخت پل می‌باشند. استفاده از آنها برای کنترل حرکت (انتقال) پیچ و خم رودخانه و جریان کانال در گذر از دهانه پل و یا کنترل فرسایش کناره‌های رودخانه یک راه حل مناسب است.

آبشکن‌ها ممکن است در بالادست و یا پائین دست محل حفاظت یا برای پس زدن جریان و یا برای جذب آن متمرکز شوند. هنگامی که آبشکن‌ها برای حفاظت کناره‌های رودخانه در برابر فرسایش بکار گرفته می‌شوند، معمولاً در بالادست جریان متمرکز می‌شوند و فواصل آنها برای بدست آوردن بهترین شرایط اقتصادی تعیین می‌گردد. آبشکن‌های کوتاه نیازمند فاصله گذاری نزدیک می‌باشند اما با افزایش طول آنها از تعداد آنها کاسته می‌شود. با این وجود هر چقدر که طول آبشکن بلندتر باشد، بدلیل فشردگی، جریان در دماغه سریعتر و عمق بیشتر می‌شود و در نتیجه هزینه ساخت و حفاظت آبشکن افزایش می‌یابد. بنابراین در آبشکن‌های گروهی ملاحظات اقتصادی در انتخاب فاصله بین آبشکنها و طول آنها نقش بسزائی بازی می‌کند، اما عموماً طول آبشکن‌های محافظت کناره‌ها از یک چهارم عرض رودخانه تجاوز نمی‌کند.

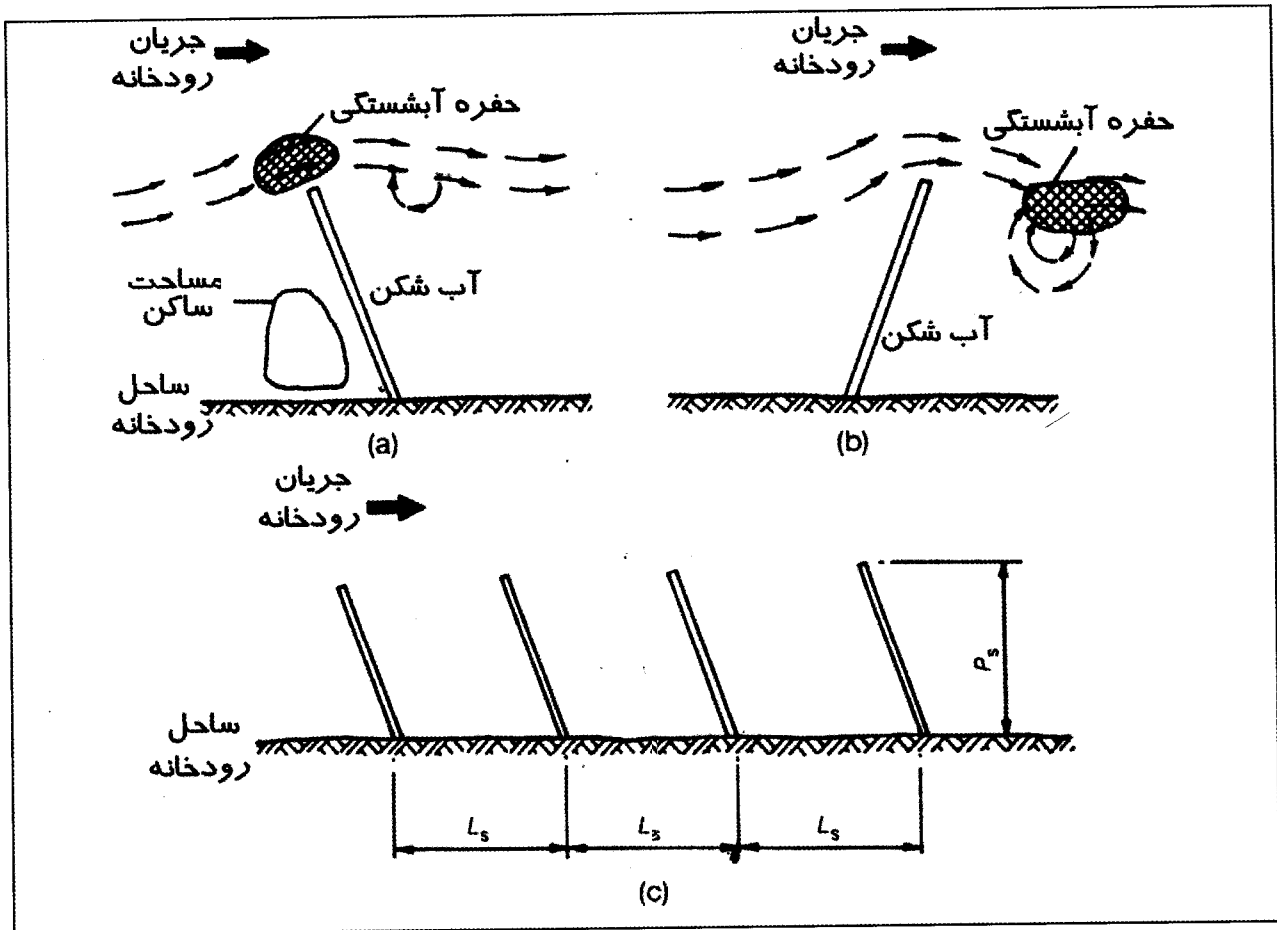
هنگامی که آبشکنی برای دفع جریان به کناره دیگر و یا یک سری از این آبشکن‌ها در دو طرف کناره‌ها برای ایجاد یک شکل سینوسی پایدار جریان لازم باشند طول آنها معمولاً یک سوم عرض آبراهه می‌باشد. درحالت اخیر ایجاد جریان سینوسی پایدار آبشکن‌ها می‌باید در طرفهای مخالف رودخانه و در فواصل مساوی معادل نصف طول پیچ کارگذاری شوند. آبشکن‌هایی که برای دفع جریان بکار برده می‌شوند از نوع نفوذ ناپذیر ساخته می‌شوند، در حالیکه آنهایی که برای حفاظت کناره‌ها بکار گرفته می‌شوند ممکن است ساختار نفوذپذیر و یا نفوذ ناپذیر داشته باشند.

آبشکن‌های نفوذ پذیر عمدتاً در رودخانه‌های پر لای (سیلت) بکار برده می‌شوند و سریعاً موجب رسوب گذاری می‌شوند که موجب پایدار ساختن کناره‌ها می‌شود. آبشکن‌های نفوذ پذیر را می‌توان با یک ردیف دابل از شمعهای چوبی که توسط تکه چوبهایی پر شده‌اند ساخت که مزیت آن ارزان بودن و عیب عمده آن نیاز به پایدار کردن در مقابل فشار جریان می‌باشد. انواع ساختمانهای آبشکن‌های نفوذ ناپذیر عبارتند از دیوارهای فولادی، دیوارهای بتنی و خاکریزهای پوشش‌دار. آبشکن‌های از نوع ساختمان خاکریز دارای شیب‌های کناری متفاوت از ۱:۲۵ تا ۱:۳ تا ۱:۳ بسته به مواد تشکیل دهنده آنها و همچنین شیب بالائی<sup>۷۶</sup> از ۱:۳ تا ۱:۵ می‌باشند. ارتفاع تاج‌ها ممکن است بطور چشمگیری متفاوت باشد، اما برای آبشکن‌های طراحی شده مربوط به تاج‌هایی که بالاتر از تراز سیلاب حدسی هستند ارتفاع آزاد<sup>۷۷</sup> معمولاً بین ۰/۵ تا ۱ متر می‌باشد.

طرح آبشکن‌ها در محدوده موضوعات این دستورالعمل نبوده و برای اطلاعات بیشتر در مورد جزئیات طرح آبشکن‌ها می‌توان به کتب و دستورالعملهای مربوطه مراجعه کرد.

<sup>76</sup> Head slopes

<sup>77</sup> freeboard



شکل ۴-۷- شمای عمومی آبشکن در رودخانه

### ۴-۳-۳- دایکها

دایکها خاکریزهایی هستند که تقریباً موازی با کانال اصلی طراحی شده و وظیفه آنها حفاظت از ناحیه پشتی آنها در برابر آب ناشی از سیلاب می باشد. بنابراین نیازهای اساسی آنها نفوذ ناپذیر بودن و بلندی لازم برای جلوگیری از سرریز آب از روی آنها می باشد. در صورت امکان بهتر است دایکها در محلهایی که سرعت جریان بالا دارند ساخته نشوند، زیرا در اینصورت پوششهای محافظ عظیمی برای حفاظت آنها لازم خواهد بود.

معمولاً شیب کناری دایکها بین ۱:۲ و ۱:۵ بوده و عرض تاج آنها بین ۲ تا ۵ متر و ارتفاع آنها بین ۱ تا ۲ متر در بالای تراز پیش بینی شده سیلاب می باشد. در تعیین محل بهینه قرار گرفتن آنها استفاده از نتایج تحقیقات بر روی مدل‌های هیدرولیکی مناسب خواهد بود. یکی از مواردی که در آن ساخت دایک لازم می باشد حالتی است که یک راه و یا ریل راه آهن از روی بستر سیلابی می گذرد.

#### ۴-۳-۴- فرسایش در اطراف کوله های پل

فرسایش در اطراف کوله‌های پل از نظر مشخصات عمومی به فرسایش در اطراف آبشکن‌های تند زاویه بسیار شبیه است. اکثر اطلاعات محدودی که در رابطه با فرسایش کوله‌ها موجود است از آزمایشاتی است که در دانشگاه اوکلند<sup>۷۸</sup> (۷۹ ۱۹۸۲، تی ۸۰ ۱۹۸۴) کوان<sup>۸۱</sup> (۱۹۸۴) صورت گرفته است. ملویل<sup>۸۲</sup> و رودکیوی<sup>۸۳</sup> (۱۹۸۴) نتایج این آزمایشات را جمع‌بندی کردند. به جهت مشابهت بین فرسایش در نزدیکی یک پایه و یک کوله می‌توان با مقایسه عمق فرسایش اندازه‌گیری شده در اطراف یک پایه دایره‌ای، یک کوله نیم دایره‌ای با همان قطر را آزمایش کرد، و سپس با افزودن یک صفحه صاف کوچک به موازات جهت جریان یک دیوار را شبیه سازی نمود.

در محل کوله‌های یک پل در امتداد یک دیوار، جریانی که از کنار دیوار عبور می‌کند ضعیف شده و باعث بوجود آمدن یک محور تقارن در پایه وسطی می‌شود. جریانی که به سمت پائین دست برقرار است و جریان جانبی در وجه پائین دست کوله با هم ترکیب شده و یک حرکت گردابی قوی را بوجود می‌آورند که باعث فرسایش بیشتر می‌گردد.

#### ۴-۳-۵- مدل‌های ریاضی تخمین فرسایش تنگ شدگی

نظر به اینکه در فرسایش تنگ شدگی تغییرات موضعی سرعت در مقطع رودخانه در ایجاد گردابه‌های مختلف نقش اصلی را بازی می‌کند، لذا برای مدلسازی عددی این پدیده و ارزیابی آن استفاده از مدل‌های کامپیوتری دو بعدی مفیدتر از مدل‌های یک بعدی هستند. همانطور که گفته شد مدل‌های دو بعدی قادرند پروفیل‌های سرعت واقعی در پلان رودخانه را تخمین بزنند. مدل‌های سه بعدی جریان نیز اخیراً تهیه شده‌اند که هنوز در مرحله تحقیقات بوده و کاربرد عمومی آنها در مطالعات آبستگي عملی نشده است.

#### ۴-۴- فرسایش موضعی

در طراحی پایه پلها برای محاسبه حداکثر عمق فرسایش باید فرسایش موضعی در محل پایه پل به مقدار فرسایش عمومی و فرسایش تنگ شدگی اضافه شود. در تحلیل فرسایش موضعی طراح باید بین فرسایش آب تمیز<sup>۸۴</sup> و فرسایش بستر زنده<sup>۸۵</sup> تفاوت بگذارد چرا که در هر دو پدیده گسترش حفره فرسایش در طول زمان و رابطه عمق فرسایش و سرعت تقریب جریان به نوع فرسایش بوجود آمده بستگی دارند.

#### ۴-۴-۱- الگوهای جریان در اطراف یک پایه دایره‌ای

الگوی جریان ایجاد شده بر اثر عبور جریان از یک پایه پل الگوی پیچیده‌ای می‌باشد. پیچیدگی الگوی جریان با گسترش حفره آبکند افزایش پیدا می‌کند. یکی از مطالعات اصلی بر روی جزئیات الگوی جریان، به منظور درک بهتر مکانیزم جریان جهت بررسی

<sup>78</sup> Auckland

<sup>79</sup> Wong

<sup>80</sup> Tey

<sup>81</sup> Kwan

<sup>82</sup> Melville

<sup>83</sup> Raudkivi

<sup>84</sup> Clear-water scour

<sup>85</sup> Live-bed scour

شکل گیری حفره فرسایش، توسط ملویل<sup>۸۶</sup> صورت گرفته است. نتایج مطالعاتی در مورد الگوی جریان در اطراف یک پایه دایره‌ای توسط هیروت<sup>۸۷</sup> (۱۹۷۲/۱۹۷۵) ملویل (۱۹۷۵) رودکیوی (۱۹۷۷) انتشار یافته است. کارهای بعدی توسط الما<sup>۸۸</sup> (۱۹۸۰) انجام شده است. الگوی جریان به اجزای زیر قابل تقسیم است:

- غلطش سطحی در دماغه<sup>۸۹</sup>
- جریان پائین رو یا جریان قائم رو به پائین در جلوی پایه<sup>۹۰</sup>
- گردابه نعل اسبی<sup>۹۱</sup>
- گردابه های دنباله<sup>۹۲</sup>

این اجزاء در شکل ۴-۴ بصورت شماتیک نشان داده شده است.

در صفحه تقارن عمود بر جهت جریان، آب با برخورد به جلوی پایه حالت ساکن پیدا می‌کند. در حالیکه با توجه به توزیع سرعت جریان در ارتفاع، سرعت جریان  $u$  از بالا به پائین کاهش پیدا می‌کند، فشار سکون<sup>۹۳</sup> ( که برابر است با  $\frac{\rho u^2}{2}$  ) و شیب فشار نیز از سطح آب به طرف بستر کاهش می‌یابد. در صورتیکه یک حفره فرسایش بوجود آمده باشد قدرت جریان به سمت پائین در تراز زیر بستر اولیه افزایش پیدا می‌کند. حداکثر سرعت جریان پائین رو هر فاصله<sup>۹۴</sup>  $0.2/0$  تا  $0.5/0$  قطر پایه در بالادست سطح آب بوجود می‌آید، که هر چه به سمت بستر حرکت کنیم به دیواره پایه نزدیکتر می‌شود. حداکثر مقدار آن که به  $0.8/0$  سرعت متوسط تقرب می‌رسد در محلی به اندازه قطر پایه پائین تر از تراز اولیه بستر بوجود می‌آید.

جریانی که به نام گرداب نعل اسبی از آن نام برده شد بر اثر جدا شدن گردابه‌ها از دیواره پایه در داخل حفره آبکند و حرکت به سمت پائین دست ایجاد می‌شود. این جریان گردابی است و مشابه جریان گردابی یا غلطکی که در پائین دست تاج یک تلماسه تشکیل می‌شود، می‌باشد.

جریان گردابی نعل اسبی بر اثر فرسایش بوجود می‌آید، نه اینکه باعث ایجاد آن شود، اگرچه جریان گردابی نعل اسبی در حمل مصالح حاصل از ایجاد حفره فرسایش مؤثر است. گرداب نعل اسبی به سمت پائین دست و از دو طرف پایه شکل می‌گیرد و قبل از اینکه با جریان آشفته کلی مخلوط شده و قدرت خود را از دست بدهد در فاصله‌ای به اندازه چند برابر قطر پایه مسیر خود را ادامه می‌دهد. جریان گردابی نعل اسبی در حفره فرسایش، جریان رو به پائین را به سمت طرفین و پائین دست پایه هدایت می‌کند.

در اثر برخورد جریان به پایه، جریان در دو سمت پایه دچار جدائی می‌شود که این جدائی بصورت یک موج در سطح به طرف پائین دست امتداد پیدا می‌کند. این جدائی جریان باعث ایجاد یک سطح جدایی در سرعت جریان شده که باعث جمع شدن گردابه‌های دنباله در محدوده بین جریان و موج سطحی می‌شود. به عبارت دیگر جریان باعث خم شدن محور گردابه‌ها می‌شود. در نزدیکی بستر این گردابه‌ها، ایجاد برهمکنشی با جریان گردابی نعل اسبی باعث ایجاد جریانه‌های حامل و نوسانی جانبی و عمودی

<sup>86</sup> Melville

<sup>87</sup> Hjorth

<sup>88</sup> Elema

<sup>89</sup> Surface roller

<sup>90</sup> Downflow

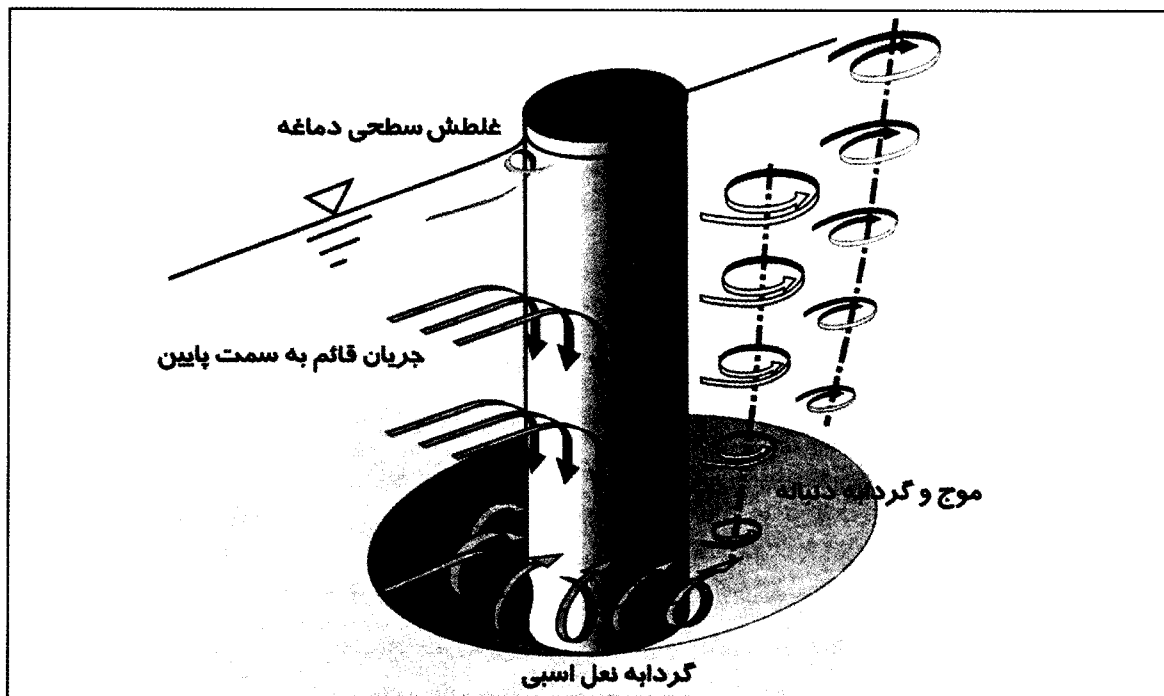
<sup>91</sup> Horseshoe vortex

<sup>92</sup> Wake vortices

<sup>93</sup> Stagnation pressure

مربوط به گردابه‌های فرساینده می‌شوند. دوره بازگشت این گردابه‌های فرساینده با  $\pi$  معرفی می‌شود و به کمک رابطه استروهل<sup>۹۴</sup> یعنی  $nb/uv \approx 0.2$  بدست می‌آید که  $b$  عرض پایه و  $u$  سرعت جریان است. گردابه‌های دنباله بدلیل مرکزهای کم فشار عمودی مانند گردابه‌های کوچک باعث برداشت رسوبات از کف می‌شوند.

حفره آبکند در کناره‌های پایه دایره‌ای به سرعت ایجاد شده و افزایش پیدا می‌کند و با طی کردن محیط پایه در محل خط تقارن آن به یکدیگر می‌رسند. مصالح فرسایش یافته به وسیله جریان به سمت پائین دست حمل می‌شوند. پس از شکل‌گیری فرسایش، یک حفره کم عمق در نزدیکی پایه و در محدوده حدود  $\pm 120$  درجه پایه غیر از محدوده موج پائین دست بوجود می‌آید. جریان پائین رو در جلوی پایه مانند یک جت عمودی باعث ایجاد شیار در جلوی پایه می‌شود که در شکل (۴-۸) نشان داده شده است. مصالح فرسایش یافته در اطراف پایه بوسیله جریان شتابگیرنده و حرکت جریان گردابه نعل اسبی حمل می‌شوند. جریان پائین رو بر اثر برخورد به کف حوزه فرسایش به سمت بالا تغییر جهت می‌دهد و این جریان بر اثر برخورد با گردابه نعل اسبی از محل برخورد به شیب حفره فرسایش به سمت پائین دست منعکس می‌شود. در این نقطه چرخش جریان، لبه‌های شیار کاملاً تمیز بوده و سطح شیار کاملاً عمودی قرار می‌گیرد. در صورتیکه حفره فرسایش به حالت تعادل و پایدار خود برسد شیار کم عمق شده یا کاملاً از بین می‌رود.



شکل ۴-۸- نمای شماتیک الگوی جریان در اثر برخورد با یک پایه استوانه‌ای

لبه‌های شیار بر اثر لغزش مصالح تشکیل دهنده شیار فرو می‌ریزند. انعکاس جریان پائین رو باعث خروج این مصالح و حمل آن به سمت گرداب چرخش شده که گرداب چرخشی بخشی از این مصالح را به سمت بالا حمل می‌کند. باقیمانده مصالح برداشت شده بوسیله جریان به سمت پائین دست حمل شده و در محل موج جانبی پائین دست باعث ایجاد یک تپه میله‌ای شکل از مصالح

فرسایش یافته می‌شود. قسمت بالادست حفره فرسایش به سرعت افزایش پیدا می‌کند این قسمت، شکل یک مخروط ناقص وارونه را دارد که شیب دیواره‌های آن برابر با شیب پایداری مصالح بستر در شرایط فرسایش می‌باشد. در شرایط آب تمیز، زمانی حالت تعادل و پایدار فرا می‌رسد که تأثیرات مرکب تنش برشی متوسط زمانی و تغییرات آشفستگی در تمام محیط به حالت تعادل برسند.

در شرایط فرسایش بستر زنده، تنش برشی بزرگتری لازم است تا رسوبات را از حفره فرسایش خارج نماید. ذرات سطحی در حالت فرسایش آب تمیز ممکن است بوسیله جریان در داخل حفره فرسایش جابجا شوند، ولی به سمت خارج حمل نمی‌شوند.

#### ۴-۴-۲- رفتار جریان در اطراف پایه مستطیل و کوله

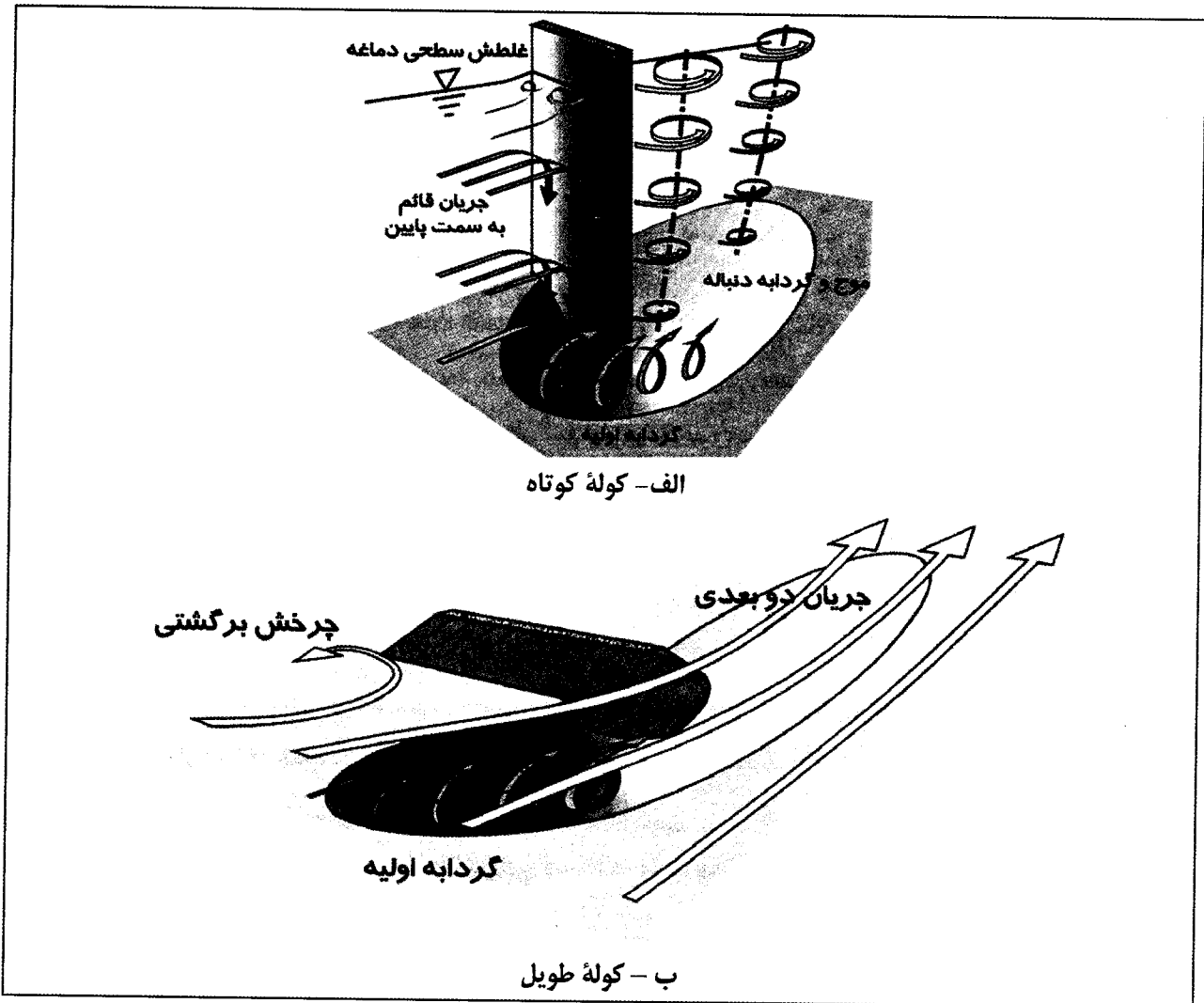
رفتار عمومی پدیده‌هایی که در اطراف پایه دایره‌ای دیده شد، برای پایه‌های غیر دایره‌ای نیز دیده می‌شود. لیکن شدت هر یک بسته به نسبت ابعاد و شکل پایه غیر دایره‌ای تفاوت می‌کند. کوله‌های طرفین پل نیز هر یک به مشابه نصف یک پایه مستطیلی عمل می‌کنند. لذا پدیده‌های مذکور برای رفتار جریان اطراف کوله نیز صادق است که در اینجا از شرح مجدد آن خودداری نموده و فقط شمای عمومی رفتار جریان اطراف یک کوله کوتاه و یک کوله طویل را در شکل (۴-۹) ارائه می‌گردد. دیده می‌شود که برای کوله کوتاه هیچ پدیده خاصی جز آنچه در مورد پایه دایره‌ای بیان شده اتفاق نمی‌افتد. لیکن در مورد کوله طویل یک گردابه بازگشتی در بالادست کوله نزدیک ساحل ملاحظه می‌شود. بقیه گردابه‌ها در لبه کوله طویل مشابه کوله کوتاه است که جزئیات در شکل نشان داده نشده است.

#### ۴-۴-۳- آبشستگی در شرایط جریان غیر دائمی

شرایط غیر دائمی جریان در اثر اتفاقاتی از قبیل عبور سیلاب در رودخانه‌ها، خروجی متغیر دبی از نیروگاه‌های برق آبی و اثر موج تقلی بوجود می‌آید. حالات گفته شده بصورت موج می‌باشد ولی طول موجهای آنها متفاوت است. عبور موج باعث افزایش تعداد عوامل کنترل کننده عمق فرسایش می‌شود. فرسایش ممکن است بر اثر تداوم امواج یا بر اثر تنها یکی از آنها بوجود آید. امواج ممکن است باعث ایجاد موجهای فشاری در بستر شوند، که این موجهای فشاری به فرسایش بستر کمک می‌کنند.

موجهای متناوب به تنهایی باعث عمق فرسایش کند کننده‌ای در اطراف یک پایه استوانه‌ای نسبت به عمق فرسایش خالص می‌شوند. اگرچه فرسایش موقت در موجهای با طول موج طولانی ممکن است قابل توجه باشد (رودکیوی ۱۹۷۶). زانکه<sup>۹۵</sup> (۱۹۸۱) پارامتر  $A/b$  را معرفی کرد که  $A=H/\text{Sinh}(KH)$  دو برابر بزرگی حرکت دورانی آب در بستر می‌باشد و  $b$  قطر یا عرض سازه می‌باشد. این پارامتر عمق جریان، ارتفاع موج، طول موج و اندازه را شامل می‌شود. برای مقادیر  $A/b > 100$ ، شرایط جریان یکنواخت برقرار است با کاهش  $A/b$ ، عمق فرسایش موضعی خالص به سرعت کاهش می‌یابد و حداکثر عمق به سمت کناره‌ها حرکت می‌کند. عمق فرسایش با افزایش  $b$  کاهش می‌یابد، چرا که نصف زمان دوره بازگشت موج بقدری کوتاه است که قادر به حمل حجم عمده‌ای از رسوبات نیست. در صورتی که جریان دارای موج باشد، عمق فرسایش موضعی، حداکثر به مقداری که بر اثر جریان بدون موج باشد، می‌رسد.





شکل ۴-۹- نمای شماتیک الگوی جریان در اطراف کوله های مستطیلی کوتاه و طویل

#### ۴-۴-۴- آبستگي در نزديكي گروه شمه‌ها

هندسه پایه‌ها و پی یک پل بستگی کامل به قضاوت مهندسی طراح آن دارد. بنابراین طراح می‌تواند ترتیبات مختلفی از قرارگیری پایه‌ها یا شمه‌ها مانند دایره‌ای یا مستطیلی را انتخاب نماید. مطالعات انجام شده در مورد فرسایش در اطراف یک پی منفرد خیلی بیشتر از مطالعات انجام شده بر روی گروه شمه‌ها می‌باشد. بهترین مطالعه قابل استفاده در مورد گروه پایه‌ها یا شمه‌ها توسط هانا<sup>۹۶</sup> (۱۹۷۸) انجام شده است.

چهار مکانیزم بر روی فرسایش گروه شمه‌ها مؤثر است که در حالت یک شمع تنها این مکانیزم‌ها وجود ندارند:

#### الف) مسلح شدگی<sup>۹۷</sup>

نزديكي بيش از حد پایه‌ها به یکدیگر باعث جلوگیری از عمیق شدن حفرة آبکند می‌گردد که به آن مسلح شدگی می‌گویند. مسلح شدگی باعث افزایش عمق فرسایش در شمع جلوئی می‌شود که نتیجه آن تعادل دینامیکی در پایه حفرة فرسایش می‌باشد.

<sup>۹۶</sup> Hanah

<sup>۹۷</sup> Reinforcing

مصالح بستر متناوباً از پایه حفره برداشته می‌شوند در حالیکه جریان قادر به حمل این مواد نمی‌باشد. در صورتیکه یک شمع در ردیف دوم به گونه‌ای قرار گیرد که حفره‌های فرسایش دو پایه در یکدیگر تداخل نمایند، تراز بستر در پائین دست حفره فرسایش شمع اول کاهش می‌یابد. به این ترتیب شرایط حمل رسوبات برای جریان آسان‌تر شده و عمق حفره فرسایش افزایش پیدا می‌کند. در صورتیکه فاصله پایه‌ها افزایش یابد، پدیده مسلح شدگی کاهش یافته و زمانیکه حفره فرسایش دو شمع تداخلی نداشته باشند این مکانیزم از بین می‌رود.

#### ب) محافظت ۹۸

وجود یک شمع در جلوی مسیر جریان باعث کاهش سرعت تقرب جریان به شمع‌های پائین دست می‌شود. این کاهش سرعت باعث کاهش جریان گردابی نعل اسبی و در نتیجه کاهش عمق فرسایش در پائین دست شمع‌های دیگر می‌گردد. حالت دیگری از محافظت زمانی اتفاق می‌افتد که مصالح فرسایش یافته از شمع جلویی در جلوی شمع پائین دست جمع می‌شود. در این حالت جریان به سمت بالا و اطراف شمع منعکس می‌شود. قدرت و تأثیر جریان گردابی نعل اسبی به این ترتیب کاهش می‌یابد در صورتیکه فاصله شمعها افزایش یابد کاهش سرعت جریان که در اثر برخورد با شمع اول بوجود می‌آید کمتر شده و تأثیر پدیده محافظت قابل صرف نظر می‌باشد.

#### ج) گردابه‌های دافع ۹۹

گردابه‌هایی که از شمع بالادست جدا می‌شوند در مسیری مشابه به آنچه در مورد رفتار جریان اطراف پایه دایره‌ای توضیح داده شد جریان می‌یابند. در صورتیکه شمع دیگری در امتداد مسیر این گردابه‌ها قرار گیرد، بدلیل توزیع سرعت و فشار در این گردابه‌ها مصالح بستر از حفره فرسایش برداشته می‌شود. پتانسیل فرسایشی این گردابه‌ها تابعی از شدت سرعت دورانی آنها و فاصله طی شده توسط آنها می‌باشد. این پدیده در مورد شمعهایی که در یک امتداد قرار گرفته‌اند نسبت به حالت قرارگیری شمعها در امتداد مسیر گردابه‌های یکدیگر به شدت کاهش می‌یابد.

#### د) فشردگی جریان گردابه نعل اسبی ۱۰۰

وقتی شمعها در امتداد عبور جریان قرار گرفته‌اند، در صورتیکه فاصله آنها از یکدیگر کافی باشد هر کدام از شمعها جریان گردابی نعل اسبی خود را دارا می‌باشند. در صورت کاهش فاصله شمعها، بازوهای داخلی گردابه‌های نعل اسبی به یکدیگر فشرده می‌شوند. این فشردگی باعث افزایش سرعت در بازوها و در نتیجه افزایش عمق حفره آبکند می‌شود. این پدیده ممکن است برای زاویه برخورد‌های مختلف رخ دهد، و در صورتیکه مسیر جریان گردابی نعل اسبی یک شمع به شمع دیگر برخورد کند این موضوع اهمیت پیدا می‌کند. برای زاویه‌های کوچک این پدیده به شدت به فاصله شمعها از یکدیگر وابسته است.

<sup>98</sup> Sheltering

<sup>99</sup> Shed vortices

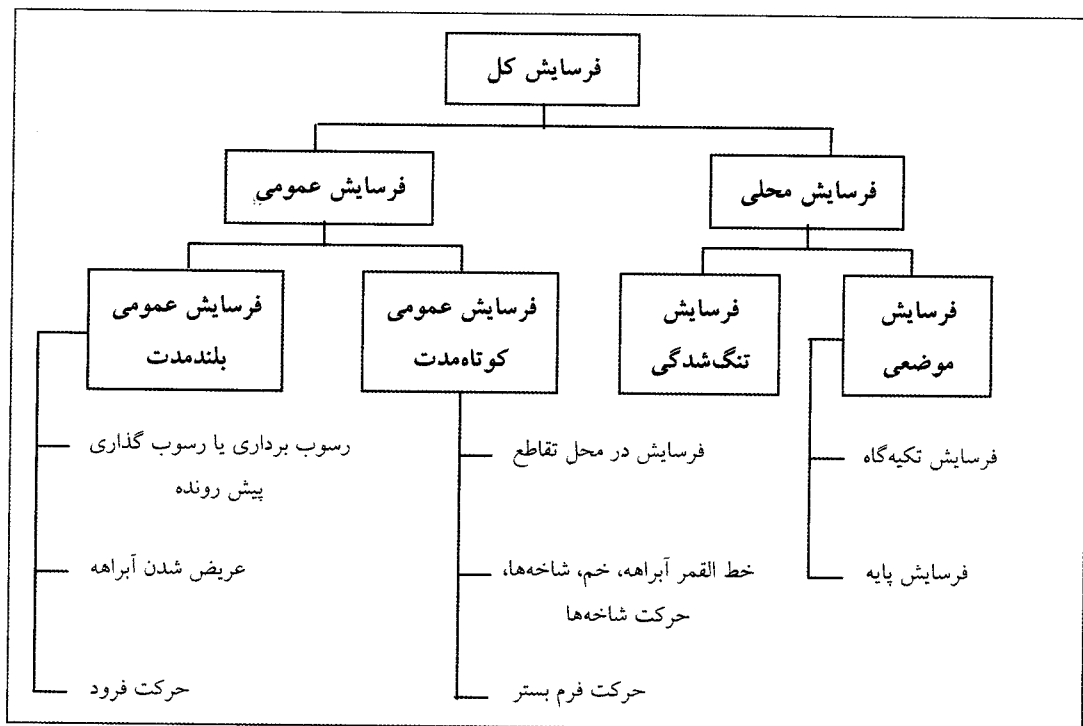
<sup>100</sup> Compressed horseshoe vortex

## فصل پنجم

### روش طراحی برای فرسایش کل

#### ۱-۵- مقدمه

انواع فرسایش که در محل تقاطع یک پل با یک آبراهه بوجود می‌آید در حالت کلی به سه نوع فرسایش عمومی، فرسایش تنگ شدگی و فرسایش موضعی قابل تقسیم می‌باشند. لیکن با توجه به نوع عملکرد می‌توان فرسایش را به صورتهای خاص زیر نیز مورد بررسی قرار داد (شکل ۱-۵):



شکل ۱-۵ - انواع مختلف فرسایش در محل یک پل

- **فرسایش کل:** به کل عمق فرسایش در محل پی یک پل اطلاق می‌شود و شامل فرسایش عمومی و فرسایش محلی می‌باشد.
  - **فرسایش عمومی:** به فرسایشی اطلاق می‌شود که وجود پل در ایجاد آن تأثیری ندارد و شامل فرسایش کوتاه مدت و فرسایش بلند مدت آبراهه می‌باشد. این فرسایش با مطالعهٔ مهورفولوژی رودخانه قابل بررسی است.
  - **فرسایش عمومی بلند مدت:** این فرسایش در فاصلهٔ زمانی زیاد (بیش از چندین) سال رخ می‌دهد، و شامل رسوبگذاری یا رسوب برداری پیشرونده و فرسایش دیواره‌های جانبی به دلیل عریض شدن آبراهه یا حرکت پیچرود می‌باشد.
  - **رسوب برداری پیشرونده:** پائین افتادگی شبه دائم بستر رودخانه در محل پل بدلیل تغییرات طبیعی در سیلابدشت (مانند شکل‌گیری میانبرها، لغزش زمین، جریان یافتن گل، آتش، تغییرات آب و هوایی) یا عملیات انسانی (مانند لایروبی رودخانه، مستقیم کردن آبراهه، بوجود آوردن میانبرها، حفاری بستر جریان، احداث سد، شهرسازی، نابودی جنگلها، فعالیتهای کشاورزی) می‌باشد.
  - **رسوبگذاری پیشرونده:** بالآمدگی شبه دائم بستر رودخانه در محل پل می‌باشد.
  - **فرسایش عمومی کوتاه مدت:** فرسایشی است که بر اثر یک یا چند سیلاب با فاصلهٔ زمانی کوتاه بوجود می‌آید، و شامل فرسایش در محل تقاطع پل، حرکت خط القعر آبراهه، حرکت خم رودخانه و تغییرات محل جویبارهایی که به آبراهه می‌ریزند می‌باشد.
  - **فرسایش محلی:** فرسایشی است که بر اثر وجود پل بوجود می‌آید و شامل فرسایش تنگ شدگی و فرسایش موضعی می‌باشد.
  - **فرسایش تنگ شدگی:** فرسایشی است که بر اثر تنگ شدگی مقطع جریان بدلیل احداث آبشکن یا کوله‌های پل بوجود می‌آید.
  - **فرسایش موضعی:** فرسایشی است که بر اثر کنش پی‌های پل و جریان بوجود می‌آید و بسته به محل آن شامل فرسایش پایه و فرسایش کوله (تکیه گاه) می‌باشد.
  - **فرسایش کوله (تکیه گاه):** فرسایشی است که بر اثر اندر کنش کوله‌های دو انتهای پل و جریان بوجود می‌آید.
  - **فرسایش پایه:** فرسایشی است که بر اثر کنش پایه‌های میانی پل و جریان بوجود می‌آید.
- در محل برخورد جریان به یک پل، چند نوع یا تمام انواع فرسایش فوق‌الذکر ممکن است بطور همزمان رخ دهد. لازم است که کل فرسایش برای حالت طراحی شامل جمع آثار تمام انواع فرسایش‌ها محاسبه شود. روش بدست آوردن حالت‌های مختلف فرسایش در بخش ۵-۵ بیان شده است.

## ۵-۲- تخمین عمق فرسایش عمومی

چنانچه گفته شد پیشرفتهای خوبی برای تخمین فرسایش موضعی و فرسایش تنگ شدگی صورت گرفته است. تخمین فرسایش عمومی نیازمند درک عمیقتری از عملکرد فرسایش در مقیاس بزرگتری می‌باشد. عملکرد فرسایش عمومی و رای عملکرد فرسایش

موضعی و فرسایش تنگ شدگی است. مطالعات صورت گرفته در این زمینه و پیشرفت در روشهای محاسبه رفتار آبراهه در مقیاس بزرگ به قابلیت بیان مقادیر فرسایش عمومی کمک فراوانی می‌کنند.

نکاتی که بیان کننده رفتار کیفی جریان و پتانسیل ناپایداری جریان می باشد در فصول قبل ارائه شده‌اند. جدول ۵-۱ و شکل‌های ۵-۲ تا ۵-۶ بطور خلاصه روشهای توصیه شده برای بدست آوردن مقادیر فرسایش عمومی را نشان می‌دهند. هر گونه استفاده‌ای از این روشها باید با اطمینان از مشابهت مشخصات (جریان، آبراهه و رسوبات) شرایط رودخانه مورد بررسی با شرایط بدست آوردن روابط باشد. بهتر است محدوده استفاده از فرضیات پایه و کفایت روشهای اصلی قبل از استفاده از آن روش مشخص شود. یک روش ساده برای بدست آوردن کارایی یک فرمول، مقایسه نتایج بدست آمده از آن با شرایط موجود در محل و یا مقایسه با پروژه‌های اجرا شده مشابه می‌باشد.

روش بدست آوردن فرسایش کل در محل یک پل، به صورت حاصل جمع مقادیر تخمین زده شده برای فرسایش عمومی، فرسایش تنگ شدگی و فرسایش موضعی می باشد که در بخش ۵-۵ توصیف شده است.

### ۵-۳- تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی

روش تجربی توصیه شده به دو بخش تقسیم می‌شود:

- مرحله اول: تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی متوسط در محل تقاطع پل و آبراهه.
- مرحله دوم: تخمین حداکثر عمق فرسایش تنگ شدگی با توزیع عمق فرسایش تنگ شدگی متوسط در مقطع تقاطع پل و آبراهه.

این روش برای آبراهه‌هایی که مقادیر زیادی از بار بستر را حمل می‌کنند مناسب می‌باشد، که در این صورت شرایط بستر زنده مورد استفاده قرار می‌گیرد، چرا که معمولاً شرایط آستانه حرکت برقرار نمی‌باشد.

دو روش برای تخمین عمق متوسط فرسایش تنگ شدگی موجود است. طراح می‌تواند بزرگترین مقدار بدست آمده از دو روش یا متوسط مقدار بدست آمده از دو روش را برای طراحی استفاده نماید. روش اول بر مبنای روش حل تنگ شدگی مستطیلی طولانی و روش دوم، بر اساس توان جریان است. روش اخیر به همراه روش توزیع عرضی فرسایش تنگ شدگی در عرض مقطع برای تحلیل رسوبگذاری و رسوب برداری عمومی توضیح داده شده اند. در صورتیکه فرسایش عمومی حاصل از حرکت خط القعر یا فرسایش در محل خم بصورت بخشی از فرسایش کلی در نظر گرفته شود نیازی به توزیع فرسایش تنگ شدگی در عرض مقطع نمی‌باشد.

### ۵-۳-۱- راه حل فرسایش تنگ شدگی مستطیلی طولانی

توصیه‌های مورد استفاده در این قسمت مشابه توصیه‌های اداره راههای استرالیا<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) و ریچاردسون و دیویس (۱۹۹۵) می‌باشد. این توصیه‌ها بر اساس رابطه لارسن (۱۹۶۰) استوار است. روش توصیه شده مورد نظر در شکل‌های ۵-۷-الف و ۵-۷-ب نشان داده شده است. عمق متوسط فرسایش از سطح آب پس از تنگ شدگی  $(y_{ms})_c$  توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$(y_{ms})_c \equiv y_z = y_1 + d_{se} \quad (۵-۱)$$

<sup>۱</sup> Austroads

که در این رابطه  $y_1 =$  عمق متوسط جریان و  $d_{se}$  حداکثر فرسایش موضعی می‌باشد. بسته به شرایط جریان و عبور آن از آبراهه های فرعی با احداث یک پل حالت‌های زیر بوجود می‌آید:

• **حالت ۱:** (شکل ۵-۷-الف) جریان آبراهه‌های فرعی بر اثر برخورد به کوله‌ها به سمت آبراهه اصلی هدایت می‌شوند. این حالت دارای شرایط زیر می‌باشد: آبراهه اصلی کم عرض تر از فاصله کوله‌های پل در امتداد جریان می‌باشد و یا اینکه محل پل در مقطع کم عرض آبراهه انتخاب شده است (حالت ۱-الف). هیچگونه تنگ شدگی در آبراهه اصلی بوجود نیامده است اگر چه آبراهه‌های فرعی بطور کامل توسط کوله‌های پل مسدود شده است (حالت ۱-ب). کوله‌ها عقب‌تر از آبراهه اصلی قرار گرفته‌اند (حالت ۱-ج).

• **حالت ۲:** (شکل ۵-۷-ب) در این حالت جریان در آبراهه اصلی محدود می‌باشد (این شرایط در صورتی است که جریان آبراهه فرعی وجود ندارد). عرض طبیعی آبراهه کم عرض تر از عرض بین کوله‌های پل می‌باشد (حالت ۲-الف) و یا اینکه محل پل در مقطع کم عرض تر آبراهه انتخاب شده است (حالت ۲-ب).

در حالت‌های تشریح شده با توجه به شرایط حمل رسوب در دو حالت بستر زنده و آب تمیز با استفاده از فرمول‌های مختلف عمق فرسایش تنگ شدگی بدست می‌آید. برای شرایط بستر زنده رابطه زیر توصیه شده است:

$$\frac{y_2}{y_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_{1m}} \right)^{\frac{6}{7}} \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1} \quad (2-5)$$

که در این رابطه  $y_1$  عمق متوسط جریان در محل تقرب در آبراهه اصلی،  $y_2$  عمق متوسط جریان آبراهه اصلی در محل تنگ شدگی،  $W_1$  عرض بستر آبراهه اصلی در محل تقرب،  $W_2$  عرض آبراهه اصلی در محل تنگ شدگی،  $Q_{1m}$  دبی جریان آبراهه اصلی که رسوبات را حمل می‌کند،  $Q_2$  کل دبی عبوری از پل و  $k_1$  یک ضریب می‌باشد که به حالت حمل مواد بستگی دارد. مقادیر  $K_1 = 0.59$  برای اغلب حالت‌های حمل بار بستر ( $u_* / \omega < 0.5$ )،  $K_1 = 0.64$  برای بعضی حالت‌های حمل بار معلق ( $0.5 < u_* / \omega \leq 2$ ) و  $K_1 = 0.69$  برای اغلب حالت‌های حمل بار معلق ( $u_* / \omega > 2$ ) توصیه شده است.

رابطه ۵-۲ با توجه به شرایط جریان صورتهای متفاوتی پیدا می‌کند که در جدول ۵-۲ بصورت خلاصه نشان داده شده است. در شرایط جریان (۱-ب) تخمین عمق‌های جریان و دبی‌ها مشکل می‌باشد، چرا که عملکرد فرسایش به توزیع عرضی جریان در بالادست و محل پل بستگی دارد. اداره راه‌های استرالیا (۱۹۹۴) در شرایط جریان (۱-ب) با مساوی فرض کردن  $W_1$  و  $W_2$  و تغییر در تعریف پارامترهای جریان بصورتی که  $y_1$  عمق متوسط در سطح مقطع آبراهه‌های اصلی و فرعی که توسط پل اشغال شده (در تراز عادی و بدون فرسایش) و  $y_2$  عمق متوسط جریان در باز شدگی‌های پل (شامل فرسایش) و  $Q_{1m} =$  دبی جریان عبوری از سطح مقطع آبراهه‌های اصلی و فرعی که توسط پل اشغال شده (در تراز عادی و بدون فرآب) باشند، فرضیات ساده کننده خود را ارائه نموده است. این تعاریف مکفی به نظر نمی‌رسند. استفاده از یک مدل دو بعدی جریان در حجم کنترل محدوده نزدیک پل برای بدست آوردن توزیع جانبی جریان مطلوب می‌باشد. برای فرسایش تنگ شدگی در شرایط آب تمیز، روش توان جریان توصیه شده است.

## ۴-۵- تخمین عمق فرسایشهای موضعی

## ۴-۵-۱- اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات اصلی مورد نیاز برای بکار بردن این روش در شکل ۵-۸ نشان داده شده و به شرح زیر می‌باشند:

- **جریان تقرب:** که بوسیله سرعت متوسط جریان ( $V$ )، عمق ( $y$ ) و ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) آبراهه اصلی تعریف می‌شود. برای پایه‌های پل مقادیر  $y$  و  $V$  بگونه‌ای تعریف می‌شوند که نشان دهنده مشخصات جریان تقرب به پایه به صورت جداگانه می‌باشد.
- **رسوب بستتر:** با استفاده از قطر متوسط ( $d_{50}$ )، قطر حداکثر ( $d_{max}$ ) و انحراف معیار هندسی ( $\sigma_g$ ) توزیع اندازه ذرات رسوب بستتر تعریف می‌شود. در عمل  $d_{90}$  (یا یک قطر مشابه) به عنوان  $d_{max}$  (که در عمل نمی‌توان آن را بدست آورد) بکار برده می‌شود.
- **هندسه پی:** با استفاده از عرض پایه ( $b$ ) و طول پایه ( $f$ )، طول کوله ( $L$ )، شکل ( $sh$ ) و جهت ( $\theta$ ) تعریف می‌شود. پایه‌های دایره‌ای توسط قطر پایه ( $D$ ) تعریف می‌شوند. برای پایه‌های غیر یکنواخت پارامترهای اضافی مورد نیاز می‌باشد که در زیر شرح داده شده‌اند.
- **هندسه آبراهه:** (فقط برای کوله‌ها) که با استفاده از  $n$ ،  $y$ ،  $V$  و عمق ( $y^*$ )، ضریب زبری مانینگ ( $n^*$ ) و عرض ( $L^*$ ) سیلابدشت تعریف می‌شود.

## ۴-۵-۲- رابطه فرسایش

روش طراحی مبتنی بر رابطه زیر می‌باشد. این رابطه برای محاسبه عمق فرسایش موضعی تهیه شده است.

$$d_s = K_{yB} K_I K_d K_s K_\theta K_G K_t \quad (۳-۵)$$

در این رابطه ضرایب  $K$  ضرایب تجربی می‌باشند که برای منظور کردن اثرات مختلف عوامل مؤثر در عمق فرسایش به شرح زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$$K_{yB} = \text{ضریب اندازه عمق معادل } K_{yb} \text{ برای پایه‌ها و } K_{yL} \text{ برای کوله‌ها}$$

$$K_I = \text{ضریب شدت جریان}$$

$$K_d = \text{ضریب اندازه رسوبات}$$

$$K_s = \text{ضریب شکل کوله یا پایه}$$

$$K_\theta = \text{ضریب جهت جریان کوله یا پایه}$$

$$K_G = \text{ضریب هندسه آبراهه ( } K_G = 1 \text{ برای پایه‌ها)}$$

$$K_t = \text{ضریب زمان}$$

مقدار  $K_I$  به گونه‌ای بدست می‌آید که شامل توام دانه‌بندی رسوبات و سرعت جریان باشد. ضرایب  $K_{yB}$  و  $d_s$  دارای بعد طول و سایر ضرایب  $K$  بدون بعد می‌باشند. رابطه (۳-۵) تنها برای حالت فرسایش موضعی بوده و استفاده از آن برای در

نظر گرفتن اثر تنگ شدگی قابل استفاده نیست و تنها برای مقادیر کم نسبت عرضهای بازشدگی پل می توان آنرا بکار برد. برای پایه پلها رابطه (۳-۵) بصورت زیر تبدیل می شود:

$$d_s = K_{yb} K_d K_s K_\theta K_I \quad (۴-۵)$$

در حالیکه برای کوله‌های پل رابطه ۳-۵ بصورت زیر در می آید:

$$d_s = K_{yb} K_I K_d K_s K_\theta K_G K_I \quad (۵-۵)$$

ضرایب  $K$  از روی منحنی‌های تهیه شده از نتایج آزمایشگاهی بدست می آیند. معادلات بدست آمده از منحنی‌ها برای  $K$  های مختلف در جداول ۳-۵ و ۴-۵ خلاصه شده‌اند و به ترتیب برای پایه‌ها و کوله‌های پلها در نمودارهای ۱۰-۵ و ۱۱-۵ نشان داده شده‌اند. برای پایه‌های با مقطع متغیر عرض پایه ( $b$ ) با یک عرض پایه معادل در نظر گرفته می‌شوند، چنانکه در شکل ۱۲-۵ نشان داده شده است.

### ۳-۴-۵- تخمین عمق فرسایش موضعی

اولین قدم برای محاسبات مربوط به عمق فرسایش موضعی تخمین سرعت آستانه حرکت ( $V_c$ )، سرعت لایه محافظ ( $V_a$ ) و پارامتر سرعت ( $[V - (Va - Vc)] / V_c$ ) می باشد. روش محاسبه، در شکل ۹-۵ خلاصه شده است. گام بعدی تخمین مقادیر ضرایب  $K$  می باشد، که به کمک نمودار ۱۳-۵ برای پایه‌ها و نمودار ۱۴-۵ برای کوله‌های پل بدست می‌آیند. جداول ۳-۵ و ۴-۵ و نمودارهای ۱۰-۵ تا ۱۲-۵ جزئیات بیشتری برای تخمین عمق فرسایش موضعی در اختیار قرار می‌دهد.

### ۴-۴-۵- حداکثر عمق فرسایش موضعی مناسب در اطراف پایه‌ها یا کوله‌ها

مقدار فرسایش موضعی بوسیله رابطه (۳-۵) بدست می‌آید، که در این رابطه  $K_I$ ،  $K_d$ ،  $K_G$  معمولاً از واحد کوچکتر می‌باشند بنابراین حداکثر عمق فرسایش موضعی مناسب برابر است با:

$$d_{semax} = K_{yb} K_{s1} K_\theta \quad (۶-۵)$$

یک فرمول سریع دیگر برای بدست آوردن حداکثر عمق فرسایش موضعی مناسب رابطه زیر می‌باشد:

$$d_{semax} = 2.4 K_s K_\theta b \quad (۷-۵)$$

برای مقاصد طراحی رابطه (۷-۵) جهت تخمین عمق فرسایش موضعی در اطراف پایه‌ها در بسیاری از حالتها مناسب می‌باشد.

### ۵-۵- تخمین عمق فرسایش کل

کلیات روش تخمین فرسایش در محل یک پل در شکل ۱۵-۵ نشان داده شده است. عمق فرسایش کل برای طراحی از ترکیب فرسایش موضعی، فرسایش تنگ شدگی و فرسایش عمومی بدست می‌آید. این روش ممکن است روش محافظه کارانه‌ای باشد. بطور مثال مقدار فرسایش کل در محل یک پل که بازشدگیهای آن بسیار کوچک بوده و میزان تنگ شدگی زیاد است می‌تواند تنها با استفاده از فرسایش تنگ شدگی بدست آید. مثالهای کاربردی برای روش طراحی در فصل ۶ ارائه شده‌اند. فرسایش کل در محل یک پل طی مراحل زیر قابل محاسبه است (شکل ۱۵-۵):



- بدست آوردن محدوده سیلابهایی که بدترین شرایط آبشستگی را در محل ایجاد می‌کنند.
  - بدست آوردن شرایط هیدرولیکی آبراهه در حالت بستر ثابت در محل برای هر سیلاب.
  - تخمین تغییرات تراز متوسط بستر که بر اثر رسوبگذاری یا رسوب برداری و سیلابهای جاری شده محتمل می‌باشد. برای این کار می‌توان از روش اداره راه آهن نیوزلند (هولمز<sup>۱</sup> ۱۹۷۴) استفاده نمود که در این مرحله عمق جریان،  $y_{ms}$ ، از سطح آب تا متوسط تراز فرسایش یافته بستر می‌باشد.
  - بدست آوردن شرایط هیدرولیکی جدید آبراهه (با استفاده از  $y_{ms}$ ) برای مقطع طولی و عرضی آبراهه بدست آمده.
  - محاسبه متوسط تراز بستر بوجود آمده بر اثر فرسایش تنگ شدگی، با استفاده از روشهای موجود بدست آوردن عمق جریان  $(y_{ms})_c$ ، که در این مرحله عمق جریان فاصله از سطح آزاد آب تا تراز بستر فرسایش یافته بر اثر تنگ شدگی می‌باشد.
  - بدست آوردن مجدد شرایط هیدرولیکی آبراهه [با استفاده از  $(y_{ms})_c$ ] برای مقطع بدست آمده.
  - بدست آوردن عمق جریان  $y_s$ ، که در این مرحله فاصله از سطح آب تا پائین ترین تراز بستر فرسایش یافته با تأثیر دادن اثرات تقاطع آبراهه‌ها (با استفاده از  $y_{ms}$ ) و اثرات خم و عمق خط القعر (برای آبراهه های مستقیم) بر روی مقطع تنگ شده می‌باشد. تأثیر دادن هر کدام از این پدیده‌ها باعث جابجایی محل تأثیر هر کدام از این پدیده‌ها می‌شود. (روش اداره راه آهن نیوزلند که همان روش هولمز (۱۹۷۴) می باشد  $y_s$  را مستقیماً بدست می‌دهد).
  - بدست آوردن دوباره شرایط هیدرولیکی آبراهه (با استفاده از  $y_s$ ) برای مقطع حاصله.
  - روی هم گذاشتن تراز بسترهای بدست آمده (غیر از مقادیر بدست آمده برای فرسایش در محل تقاطع یا بدست آمده از روش اداره راه آهن نیوزلند) و اثرات حرکت فرمهای بستر به صورت  $y_s = y_{ms} + [y_{ws} - (y_{ms})_c]$ ، که در این رابطه مقدار  $y_{ws}$  با استفاده از شرایط هیدرولیکی بدست آمده از مقدار  $(y_{ms})_c$  می‌باشد.
  - بدست آوردن دوباره شرایط هیدرولیکی آبراهه (با استفاده از  $y_s$  جدید) برای مقطع حاصله.
  - محاسبه عمق فرسایش موضعی پایه برای مقطع بدست آمده  $d_{s,local}$ .
  - بدست آوردن حداکثر عمقهای موضعی جریان بصورت  $y_{s,total} = y_s + d_{s,local}$ .
  - کنترل همپوشانی فرسایشهای موضعی، (در محل‌های همپوشانی باید دقت‌های لازم صورت گیرد).
- در نظر گرفتن فرسایش تنگ شدگی قبل از سایر عوامل فرسایش عمومی در مراحل فوق الزامی است چرا که اثرات خط القعر و خم که بر مقطع پل اثر می‌گذارد، بر اثر تنگ شدگی یا رسوبگذاری و رسوب برداری عمومی آبراهه تغییر می‌نماید. برای در نظر گرفتن مطلوب حرکت جانبی جریان کوله‌ها و پایه‌های قرار گرفته در سیلابدشت و پی کوله‌ها معمولاً در همان تراز پی در آبراهه اصلی در نظر گرفته می‌شوند.
- روش توصیه شده در این جا برای بدست آوردن عمق جریان نسبت به عمق بستر فرسایش یافته دارای این برتری می‌باشد که نیاز به تعریف یک تراز مینا برای محاسبه اجزای مختلف فرسایش را برطرف می‌نماید. علاوه بر آن روشی که توصیه شد می‌تواند برای محاسبه شرایط فرسایش مشاهده شده و تغییرات تراز بستر جریان در زمان یک سیلاب مشاهده شده بکار رود. در شکل ۵-۱۵ مبانی پایداری عمودی و جانبی در کنار هم نشان داده شده‌اند و همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند. در عمل، تغییرات در پایداری

<sup>1</sup> Holmes

جانبی (بطور مثال عریض شدن آبراهه) باعث تغییر هندسه آبراهه می‌شود که خود ممکن است باعث تغییر در پایداری عمودی مقطع شود هر چند معکوس این روند تغییرات نیز محتمل است. در جائیکه هر دو نوع غیر پایداری وجود دارد، شرایط تغییرات و عدم پایداری باید مورد بررسی قرار گیرد که بهترین راه برای بدست آوردن این تغییرات بررسی رفتار واقعی مقطع در محل و مشاهدات محلی می‌باشد.

## ۵-۶- سایر ملاحظات

روشهای دیگر محاسبه فرسایش در محل پلها که در این فصل، به آنها پرداخته نشد عبارتند از:

- استفاده از شبکه‌های عصبی (هوفمن و اسکارلاتوس<sup>۱</sup> ۱۹۹۵).
- استفاده از روش شاخص فرسایش پذیری برای تخمین فرسایش، در بسترهای رسی یا سنگی (آناندیل و پارک هیل<sup>۲</sup> ۱۹۹۵ و آناندیل و کریستن<sup>۳</sup> ۱۹۹۴).
- نیل (۱۹۷۳) نشان داد که ارائه یک راه حل کلی برای بدست آوردن محدوده مطمئنی بر اساس تحلیل میزان فرسایش و تخمین فرسایش بدون استفاده از روشهای پیچیده امکانپذیر نمی‌باشد. برای بدست آوردن ضریب اطمینان موجود، نیل نشان داد که عوامل زیر باید مد نظر قرار گیرد:
- دقت اطلاعات پایه، خصوصاً اطلاعات هیدرولوژیکی و ژئوتکنیکی.
- احتمال وقوع سیلابهای خاص بزرگتر از سیلاب طراحی.
- نوع پی و میزان خسارات وارده در صورت آبخستگی و رسیدن میزان فرسایش به میزان تخمینی.
- بزرگی و میزان خسارات وارده در صورت خرابی یا از بین رفتن کلی یا بخشی از پی‌ها.
- تجربیات طراحی در شرایط مشابه.
- هزینه‌های اضافی اجرایی در صورت طراحی با فرض میزان فرسایش بیشتر.
- همچنین نیل (۱۹۷۳) توصیه نمود که محاسبات، بر اساس تجربیات و قضاوت مهندسی برای حالت‌های خاص که باعث افزایش عمق فرسایش از میزان تخمین زده شده می‌شود مورد بازبینی و دقت بیشتری قرار گیرد. این حالت‌های خاص عبارتند از:
- پخش شدن یا جمع شدن یخ یا ذرات معلق دیگر.
- بسترهای دارای سیلت یا خاکهای ارگانیک.
- بسته شدن آبراهه با تپه‌های احداث شده در اطراف پایه‌ها.
- همچنین برای استفاده از فرمولها و روابط ارائه شده در موارد زیر نیز باید دقت خاص نمود:
- آبخستگی در محل پلهایی که بر روی رودخانه‌های کوهپایه‌ای قرار گرفته‌اند.
- آبخستگی پایه پلهایی که در معرض جزر و مد قرار می‌گیرند.
- آبخستگی در محلی که اثرات گیاهان آبی قابل توجه است.

<sup>1</sup> Hoffman and Scarlatos

<sup>2</sup> Annandale and Parkhill

<sup>3</sup> Annandale and Kristen

در فصل دوم اطلاعات دیگری در مورد توصیه‌های آقای نیل برای جمع آوری اطلاعات لازم برای طراحی ارائه شده است.

جدول ۵-۱-الف - پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

<p>نوع آبستتگی</p>	<p>تغییر کیفی سیستم نسبت به تغییرات سیمون (۱۹۹۵) نشان داد که پس از یک تلاطم در آبراهه‌های با بستر درشت دانه عریض شدگی مقطع، و در آبراهه‌های با بستر ریز دانه تغییرات ارتفاعی زیادی دیده می‌شود. لازم به ذکر است که پس از آشفتگی، یک آبراهه با پایداری اولیه تا رسیدن دوباره به حالت پایدار بین حالت رسوب گذاری و رسوب برداری تغییر حالت می‌دهد.</p>
<p>روش</p>	
<p>روابط و متغیرها</p>	<p>تغییر کیفی سیستم نسبت به تغییرات <math>S_e Q \propto Q_s d_{50}</math> (همراه شکل ۵-۲) <math>Q =</math> دبی جریان <math>S_e =</math> شیب انرژی <math>Q_s =</math> نرخ انتقال رسوب <math>d_{50} =</math> قطر ذره ای که ۵۰٪ ذرات رسوب ریزتر از آن است (mm)</p>

جدول ۵-۱-ب - پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

<p>نوع آبستتگی</p>	<p>رسوب برداری و رسوب گذاری عمومی روابط کمی ارائه شده باید در محدوده خاصی بکار گرفته شوند، تا نتایج بدست آمده قابل استفاده باشند. علاوه بر آن با استفاده از مشاهدات محلی و اندازه گیریهای انجام شده با در نظر گرفتن قضاوت مهندسی، می توان تخمین اولیه مناسبی از رسوب گذاری یا رسوب برداری در محل مورد نظر بدست آورد.</p>
<p>روش</p>	<p>برون یابی مقادیر اندازه گیری شده بکارگیری روابط برای برون یابی، مطالعه رسوب گذاری یا رسوب برداری یک سیستم دست نخورده در یک محدوده زمانی را می‌طلبد. عموماً پیش بینی شرایط آینده بر اساس اندازه گیریهای قدیمی انجام شده می‌باشد، بنابراین رعایت ملاحظات زیر لازم می‌باشد:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• کاربری زمین حوضه آبریز در طول عمر سازه ممکن است عوض شود.</li> <li>• تاریخچه گذشته جریان با جریانهای آینده که در طول عمر سازه ممکن است رخ دهد قابل مقایسه می‌باشد، بنابراین مدت زمان عبور جریان در شرایط مقطع کاملاً پر مهمتر از بزرگی سیلاب می‌باشد.</li> <li>• حرکت جانبی آبراهه در طول یک آبراهه مشخص در یک محدوده زمانی خاص رخ می‌دهد و گاهی بصورت قسمت به قسمت رخ می‌دهد.</li> <li>• برای پایداری دوباره یک بستر پایدار اولیه، بستر بین حالت‌های رسوب گذاری و رسوب برداری تغییر حالت می‌دهد.</li> </ul>

$E = E_0 + at$ <p><math>E</math> = تراز بستر کانال (متر) در زمان مورد نظر  <math>t</math> = زمان (سال)  <math>a</math> = ضریب همبستگی  <math>E_0</math> = تراز بستر در زمان <math>t=0</math></p>	روابط و متغیرها
$E = at^b$ <p><math>a</math> و <math>b</math> = ضرایب همبستگی  بقیه تعاریف متغیرها مانند قسمت بالا است</p>	
$E/E_0 = a + be^{-kt}$ <p><math>k</math> = نرخ تغییرات سطح بستر در واحد زمان  <math>a</math> و <math>b</math> = ضرایب بدون بعد به شرط: <math>a + b = 1</math>  بقیه تعاریف متغیرها مانند قسمت بالا است.</p>	

جدول ۵-۱-پ- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	رسوب برداری و رسوب گذاری عمومی
<p>لیسی (۱۹۳۰)</p> <p>روابط زیر برای بسترهای ماسه‌ای غیر فشرده بدست آمده است و ممکن است برای بسترهای با مقاومت بیشتر مقادیر خیلی زیادی نتیجه دهد. رابطه <math>f</math> برای <math>d_m \leq 1.3mm</math> قابل استفاده می‌باشد.</p>	روش
$f = 1.76 d_m^{0.5}$ $y_{ms} = 0.47 \left( \frac{Q}{f} \right)^{\frac{1}{3}}$ <p><math>y_{ms}</math> = متوسط عمق جریان آبشستگی  <math>Q (m^3/s)</math> = دبی طراحی  <math>f</math> = ضریب های (سیلت) لیسی  <math>d_m</math> = اندازه متوسط دانه ها (mm)</p>	روابط و متغیرها

جدول ۵-۱-ت- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	رسوب برداری و رسوب گذاری عمومی
روش	بلنچ (۱۹۶۹) رابطه اول در زیر برای ماسه با دانه بندی $0.06 \leq d_{50} \leq 2$ می باشد در حالیکه رابطه دوم برای بسترهای شنی با $S_s = 2.65$ و $d_{50} > 2$ قابل استفاده می باشد.
روابط و متغیرها	$y_{ms} = 1.20 \left[ \frac{q^{2.3}}{d_{50}^{1.6}} \right]$ $q = \text{دبی واحد عرض} \text{ (} m^3/s/m \text{)}$ $d_{50} = \text{قطر ذره ای که } 50\% \text{ ذرات رسوب ریزتر از آن است (} mm \text{)}.$
	$y_{ms} = 1.23 \left[ \frac{q^{2.3}}{d_{50}^{1.12}} \right]$ $y_{ms} = \text{متوسط عمق جریان آبشستگی}$ <p>بقیه متغیرها مانند بالا می باشند.</p>

جدول ۵-۱-ث- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	رسوب برداری و رسوب گذاری عمومی
روش	توان جریان نسبت به جریان بحرانی عمق فرسایشهای تخمینی توسط این روابط عموماً محافظه کارانه و در جهت اطمینان می باشند.
روابط و متغیرها	$(u_* = u_{*c})$ $u_{*c} = [\theta_c (S_s - 1) g d_{50}]^{0.5}$ $y_{ms} = u_{*c}^2 / (g S_o)$ $\theta_c = \text{تنش برشی بدون بعد بحرانی}$ $g = \text{شتاب ثقل}$ $u_{*c} = \text{سرعت برشی بحرانی}$
	$V = V_c$ $Q = A_c \cdot V_c = w y_{ms} [u_{*c} 5.75 \log(5.53 y_{ms} / d_{50})]$ $V = \text{سرعت متوسط کانال}$ $V_c = \text{سرعت متوسط بحرانی کانال}$ $Q = \text{دبی جریان}$ $A_c = \text{مساحت مقطع بحرانی}$ $w = \text{دبی وزنی عبوری از مقطع با ارتفاع } y_{ms}$

جدول ۵-۱-ج- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبستگي	رسوب برداری و رسوب گذاری عمومی
روش	<p>مازا آلوارز و اچاواریا آلفارو (۱۹۷۳)</p> <p>محدوده اصلی قطر دانه رسوبات از سیلت تا ماسه درشت دانه می باشد، این رابطه برای ماسه ها و شن ها توصیه شده است (عموماً <math>d_{75} &lt; 6mm</math>)، هیچ داده ای جهت اصلاح ضرایب برای مصالح درشت دانه تر در اختیار نمی باشد، 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 بجای <math>w</math> شعاع هیدرولیکی متوسط <math>R = As/P</math> در نظر گرفته می شود.</p>
روابط و متغیرها	<p><math>y_{ms} =</math> متوسط عمق آبستگي</p> $y_{ms} = 0.365 \left( \frac{Q^{0.784}}{w^{0.784} d_{50}^{0.157}} \right)$ <p><math>Q =</math> دبی جریان</p> <p><math>w =</math> عرض سطح آب</p> <p><math>d_{50} =</math> قطر ذره ای که ۵۰٪ ذرات رسوب ریزتر از آن است (mm).</p>

جدول ۵-۱-ج- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبستگي	رسوب برداری و رسوب گذاری عمومی
روش	<p>اداره راه آهن نیوزلند (هولمز ۱۹۷۴)</p> <p><math>y_s =</math> ترکیب فرسایش عمومی و فرسایش تنگ شدگی می باشد، در صورتیکه جریانهای همگرا (جمع شونده) مشاهده شود <math>C</math> برابر ۱.۲ و در رودخانه های انشعابی <math>C</math> برابر ۱.۰ می باشد. با بکار بردن این روش نیازی به بکارگیری ضرایب اطمینان نمی باشد چرا که در این روش مقدار جریانها محافظه کارانه در نظر گرفته می شود.</p>
روابط و متغیرها	$k = \sqrt{\frac{w}{4.83Q^{0.5}}} \leq 1$ $v_1 = C \left( \frac{Q}{A} \right) \left( \frac{y}{A/W} \right)^{2.3}$ <p><math>y_s =</math> حداکثر مقدار <math>y</math> یا <math>y_s = \frac{y_1 V_1 k}{\sqrt{(A/w)}}</math></p> <p><math>y_s =</math> عمق جریان آبستگي (متر)</p> <p><math>y =</math> عمق اولیه جریان بدون آبستگي (متر)</p> <p><math>y_r =</math> مرکز سطح آب از آب کم تا حالت سیلاب (متر)</p> <p><math>A =</math> مساحت مقطع جریان برای حالت عدم آبستگي، مقطع (متر مربع)</p> <p><math>w =</math> عرض کل آبراهه (متر)</p> <p><math>k =</math> یک ضریب که به عرض آبراهه و عرض رژیم لیبسی بستگی دارد</p> <p><math>V_1 =</math> سرعت جریان بالادست</p> <p><math>C =</math> برای حالتی که جریانها به هم می پیوندند (مثل رودخانه های شاخه ای) <math>C</math> برابر ۱.۲ و برای حالات دیگر <math>C</math> برابر ۱.۰ است.</p> <p><math>Q =</math> دبی جریان</p>

جدول ۵-۱-ح- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

رسوب برداری و رسوب گذاری عمومی	نوع آبشستگی
<p>روشهای مبتنی بر اساس ایجاد لایه محافظ</p> <p>بررسی و تحلیل شکل گیری لایه محافظ روی بستر متناسب با برخی جریانهای خاص انجام شده است. در این روشها، حفاظت لایه بستر توسط لایه محافظ نمی تواند به پایداری طولانی مدت مرزهای آبراهه بستگی داشته باشد.</p>	روش
$\delta y_{as} = d_a \left[ \left( \frac{1}{P_c} \right) - 1 \right]$ <p><math>P_c</math> = درصد میزان ذرات مصالح اولیه بستر که از اندازه ذرات آستانه حرکت <math>d_r</math> (کوچکترین اندازه دانه لایه محافظ) درشت تر است.</p> <p><math>d_a</math> = ضخامت لایه محافظ که در حدود <math>2d_r</math> الی <math>3d_r</math> فرض می شود.</p> <p><math>\delta y_{as}</math> = عمق آبشستگی زیر سطح بستر اولیه</p>	روابط و متغیرها
$\delta y_{as} = d_a \left[ \left( \frac{1}{(1-e)P_c} \right) - 1 \right]$ <p><math>P_c</math> = درصد میزان ذرات مصالح اولیه بستر که از اندازه ذرات آستانه حرکت <math>d_r</math> (کوچکترین اندازه دانه لایه محافظ) درشت تر است.</p> <p><math>\delta y_{as}</math> = عمق آبشستگی زیر سطح بستر اولیه</p> <p><math>e</math> = تخلخل خاک بستر</p> <p><math>d_a</math> = معادل با <math>d_r</math> یعنی کوچکترین اندازه دانه های لایه محافظ</p>	روابط و متغیرها

جدول ۵-۱-خ- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	پائین افتادگی خط القعر از تراز بستر هرگونه جابجایی محتمل در خط القعر می باید در تحلیل فرسایش مد نظر قرار گیرد
روش	
روابط و متغیرها	$C_f = 0.0293(y/d_{90})^{-0.45}$ $h_{b1} = 1.51yC_f(w/y)^{1.45}$ <p>رابطه فوق برای محدوده <math>b &lt; w/y &lt; 40</math> قابل استفاده می باشد.</p> <p><math>y</math> = عمق جریان  <math>w</math> = عرض آبراهه  <math>C_f</math> = ضریبی که از فرمول بدست می آید</p> <p><math>d_{90}</math> = قطر ذره ای که ۹۰٪ ذرات رسوب ریزتر از آن است (mm)  <math>h_b</math> = ارتفاع تلماسه متناوب</p>
	$h_{b2} \approx 0.18w(y/d)^{-0.45}$ <p><math>y</math> = عمق جریان  <math>h_b</math> = ارتفاع تلماسه متناوب  <math>w</math> = عرض کانال  <math>d</math> = اندازه رسوب</p>
	$h_t = \frac{8wyS_e}{1650d_{50}}$ <p><math>y = A/w</math> = عمق هیدرولیکی یا عمق متوسط جریان  <math>S_e</math> = شیب انرژی  <math>A</math> = مساحت مقطع  <math>h_t</math> = دامنه (تاج تا حوض)</p> <p><math>d_{50}</math> = قطر ذره ای که ۵۰٪ ذرات رسوب ریزتر از آن است (mm)  <math>w</math> = عرض سطح آب</p>
	حداکثر مقدار ارتفاع تلماسه $h = h_{b2}$ یا $h = h_{b1}$ ، $h = h_t$
	حداکثر مقدار عمق در خم سینوسی $y_{ts} = y + h/2$ یا $y_{ts} = 1.27y$
	<p><b>باز توزیع ترسیمی</b></p> <p>در توزیع دوباره مساحت فرسایش یافته، آبراهه‌های مستقیم با مقاطع دوزنقه‌ای یا مثلثی و در صورتی که مصالح بستر شنی باشند بصورت مستطیلی فرض می‌شوند. اگر چه بر اثر خط القعر ممکن است تغییراتی نسبت به یک مقطع یکنواخت بوجود می‌آید. مساحت فرسایش یافته می‌تواند در زیر تراز اولیه بستر بصورت تقریبی باز توزیع شود. شکل (۵-۱۶)</p>
	<p><b>مقاطع موجود</b></p> <p>با توجه به روش مازا آلوارز و اچاواریا آلفارو (۱۹۷۳)، عمق متوسط فرسایش می‌تواند به نسبت عمق موجود در شرایط فرسایش نیافته <math>(y_o / y_{mo})</math> ضرب شود تا تغییرات عمق و اثرات خط القعر در نظر گرفته شود. شکل (۵-۱۷)</p>



جدول ۵-۱-۵- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	فرسایش در خم در صورتی که امکانپذیر باشد استفاده از اولین رابطه در زیر برای پیش بینی فرسایش در محل توصیه شده است. برای بکار بردن روابط تحلیلی برای جریان در آبراهه های فرعی توصیه شده است که عمق جریان در آبراهه های فرعی در بالادست خم به کمتر از ۲۰٪ عمق جریان در آبراهه اصلی محدود شود.
روش	
روابط و متغیرها	$\frac{y_{bs}}{y_u} = SF[1.8 - 0.051(r_c/w) + 0.0084(w/y_u)]$ <p>در رابطه بالا <math>SF</math> ضریب اطمینان می باشد که به ترتیب مقادیر 1، 1.08 و 1.19 با احتمال وقوع 25%، 10% و 2% مقدار فرسایش را تخمین می زند. رابطه بالا برای <math>1.5 &lt; r_c/w &lt; 10</math> و <math>20 &lt; w/y_u &lt; 125</math> قابل استفاده می باشد برای مقادیر <math>r_c/w &lt; 1.5</math>، <math>r_c/w</math> برابر با 1.5 توصیه شده است. همچنین برای <math>w/y_u &lt; 20</math> مقدار بدست آمده به ازای <math>w/y_u = 20</math> توصیه شده است. رابطه بالا برای آبراهه هایی که عرض آنها بصورت مصنوعی و توسط بشر تغییر کرده است قابل استفاده نمی باشد.</p> <p><math>w</math> = عرض سطح آب  <math>r_c</math> = شعاع خمیدگی خط مرکزی  <math>y_u</math> = میانگین عمق جریان در نزدیکی بیج رود  <math>A/w</math> = ضریب اطمینان  <math>SF</math></p>
	$\frac{y_{bs}}{y_u} = 2.07 - 0.19 \ln[(r_c/w) - 2]$ <p>رابطه بالا به ازای <math>r_c/w &gt; 2</math> معتبر می باشد. متغیرها مانند قسمت بالا هستند.</p>
	$\frac{y_{bs}}{y_u} = 2.57 - 0.36 \ln(r_c/w)$ <p>متغیرها مانند قسمت بالا هستند.</p>
	<p><b>دسته بندی انحنای خم (شکل ۵-۳)</b> مقادیر پیشنهادی توسط جدول ارائه شده تنها برای تخمین کلی اولیه مناسب می باشد.</p>
	<p><b>باز توزیع ترسیمی</b> سطح مقطع جریان در محل خم بطور عمومی بصورت مثلثی فرض می شود. مساحت فرسایش یافته با توجه به مساحت فرسایش یافته پیش بینی شده زیر تراز اولیه بستر و تراز سطح آب در زمان سیلاب در مقطع توزیع می شود. شکل (۵-۱۶)</p>
	<p><b>مقاطع موجود</b> با توجه به رابطه مازا آوارز و اجاواریا آفارو (۱۹۷۳) عمق فرسایش یافته متوسط می تواند به نسبت <math>y_o/y_{mo}</math> پیش از فرسایش بدون توجه به تأثیر خم در مقطع توزیع شود. شکل (۵-۱۷)</p>

جدول ۵-۱-۵- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

<p>فرسایش در محل تقاطع</p> <p>اولین رابطه زیر برای مصالح بستر چسبیده ارائه شده است. رابطه دوم به ازای <math>0.6 &lt; Q_s / Q_1 &lt; 1</math> و برای بسترهای ماسه‌ای دارای بار معلق قابل توجه و رسوبات بستر با دانه بندی یکنواخت بین قطر دانه‌های <math>0.15mm</math> و <math>0.25mm</math> معتبر می‌باشد. رابطه سوم برای بسترهای شنی و ماسه‌ای و زاویه برخوردی <math>\theta = 30</math> تا <math>90</math> قابل استفاده می‌باشد. توسط آشور و پارکر (۱۹۸۳) نشان داده شده است که مصالح بستر بد دانه‌بندی شده نسبت به مصالح خوب دانه بندی شده مقدار فرسایش متوسط در محل تقاطع کمتری را دارا می‌باشند.</p>	<p>نوع آبستتگی</p>
<p>روش</p>	
$\frac{y_{cs}}{\bar{y}} = 1.01 + 0.03\theta$ <p><math>\bar{y}</math> = عمق متوسط جریان در شاخه‌های رودخانه</p> <p><math>y_{cs}</math> = حداکثر عمق آب در حفره آبستتگی</p> <p><math>\theta</math> = زاویه بین دو شاخه به درجه</p>	<p>روابط و متغیرها</p>
$\frac{y_{cs}}{\bar{y}} = 1.29 + 0.037\theta$ <p>متغیرها مانند قسمت بالا هستند</p>	
$\frac{y_{cs}}{\bar{y}} = 2.24 + 0.031\theta$ <p>متغیرها مانند قسمت بالا هستند</p>	

جدول ۵-۱-۶- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

<p>کاهش تراز بستر بوسیله موج رسوبی</p> <p>حداکثر ارتفاع فرمهای بستر به ازای نرخ جریانهای مختلف در محل اندازه گیری شود.</p>	<p>نوع آبستتگی</p>
<p>تشکیل فرمهای بستر</p>	<p>روش</p>
<p>شکل ۴-۵</p> <p>شکل ۴-۵ برای بسترهای ماسه‌ای قابل استفاده است. شکل ارائه شده توسط ون راین (۱۹۸۴) بیشتر برای رژیم جریانهای بینابین و پائین در محل قابل استفاده می‌باشد. در بکار بردن شکل اخیر این نکته باید در نظر گرفته شود که برای رودخانه‌های بزرگ که معمولاً رژیم جریان در محدوده بالائی می‌باشند فرمهای بستر برای سیلاب با دوره بازگشتیهای <math>T \geq 25</math> و حتی <math>T \geq 50</math> شکل می‌گیرند.</p>	<p>روابط و متغیرها</p>

جدول ۵-۱-۵- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	کاهش تراز بستر بوسیله موج رسوبی
روش	بستر موجی (Ripple) این رابطه برای بسترهای موجی (ریپل) به ازای $R_{e*} < 10$ مناسب می‌باشد.
روابط و متغیرها	$\eta = \theta / \theta_c \quad \text{شکل (۵-۱۸)}$ $\xi^3 = 9\rho_s d^3 / (\rho v^2)$ $H = (\eta / 21)^{0.5}$ $(\lambda_r)_{\min} = 2650d / \xi^{0.88}$ $r \equiv 1 \quad \text{به ازای } \zeta \leq 1$ $r \equiv \zeta(2 - \zeta) \quad \text{به ازای } 1 < \zeta < 2$ $\frac{\lambda_r}{(\lambda_r)_{\min}} = [4H(1 - H)]^{-1}$ $h_r \approx 0.14(\lambda_r)r\zeta e^{(1-\zeta)}$
	$\theta =$ تنش برشی بدون بعد $\theta_c =$ تنش برشی بدون بعد بحرانی $g =$ شتاب ثقل $d =$ اندازه رسوب $V =$ ویسکوزیته چرخشی (سینماتیک) سیال $\lambda_r =$ طول موج بستر $\rho_s =$ چگالی ذرات رسوب $\rho =$ چگالی سیال $e =$ تخلخل $h_r =$ ارتفاع موج بستر

جدول ۵-۱-۵-س- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	کاهش تراز بستر بوسیله موج رسوبی
روش	تلماسه متناوب (Alternate-Bars) (شکل ۴-۳) دومین رابطه زیر به ازای $6 < w / y < 40$ مناسب می‌باشد.
روابط و متغیرها	$C_f = 0.00293(y / d_{90})^{-0.45}$ $h_{b1} = 1.51yC_f(w / y)^{1.45}$
	تعریف متغیرها مانند جدول ۵-۱-۵-خ می‌باشد
	$h_{b2} = 0.81w(y / d)^{-0.45}$
	تعریف متغیرها مانند جدول ۵-۱-۵-خ می‌باشد
	حداکثر مقادیر $h_b = h_{b2} \quad h_b = h_{b1}$

جدول ۵-۱-۱-۱- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

کاهش تراز بستر بوسیله موج رسوبی	نوع آبستگي
<p>تلماسه (Dune)</p> <p>دو رابطه آخر قسمت اول به ازای <math>R_{e*} &gt; 25</math> مناسب می‌باشند در حالیکه رابطه قسمت دوم به ازای <math>0 &lt; T &lt; 25</math> مناسب می‌باشد. در رودخانه‌های بزرگ رابطه قسمت سوم ترجیح داده می‌شود، و رابطه قسمت دوم معمولاً برای این رودخانه‌ها ارتفاع تلماسه را پیش بینی نمی‌کند. رودکیوی (۱۹۹۰) نشان داد که تلماسه‌هایی که در بسترهای با دانه‌بندی پراکنده تشکیل شده‌اند بسیار با تلماسه‌هایی که در بستر با دانه بندی یکنواخت تشکیل شده‌اند متفاوت می‌باشند، اغلب مقادیر اندازه‌گیری شده تلماسه‌ها مربوط به بسترهای نوع اخیر می‌باشد.</p>	روشن
$\eta = \theta / \theta_c \quad (5-18)$ $z = y / d$ $m = 0.0552^{0.5} + 0.04R_{e*}$ $\phi_d = 1 + 0.01[(z-40)(z-400)/z]e^{-m}$ $\bar{\eta}_d = 14(1 - e^{0.0032}) + 2$ $\bar{\zeta} = (\eta - 1) / (\bar{\eta}_d - 1)$ $\lambda_d = 6y\phi_d$ $h_{d1} = 0.06\lambda_d\bar{\zeta}e^{(1-\bar{\zeta})}(1 - e^{-0.0082})$ <p>تعریف متغیرها مانند جدول ۵-۱-۱-۱-ز است.</p>	
$h_{d2} = 0.11 \left( \frac{d_{50}}{y} \right)^{0.3} (1 - e^{-0.5T})(25 - T)$ $D_* = d_{50} [(S_s - 1)g / v^2]^{1/3}$ <p><math>h_d</math> = ارتفاع چالماسه‌ای</p> <p><math>d_{50}</math> = قطر ذره ای که ۵۰٪ ذرات رسوب ریزتر از آن است (mm)</p> <p><math>y</math> = عمق جریان</p> <p><math>T</math> = از شکل (۴-۵) بدست می‌آید</p> <p><math>D_*</math> = قطر بی بعد ذره</p> <p><math>v</math> = ویسکوزیته سینماتیکی سیال</p> <p><math>S_s</math> = وزن مخصوص رسوب</p>	روابط و متغیرها
$h_{d3} = 8y^{0.7} d_{50}^{0.3}$ <p>تعریف متغیرها مانند قسمت بالا است</p>	
$h_d = h_{d3} \quad h_d = h_{d2} \quad h_d = h_{d1}$	حداکثر مقادیر

جدول ۵-۱-ش - پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	کاهش تراز بستر بوسیله موج رسوبی
روشن	چالماسه (Antidunes)
روابط و متغیرها	$\lambda_a = 2\pi \left( \frac{V^2}{g} \right)$ $h_a \approx 0.14 \lambda_a$ <p> <math>\lambda_a</math> = چالماسه مشاهده شده  <math>V</math> = سرعت متوسط جریان  <math>g</math> = شتاب ثقل  <math>h_a</math> = ارتفاع چالماسه </p>

جدول ۵-۱-ط - پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشستگی	فرسایش جانبی
روشن	<p><b>مشخصات رژیم پیچرودی</b></p> <p>با استفاده از طولهای بدست آمده از روابط زیر و استفاده از عکسهای هوایی، می توان پیش بینی با دقت مناسبی از رفتار و جابجایی پیچرود در پروژه های مهندسی بدست آورد. مقایسه مقادیر محاسبه شده (براساس روابط زیر) و خمهای موجود می تواند نشان دهنده رفتار پیچرود در جهت مستقیم شدن یا اضافه شدن خم و انحنای آن باشد. همچنین مقایسه مقادیر محاسبه شده (با استفاده از روابط زیر) و عرض پیچرود موجود می تواند میزان گستردگی عرض پیچرود که ممکن است رخ دهد را بدست دهد. مقایسه مقادیر محاسبه شده (روابط زیر) و طول موج پیچرود موجود می تواند مقدار محتمل حرکت پیچرود در طول آبراهه را نشان دهد.</p>
روابط و متغیرها	$\lambda = 11.0w^{1.01}$ $h = 3.0w^{1.1}$ $\lambda = 4.6r_c^{0.98}$ <p> <math>w</math> = عرض حداکثر آبراهه (در حالت کاملاً پر)  <math>\lambda</math> = طول موج میانگین پیچرود  <math>h</math> = دامنه (تاج تا حوض) موج پیچرود  <math>r_c</math> = شعاع خمیدگی خط مرکزی پیچرود </p>

جدول ۵-۱-ص- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشناسی	کاهش تراز بستر بوسیله موج رسوبی
روش	مجموع عوامل کاهش تراز بوسیله موج رسوبی (جدول ۵-۱-ر تا ۵-۱-ص)
روابط و متغیرها	<p>حداکثر <math>h</math>: <math>h = h_a \quad h = h_b \quad h = h_d \quad h = h_r</math></p> <p>حداکثر <math>y_{ws}</math>: <math>y_{ws} = y + y/2</math> یا <math>y_{ws} = y + h/2</math></p> <p>این راهکار بیشتر برای حرکت تلماسه‌ها، تلماسه‌های متناوب و چالماسه‌ها مناسب می‌باشد بسترهای موجی ریپل معمولاً بقدری کوچک هستند که اثری روی میزان فرسایش ندارند. برای بکار بردن رابطه <math>y_{ws} = 1.5y_o</math> که بر اساس مشاهدات انجام شده بر روی تلماسه‌ها بدست آمده قضاوت دقیقی لازم است. چرا که بر اساس تجربیات موجود، رابطه فوق باعث تخمین میزان فرسایش به مقدار بسیار بیشتر از مقدار واقعی آن می‌شود.</p> <p>فرم بستر در جریانهای با بار معلق کلئیدی بسیار کمتر می‌باشد، گسترش آنها با تأخیر صورت گرفته، و بستر صاف بینابین در فرم بسترهای بدون رس معلق زودتر شکل می‌گیرد.</p> <p><math>y</math> = عمق جریان</p> <p><math>h</math> = حداکثر ارتفاع موجی شکل بستر</p> <p><math>y_{ws}</math> = عمق حداکثر جریان در فرم بستر در محدوده پل</p>

جدول ۵-۱-ض- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبشناسی	فرسایش جانبی
روش	<p>برونبایی مقادیر اندازه گیری شده</p> <p>بکارگیری روابط کمی برای برونبایی، مطالعه رسوب گذاری یا رسوب برداری یک سیستم دست نخورده در یک محدوده زمانی را می‌طلبد. عموماً پیش بینی شرایط آینده بر اساس اندازه گیریهای قدیمی انجام شده می‌باشد، بنابراین توجه به ملاحظات زیر لازم می‌باشد:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• کاربری زمین حوضه آبریز در طول عمر سازه ممکن است عوض شود.</li> <li>• تاریخچه گذشته جریان با جریانهای آینده که در طول عمر سازه ممکن است رخ دهد قابل مقایسه می‌باشد، بنابراین مدت زمان عبور جریان در شرایط مقطع کاملاً پر مهمتر از بزرگی سیلاب می‌باشد.</li> <li>• حرکت جانبی آبراهه در طول یک آبراهه مشخص، در یک محدوده زمانی خاص رخ می‌دهد و گاهی اوقات حرکت جانبی تنها در قسمت کوچکی از طول آبراهه دیده می‌شود.</li> <li>• برای پایداری دوباره یک بستر پایدار اولیه، بستر بین حالت‌های رسوب گذاری و رسوب برداری تغییر حالت می‌دهد.</li> <li>• توصیه شده است که حرکت جانبی و تغییر جهت آبراهه‌های پیچرودی بر اساس مقادیر اندازه گیری شده یا مقایسه با رودخانه‌های مشابه خصوصاً با استفاده از عکسهای هوایی، پیش بینی شود. شکل ۲-۴ توضیحات بیشتری در رابطه با حالتها و رفتار پیچرودها که ممکن است بصورت حرکت جانبی پیچرودها یا افزایش زاویه خم آن باشد را نشان می‌دهد. به علاوه در صورت برونبایی داده‌های مربوط به عریض شدگی آبراهه اندازه گیری شده، با تصویر کردن زاویه پایدار دوباره پس از رشد گیاهان، از محل تراز سیلابدشتها می‌توان یک تخمین مناسب از عریض شدگی آبراهه در آینده ارائه نمود.</li> </ul>

جدول ۵-۱-ظ- پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبستگي	فرسایش جانبي
روش	نرخ حرکت جانبي
روابط و متغیرها	<p>هیکین و نانسون (۱۹۸۴):</p> $\Omega = \tau V w = \rho g Q S$ <p><math>Y_{2.5}</math> , <math>\psi_b</math> از شکل ۵-۵ بدست می آیند.</p> <p>به ازای <math>r_c / w &gt; 2.5</math> <math>Y = Y_{2.5} \left[ \frac{2.5}{(r_c / w)} \right]</math></p> <p>به ازای <math>1 &lt; r_c / w &lt; 2.5</math> <math>Y = Y_{2.5} \left[ \frac{r_c / w - 1}{1.5} \right]</math></p> <p>روابط شکل ۵-۵ لازم است به عنوان یک رابطه عمومی تأیید شوند، در حال حاضر روابط مذکور تنها برای رودخانه‌هایی که دارای شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی ژئومورفولوژی مانند رودخانه‌های غرب کانادا که برای بدست آوردن این رابطه بکار رفته‌اند قابل استفاده می‌باشد. با در نظر گرفتن موضوع مذکور با استفاده از این روش می‌توان تخمین کلی از نرخ حرکت یک رودخانه خاص بدست آورد.</p> <p><math>Y</math> = نرخ تغییرات کناره</p> <p><math>Y_{2.5}</math> = نرخ تغییرات کناره برای <math>r_c / w = 2.5</math></p> <p><math>\Omega</math> = ضریب تابع نیروی طوفان در واحد طول کانال</p> <p><math>w</math> = عرض حداکثر آبراهه (در حالت کاملاً پر)</p> <p><math>r_c</math> = شعاع خمیدگی خط مرکزی</p> <p><math>V</math> = سرعت متوسط جریان</p> <p><math>\rho</math> = چگالی سیال</p> <p><math>g</math> = شتاب ثقل</p> <p><math>\tau</math> = تنش برشی</p> <p><math>Q</math> = دبی جریان</p> <p><math>\psi_b</math> = ضریب پایداری تابع تغییرات کناره</p> <p><math>h</math> = ارتفاع ساحل بیرونی</p> <p><math>S</math> = شیب بستر</p>
	<p>برایس (۱۹۸۲):</p> $Y = 0.01 w \text{ (فرمول پیشنهادی)}$ <p>بدون در نظر گرفتن جریانهای شاخه‌ای و شاخه‌ای-نقطه‌ای-میله‌ای این راهکار می‌تواند تخمین اولیه مناسبی برای نرخ حرکت جانبی یک خمرود بدون در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی و مشخصات رسوبات باشد.</p> <p><math>Y</math> = نرخ متوسط آبستگي کناره</p> <p><math>w</math> = عرض کانال</p>

جدول ۵-۱-ع-پیش بینی عوامل مختلف فرسایش عمومی

نوع آبستگي	فرسایش جانبی
روش	عریض شدن آبراهه
روابط و متغیرها	<p>پیوستگی جریان</p> <p>برای یک تراز بستر تغییر یافته، عرض آبراهه به قدری تغییر پیدا خواهد کرد که سرعت متوسط جریان در آبراهه به سرعت آستانه متوسط مصالح بستر برسد. این روش برای استفاده در بسترهای رسوبگذار مناسب می باشد.</p> <p>ناپایداری دیواره</p> $z = (2c' / \gamma) \tan[45 + (\phi' / 2)]$ $h_c = (c' / \gamma) (4 \sin i \cos \phi') / [1 - \cos(i - \phi')]$ $h_{cz} = h_c - z$ <p>پیدایش علائم ناپایداری دیواره‌ها، وقتی که این حالت در زمان رسوب برداری بستر رخ می دهد، می تواند با تخمینهای <math>h_c</math> یا <math>h_{cz}</math> (برای یک ترک کششی) بدون در نظر گرفتن ارتفاع حداکثر دیواره و زاویه آن بر اثر پیشرفت رسوب برداری بدست آید. وقتی یک دیواره ناپایداری از خود نشان می دهد، زاویه پایدار برای حداکثر ارتفاع دیواره را می توان محاسبه نمود، که در این شرایط عریض شدگی آبراهه در شرایط اولیه صرف نظر می شود. روابط مختلفی برای ارتفاع بحرانی دیواره در کارهای انجام شده توسط عثمان و تورن (۱۹۸۸) ارائه شده است.</p> <p><math>\gamma</math> = وزن واحد حجم خاک ساحل (کیلو نیوتن بر متر مکعب)</p> <p><math>i</math> = زاویه ساحل رودخانه</p> <p><math>\phi'</math> = زاویه اصطکاک داخلی مؤثر</p> <p><math>c'</math> = چسبندگی مؤثر خاک</p> <p><math>h_c</math> = ارتفاع بحرانی ساحل</p> <p><math>Z</math> = عمق ترک کششی</p> <p><math>h_{cz}</math> = ارتفاع بحرانی ساحل اصلاح شده</p>
	ناپایداری نسبی:



جدول ۵-۲- روابط برای تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی در شرایط بستر زنده

حالت	رابطه	علائم
۱-الف- تکیه گاه در آبراهه اصلی	$\frac{y_2}{y_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_{1m}} \right)^{6/7} \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}$	$y_1$ = عمق متوسط جریان در آبراهه اصلی بالادست تنگ شدگی
۱-ب- تکیه گاه در لبه آبراهه اصلی	$\frac{y_2}{y_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_{1m}} \right)^{6/7}$	$y_2$ = عمق متوسط جریان در مقطع تنگ شده آبراهه اصلی
۱-ج- تکیه گاه در سیلابدشت	$\frac{y_2}{y_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_{1m}} \right)^{6/7} \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}$	$W_1$ = عرض بستر آبراهه در آبراهه اصلی بالادست تنگ شدگی
۲-الف- پل باعث تنگ شدگی شده است	$\frac{y_2}{y_1} = \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}$	$W_2$ = عرض بستر آبراهه در مقطع تنگ شده آبراهه اصلی
۲-ب- تنگ شدگی آبراهه		$Q_{1m}$ = جریان در آبراهه بالادست تنگ شدگی که رسوبات را حمل می کند. $Q_2$ = کل جریان عبوری از پل $k_1$ = یک ضریب که به حالت رسوبات عبوری بستگی دارد. $k_1 = 0.59$ برای بار بستر $(u^*/\omega < 0.5)$ $k_1 = 0.64$ برای حمل بعضی بارهای معلق $(0.5 < u^*/\omega \leq 2)$ $k_1 = 0.69$ برای حمل رسوبات معلق زیاد $(u^*/\omega > 2)$

جدول ۵-۳- جمع بندی ضرایب مؤثر برای تخمین عمق فرسایش موضعی در اطراف پایه‌های پل

ضریب	علامت	روش تخمین	
ضریب عمق و اندازه	$K_{yb}$	$K_{yb} = 2.4b$ $K_{yb} = 2\sqrt{yb}$ $\frac{b}{y} > 5$ <p><math>b =</math> عرض پایه پل</p>	$\frac{b}{y} < 0.7$ $0.7 < \frac{b}{y} < 5$ $K_{yb} = 4.5y$ <p><math>y =</math> عمق جریان</p>
		$K_I = \frac{V - (V_a - V_c)}{V_c}$ $K_I = 1$	$\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} < 1$ $\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} \geq 1$ <p>متغیرها در شکل (۵-۹) معرفی شده‌اند.</p>
		$\frac{b}{d_{50}} \leq 25$ $\frac{b}{d_{50}} > 25$ <p><math>d_{50} =</math> اندازه ۵۰٪ ریزتر دانه های رسوب</p>	$K_d = 0.57 \log \left( 2.24 \frac{b}{d_{50}} \right)$ $K_d = 1.0$ <p><math>b =</math> عرض پایه پل</p>
ضریب شکل	$K_s$	<p>پایه با دماغه گرد</p> $K_s = 1$	<p>پایه دایره ای</p> $K_s = 1$
		<p>پایه با دماغه تیز (مثلثی)</p> $K_s = 0.9$	<p>پایه با دماغه گوشه دار (مربعی)</p> $K_s = 1.1$
اندازه معادل برای پایه های با مقطع غیر یکنواخت	$b_e$	$b_e = b$	حالت ۱
		$b_e = b \left( \frac{y+Y}{y+b^*} \right) + b^* \left( \frac{b^*-Y}{b^*+y} \right) \quad Y \leq b^* - Y \leq y$	حالت ۲ و ۳
		$b_e = b^*$ <p><math>b^* =</math> عرض صندوقه پی زیر پایه پل</p>	<p>حالت ۴</p> <p><math>b_e =</math> عرض یک پایه معادل هم شکل</p> <p><math>b =</math> عرض پایه پل</p> <p><math>y =</math> عمق جریان</p>

جدول ۵-۳- (ادامه) جمع بندی ضرایب مؤثر برای تخمین عمق فرسایش موضعی در اطراف پایه های پل

ضریب	علامت	روش تخمین				
		تیپ	$S_p/D_p$	$\theta < 5^\circ$	$\theta = 5^\circ \rightarrow 45^\circ$	$\theta = 90^\circ$
ضریب برای گروه شمعهها $S_p =$ مرکز به مرکز شمعهها $D_p =$ قطر شمع $\theta =$ زاویه جریان با پایه شمع	$K_s K_\theta$	یک ردیف	۲	۱/۱۲	۱/۴۰	۱/۲۰
			۴	۱/۱۲	۱/۲۰	۱/۱۰
			۶	۱/۰۷	۱/۱۶	۱/۰۸
		دو ردیف	۸	۱/۰۴	۱۲/۱	۱/۰۲
			۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
			۲	۱/۵	۱/۸۰	-
۴	۱/۳۵	۱/۵۰	-			
ضریب جهت جریان	$K_\theta$	$K_\theta = \left( \frac{l}{b} \sin \theta + \cos \theta \right)^{0.65}$ <p>پایه غیر دایره ای</p> $K_\theta = 1.0$ <p>پایه دایره ای</p> <p>در بالا <math>b_p = l \sin \theta + b \cos \theta</math> معادل طول تصویر شده دو ضلع پل در امتدادی با زاویه <math>\theta</math> است.</p>				
ضریب زمان	$K_t$	$K_t = \exp \left\{ -0.03 \left  \frac{V_c}{V} \ln \left( \frac{t}{t_e} \right) \right ^{1.6} \right\}$ <p><math>K_t = 1.0</math></p> <p>بقیه متغیرها قبلاً معرفی شده اند</p> <p><math>t =</math> زمان به روز</p>				
زمان رسیدن به تعادل	$t_e$	$t_e (days) = 48.26 \frac{b}{V} \left( \frac{V}{V_c} - 0.4 \right)$ $t_e (days) = 30.89 \frac{b}{V} \left( \frac{V}{V_c} - 0.4 \right) \left( \frac{y}{b} \right)^{0.25}$ <p>بقیه متغیرها قبلاً معرفی شده اند</p> <p><math>\frac{y}{b} &gt; 6 \quad \frac{V}{V_c} &gt; 0.4</math></p> <p><math>\frac{y}{b} \leq 6 \quad \frac{V}{V_c} &gt; 0.4</math></p> <p><math>b =</math> عرض پایه پل</p> <p><math>y =</math> عمق جریان</p>				
اندازه معادل برای پایه های مسدود شده توسط آشغال و شاخ و برگ	$b_e$	$b_e = \frac{0.52 T_d b_d + (y - 0.52 T_d) b}{y}$ <p>متغیرها در شکل ۵-۱۲ در قسمت ذرات نعلق معرفی شده اند.</p>				

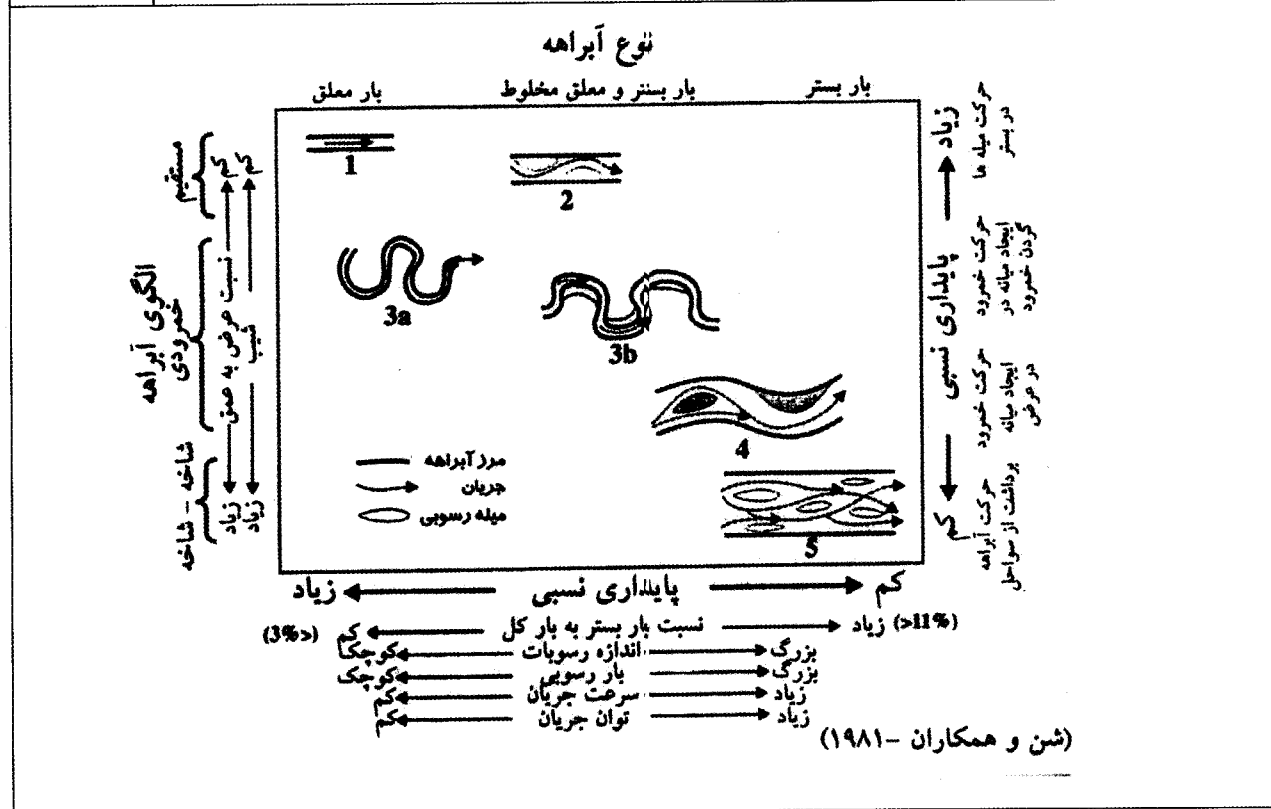
جدول ۵-۴- جمع بندی عوامل مؤثر در تخمین عمق فرسایش موضعی در اطراف کوله‌های پل

ضریب	علامت	روش تخمین
ضریب عمق و اندازه	$K_{yL}$	$K_{yL} = 2L$ $\frac{L}{y} < 1$
		$K_{yL} = 2\sqrt{yL}$ $1 < \frac{L}{y} < 25$
		$K_{yL} = 10y$ $\frac{L}{y} > 25$
		$L = \text{طول پایه پل}$ $y = \text{عمق جریان}$
ضریب شدت جریان	$K_I$	$K_I = \frac{V - (V_a - V_c)}{V_c}$ $\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} < 1$
		$\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} \geq 1$ $K_I = 1$
		متغیرها در شکل ۵-۹ معرفی شده‌اند.
ضریب اندازه رسوبات	$K_d$	$K_d = 0.57 \log \left( 2.24 \frac{V}{d_{50}} \right)$ $\frac{L}{d_{50}} \leq 25$
		$K_d = 1.0$ $\frac{L}{d_{50}} > 25$
		متغیرها قبلاً معرفی شده‌اند.
ضریب شکل	$K_S$	دیواره عمودی $K_S = 1$
		دیواره باله‌ای $K_S = 0.75$
		دیواره با جریان روگذر (H:V) 0.5:1 $K_S = 0.6$
		دیواره با جریان روگذر 1:1 $K_S = 0.5$
		دیواره با جریان روگذر 1.5:1 $K_S = 0.45$
تصحیح ضریب شکل	$K_S^*$	$K_S^* = K_S$ $\frac{L}{y} \leq 10$
		$K_S^* = K_S + 0.667(1 - K_S) \left[ 0.1 \frac{L}{y} - 1 \right]$ $10 < \frac{L}{y} < 25$
		متغیرها قبلاً معرفی شده‌اند.
ضریب جهت جریان	$K_\theta$	$\theta^\circ$
		$K_\theta$
		۳۰    ۴۵    ۶۰    ۹۰    ۱۲۰    ۱۳۵    ۱۵۰
		۰/۹    ۰/۹۵    ۰/۹۸    ۱/۰    ۱/۰۵    ۱/۰۷    ۱/۰۸

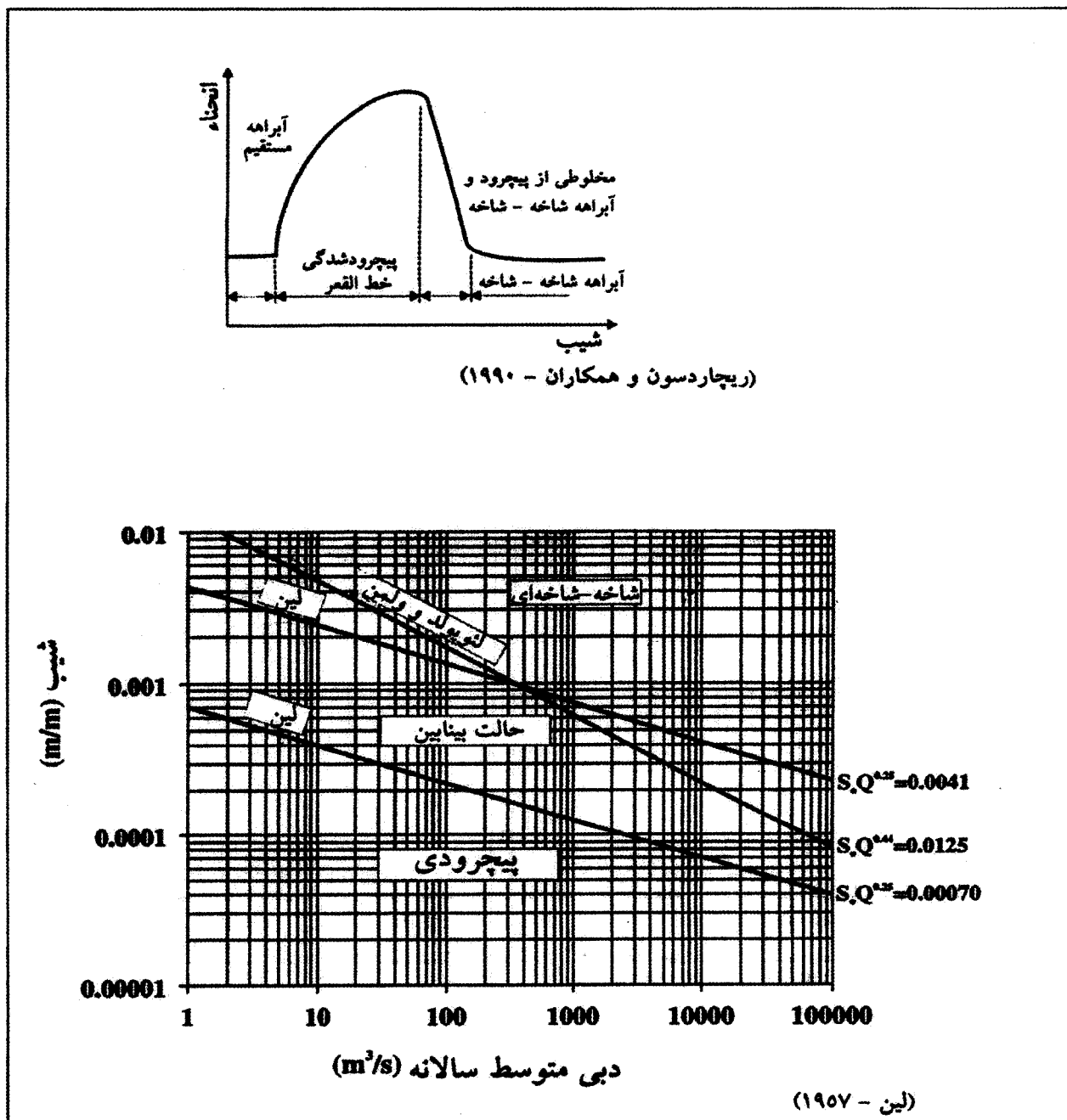
جدول ۵-۴- (ادامه) جمع بندی ضرایب مؤثر در تخمین عمق فرسایش موضعی در اطراف کوله‌های پل

ضریب	علامت	روش تخمین
ضریب تصحیح جهت	$K_{\theta}^*$	$K_{\theta}^* = K_{\theta}$ $K_{\theta}^* = K_{\theta} + (1 - K) \left( 1.5 - 0.5 \frac{L}{y} \right)$ $K_{\theta}^* = 1.0$ <p style="text-align: right;">متغیرها قبلاً معرفی شده‌اند</p>
ضریب هندسی آبراهه	$K_G$	$K_G = \sqrt{1 - \left( \frac{L^*}{L} \right) \left[ 1 - \left( \frac{y^*}{y} \right)^{5/3} \left( \frac{n}{n^*} \right) \right]}$ <p style="text-align: center;"> <math>n, n^*</math> = به ترتیب ضریب زبری مانینگ در حالت عادی و سیلابی  <math>L, L^*</math> = به ترتیب کل طول تصویر شده پایه پل کناری در حالت عادی و سیلابی  <math>y, y^*</math> = به ترتیب عمق جریان در حالت عادی و سیلابی </p>
ضریب زمان	$K_t$	<p style="text-align: center;">ضریب عامل زمان در حال حاضر تعریف نشده است</p> $K_t = 1.0$

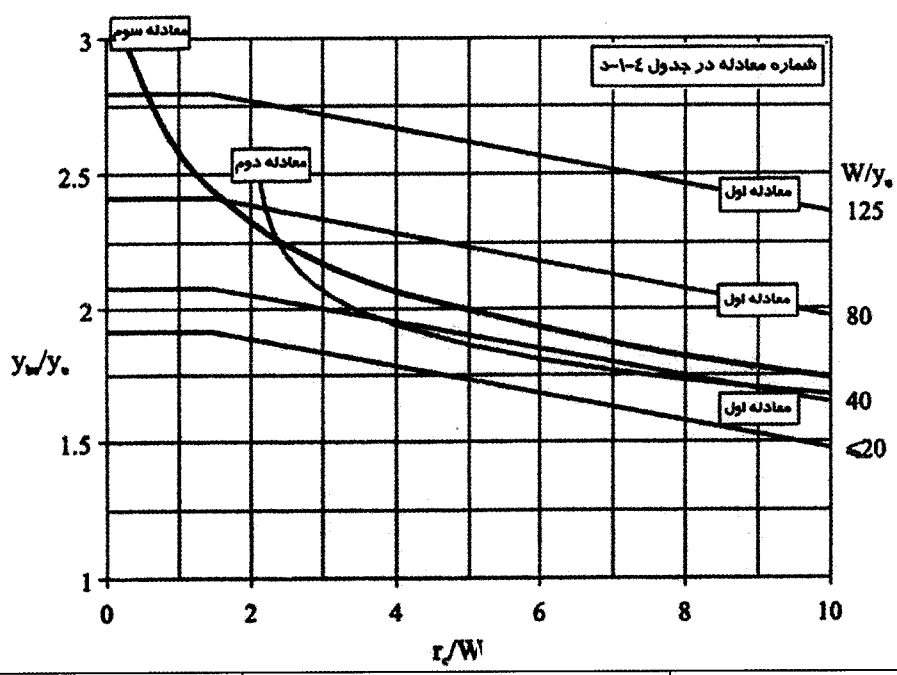
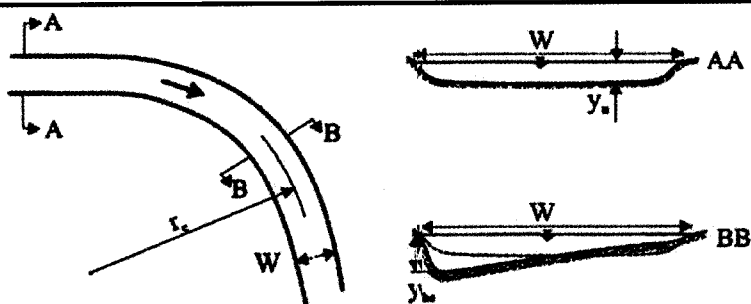
تغییرات ایجاد شده در آبراهه با استفاده از رابطه $S_e Q \propto Q_s d_{50}$		
تغییر شرایط	توضیحات	نتیجه تغییر دیگر پارامترها
$Q^+$	افزایش $Q$ به تنهایی	$W^+ y^+ F^+ \lambda^+ S_e^- P^-$
$Q^-$	کاهش $Q$ به تنهایی	$W^- y^- F^- \lambda^- S_e^+ P^+$
$Q_s^+$	افزایش $Q_s$ به تنهایی	$W^+ y^- F^+ \lambda^+ S_e^+ P^-$
$Q_s^-$	کاهش $Q_s$ به تنهایی	$W^- y^+ F^- \lambda^- S_e^- P^+$
$d_{50}^+$	افزایش $d_{50}$ به تنهایی	$W^+ y^+ F^+ S_e^+$
$d_{50}^-$	کاهش $d_{50}$ به تنهایی	$W^+ y^+ F^+ S_e^-$
$Q^+ Q_s^+$	افزایش $Q$ و $Q_s$ به طور همزمان بطور مثال در زمان ساخت و ساز شهری یا مراحل اولیه ذوب برف	$W^+ y^+ F^+ \lambda^+ S_e^+ P^-$
$Q^- Q_s^-$	کاهش $Q$ و $Q_s$ به طور همزمان مانند پائین دست یک سد مخزنی احداث شده	$W^- y^- F^- \lambda^- S_e^+ P^+$
$Q^+ Q_s^-$	افزایش $Q$ و کاهش $Q_s$ بطور مثال افزایش رطوبت در یک ناحیه کم رطوبت	$W^+ y^+ F^+ \lambda^+ S_e^- P^-$
$Q^- Q_s^+$	کاهش $Q$ و افزایش $Q_s$ بطور مثال در صورت افزایش کاربری از زمین در یک ناحیه	$W^- y^- F^- \lambda^- S_e^+ P^-$
$Q_s^+ d_{50}^+$	افزایش $Q$ و $d_{50}$ همزمان	$W^+ y^+ F^+ S_e^+$
$Q_s^- d_{50}^-$	کاهش $Q$ و $d_{50}$ همزمان	$W^- y^- F^- S_e^-$



شکل ۵-۲- کیفیت ارتباط عوامل فرم آبراهه، شرایط هیدرولیکی، مشخصات رسوبی و پایداری نسبی



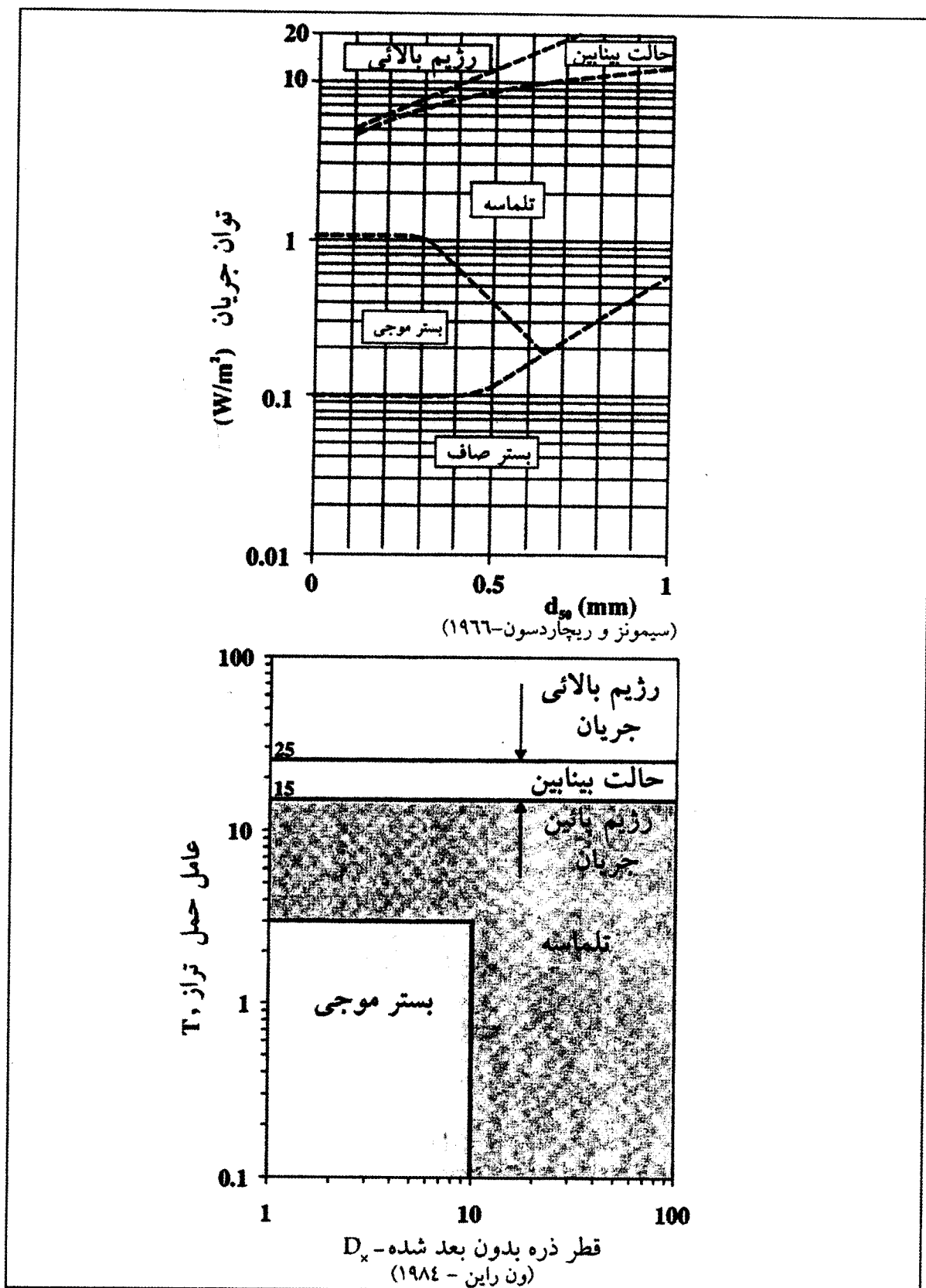
شکل ۵-۲- (ادامه) کیفیت ارتباط عوامل فرم آبراهه، شرایط هیدرولیکی، مشخصات رسوبی و پایداری نسبی



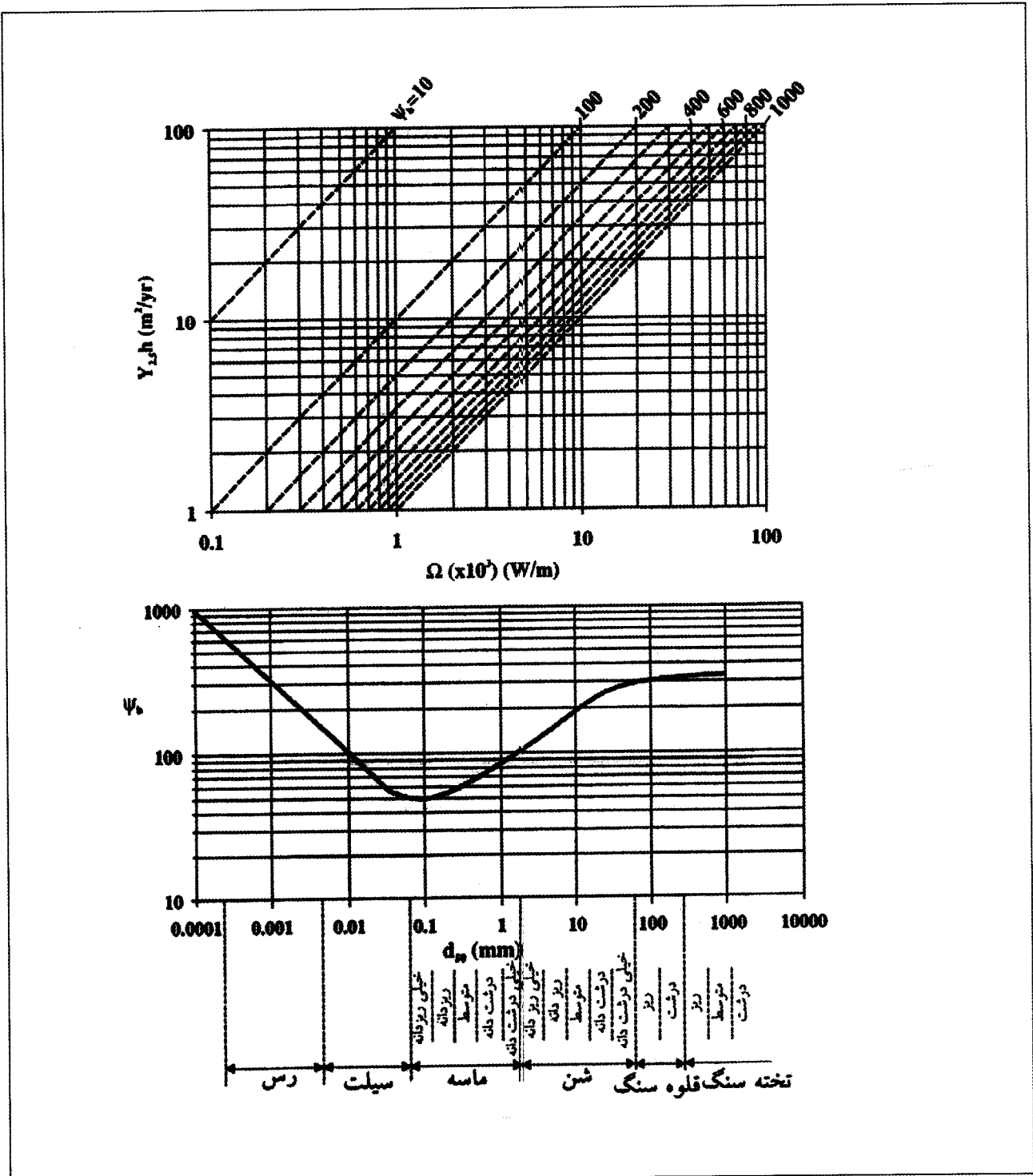
انحنای خم	لیسی (۱۹۳۰)	نیل (۱۹۷۳)
مقطع به شدت تنگ شده	1.00	
آبراهه مستقیم	1.27	1.25
خم ملایم	1.50	1.50
خم چند تکه	1.75	1.75
خم قائمه	2.00	2.00
خم در طول صخره ها و دیواره های سنگی		2.25

شکل ۳-۵- نسبت حداکثر عمق جریان در محل یک خم،  $\frac{Y_{bs}}{y_s}$  با در نظر گرفتن ضریب اطمینان واحد

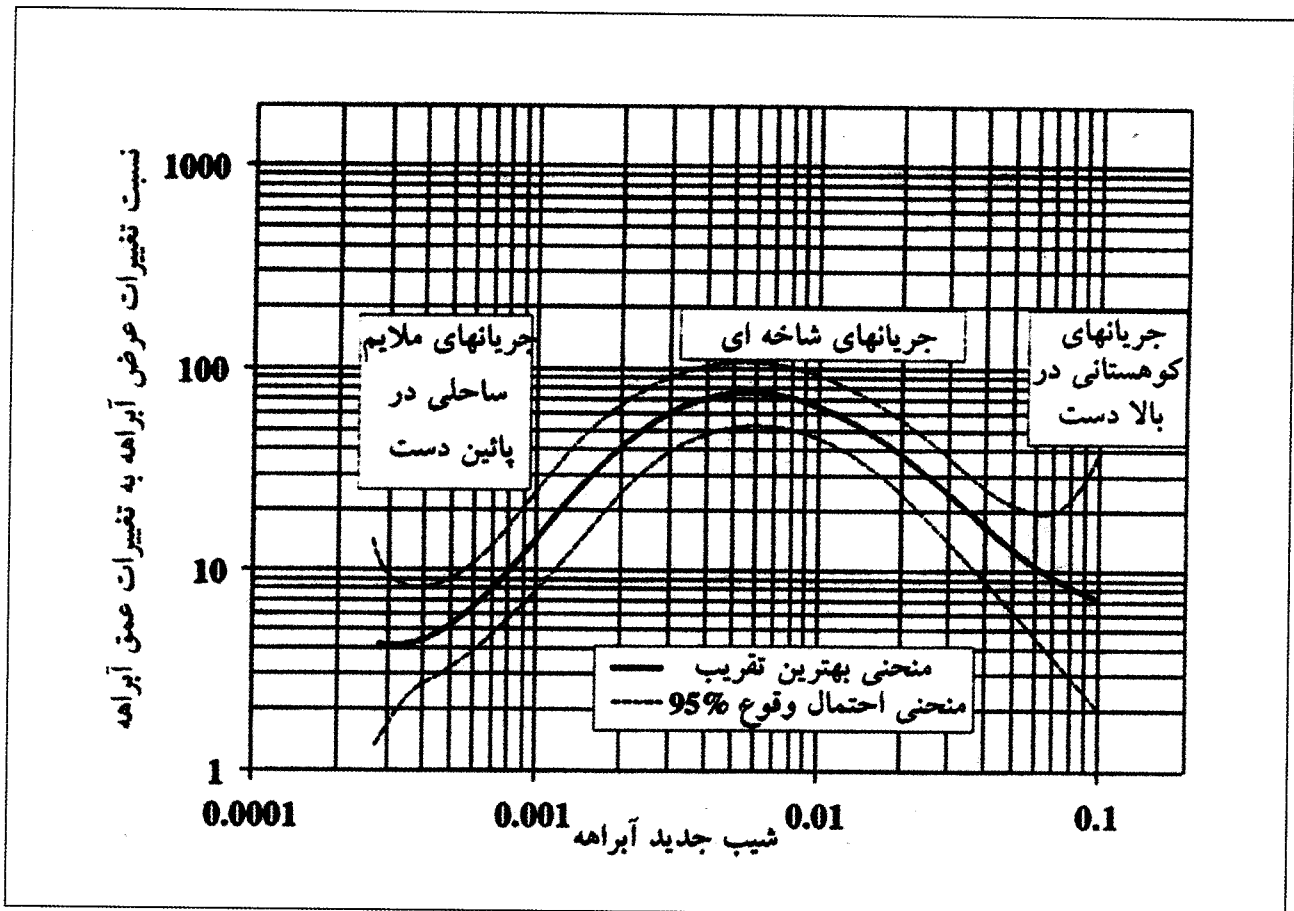




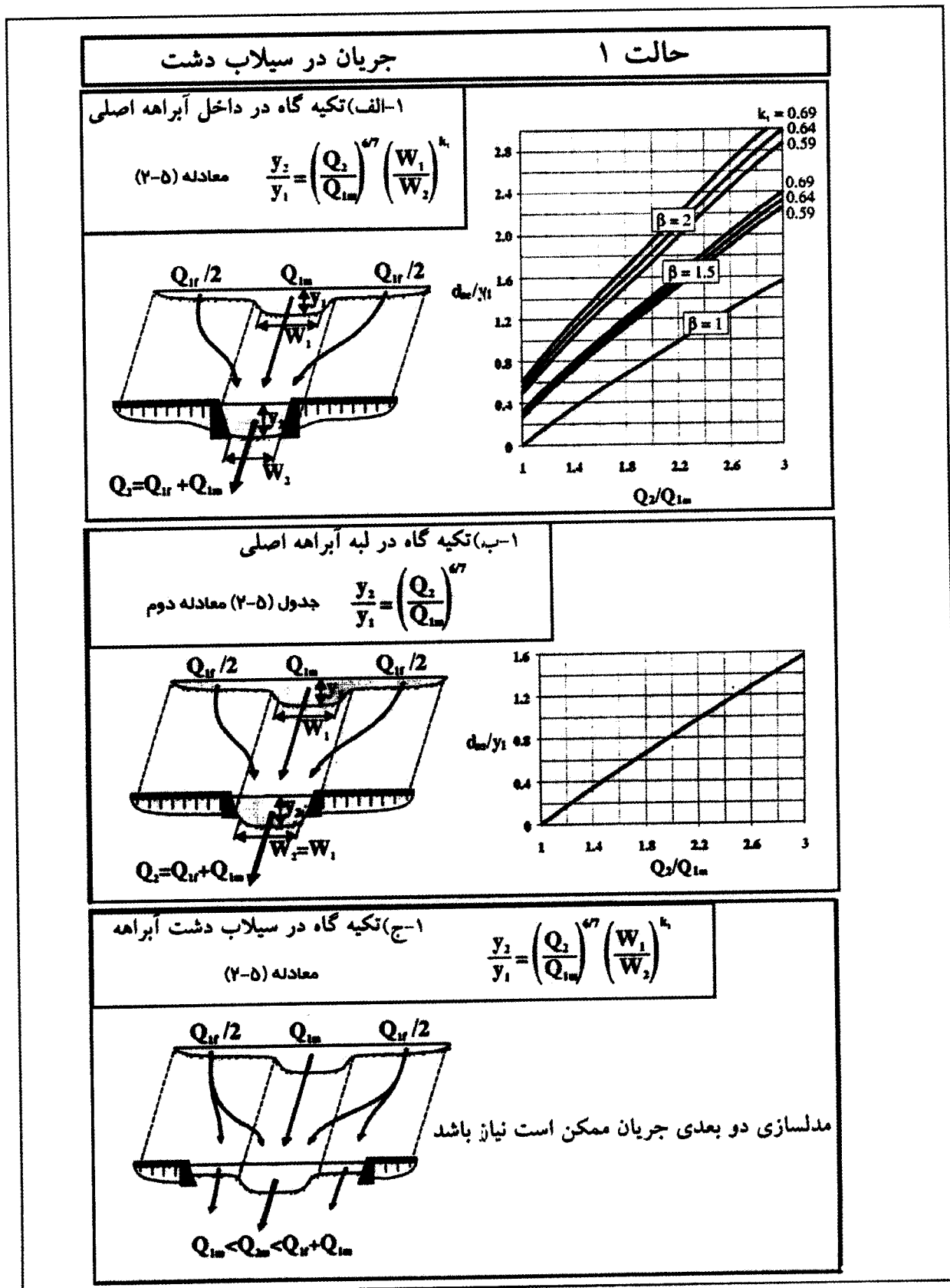
شکل ۵-۴- دسته بندی فرم بسترهای ایجاد شده بر اثر عوامل مختلف جریان و مشخصات رسوب



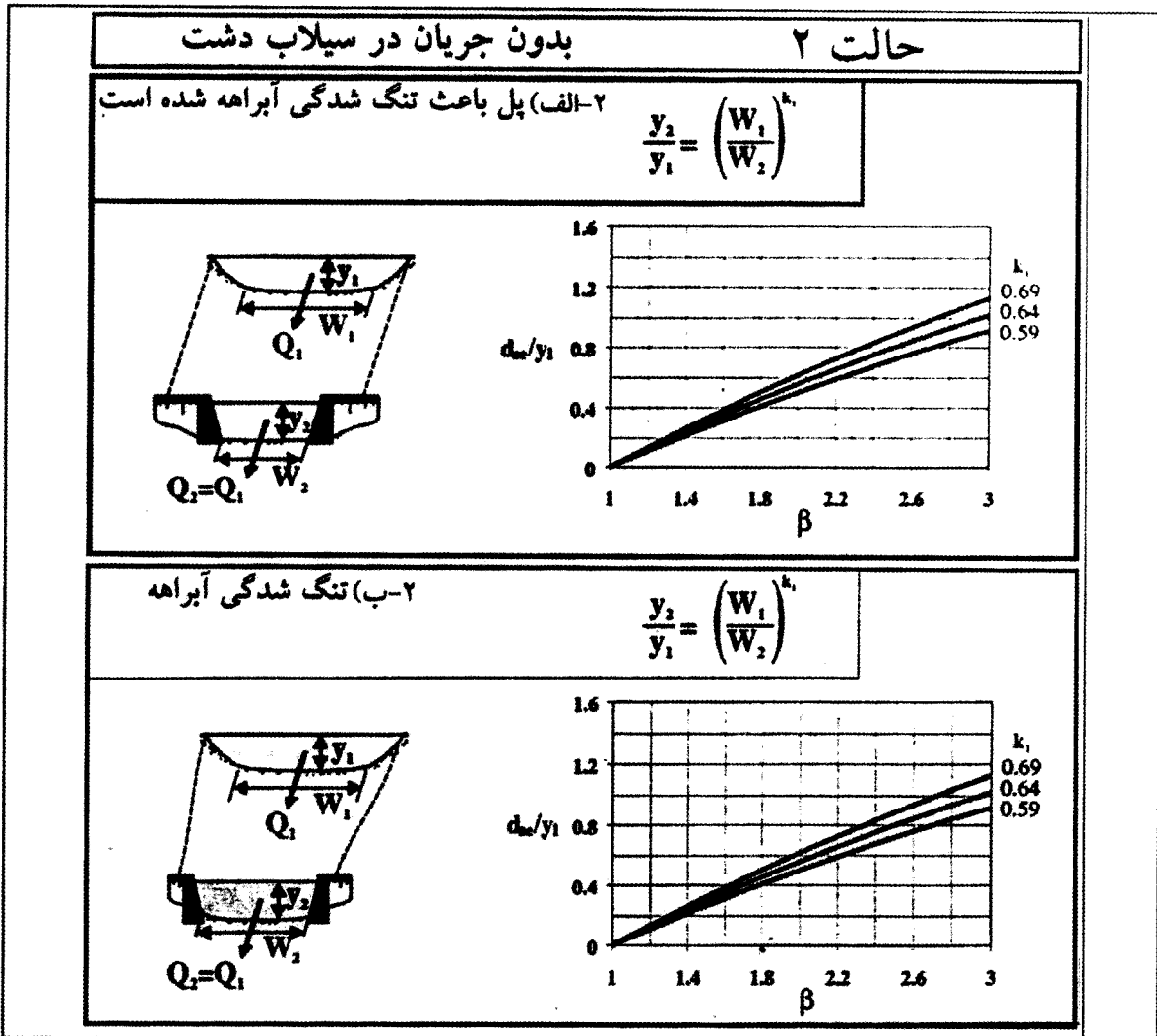
شکل ۵-۵- نرخ حرکت جانبی آبراهه بصورت تابعی از انحنای خم، عرض آبراهه، ارتفاع دیواره خارجی، توان جریان و ضریب مقاومت در برابر حرکت جانبی که عامل آخر تابعی از بافت رسوبی دیواره خارجی می باشد (هیگین و نانسون، ۱۹۸۴)



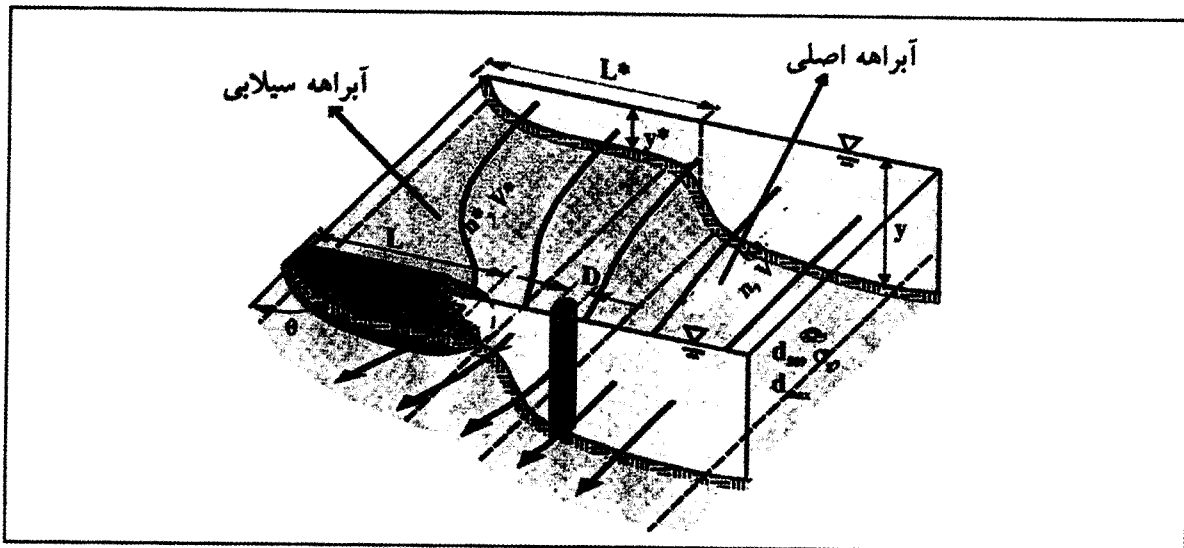
شکل ۵-۶- میزان تغییرات در عرض آبراه نسبت به تغییرات در عمق آبراه در شرایط اصلاح آبراه (سیمون، ۱۹۹۵)



شکل ۵-۷-الف- روش تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی پل در شرایط بستر زنده هنگامی که جریان از سیلابدشته عبور می نماید.



شکل ۵-۷-ب- روش تخمین عمق فرسایش تنگ شدگی پل در شرایط بستر زنده زمانی که جریان از سیلابدشتهها عبور نمی کند.



شکل ۵-۸- تعریف پارامترهای لازم برای تحلیل فرسایش موضعی

روش محاسبه سرعت آستانه حرکت  $V_c$

۱- مقدار  $u_{*c}$  را برای  $d_{50}$  از منحنی شیلدز بدست آورید (یا برای سنگ کوارتزی در دمای آب ۲۰ درجه)

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125d_{50}^{1.4} \quad 0.1 \text{ mm} < d_{50} < 1 \text{ mm}$$

$$u_{*c} = 0.0305d_{50}^{0.5} - 0.0065d_{50}^{-1} \quad 1 \text{ mm} < d_{50} < 100 \text{ mm}$$

۲- مقدار  $V_c$  را از روش توزیع لگاریتمی سرعت پیدا کنید (با فرض جریان کاملاً آشفته)

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left( 5.53 \frac{y}{d_{50}} \right)$$

روش محاسبه سرعت حداکثر نزدیک بستر  $V_a$  (فقط  $\sigma_g > 1.3$ )

۳- مقدار  $d_{50a}$  را بدست آورید

$$d_{50a} = \frac{d_{\max}}{1.8}$$

۴- مقدار  $u_{*ca}$  را برای  $d_{50a}$  از منحنی شیلدز بدست آورید (یا برای سنگ کوارتزی در دمای آب ۲۰ درجه)

$$u_{*ca} = 0.0115 + 0.0125d_{50a}^{1.4} \quad 0.1 \text{ mm} < d_{50a} < 1 \text{ mm}$$

$$u_{*ca} = 0.0305d_{50a}^{0.5} - 0.0065d_{50a}^{-1} \quad 1 \text{ mm} < d_{50a} < 100 \text{ mm}$$

۵- مقدار  $V_{ca}$  را بدست آورید.

$$\frac{V_{ca}}{u_{*ca}} = 5.75 \log \left( 5.53 \frac{y}{d_{50a}} \right)$$

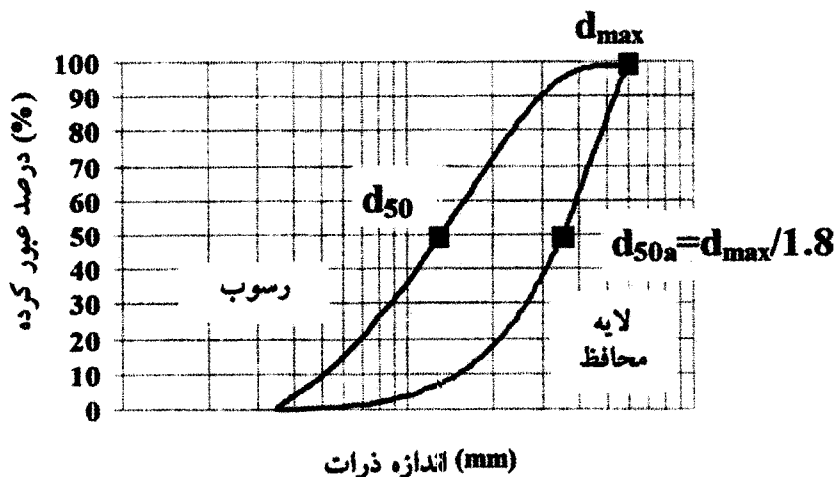
۶- محاسبه کنید

$$V_a = 0.8V_{ca}$$

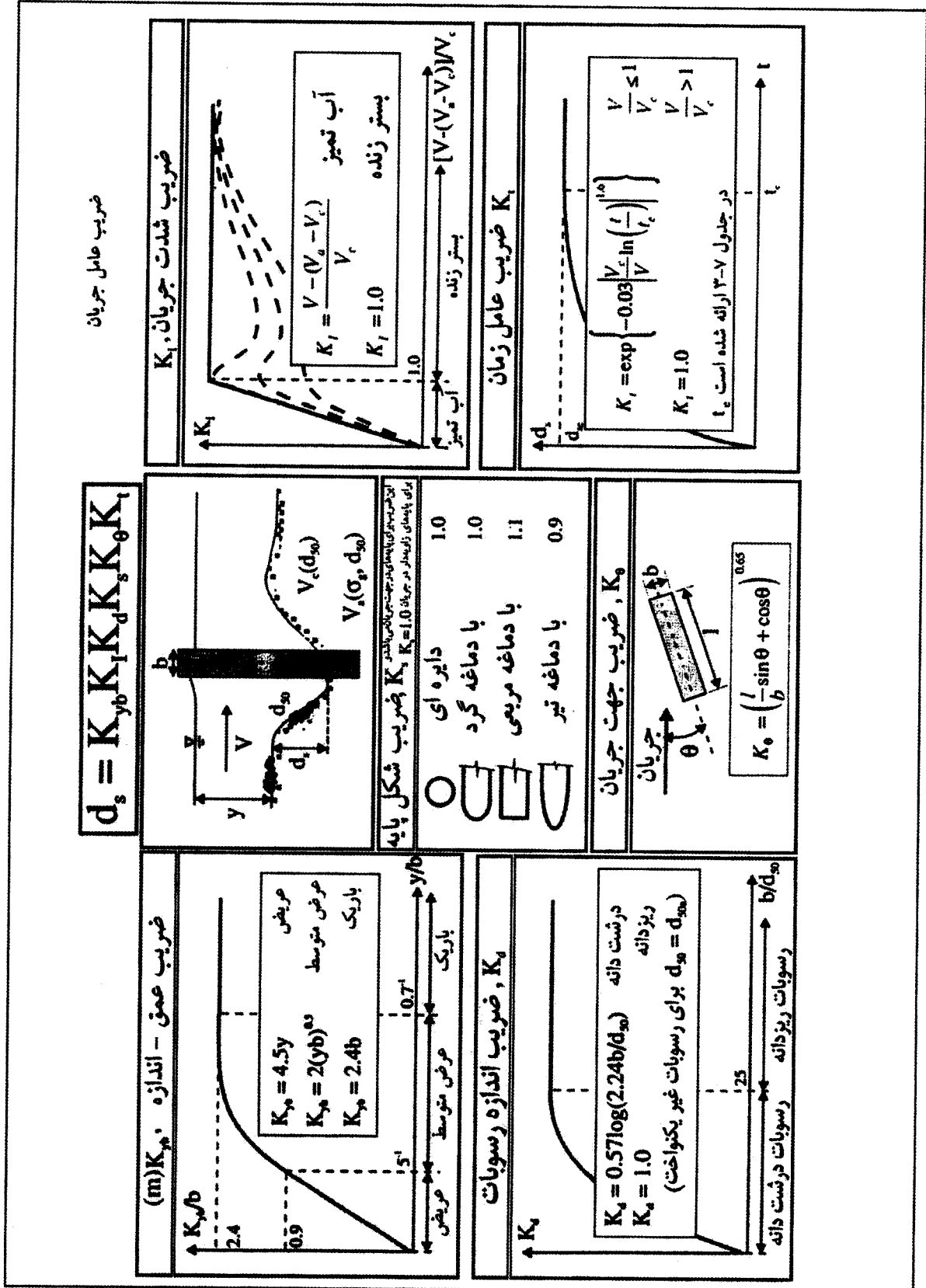
روش محاسبه ضریب سرعت

۷- برآورد

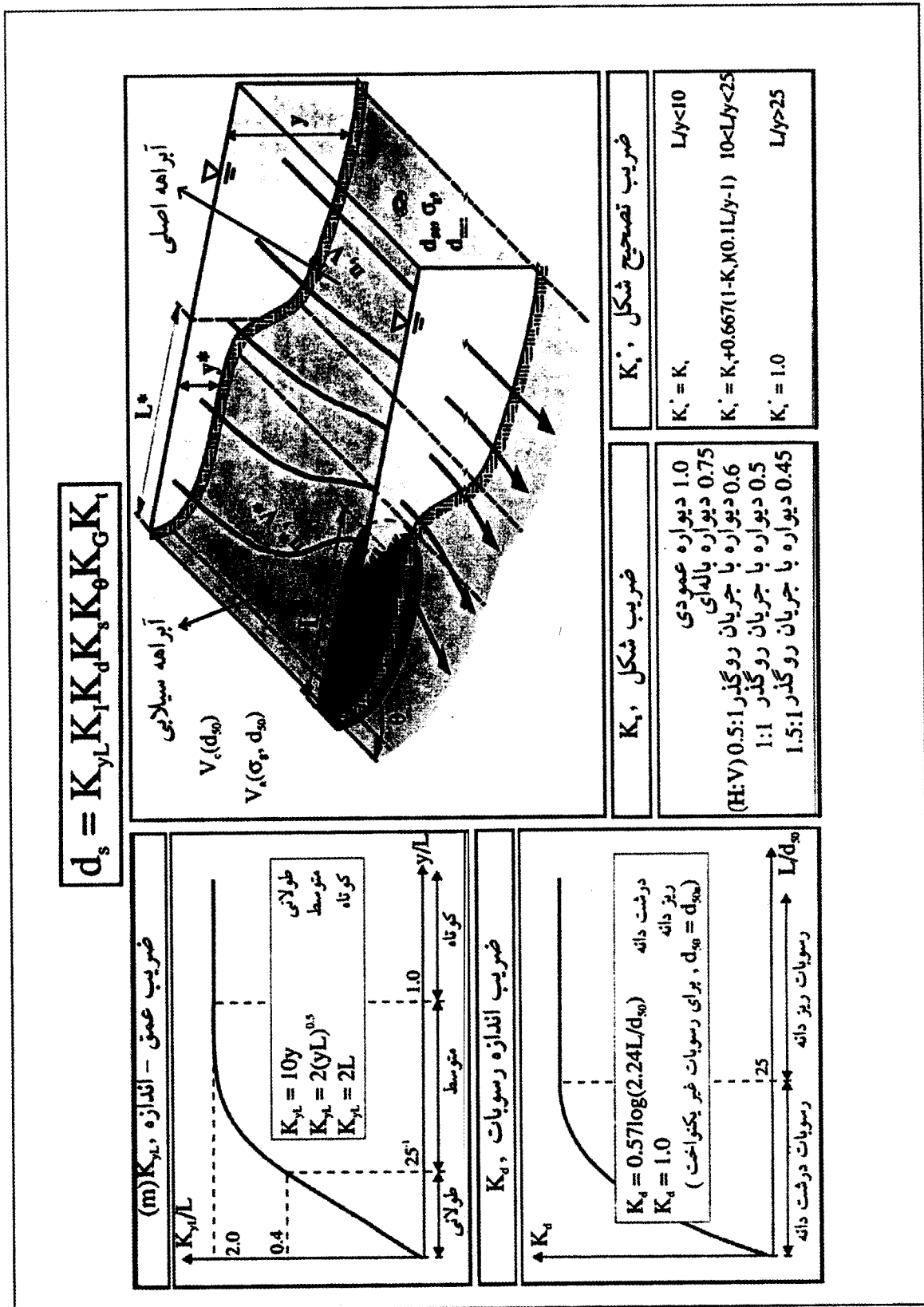
$$\frac{[V - (V_a - V_c)]}{V_c} \quad \left( \equiv \frac{V}{V_c} \text{ for } \sigma_g < 1.3 \right)$$



شکل ۵-۹- روش محاسبه سرعت در نزدیکی لایه محافظ (نزدیک بستر)

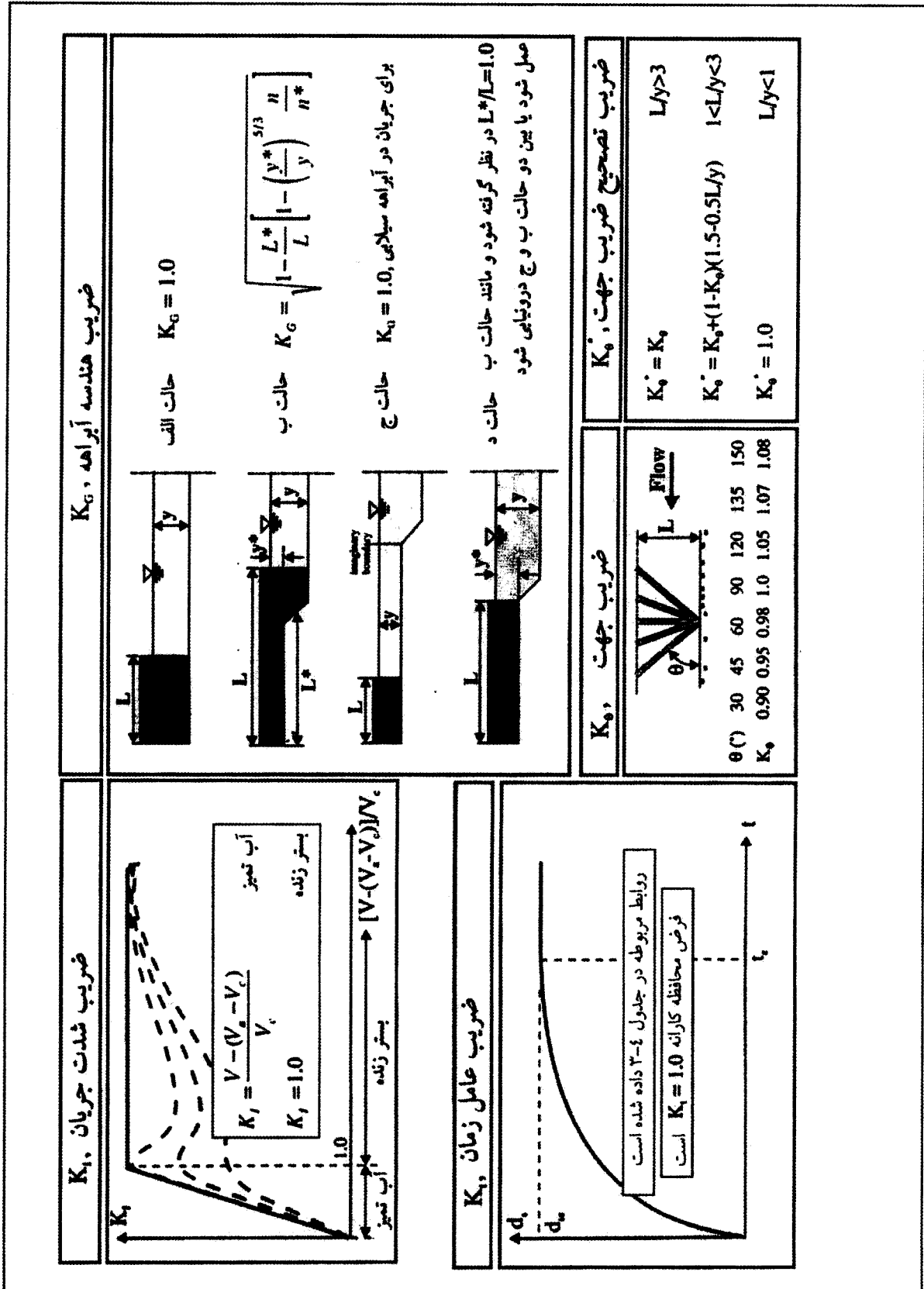


شکل ۵-۱۰- روش تخمین عمق فرسایش موضعی در محل پایه های پل



شکل ۵-۱۱- روش تخمین عمق فرسایش موضعی در محل کوله های پل





شکل ۵-۱۱- (ادامه) روش تخمین عمق فرسایش موضعی در محل کوله های پل

### حالت I

$b_e = b$

### حالت III

$b_e = b \left( \frac{y+Y}{y+b^*} \right) + b^* \left( \frac{b^*-Y}{b^*+y} \right)$   
(برای تکیه گاههای شمعی دست بالا می باشد)

توجه: برای حالت III مقدار Y منفی می باشد.

### حالت II

$b_e = b \left( \frac{y+Y}{y+b^*} \right) + b^* \left( \frac{b^*-Y}{b^*+y} \right)$

### حالت IV

$b_e = b^*$   
(برای تکیه گاههای شمعی دست بالا می باشد)

### حالت V (سر شمع بالاتر از سطح آب)

Type	S/D <sub>p</sub>	K <sub>s</sub> K <sub>d</sub>		
		θ < 5°	θ = 5° to 45°	θ = 90°
یکی ردیف	2	1.12	1.40	1.20
	4	1.12	1.20	1.10
	6	1.07	1.16	1.08
	8	1.04	1.12	1.02
دو ردیف	10	1.00	1.00	1.00
	2	1.50	1.80	-
	4	1.35	1.50	-

$b_e = \frac{0.52T_d b_d + (y - 0.52T_d) b}{y}$

### ذرات معلق

$b_e = \frac{0.52T_d b_d + (y - 0.52T_d) b}{y}$

$b_e = \frac{0.52T_d b_d + (y - 0.52T_d) b}{y}$

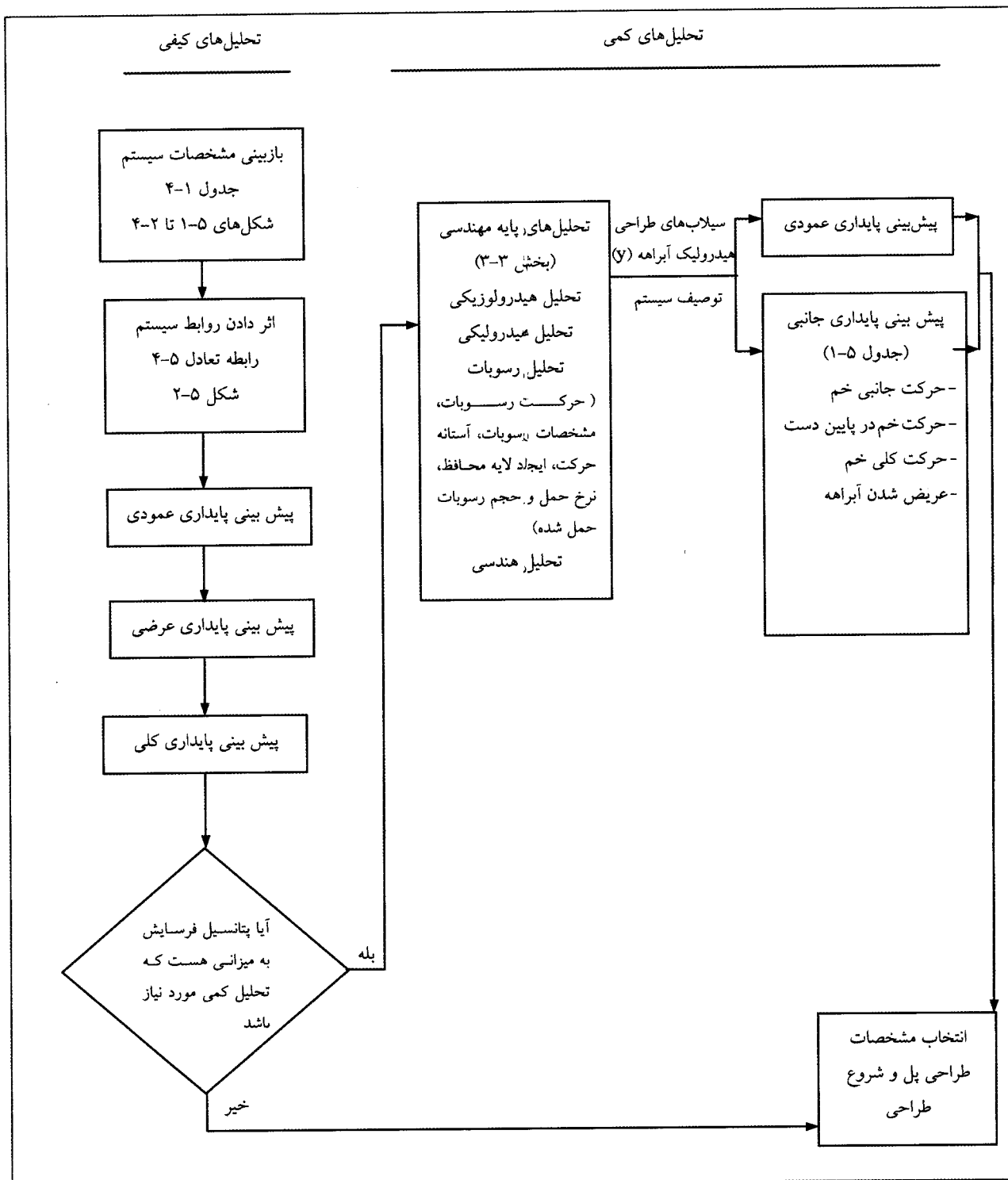
شکل ۵-۱۲- روش تخمین عمق فرسایشی موضعی در محل پایه های غیر یکنواخت

پایه‌های غیر یکنواخت	برای پایه‌های غیر یکنواخت $b_e$ را از جدول ۳-۵ قسمت $b_e$ رابطه میانی محاسبه شود. برای در نظر گرفتن اثرات ذرات معلق $b_e$ از ادامه جدول ۳-۵ بدست آید
عمق - اندازه	$K_{yb}$ از جدول ۳-۵ بدست آید
شدت جریان	برای در نظر ذرات معلق $b_e$ بکار رود
اندازه رسوبات	$K_I$ از جدول ۳-۵ $K_f$ از جدول ۳-۵
شکل پایه	قطر $d_{50}$ برای رسوبات یکنواخت بکار رود قطر $d_{50a}$ برای رسوبات غیر یکنواخت بکار رود برای پایه‌های غیر یکنواخت و ذرات معلق بکار رود
جهت جریان	$K_s$ از جدول ۳-۵ ( $\theta > 5^\circ$ به ازای $K_s = 1$ )
زمان تعادل	$K_\theta$ از ادامه جدول ۳-۵ $t_e$ از ادامه جدول ۳-۵
زمان (طول مدت فرسایش)	$K_f$ از ادامه جدول ۳-۵
عمق فرسایش موضعی	از رابطه: $d_s = K_{yb} K_I K_d K_s K_\theta K_f$

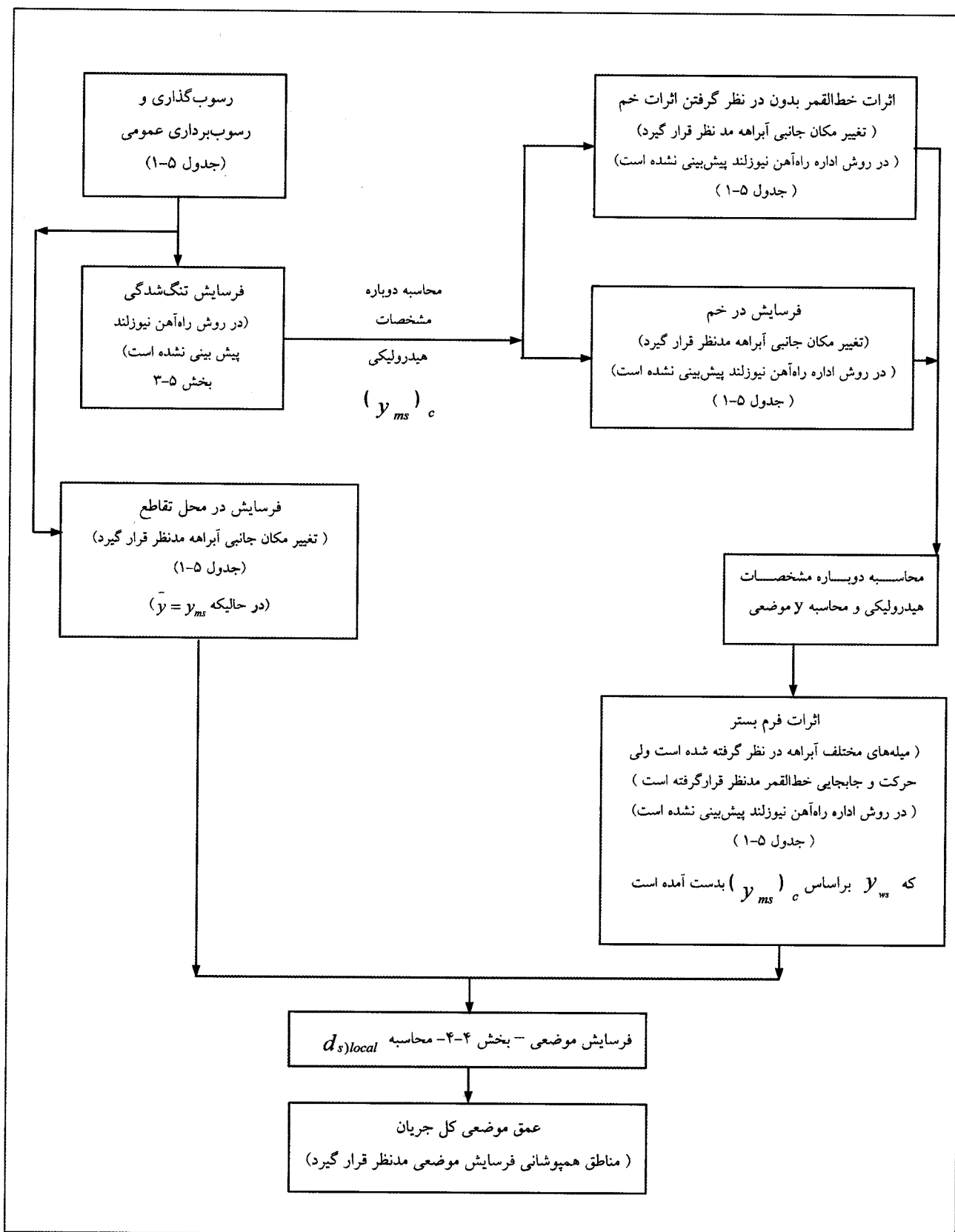
شکل ۵-۱۳ - راهکار تخمین عمق فرسایش موضعی در محل پایه‌های پل با استفاده از جدول ۳-۵، شکل ۵-۱۰ و شکل ۵-۱۲

عمق - اندازه	$K_{yL}$ جدول ۴-۵
شدت جریان	$K_I$ از جدول ۴-۵
اندازه رسوبات	$K_d$ از جدول ۴-۵
شکل پایه	برای رسوبات یکنواخت بکار رود $d_{50}$ برای رسوبات غیر یکنواخت بکار رود $d_{50a}$
جهت جریان	$K_s$ از جدول ۴-۵ $K_s^x$ از جدول ۴-۵ $K_\theta$ از جدول ۴-۵
زمان تعادل	$K_\theta^*$ از ادامه جدول ۴-۵ $K_G$ از ادامه جدول ۴-۵
زمان (طول مدت فرسایش)	$K_f = 1$ در نظر گرفته شود (تا کنون رابطه ضریب برای زمان تعریف نشده است)
عمق فرسایش موضعی	از رابطه: $d_s = K_{yL} K_I K_d K_s K_\theta K_G K_f$

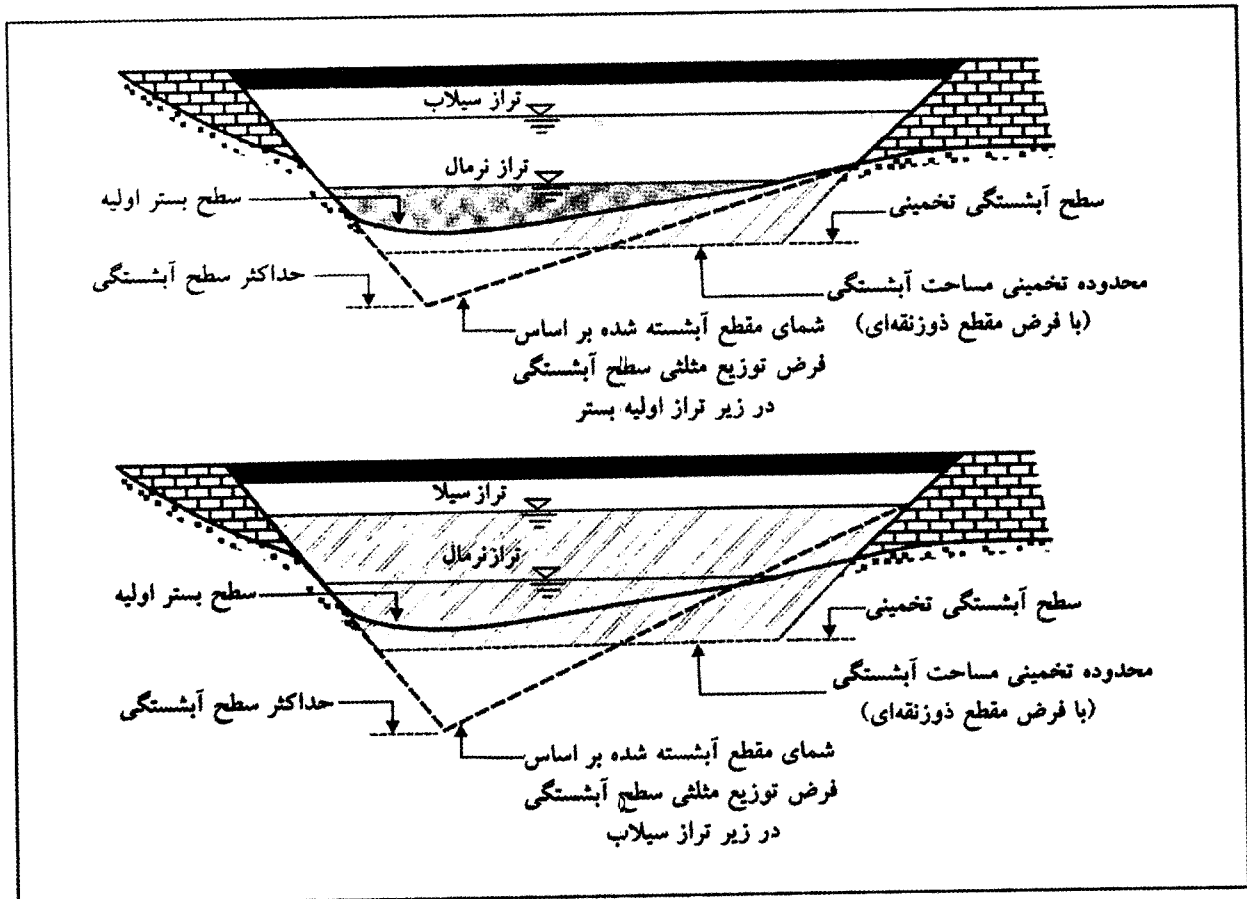
شکل ۵-۱۴ - راهکار تخمین عمق فرسایش موضعی در محل کوله‌های یک پل با استفاده از جدول ۴-۵ و شکل های ۵-۱۱



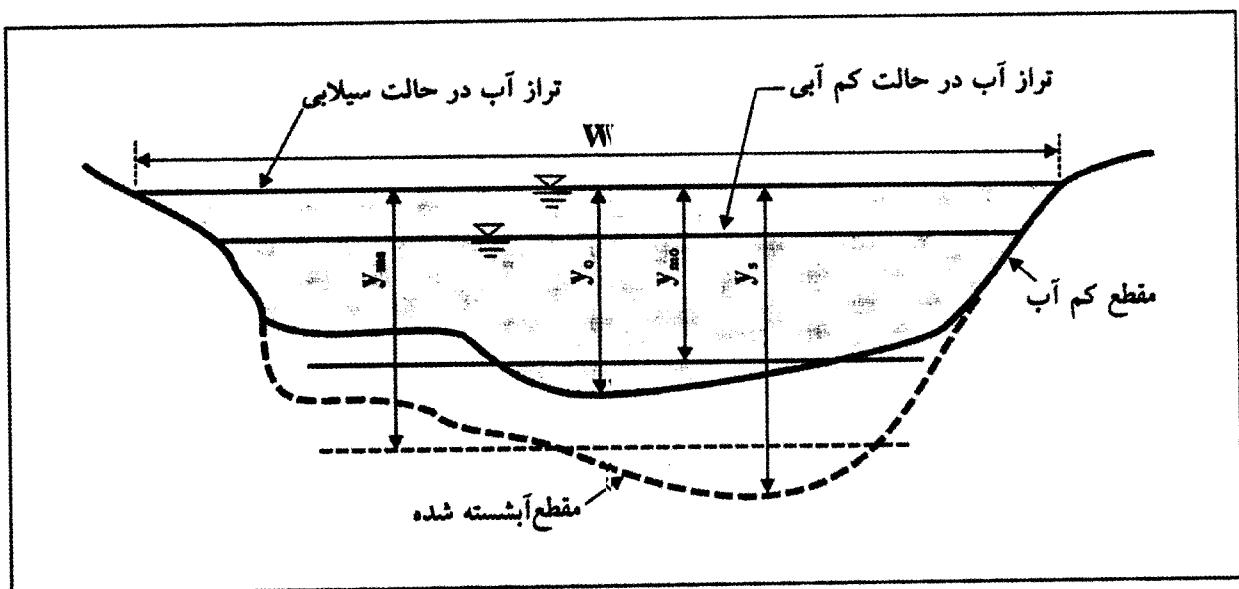
شکل ۵-۱۵-الف- روش طراحی کلی



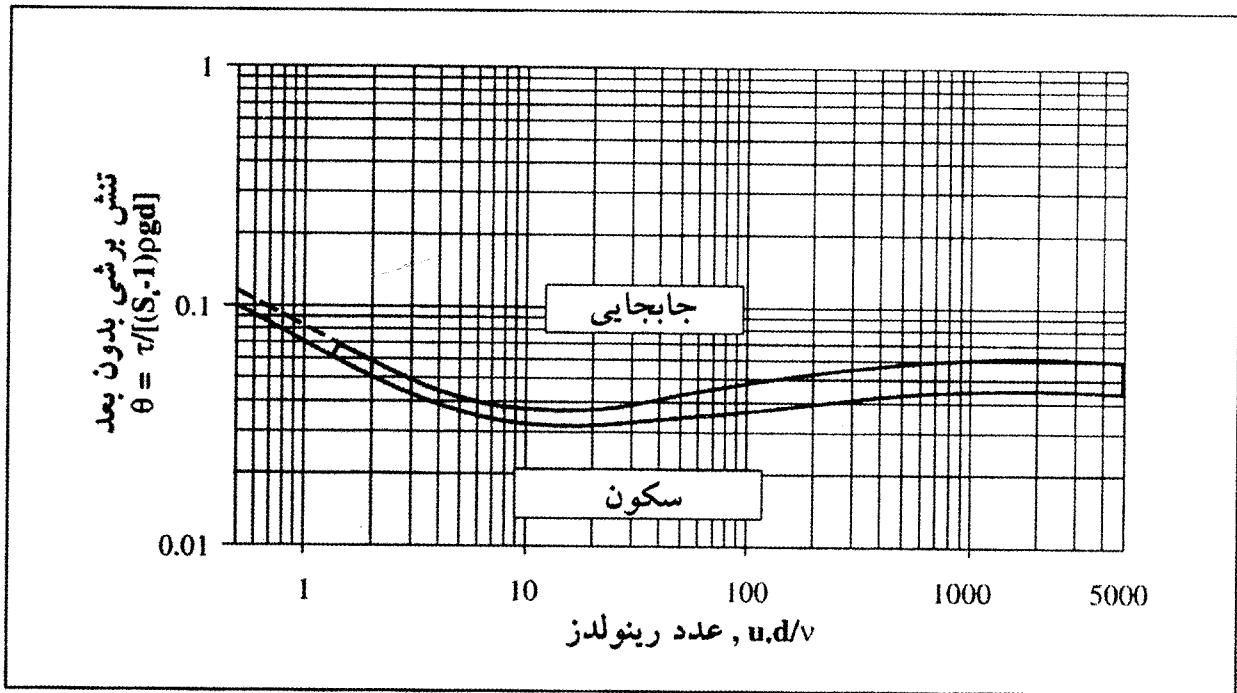
شکل ۵-۱۵-ب- روش طراحی کلی (مطالعه پایداری عمودی)



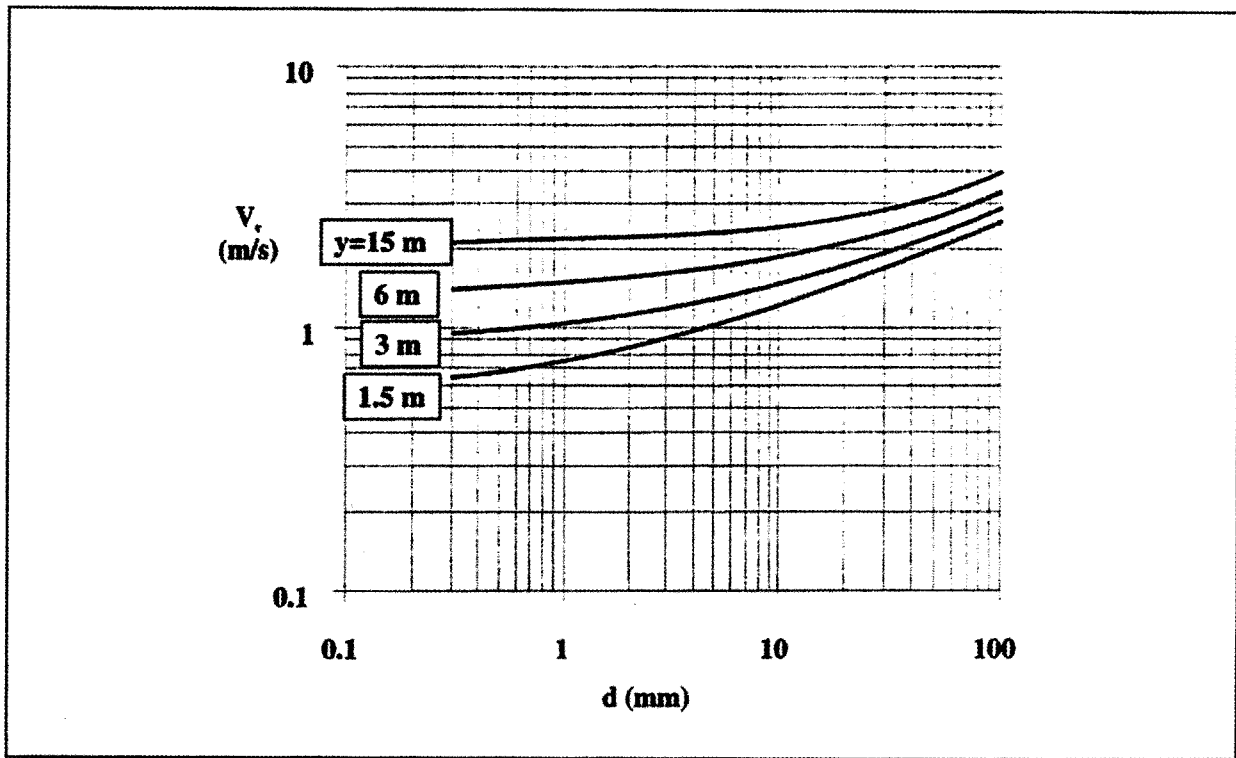
شکل ۵-۱۶- شمای توزیع فرضی آبستکی متوسط بر اساس پیشنهاد نیل (۱۹۷۳)



شکل ۵-۱۷- متغیرهای مقطع عرضی برای یافتن سرعت مناسب در روش مازا آلوارز و اچاواریا آلفارو (۱۹۷۳)



شکل ۵-۱۸ - نمودار شیلدز برای تعیین آستانه حرکت رسوب



شکل ۵-۱۹ - نمودار سرعت مناسب برای رسوبات غیر چسبنده (نیل ۱۹۸۷)





## فصل ۶

### کاربرد روش طراحی برای فرسایش

#### ۶-۱- مقدمه

روش های طراحی ارائه شده در فصل ۵ برای تعدادی از مثالهای کاربردی در این فصل استفاده شده است. همانطور که در متن گفته خواهد شد، مثالهای مختلف بر اساس پلهای موردی واقعی تدوین شده است. خلاصه‌ای از جزئیات مطالعه آبستگي که در هر یک از مثالها استفاده شده است در جدول ۶-۱ دیده می‌شود.

جدول ۶-۱- خلاصه ای از نحوه تخمین آبستگي در مثالها

شماره مثال موردی									ویژگی خاص مثال	نوع فرسایش
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
*	*								رسوب برداری عمومی	آبستگي عمومی
*	*								فرسایش در خم	
*									فرسایش در محل تقاطع	
*	*								فرسایش و حرکت جانبی	
								*	تنگ شدگی آبراهه	آبستگي تنگ شدگی
		*	*						تنگ شدگی زیر پل	
					*				آبراهه مرکب، کوله (تکیه‌گاه) در سیلابدشت	
				*					آبراهه مرکب، کوله (تکیه‌گاه) در آبراهه اصلی	
		*							فرسایش آب تمیز	
			*	*	*			*	فرسایش بستر زنده (سیلابی)	آبستگي موضعی در پایه‌ها
						*	*	*	پایه به شکل غیر یکنواخت	
							*		پایه - مایل نسبت به جریان	
							*		پی شمعی	
		*					*	*	بستر با مصالح غیر یکنواخت	
		*					*		فرسایش آب تمیز	
					*		*		فرسایش بستر زنده	
					*		*		تجمع آشغالها	

جدول ۶-۱- خلاصه ای از نحوه تخمین آبشستگی در مثالها

شماره مثال موردی									ویژگی خاص مثال	نوع فرسایش
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
		*		*	*				کوله (تکیه‌گاه) با طول متوسط	آبشستگی موضعی در کوله‌ها
			*						کوله (تکیه‌گاه) کوتاه (طول کم)	
			*						کوله (تکیه‌گاه) دیواره باله‌ای	
		*		*	*				کوله دیواره با جریان روگذر	
				*					کوله (تکیه‌گاه) در آبراهه اصلی	
					*				کوله (تکیه‌گاه) در سیلابدشت	
			*						کوله (تکیه‌گاه) در ساحل آبراهه با تنظیم مناسب	
					*				فرسایش آب تمیز	
			*	*					فرسایش بستر زنده	
				*	*				آبراهه مرکب	
		*			*				بستر با مصالح غیر یکنواخت	
		*	*	*					کوله (تکیه‌گاه) مایل (نسبت به جریان)	

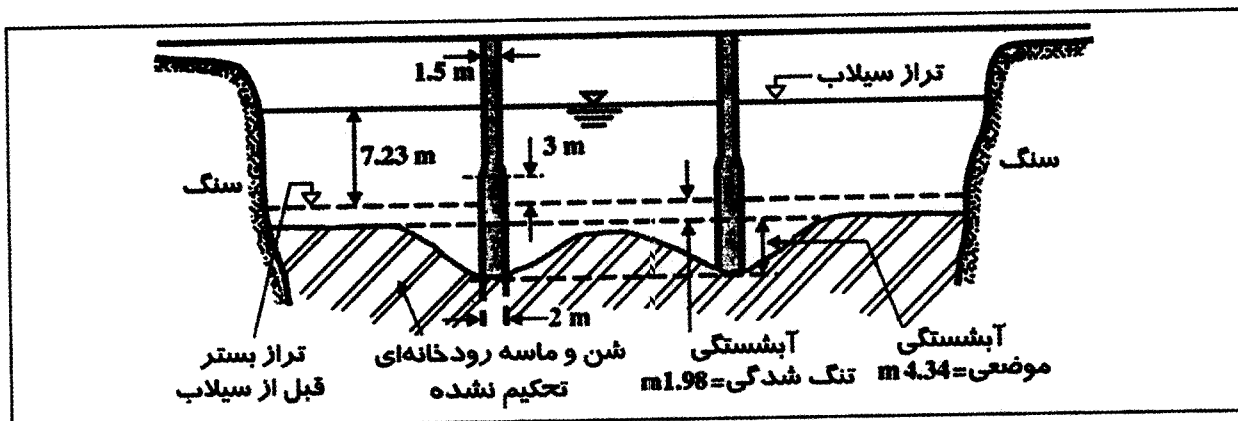
۶-۲- مثال اول : تحلیل آبشستگی تنگ شدگی و موضعی در پایه‌ها

پلی در محدوده یک رودخانه با دیواره‌های کناری قائم مطابق شکل ۶-۱ احداث شده است. برخی از ویژه‌گیهای شاخص این مثال عبارتند از :

- آبراهه مستقیم با جریان عبوری مستقیم
- آبشستگی تنگ شدگی به علت باریک شدن آبراهه، از معادله قسمت چهارم جدول ۵-۲ استفاده می‌شود.
- آبشستگی موضعی پایه صندوقهای دایره‌ای شکل
- شرایط بستر زنده
- مصالح شن و ماسه‌ای دانه‌بندی شده

مثال ۱- داده‌ها		
1.5 m	$b$	عرض پایه
2 m	$b^*$	عرض صندوقچه
3 m		تراز بالای صندوقچه
128 m	$W_1$	عرض آبراهه عبوری
85 m	$W_2$	عرض آبراهه در مقطع پل
20 mm	$d_{50}$	اندازه میانه
100 mm	$d_{max}$	اندازه حداکثر
3400 m <sup>3</sup> /s	$Q$	دبی جریان
7.23 m	$y_1$	عمق جریان عبوری

مثال ۱- محاسبات	مؤلفه آبستگي
<p>چون حداقل ميزان انتقال رسوب معلق انتظار می رود: <math>k_1=0.59</math></p> $\frac{d_s}{y_1} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_1} - 1$ $d_{s)contraction} = 1.98m \quad , \quad (y_{ms})_c = y_1 + 1.98 = 9.21m$	آبستگي تنگ شدگي
$y = (y_{ms})_c = 9.21m$ $Y = -(3 + 1.98) = -4.98$ $be = b \left( \frac{y + Y}{y + b^*} \right) + b^* \left( \frac{b^* - Y}{b^* + y} \right)$ $= 1.5 \left( \frac{9.21 - 4.98}{9.21 + 2} \right) + 2 \left( \frac{2 + 4.98}{2 + 9.21} \right)$ $= 1.81m$	
$\frac{b_e}{y} = 0.197$ $K_{yb} = 2.4b_e = 4.34m$	از معادلات قسمت اول جدول ۳-۵:
$K_s = K_\theta = 1.0$	برای پایه و صندوقه دایره ای:
$V = \frac{Q}{W_2 y} = \frac{3400}{85 \times 9.21} = 4.34 m/s$	
$d_{50a} = \frac{d_{max}}{1.8} = 56mm$ $u_{*c} = 0.136 m/s \quad , \quad u_{*ca} = 0.228 m/s$ $V_c = 2.66 m/s \quad , \quad V_{ca} = 3.88 m/s \quad , \quad V_a = 3.10 m/s$ $\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} = 1.47$ <p>از معادلات قسمت سوم جدول ۳-۵ (ادامه): <math>K_I = 1.0</math></p> <p>از معادلات قسمت دوم جدول ۳-۵: <math>K_I = 1.0</math></p>	آبستگي موضعي
$\frac{b_e}{d_{50}} = 90.5 \quad , \quad \frac{b_e}{d_{50a}} = 32.2$ $K_d = 1.0$	از معادلات قسمت سوم جدول ۳-۵:
$d_s = K_{yb} K_I K_d K_s K_\theta K_t = 4.34m$	کل عمق آبستگي
$y_{s)total} = (y_{ms})_c + d_{s)local} = 9.21 + 4.34 = 13.55m$	



شکل ۱-۶ نمودار مثال ۱

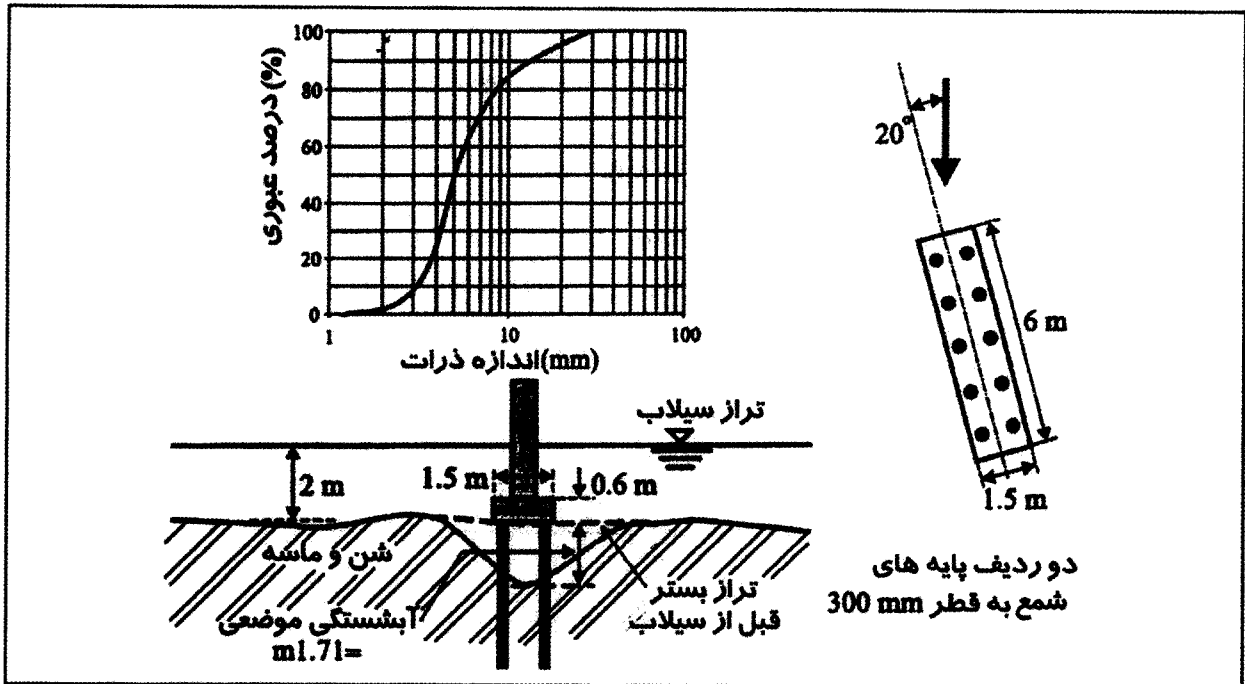
۳-۶- مثال دوم : تحلیل آبشستگی موضعی کناره پایه‌ها

پایه پلی بر روی شمعی در وسط آبراهه سیلابی با عرض بسیار زیاد واقع شده است که به صورت شماتیک در شکل ۲-۶ دیده می‌شود. ویژگی‌های شاخص این مثال عبارتند از :

- آبشستگی موضعی کناره پایه شمعی
- شرایط آب تمیز
- جریان عبوری مایل
- مصالح شن و دانه‌بندی شده

مثال ۲- داده‌ها

0.6 m	$b$	عرض پایه	پایه
1.5 m	$b^*$	عرض سر شمع	
6 m	$l$	طول پایه	
0.6 m بالای تراز بستر		تراز بالای سر شمع	
310 m	$W_{1f}$	عرض آبراهه سیلابی	آبراهه
5 mm	$d_{50}$	اندازه میانه	مصالح بستر
مطابق شکل		منحنی دانه‌بندی	
500 m <sup>3</sup> /s	$Q_f$	دبی جریان در آبراهه سیلابی	جریان
2 m	$y_f$	عمق جریان ورودی در آبراهه سیلابی	
1	$t$	مدت تداوم سیلاب حداکثر	
20°	$\theta$	زاویه برخورد جریان	



شکل ۶-۲- نمودار مثال ۲

مثال ۲- محاسبات	مؤلفه آبستنگی
$b_e = b \left( \frac{y_f + Y}{y_f + b^*} \right) + b^* \left( \frac{b^* - Y}{b^* + y_f} \right)$ $= 0.6 \left( \frac{2.0 - 0.6}{2.0 + 1.5} \right) + 1.5 \left( \frac{1.5 + 0.6}{1.5 + 2.0} \right)$ $= 1.14 \text{ m}$	
$\frac{b_e}{y} = 0.57$ $K_{yb} = 2.4 b_e = 2.74 \text{ m}$	آبستنگی موضعی از معادلات قسمت دوم جدول ۵-۳:
$K_\theta = \left( \frac{1}{b_e} \sin \theta + \cos \theta \right)^{0.65} = 1.93$	برای شمع مایل: $K_s = 1.0$
$V = \frac{Q_f}{W_{1f} y_f} = \frac{500}{310 \times 2} = 0.81 \text{ m/s}$	

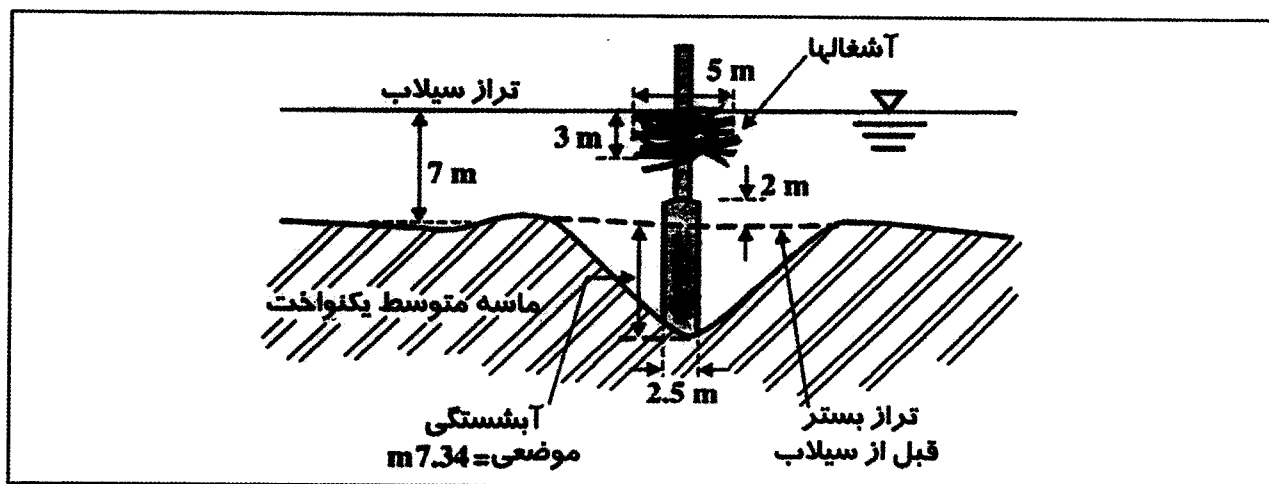
مثال ۲- محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبشستگی
<p>از منحنی دانه‌بندی : <math>d_{max} = 27 \text{ mm}</math></p> <p>از شکل ۹-۵ :</p> $d_{50a} = \frac{d_{max}}{1.8} = 15 \text{ mm}$ <p><math>u_{*c} = 0.067 \text{ m/s}</math> و <math>u_{*ca} = 0.118 \text{ m/s}</math></p> <p><math>V_c = 1.29 \text{ m/s}</math> و <math>V_{ca} = 1.95 \text{ m/s}</math> و <math>V_a = 1.56 \text{ m/s}</math></p> $\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} = 0.42$ <p>از معادلات قسمت دوم جدول ۳-۵ : <math>K_I = 0.42</math></p>	آبشستگی موضعی (ادامه)
$\frac{y}{b_e} = 1.75$ $t_e \text{ (days)} = 30.89 \frac{b_e}{V} \left( \frac{V}{V_c} - 0.4 \right) \left( \frac{y}{b_e} \right)^{0.25} = 11.4 \text{ days}$	
$K_t = \exp \left\{ -0.03 \left  \frac{V_c}{V} \ln \left( \frac{t}{t_e} \right) \right ^{1.6} \right\} = 0.77$	
$\frac{b_e}{d_{50}} = 228$ و $\frac{b_e}{d_{50a}} = 76$ <p>از معادلات قسمت سوم جدول ۳-۵ : <math>K_d = 1.0</math></p>	
$d_s = K_{yb} K_I K_d K_s K_\theta K_t = 1.71 \text{ m}$	

#### ۴-۶- مثال سوم : تحلیل آبشستگی موضعی کنار پایه با تجمع آشغالها

مطالعه آبشستگی پایه پل با تجمع آشغال در اطراف آن مطابق شکل ۳-۶ مد نظر است. ویژگیهای شاخص این مثال عبارتند از :

- آبشستگی موضعی اطراف پایه پل و صندوقه مربع مستطیل
- تجمع آشغالها
- شرایط بستر زنده
- مصالح ماسه‌ای یکنواخت بستر

مثال ۳- داده‌ها		
0.8 m	$b$	عرض پایه
2.5 m	$b^*$	عرض صندوقه
2 m بالای تراز بستر		تراز بالای صندوقه
5 m	$b_d$	عرض محدوده آشغالها
3 m	$T_d$	ضخامت (ارتفاع) آشغالها
1 mm	$d_{50}$	اندازه متوسط
4 m/s	$V$	سرعت جریان ورودی
7 m	$y$	عمق جریان ورودی



شکل ۳-۶- نمودار مثال ۳

مؤلفه آبشستگی	مثال ۳- محاسبات
آبشستگی موضعی	فرض کنید: $b \equiv b^*$ . برای محاسبه عرض مؤثر آشغالها داریم:
	$b_e = \frac{0.52T_d b_d + (y - 0.52T_d)b^*}{y}$ $= \frac{0.52 \times 3 \times 5 + (7 - 0.52 \times 3) \times 2.5}{7}$ $= 3.06 \text{ m}$
	$\frac{b_e}{y} = 0.44$ $K_{yb} = 2.4b_e = 7.34 \text{ m}$
	از معادلات قسمت اول جدول ۳-۵:

مثال ۳- محاسبات (ادامه)		مؤلفه آبشستگی
$K_s = K_\theta = 1.0$ برای پایه با اشغال :		آبشستگی موضعی (ادامه)
$u_{*c} = 0.024 \text{ m/s}$	از معادلات قسمت دوم جدول ۳-۵ : $K_I = 1.0$	
$V_c = 0.63 \text{ m/s}$	از معادلات قسمت سوم جدول ۳-۵ (ادامه) : $K_r = 1.0$	
$\frac{V}{V_c} = 6.35$		
$\frac{b_e}{d_{50}} = 3060$	از معادلات قسمت سوم جدول ۳-۵ : $K_d = 1.0$	
$d_s = K_{yb} K_I K_d K_s K_\theta K_t = 7.34 \text{ m}$		

### ۶-۵- مثال چهارم : تحلیل آبشستگی تنگ شدگی و موضعی کوله‌ها

پلی بر روی یک رودخانه مطابق شکل ۶-۴ بنا شده است. ویژگیهای شاخص این مثال عبارتند از:

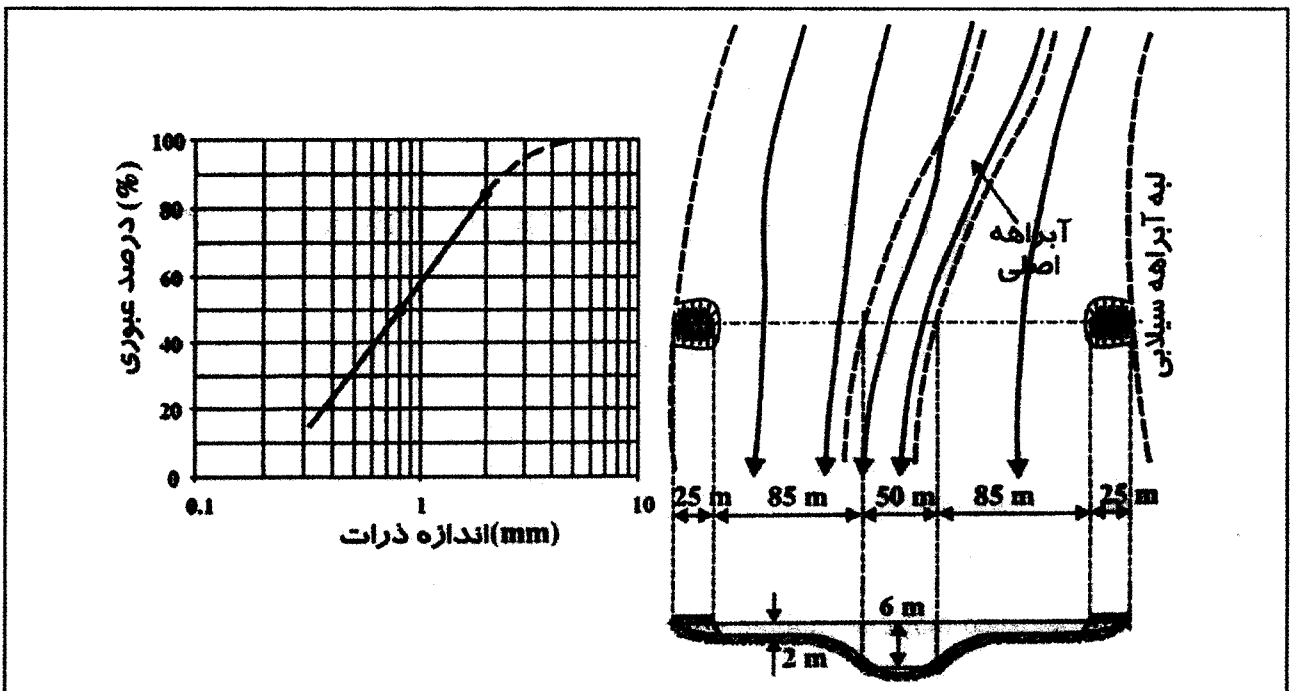
- مشخصات آبراهه و جریان مانند مثال پنجم
- آبراهه مرکب در خم
- شرایط آب تمیز در آبراهه سیلابی
- آبشستگی موضعی در کوله با جریان روگذر واقع شده در آبراهه سیلابی
- مصالح بستر شن و ماسه‌ای غیر یکنواخت

مثال ۴-۱: داده‌ها			
25 m	L	طول کوله	کوله‌ها (تکیه‌گاهها)
1.5 : 1		شیب دیواره کوله	
90°	$\theta$	نحوه قرارگیری کوله	
50 m	$W_1$	عرض آبراهه اصلی	آبراهه
110 m	$L^*$	عرض آبراهه سیلابی	
0.020	n	ضریب مانینگ در آبراهه اصلی	
0.045	$n^*$	ضریب مانینگ در آبراهه سیلابی	
0.8 mm	$d_{50}$	اندازه میانه	مصالح بستر



مثال ۴ - داده‌ها (ادامه)

2.5		انحراف معیار هندسی	جریان
$1200 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q$	دبی کل جریان	
7	$t$	مدت تداوم سیلاب	
$900 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{1m}$	دبی جریان در آبراهه اصلی	
$300 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{1f}$	دبی جریان در آبراهه سیلابی	
6 m	$y_1$	عمق متوسط جریان در آبراهه اصلی	
2 m	$y^*$	عمق متوسط جریان در آبراهه سیلابی	



شکل ۶-۴ - نمودار مثال ۴

مثال ۴- محاسبات	مؤلفه آبستگي
<p>در ابتدا از روش سرعت مناسب (شکل ۵-۱۹) برای آبراهه سیلابی استفاده می‌شود، داریم:</p> $d_{50} = 0.8 \text{ mm} \text{ و } y^* = 2 \text{ m} \text{ برای } V_c = 0.9 \text{ m/s}$ $V^* = \frac{Q_{lf}}{170 y^*} = \frac{300}{170 \times 2} = 0.88 \text{ m/s} < V_c$ <p>در مقطع پل:</p> <p>بنابراین آبستگي تنگ شدگی در محدوده آبراهه سیلابی اتفاق نمی‌افتد و نصف دبی آبراهه سیلابی <math>0.5 Q_{lf}</math> به داخل آبراهه اصلی سرازیر می‌شود، بنابراین برای آبراهه اصلی داریم:</p> $Q_2 = Q_{1m} + 0.5 Q_{lf} = 900 + 250 = 1050 \text{ m}^3/\text{s} \text{ and } W_1 \equiv W_2$ $\frac{d_s}{y_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_{1m}} \right)^{6.7} \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^{k1} - 1$ <p>(فقط برای آبراهه اصلی)</p>	آبستگي تنگ‌شدگی
<p>برای آبستگي موضعی اطراف کوله‌ها، فقط جریان در آبراهه سیلابی را در نظر می‌گیریم:</p> $\frac{L}{y^*} = 12.5 \text{ و } K_{yl} = 14.1 \text{ m}$ <p>از معادلات قسمت اول جدول ۴-۵:</p> <p>از منحنی دانه‌بندی؛ <math>d_{84} = \sigma_{\xi} d_{50} = 2.0 \text{ mm}</math> فرض کنید <math>d_{\max} = 5 \text{ mm}</math> بنابراین <math>d_{50a} = 2.8 \text{ mm}</math></p> <p>برای آبراهه سیلابی، از شکل ۵-۹:</p> $u_{*c} = 0.021 \text{ m/s} \text{ و } u_{*ca} = 0.049 \text{ m/s}$ $V_c = 0.50 \text{ m/s} \text{ و } V_{ca} = 1.01 \text{ m/s} \text{ و } V_a = 0.81 \text{ m/s}$ $\frac{V^* - (V_a - V_c)}{V_c} = 0.74$ <p>از معادلات قسمت دوم جدول ۴-۵: <math>K_T = 0.74</math></p>	آبستگي موضعی
$L/d_{50a} > 25$ <p>از معادلات قسمت سوم جدول ۴-۵: <math>K_d = 1.0</math></p>	
<p>برای شیب ۱:۱.۵ دیواره کوله‌ها با جریان روگذر: <math>K_s = 0.45</math></p> $K_s^* = K_s + 0.667(1 - K_s) \left[ 0.1 \frac{L}{y^*} - 1 \right] = 0.54$	

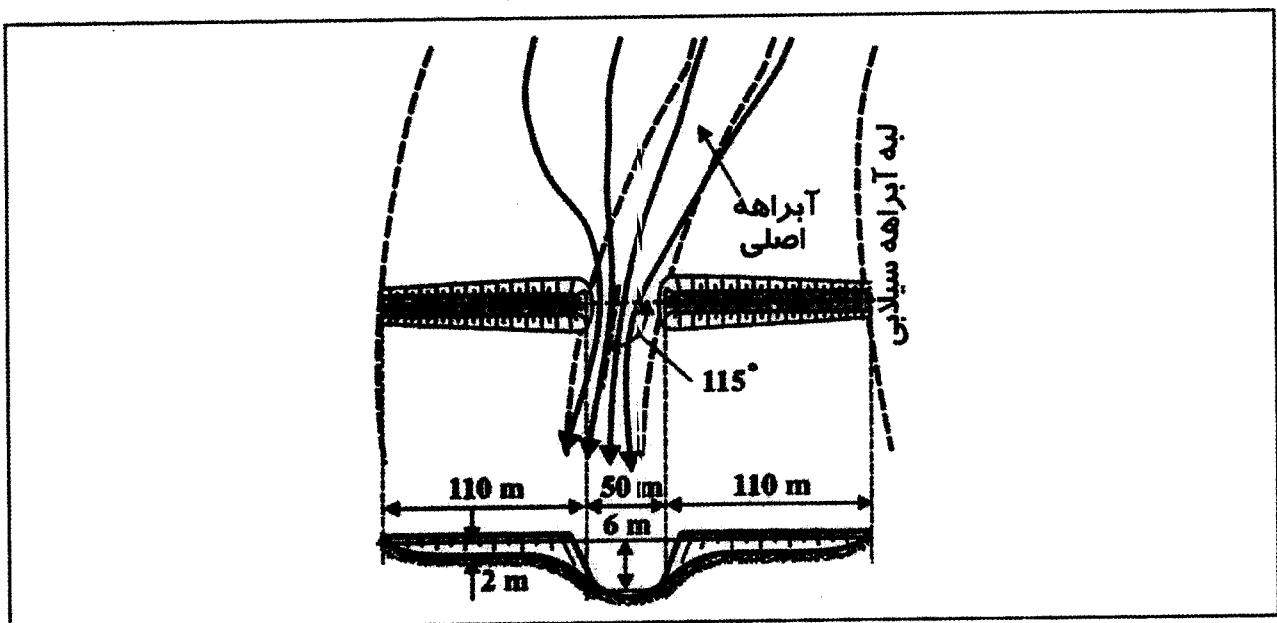
مثال ۴- محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبستگی
$K_\theta = 1.0$	آبستگی موضعی (ادامه)
$K_G = 1.0$	
$L/y^* = 12.5$ , $t^* = 25y^*/V^* = 73.5$ $\frac{V^* - (V_a - V_c)}{V_c} = 0.74$	
$K_t = 0.1 \frac{V_c}{V} \ln\left(\frac{t}{t_e}\right) + 1 = 0.68$	
$d_s = K_{yI} K_I K_d K_S^* K_\theta K_G K_t$ <span style="float: right;"><math>d_s = 3.83</math></span>	
$d_{s)total} = d_{s)contraction} + d_{s)local} = 0 + 3.83 \text{ m} = 3.83 \text{ m}$	آبستگی کلی در کوله‌ها

### ۶-۶- مثال پنجم : ( مشابه مثال چهار )

پلی بر روی یک رودخانه عریض مطابق شکل ۶-۵ احداث شده است. برخی از ویژگیهای شاخص این مثال عبارتند از :

- آبراهه و جریان مانند مثال چهارم
- آبراهه مرکب در خم
- آبستگی تنگ شدگی به خاطر واقع شدن کوله‌ها در کناره آبراهه اصلی
- آبستگی موضعی در کناره دیواره کوله با جریان روگذر
- آبستگی کوله در آبراهه مرکب
- شرایط بستر زنده
- مصالح بستر شن متوسط غیر یکنواخت

مثال ۵- داده‌ها		
110 m	$L$	طول کوله
1.5:1		شیب دیواره کوله
65°	$\theta_{LHS}$	قرارگیری کوله سمت چپ
115°	$\theta_{RHS}$	قرارگیری کوله سمت راست
50 m	$W_1$	عرض آبراهه اصلی
110 m	$L^*$	عرض آبراهه سیلابی
0.020	$n$	ضریب مانینگ در آبراهه اصلی
0.045	$n^*$	ضریب مانینگ در آبراهه سیلابی
0.8 mm	$d_{50}$	اندازه میانه
2.5	$\sigma_g$	انحراف معیار هندسی
1200 m <sup>3</sup> /s	$Q$	دبی کل جریان
900 m <sup>3</sup> /s	$Q_{1m}$	دبی جریان در آبراهه اصلی
6 m	$y_1$	عمق متوسط جریان در آبراهه اصلی
2 m	$y^*$	عمق متوسط جریان در آبراهه سیلابی



شکل ۶-۵- نمودار مثال ۵

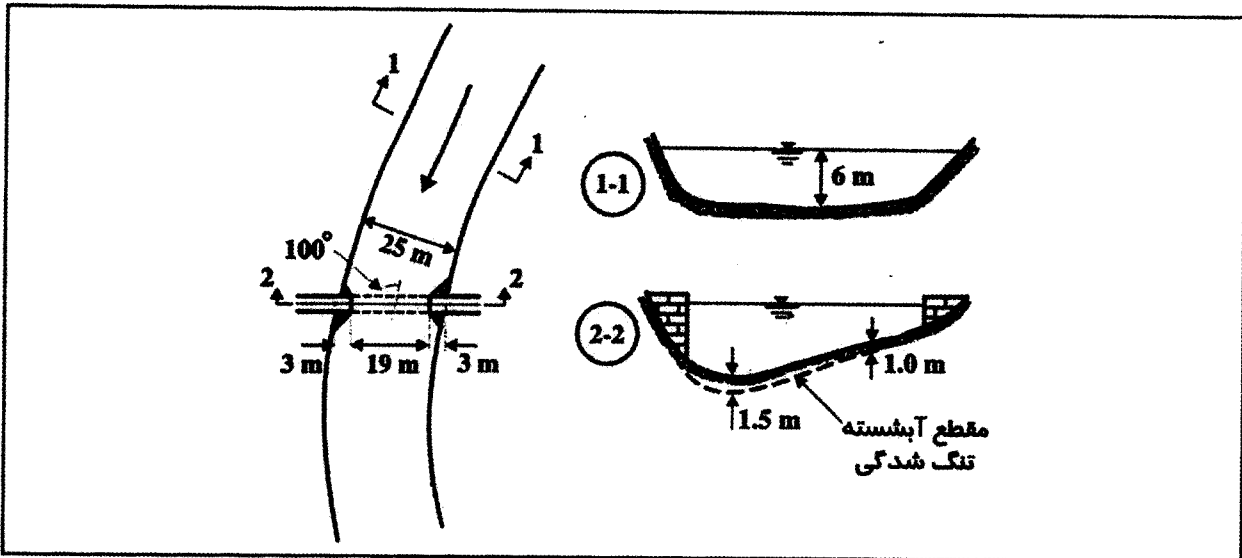
مثال ۵- محاسبات	مؤلفه آبستگي
$Q_2 = Q = 1200 \text{ m}^3/\text{s}$ $\frac{d_s}{y_1} = \left( \frac{Q_2}{Q_{1m}} \right)^{6/7} - 1$ <p><math>d_{s)contraction} = 1.68, (y_{ms})_c = 7.68 \text{ m}</math> و فرض شده است که آبستگي تنگ شدگي بصورت زیر توزیع می شود. (به علت انحنای آبراهه و نحوه توزیع جریان در مقطع)</p> $d_{s)contraction} = 1.98 \text{ m (RHS)} \quad , \quad d_{s)contraction} = 1.38 \text{ m (LHS)}$	آبستگي تنگ شدگي
$y \equiv (y_{ms})_c = 7.68 \text{ m}$ $\frac{L}{y} = 14.3 \quad \text{و} \quad K_{yL} = 58.1$	
<p>از منحنی دانه بندی <math>d_{84} = \sigma_g d_{50} = 2.0 \text{ mm}</math> فرض کنید <math>d_{max} = 5 \text{ mm}</math> بنابراین <math>d_{50a} = 2.8 \text{ mm}</math></p>	
$V = \frac{Q}{W_1 y} = \frac{900}{50 \times 7.68} = 2.34 \text{ m/s}$	
<p>برای آبراهه اصلی از شکل ۵-۹:</p> $u_{*c} = 0.021 \text{ m/s} \quad , \quad u_{*ca} = 0.049 \text{ m/s}$ $V_c = 0.57 \text{ m/s} \quad , \quad V_{ca} = 1.18 \text{ m/s} \quad , \quad V_a = 0.94$ $\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} = 3.46$ <p>برای کوله ها <math>K_I = 1.0</math> از معادلات قسمت دوم جدول ۵-۳: <math>K_I = 1.0</math></p>	آبستگي موضعی
$\frac{L}{d_{50}} > 25$ <p>از معادلات قسمت سوم جدول ۵-۳: <math>K_d = 1.0</math></p>	
<p>برای 1.5:1 دیواره کوله با جریان و گذر: <math>K_s = 0.45</math></p> $K_s^* = K_s + 0.667(1 - K_s) \left[ 0.1 \frac{L}{y} - 1 \right] = 0.61$	
$K_{\theta)RHS} = 1.04 \quad \theta)LHS = 0.98$	
$K_G = \sqrt{1 - \left( \frac{L^*}{L} \right) \left[ 1 - \left( \frac{y^*}{y} \right)^{5/3} \left( \frac{n}{n^*} \right) \right]} = 0.22$	
$d_{s)RHS} = 8.11 \text{ m} \quad , \quad d_{s)LHS} = 7.64 \quad d_s = K_{yL} K_I K_d K_s^* K_{\theta} K_G K_I$	
$y_{s)total} = y_1 + d_{s)contraction} + d_{s)local}$ $= 6 + 1.38 + 7.64 = 15.02 \text{ m (LHS)}$ $= 6 + 1.98 + 8.11 = 16.09 \text{ m (RHS)}$	کل عمق آبستگي

## ۶-۷- مثال ششم: تحلیل آبشستگی تنگ شدگی و موضعی کناره کوله‌ها

مطابق شکل ۶-۶ پلی بر روی آبراهه در محل خم در نظر گرفته شده است. ویژگیهای شاخص این مثال عبارتند از:

- آبراهه خمیده
- سواحل کناره رودخانه در مقابل فرسایش محافظت شده
- آبشستگی تنگ شدگی به علت کاهش عرضی آبراهه در محل پل (از معادله قسمت چهارم جدول ۵-۲ استفاده می‌شود).
- توزیع جانبی فرسایش تنگ شدگی
- شرایط بستر زنده
- آبشستگی موضعی کنار دیواره باله‌ای کوله
- کوله کوتاه (با طول کم)
- مصالح بستر ماسه ریز با دانه‌بندی یکنواخت

مثال ۶-۶. داده‌ها			
3 m	$L$	طول کوله	کوله‌ها
80°	$\theta_{LHS}$	قرارگیری کوله سمت چپ	
100°	$\theta_{RHS}$	قرارگیری کوله سمت راست	
25 m	$W_1$	عرض آبراهه ورودی	آبراهه
19 m	$W_2$	عرض آبراهه در مقطع پل	
0.5 mm	$d_{50}$	اندازه میانه	مصالح بستر
440 m <sup>3</sup> /s	$Q$	دبی کل جریان	جریان
6 m	$y_1$	متوسط عمق جریان در آبراهه اصلی	



شکل ۶-۶- نمودار مثال ۶

مثال ۶- محاسبات	مؤلفه آبستگي
<p>از روش سرعت مناسب استفاده می کنیم ( شکل ۵-۱۹ ) :</p> <p>برای <math>d_{50} = 0.5 \text{ mm}</math> ، <math>y = 6 \text{ m}</math> ، <math>V_c = 1.3 \text{ m/s}</math></p> $V_2 = \frac{Q}{W_2 y} = \frac{440}{19 \times 6} = 3.86 \text{ m/s} \gg V_c$ <p>این روش نشان می دهد که عمق آبراهه نیاز به افزایش تا حدود سه چهارم در مقطع پل دارد، که به نظر غیر محتمل می آید.</p> <p>راه حل دیگر استفاده از معادله قسمت دوم جدول ۵-۲ :</p> <p><math>k_1 = 0.69</math> (برای حالت درصد بیشتر بار معدن)</p> $\frac{d_s}{y_1} = \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1} - 1$ <p><math>d_{s) contraction} = 1.25 \text{ m}</math> و <math>(y_{ms})_c = 7.25 \text{ m}</math> و آن فرض شده است که آبستگي تنگ شدگی مطابق شکل ۶-۶ توزیع شده است. برای پلی که نزدیک ابتدای خم قرار دارد.</p> <p><math>d_{s) contraction} = 1.5 \text{ m RHS}</math></p> <p><math>d_{s) contraction} = 1.0 \text{ m LHS}</math></p>	آبستگي تنگ شدگی
<p><math>y \equiv (y_{ms})_c = 7.25 \text{ m}</math></p> <p><math>\frac{L}{y} = 0.42</math></p> <p>از معادلات قسمت اول جدول ۵-۴ : <math>K_{yL} = 6 \text{ m}</math></p>	آبستگي موضعی
<p><math>V = \frac{Q}{W_1 y} = \frac{440}{25 \times 7.25} = 2.43 \text{ m/s}</math></p>	

مثال ۶- محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبستگي
$u^*_c = 0.016 \text{ m/s}$ $V_c = 0.45 \text{ m/s}$ $\frac{V}{V_c} = 5.4$	آبستگي موضعي
برای کوله : $K_t = 1.0$ از معادلات قسمت دوم جدول ۳-۵ : $K_t = 1.0$	
$\frac{L}{d_{50}} > 25$	
از معادلات قسمت سوم جدول ۳-۵ : $K_d = 1.0$ برای کوله های باله ای : $K_s = 0.75$	
$K^*_s = K_s$	
$\frac{L}{y} < 1$ $K_{\theta)LHS} = K_{\theta)RHS} = 1.0$	کل عمق آبستگي
$K_G = 1.0$	
$d_s = 4.5 \text{ m} \Rightarrow K_G K_t \quad K_{\theta} d_s = K_{yL} K_I K_D K_s$	
$y_{s)total} = y_1 + d_{s)contraction} + d_{s)local}$ $= 6 + 1.5 + 4.5 \text{ m} = 12.0 \text{ m} \text{ (RHS)}$ $= 6 + 1.0 + 4.5 \text{ m} = 11.5 \text{ m} \text{ (LHS)}$	

### ۶-۸- مثال هفتم : تحلیل آبستگي تنگ شدگي و موضعي

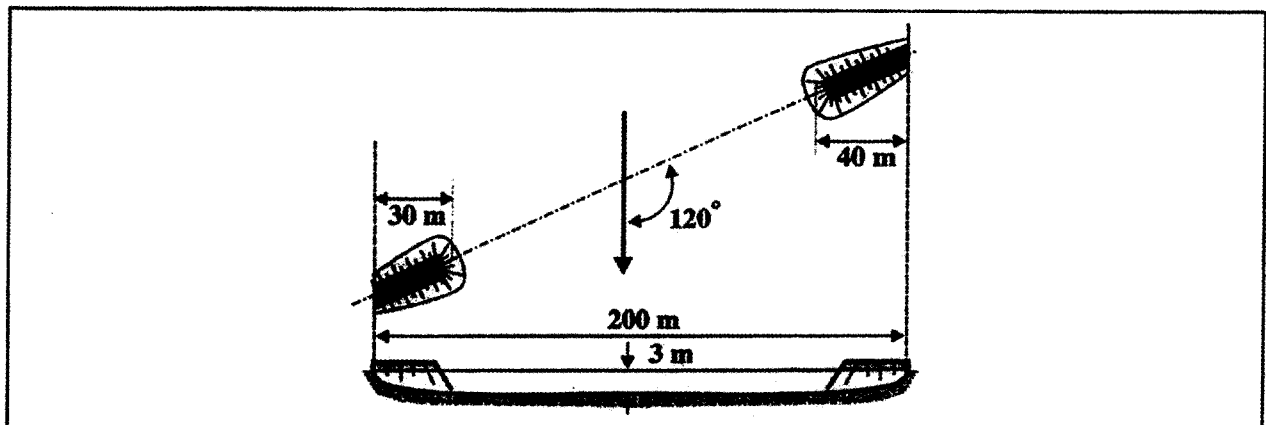
یک پل عرض آبراهه رودخانه فصلی سیلابی را می‌پوشاند و در شکل (۶-۷) نشان داده شده است. ویژگیهای شاخص این مثال

عبارتند از:

- رودخانه فصلی (سیلابی)
- آبستگي تنگ شدگي در مقطع پل بدلیل کاهش عرض آبراهه (از معادله قسمت چهارم جدول ۳-۵ استفاده می‌شود).
- شرایط لایه محافظ بستر
- آبستگي موضعي و پایه‌های دایره‌ای
- آبستگي موضعي دیواره کوله‌ها با جریان روگذر
- کوله با طول متوسط
- نوع خاک بستر شن / قلوه سنگ دانه بندی شده



مثال ۷- داده‌ها			
40 m	$L_{LHS}$	طول کوله چپ	کوله‌ها
30 m	$L_{RHS}$	طول کوله راست	
1.5:1 (H:V)		شیب دیواره کوله	
60°	$\theta_{LHS}$	زاویه قرارگیری کوله چپ با جریان	
120°	$\theta_{RHS}$	زاویه قرارگیری کوله راست با جریان	
2 m	b	عرض پایه	پایه‌ها
200 m	$W_1$	عرض آبراهه ورودی	آبراهه
130 m	$W_2$	عرض آبراهه در مقطع پل	
20 m	$d_{50}$	اندازه متوسط	خاک متوسط
100 m	$d_{max}$	حداکثر اندازه	
1250 m <sup>3</sup> /s	Q	دبی کلی جریان	جریان
3 m	$y_1$	میانگین عمق جریان در آبراهه ورودی	
12 hours	t	زمان سیلاب حداکثر	



شکل ۷-۶- نمودار مثال ۷

مثال ۷- محاسبات	مؤلفه آبستگي
<p>از روش سرعت مناسب برای آبراهه که در شکل (۵-۱۹) دیده می شود استفاده می کنیم. داریم:</p> $V_c = 2.5 \text{ m/s} \quad \text{و} \quad y = 3 \text{ m} \quad \text{و} \quad d_{80} \approx 80 \text{ mm}$ <p>برای</p> $V = \frac{Q}{W_1 y_1} = \frac{1250}{200 \times 3} = 2.08 \text{ m/s} < V_c$ <p>بنابراین آبستگي تنگ شدگی در شرایط آب تمیز بوجود می آید. با فرض اینکه آبستگي تنگ شدگی در مدت وجود شرایط آستانه ای (بحرانی) اتفاق می افتد، در مقطع پل داریم:</p> $(y_{ms})_c \frac{Q}{130 V_c} = 3.85 \text{ m}$ <p>بنابراین <math>d_{s) contraction} = (y_{ms})_c - y_1 = 0.85 \text{ m}</math> و فرض شده است که این عمل آبستگي در عرض آبراهه بصورت یکنواخت توزیع شده است</p>	آبستگي تنگ شدگی
$y \equiv (y_{ms})_c = 3.85 \text{ m}$	
<p>برای کوله ها:</p> $\frac{L_{RHS}}{y} = 7.79 \quad K_{yL} = 21.5 \text{ m} \quad \frac{L_{LHS}}{y} = 10.39 \quad K_{y(L)LHS} = 24.8 \text{ m}$ <p>برای پایه ها:</p> $\frac{b}{y} = 0.52 \quad K_{yb} = 2.4b = 4.8 \text{ m}$	
$V = \frac{Q}{W_1 y} = \frac{1250}{200 \times 3.85} = 1.62 \text{ m/s}$	
<p>از شکل (۵-۹):</p> $d_{50a} = \frac{d_{max}}{1.8} = 56 \text{ mm}$ $u_{*c} = 0.136 \text{ m/s} \quad , \quad u_{*ca} = 0.228 \text{ m/s}$ $V_c = 2.37 \text{ m/s} \quad , \quad V_{ca} = 3.38 \text{ m/s} \quad , \quad V_a = 2.71 \text{ m/s}$ $\frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} = 0.54$ <p>از معادلات قسمت دوم جدول ۵-۳: <math>K_I = 0.54</math></p>	آبستگي موضعی در پایه ها و کوله ها
<p>از معادلات قسمت سوم جدول ۵-۳: <math>K_d = 1.0</math></p> $\frac{b}{d_{50a}} \quad , \quad \frac{L}{d_{50a}} > 25$	
<p>برای کوله ها: <math>K_s = 0.45</math></p> <p>برای شیب 1:1.5 دیواره کوله ها با جریان روگذر:</p> $K_{*s)RHS} = K_s = 0.45 \quad , \quad K_{*s)LHS} = 0.46$ <p>برای پایه های دایره ای: <math>K_s = 1.0</math></p>	

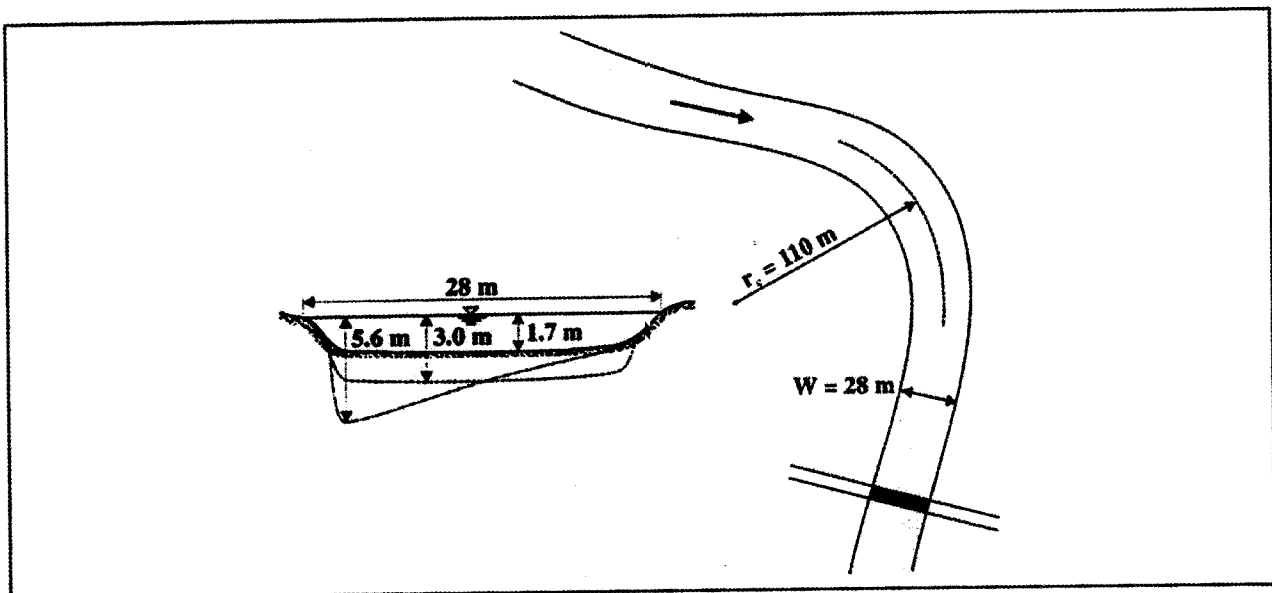
مثال ۷ - محاسبات (ادامه)		مؤلفه آبستگي
$\frac{L}{y} > 3 \quad K_{\theta)LHS}^* = K_{\theta)LHS} = 0.98 \quad K_{\theta)RHS}^* = K_{\theta)RHS} = 1.05$		آبستگي موضعي در پایه ها و کوله ها (ادامه)
برای پایه‌های دایره‌ای: $K_{\theta} = 1.0$ برای کوله‌ها: $K_G = 1.0$		
برای کوله‌ها $K_I$ بطور محتاطانه برابر ۱,۰ است (جدول ۵-۴). برای پایه‌ها: $\frac{y}{b} = 1.93$		
$t_e (days) = 30.89 \frac{b}{V} \left( \frac{V_c}{V} - 0.4 \right) \left( \frac{y}{b} \right)^{0.25} = 51.35 \text{ days}$ از معادلات قسمت سوم جدول ۵-۳ (ادامه): $K_I = 0.50$		
$d_s = K_{yL} K_I K_d K_s K_{\theta} K_G K_t$ برای کوله‌ها $d_{s)RHS} = 5.22 \text{ m} \quad , \quad d_{s)LHS} = 6.16 \text{ m}$		
$d_s = K_{yb} K_I K_d K_s K_{\theta} K_t = 2.4 \text{ m}$ برای پایه‌ها		
$y_{s)total} = (y_{ms}) + d_{s)local}$ $= 3.85 + 5.22 \text{ m} = 9.07 \text{ m}$ (کوله راست)		کل عمق آبستگي
$= 3.85 + 6.16 \text{ m} = 10.01 \text{ m}$ (کوله چپ)		
$= 3.85 + 2.40 \text{ m} = 6.25 \text{ m}$ (پایه‌ها)		

۹-۶- مثال هشتم: تحلیل آبستگي پل در خم رودخانه (مطالعه موردی بالادست خم رودخانه در پل کامرون کریک)

خم قابل توجهی در بالا دست یک پل مطابق شکل ۶-۸ قرار دارد. تحلیل آبستگي عمومی به منظور یافتن مقدار عمیق شدن و حرکت مصالح بستر آبراهه در محل خم انجام می‌شود.

مثال ۸ - داده‌ها			
110 m	$r_c$	شعاع خمیدگی خط مرکزی آبراهه	آبراهه
0.003	$s_o$	شیب آبراهه	
28 m	$W$	عرض آبراهه	

مثال ۸- داده‌ها (ادامه)		
$300 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q$	دبی جریان
$1.7 \text{ m}$	$y$	عمق جریان
$2 \text{ m}$	$y_r$	تراز آب بالا آمده از آب کم تا حالت سیلاب
$300 \text{ mm}$	$d_{50}$	اندازه متوسط
$3.3$	$\sigma_g$	انحراف معیار هندسی
$2.65$	$S_s$	وزن مخصوص



شکل ۶-۸- نمودار مثال ۸

مثال ۸- محاسبات	مؤلفه آبشستگی
$f = 1.76 d_m^{0.5} = 30.48$ $y_{ms} = 0.46 \left( \frac{Q}{f} \right)^{1/3} = 1.007 \text{ m}$ (البته این روش برای رسوبهای زیاد محافظه کارانه است و $d > d_{\max}$ از $1.3 \text{ mm}$ برای رابطه $f$ .)	لیسی (۱۹۳۰):  فرسایش عمومی

مثال ۸ - محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبشستگی
$q = Q/W = 10.71 \text{ m}^3/\text{s/m}$ $y_{ms} = 1.23 \left[ \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right] = 3.72 \text{ m}$	بلنج (۱۹۶۹):
$u_{*c} = [\theta_c (S_s - 1) g d_{50}]^{0.5} = 0.521 \text{ m/s}$ $y_{ms} = u_{*c}^2 / (g S_0) = 9.2 \text{ m}$ <p>(فرض شرایط رسوبی بحرانی برای جریان یکنواخت احتمالاً محافظه کارانه است)</p>	سرعت برشی بحرانی (جریان یکنواخت): از نمودار شیلدز (شکل ۵-۱۸): $\theta_c = 0.056$
$300 = Q = A_c V_c = W y_{ms} [u_{*c} 5.75 \log (5.53 y_{ms} / d_{50})]$ $y_{ms} = 2.219 \text{ m}$ <p>(این روش با فرض شرایط رسوبی بحرانی احتمالاً محافظه کارانه است)</p>	سرعت متوسط بحرانی جریان:
$y_{ms} = 0.365 \left( \frac{Q^{0.784}}{W^{0.784} d_{50}^{0.157}} \right) = 2.83 \text{ m}$ $(d_{75} > 6 \text{ mm})$	مازا آلوارز و اچاواریا آفارو (۱۹۷۳): فرسایش عمومی (ادامه)
$K = \sqrt{\frac{W}{4.83 Q^{0.5}}} = 0.58 \leq 1$ $V_1 = C \left( \frac{Q}{A} \right) \left( \frac{y}{A/W} \right)^{2/3} = 6.30 \text{ m/s}$ <p>(در جاییکه <math>C = 1</math>):</p> $y_s = \frac{y_2 V_1 K}{\sqrt{(A/W)}} = 5.60 \text{ m} \text{ یا } y = 1.7 \text{ m}$ $y_s = 5.60 \text{ m}$ <p>(این روش ممکن است محافظه کارانه باشد)</p>	هولمز (۱۹۷۴):
$y_{ms} \approx 3.0 \text{ m}$ <p>(این مقدار بدون توجه به نتایج لیسی (۱۹۳۰) و سرعت برشی بحرانی و هولمز (۱۹۷۴) بدست آمده است که به نظر می رسد با تأثیر خم در تخمین <math>y_s</math> و متوسط گیری در بقیه تخمین ها هماهنگی داشته باشد.)</p>	عمق متوسط آبشسته جریان

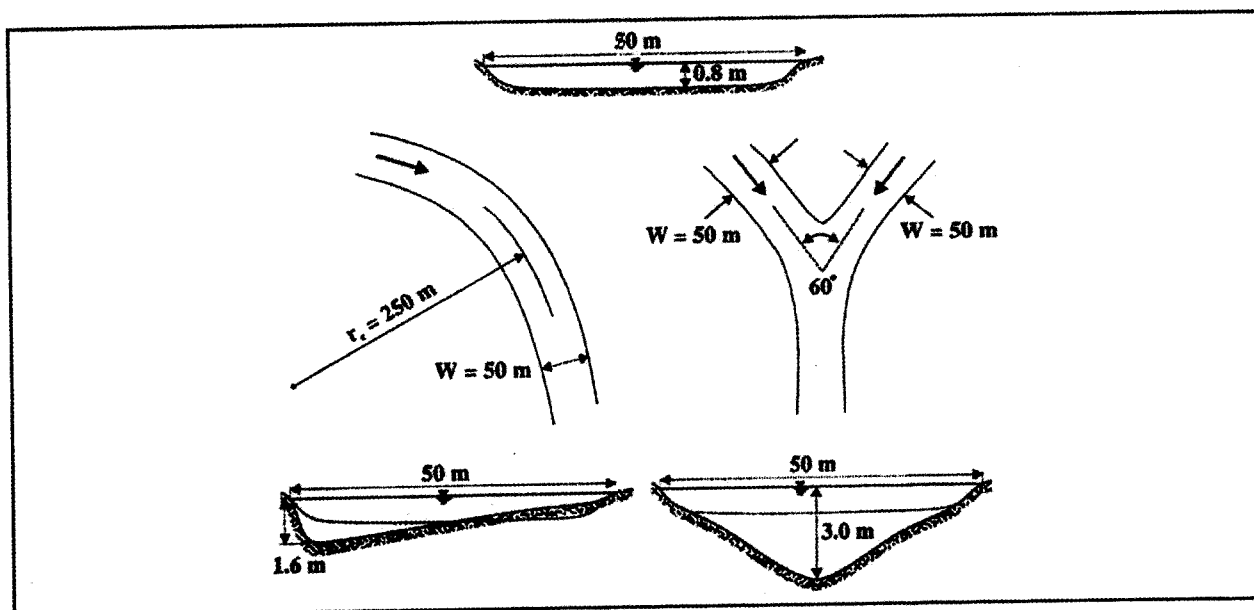
مثال ۸- محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبستگي
$A = Wy_{ms} = 84 \text{ m}^2$ $V = Q/A = 3.6 \text{ m/s}$ $R = Wy_{ms} / [w + 2y_{ms}] = 2.5 \text{ m}$ $V_c = 5.75u_{*c} \log \left[ 5.53 \frac{y_{ms}}{d_{50}} \right] = 5.22 \text{ m/s}$ $V_c = 5.67 y_{ms}^{1/6} d_{50}^{1/3} = 4.56 \text{ m/s}$	اصلاح شرایط جریان
$r_c/W = 3.93$ $W/y_u = w/y_{ms} = 9 \rightarrow 20$ $y_{bs} = 1.19y_u [1.8 - 0.051(r_c/W) + 0.0084(W/y_u)] = 6.31 \text{ m}$ $(1.5 < r_c/w < 10, 20 < W/y_u < 125)$	
$y_{ds} = y_u \{2.07 - 0.19 \ln[(r_c/W) - 2]\} = 5.84 \text{ m}$ $(r_c/W > 2)$	
<p style="text-align: center;">باز توزیع گرافیکی ساده مساحت آبستگي زیر تراز سیلاب</p> $y_{bs} = 2y_{ms} = 6 \text{ m}$	آبستگي خم
<p style="text-align: center;">باز توزیع گرافیکی ساده مساحت آبستگي زیر تراز بستر اولیه</p> $y_{bs} = y + 2(y_{ms} - y) = 4.3 \text{ m}$	
$y_{bs} = 5.6 \text{ m}$ <p style="text-align: center;">حداکثر عمق آبستگي جریان در خم (از چهار روش مشابه میانگین می‌گیریم) برای این مقدار <math>y_{bs}</math> و <math>y_{bs}/R = 2.24</math> که نشان می‌دهد خم در ارتباط با دیواره است (شکل ۵-۳)</p>	
$y_s = y_{bs} = 5.6 \text{ m}$ <p>این مقدار برابر است با <math>y_s = 5.6</math> که از روش هولمز (۱۹۷۴) بدست می‌آید، تخمین بعدی ممکن است با تأثیر خم در برآورد <math>y_s</math> یکی شود.</p>	حداکثر عمق آبستگي عمومی جریان
<p>تحلیل کیفی: اطلاعات کیفی در دسترس نیست. ناپایداری جانبی نسبی: شکل ۵-۶ نشان دهنده پتانسیل زیاد برای ناپایداری عرضی در ارتباط با ناپایداری عرضی آبراهه با <math>S_o = 0.003</math> است. (هر چند نکات راهنمای چنین شکلی هیچگاه بصورت کامل تست نشده و بصورت وسیع استفاده کاربردی هم نداشته است.)</p>	فرسایش جانبی

مثال ۸ - محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبستگي
<p>نرخ حرکت جانبی برای حالت سیلاب :</p> <p>از شکل ۵-۵ : <math>\phi_b = 320</math></p> $\Omega = \tau V W = pgQS = 8829 \text{ W / m}$ $Y_{2.5} h = 25 \text{ m}^2 / \text{year}$ $h \approx y_{bs} + 0.5 \approx 6.1 \text{ m}$ $Y_{2.5} = (Y_{2.5} h) / h = 4.1 \text{ m / year}$ $Y = Y_{2.5} \left[ \frac{2.5}{(r_c / W)} \right] = 2.61 \text{ m / year}$ <p>این تحلیل یک نرخ حرکت جانبی بالقوه به مقدار <math>2.6 \text{ m / year}</math> برای شرایط سیلابی با این دبی را نشان می‌دهد. (متذکر می‌شود این روش بصورت عمومی از نظر معتبر بودن مورد تأیید قرار نگرفته و روش بر اساس تحلیل کاربرد اطلاعات سیلابهای ۵ ساله است.)</p>	فرسایش جانبی (ادامه)
<p>نرخ متوسط فرسایش جانبی :</p> <p>از جدول ۵-۱-ظ :</p> $Y = 0.01 W \approx 0.3 \text{ m / year}$ <p>(روش حاضر با فرض مقطع عریض تخمین کوچکی برای نرخ فرسایش جانبی می‌دهد.)</p>	
<p>مشخصات پیچرود پایدار :</p> $\lambda = 11.0 W^{1.01} = 318 \text{ m}$ $h = 3.0 W^{1.1} = 117 \text{ m}$ $r_c = (\lambda / 4.6)^{1.02} = 75 \text{ m}$ <p>مقدار فعلی <math>r_c</math> برای آبراهه در آینده با توسعه خم می‌تواند کاهش پیدا کند. کاهش <math>r_c</math> باعث افزایش عمق آبستگي خم و نیز افزایش نرخ حرکت جانبی می‌شود.</p>	

### ۱۰-۶- مثال نهم: تحلیل آبشستگی در رودخانه شاخه‌ای، بر اساس اطلاعات رودخانه فصلی وایتاکی (Waitaki).

شاخه‌های مختلف رودخانه فصلی وایتاکی بصورت ایده آل و ساده شده در شکل ۹-۶ دیده می‌شوند. تحلیل فرسایش عمومی به منظور یافتن میزان پائین رفتگی بستر و حرکت هر یک از شاخه‌ها و نیز محاسبه آبشستگی ناشی از تداخل این دو شاخه انجام شده است.

مثال ۹-۶ داده‌ها		
250 m	$r_c$	شعاع خمیدگی خط مرکزی آبراهه
0.003	$S_o$	شیب آبراهه
50 m	$W$	عرض آبراهه
$60^\circ$	$\theta$	زاویه محل تلاقی دو رودخانه
$55 \text{ m}^3 / \text{s}$	$Q$	دبی جریان
27 mm	$d_{50}$	اندازه متوسط
5	$\sigma_g$	انحراف معیار
2.65	$S_s$	وزن مخصوص



شکل ۹-۵- نمودار مثال ۹



مثال ۹ - محاسبات	مؤلفه آبشستگی
$f = 1.76d_m^{0.5} = 9.145$ $y_{ms} = 0.47 \left( \frac{Q}{f} \right)^{1/3} = 0.85 \text{ m}$ <p>(این روش برای رسوبهای زیاد خیلی محافظه کارانه است ، و <math>d &gt; d_{max}</math> یعنی <math>1.3 \text{ mm}</math> برای کاربرد در رابطه <math>f</math>)</p>	لیسی (۱۹۳۰):
$q = Q/W = 1.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ $y_{ms} = 1.23 \left[ \frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right] = 0.996 \text{ m}$	بلنج (۱۹۶۹):
<p>سرعت برشی بحرانی (جریان یکنواخت): از نمودار شیلدز (شکل ۵-۱۸):</p> $u_{*c} = [\theta_c (S_s - 1) g d_{50}]^{0.5} = 0.156 \text{ m/s}$ $y_{ms} = u_{*c}^2 / (g S_o) = 0.827 \text{ m}$ <p>(فرض شرایط رسوبی بحرانی برای جریان یکنواخت ممکن است محافظه کارانه باشد)</p>	بیان رسوب برداری عمومی برای محاسبه متوسط عمق شاخه‌ها $y_{ms}$
<p>سرعت متوسط بحرانی جریان:</p> $55 = Q = A_c V_c = W y_{ms} [u_{*c} 5.75 \log(5.53 y_{ms} / d_{50})]$ <p><math>y_{ms} = 0.589 \text{ m}</math> (فرض شرایط رسوبی بحرانی ممکن است محافظه کارانه باشد).</p>	
<p>مازا آلوارز و اچاواریا الفارو (۱۹۷۳):</p> $y_{ms} = 0.365 \left( \frac{Q^{0.784}}{W^{0.784} d_{50}^{0.157}} \right) = 0.693 \text{ m}$ <p><math>(d_{75} &gt; 6 \text{ mm})</math></p>	
<p>هولمز (۱۹۷۴):</p> <p>(چون از تأثیر بالا آمدن سیلاب صرفنظر شده بنابراین این روش استفاده نمی‌شود)</p>	
<p>متوسط عمق آبشستگی جریان که از متوسط گیری عمق جریان شاخه‌ها بدست می‌آید.</p> $y = y_{ms} = 0.79 \approx 0.8 \text{ m}$ <p>(میانگین ۵ روش مورد استفاده که همگی در حدود هم هستند.)</p>	

مثال ۹- محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبشستگی
$A = Wy_{ms} = 40. m^2$ $V = Q/A = 1.375 m/s$ $R = Wy_{ms} / [W + 2y_{ms}] = 0.775 m$ $V_c = 5.75 u_{*c} \log \left[ 5.53 \frac{y_{ms}}{d_{50}} \right] = 1.99 m/s$ $V_c = 5.67 y_{ms}^{1/6} d_{50}^{1/3} = 1.64 m/s$ $\therefore V_c = 1.82 m/s$	اصلاح شرایط جریان
$r_c/W = 5$ $W/y_u = W/y_{ms} = 62.5$ $y_{bs} = 1.19 y_u [1.8 - 0.051(r_c/W) + 0.0084(W/y_u)] = 1.97 m$ $(1.5 < r_c/W < 10, \quad 20 < W/y_u < 125)$	
$y_{bs} = y_u \{2.07 - 0.19 \ln[(r_c/W) - 2]\} = 1.49 m$ $(r_c/W > 2)$	
<p>باز توزیع گرافیکی ساده مساحت آبشستگی زیر تراز سیلاب</p> $y_{bs} = 2y_{ms} = 1.6 m$	آبشستگی خم
<p>باز توزیع گرافیکی ساده مساحت آبشستگی زیر بستر اولیه: (جائیکه <math>y = y_{ms}</math> باشد از این روش برای محاسبه فرسایش استفاده نمی‌شود).</p> <p>حداکثر عمق آبشستگی جریان در خم:</p> <p>تخمینهای مختلف تقریباً با هم توافق دارند. تخمین باز توزیع گرافیکی مورد قبول واقع شده که بطور تقریبی متوسط تخمینها را تعریف می‌کند، مانند: <math>y_{bs} = 1.6 m</math> برای این مقدار <math>y_{bs}</math> و مقدار <math>y_{bs} / R = 2.06</math> نشان دهنده طبیعت راستگرد خم است (شکل ۳-۵).</p>	
$y_s = y_{bs} = 1.6 m$	حداکثر عمق آبشستگی عمومی جریان برای یک خم
<p>برای دو شاخه از رود که با زاویه ۶۰ درجه بهم برخورد می‌کنند:</p> $\bar{y} = (y_{ms} + y_{ms}) / 2 = 0.8 m$ $y_{cs} = \bar{y} (2.24 + 0.031\theta) = 3.28 m$ <p>(این روش برای بستر شنی و زاویه <math>\theta = 30^\circ</math> to <math>90^\circ</math> مناسب است و ممکن است برای هر محلی قابل کاربرد نباشد.)</p>	آبشستگی تداخلی شاخه‌ها

مثال ۹- محاسبات (ادامه)	مؤلفه آبستگي
<p>حداکثر عمق آبستگي جريان در محل تلاقی دو شاخه :</p> $y_{cs} \approx 3m$ <p>آشور و پارکر (۱۹۸۳) نشان داده‌اند که مصالح بستر با دانه‌بندی ضعیف میزان آبستگي تداخلی کمتری از مصالح بستر با دانه بندی خوب با همان مقدار اندازه میانه دانه‌ها دارند.</p>	<p>آبستگي تداخلی شاخه‌ها (ادامه)</p>
$y_s = y_{cs} = 3m$	<p>حداکثر عمق آبستگي عمومی جريان برای یک اتصال</p>
<p>تحليل کیفی : اطلاعات کیفی در دسترس نیست. ناپایداری جانبی نسبی : شکل ۵-۶ نشان دهنده پتانسیل زیاد برای ناپایداری عرضی در ارتباط با ناپایداری عرضی آبراهه با <math>S_o = 0.003</math> است. (هرچند نکات راهنمای چنین شکلی هیچگاه بصورت کامل تست نشده و بصورت وسیع استفاده کاربردی هم نداشته است).</p>	
<p>نرخ حرکت جانبی برای حالت سیلابی :</p> <p>از شکل ۵-۵ : <math>\phi_b = 250</math></p> $\Omega = \tau VW = pgQS = 1619 W / m$ <p>از شکل ۵-۵ :</p> $Y_{2.5} h = 6.6 m^2 / year$ $h \approx y_{bs} + 0.5 \approx 2.1 m$ $Y_{2.5} = (Y_{2.5} h) / h = 3.14 m / year$ $Y = Y_{2.5} \left[ \frac{2.5}{(r_c / W)} \right] = 1.57 m / year \quad (r_c / W \geq 2.5)$ <p>این تحلیل یک نرخ حرکت جانبی بالقوه به مقدار <math>1.5 m/year</math> را برای شرایط سیلابی نشان می‌دهد. (البته این روش بصورت عمومی از نظر معتبر بودن مورد تأیید قرار نگرفته و روش بر اساس تحلیل کاربرد اطلاعات سیلابهای ۵ ساله است.)</p>	<p>فرسایش جانبی</p>
<p>متوسط نرخ فرسایش جانبی (این روش برای تحلیل سیستم آبراهه فصلی بکار نرفته است)</p>	
<p>مشخصات پیچروود پایدار :</p> $\lambda = 11.0W^{1.01} = 572 m$ $h = 3.0W^{1.1} = 222 m$ $r_c = (\lambda / 4.6)^{1.02} = 137 m$ <p>مقدار فعلی <math>r_c</math> برای آبراهه در آینده با توسعه خم می‌تواند کاهش پیدا کند. کاهش <math>r_c</math> باعث افزایش عمق آبستگي خم و همچنین نرخ حرکت جانبی می‌شود.</p>	

## فهرست مراجع

1. Annandale G.W. & Kirsten H.A.D., 1994, "On the erodibility of rock and other earth materials", Proc., A.S.C.E., National Hydraulics Conference, Buffalo, New York, U.S.A., 68-72.
2. Annandale G.W. & Parkhill D.L., 1995, "Stream bank erosion : applicability of the erodibility index method", Proc., First International Conference on Water Resources Engineering, A.S.C.E., San Antonio, Texas, U.S.A., August, 1570-1574.
3. Ashmore P. & Parker G., 1983, "Confluence scour in coarse braided streams", Water Resources Research, 19(2): 392-402.
4. Austroads, 1994, "Waterway design – A guide to the hydraulic design of bridges", culverts and floodway, Austroads, Sydney, Australia, 139pp.
5. Blench T., 1956, "Regime behavior of canals and rivers", Butterworth, London.
6. Blench T., 1969, "Mobile-bed flupiology", University of Alberta Press, Canada, (first edition 1966).
7. Brice J.C., 1982, " Stream channel stability assessment", Report No. FHWA-RD-82-021, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., U.S.A., 45pp.
8. Chabert J. & Engeldinger P., 1956, "Etude des affouillements autour des piles des ponts", Laboratoire National d Hydraulique, Chatou.
9. Cunge J.A., Holly F.M.Jr. & Verway A., 1980 "Practical aspects of computational river hydraulics", Pitman, London.
10. Farraday R.V. & Charlton F.G., 1983, "Hydraulic factors in bridge design", Hydraulics Research Station Limited, Wallingford, Oxfordshire.
11. George A.B., 1982, "Devon floods and the waterways of bridges", Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, 73, Mar., 125-134.
12. Hannah C.R., 1978, "Scour at pile groups", University of Canterbury, N.Z., Civil Engng., Research Rep. No. 78-3 , 92 pp.
13. Hickin E.J. & Nanson G.C., 1984, "Lateral migration rates of river bends", Journal of Hydraulic Engineering, 110(11), 1557-1567.
14. Hjorth P., 1972, "Lokal Erosion och Erosionsverken vid Arloppsledningi Kustnuru Omraden", Inst. Vattenbyggnad, Tekn. Hogskolan; Lund, Bulletin Serie B, Nr. 21.
15. Hjorth P., 1975, "Studies on the nature of local scour", Dept. Water Res. Engng., Lund Inst. Of Technology, Bulletin Series A, No. 46.
16. Hoffman D.C. & Scarlatos P.D., 1995, "Artificial neural network simulation of alluvial river characteristics", Proc., First International Conference on Water Resources Engineering, A.S.C.E., San Antonio, Texas, U.S.A., August, 415-419.

17. Hoffmans G.J.C.M. & Verheij H.J., 1997, "Scour manual", Balkema, Rotterdam.
18. Holms P.S., 1974, "Analysis and prediction of scour at railway bridges in New Zealand", New Zealand Engineering, November, 313-320.
19. Jansen P.Ph.(ed.), 1979 "Principles of River Engineering. The non-tidal alluvial river", Pitman, London.
20. Jogleker D.V., 1971, "Manual on river behavior. Control and training", Central Board of Irrigation and Power, Publ. no. 60, New Delhi.
21. Kellerhals R., 1958, "Stable channels with gravel paved beds", Proc. Instn Civ. Enges, 9, Feb., 145-164; 1958, 11, Oct., 219-251.
22. Lacey G., 1930, "Stable channels in alluvium", Paper 4736, Minutes of the Proc., Institution of Civil Engineers, Vol. 229, William Clowes and Sons Ltd., London, Great Britain, 259-292.
23. Lane E.W., 1957, "A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material", M.R.D. Sediment Series No. 9, U.S. Army Corps of Engineers, Missouri River Division, Omaha, Nebraska, U.S.A., 106pp.
24. Laursen E.M. & Toch A., 1956, "Scour around bridge piers and abutments", Iowa Highway Res. Board, Bulletin No. 4, 60 pp.
25. Laursen E.M., 1960, "Scour at bridge crossings", Journal of the Hydraulics Division, A.S.C.E., 86(2), 39-54.
26. Laursen E.M., 1963, "Analysis of bridge relief scour", Proc. Asce 89(HY3);93-117.
27. Leopold L.B. & Wolman M.G., "River meanders", Geological Society of America Bulletin, Vol. 71.
28. Leopold L.B., Wolman G.M. & Miller J.P., 1964 "Fluvial processin geomorphology", W.H. Freeman and Co., San Francisco.
29. Maza Alvarez J.A. & Echavarria Alfaro F.J., 1973, "Contribution to the study of general scour", Proc., International Symposium on River Mechanics, I.A.H.R., Bangkok, Thailand, 795-803.
30. Melville B. & Raudkivi A.J., 1984, "Local scour at bridge abutments", Nat. Roads Board New Zealand, RRU Seminar on bridge design and research, Auckland.
31. Melville B.W. & Coleman S.E., 2000, "Bridge Scour", Water Resources Publications LLC, Colorado, U.S.A.
32. Melville B.W. & Raudkivi A.J., 1977, "Flow characteristics in local scour at bridge piers", J.Hydr. Res. 15; 373-380.
33. Melville B.W., "Scour at bridge sites", Repport No. 104, University of Auckland, School of Engineering, Auckland, New Zealand.
34. Neill C.R., 1964, "River-bed scour, a review for engineers", Canadian Good Roads Assoc, Techn. Publ. No. 23, Ottawa.

35. Neill C.R., 1967, "Mean velocity criterion for scour of coarse uniform bed material", Proc. 12<sup>th</sup> Congress IAHR, Fort Collins, 3; 46-54.
36. Neill C.R., 1968, "Are-examination of the beginning of movement for coarse granular bed materials", Rep. INT 68, Hydraulic Research Station, Wallingford.
37. Neill C.R., 1973, "Guide to bridge hydraulics", Roads and Transportation Assoc. of Canada, University of Toronto Press, Toronto, Canada, 191pp.
38. Neill C.R., 1987, "Bridge hydraulics- An update report", Roads and Transportation Assoc. of Canada, Ottawa, Canada, 75pp.
39. Osman A.M. & Thorne C.R., 1988, "Riverbank stability analysis. I: Theory", Journal of Hydraulic Engineering, 114(2), 134-150.
40. Raudkivi A.J. & Breusers H.N.C., 1991, "Scouring", Balkema, Rotterdam.
41. Raudkivi A.J. & Ettema R., 1977b, "Effect of sediment gradation on clear-water scour", Proc. ASCE 103 (HY10); 1209-1213.
42. Raudkivi A.J. & Tan S.K., 1984, "Erosion of cohesive soils", J. Hydr. Res. 22; 217-223.
43. Raudkivi A.J. & Ettema R., 1977a, "Effect of sediment gradation on clear-water scour and measurement of scour depth", Proc. 17<sup>th</sup> Congress IAHR, Baden-Baden 4; 521-527.
44. Raudkivi A.J., 1976, "Loose boundary hydraulics", 2<sup>nd</sup> Edition, Pergamon Press, Oxford.
45. Raudkivi A.J., 1990, "Loose boundary hydraulics", 3<sup>rd</sup> edition, Pergamon Press, Oxford.
46. Richardson E.V. & Davis S.R., 1995, "Evaluating scour at bridges", Report No. FHWA- IP-90-017, Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC- 18), Third Edition, Office of Technology Apphington, D.C., U.S.A., November, 204pp.
47. Richardson E.V., Simons D.B. & Julien P.Y., 1990, "Highways in the river environment", Prepared for the Fedra Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C. by the Department of civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, U.S.A.
48. Shen H.W. et al., 1969, "Local scour around bridge piers", Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, J. of Hydraulics Divn, 95, No. HY6.
49. Shen H.W., 1979, "Modelling of rivers", Wiley, New York.
50. Shen H.W., Schumm S.A., Nelson J.D., Doehring D.O. & Skinner M.M., 1981, "Methods for assessment of stream- related hazards to highways and bridges", Report No. FHWA- RD- 80-160, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., U.S.A.
51. Simon A., 1995, "Adjustment and recovery of unstable alluvial channels: identification and approaches for engineering management", Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 20, 611-628.
52. Simons D.B. & Senturk F., 1977, "Sediment transport technology", Water Resources Publications, Ft. Collins, Colorado.

53. Simons D.B., & Richardson E.V., 1966 "Resistance to flow in alluvial channels", Geological Survey professional Paper 422- J, U.S. Department of the Interior, United States Government Printing Office, Washington, D.C., u.s.a.
54. Tey C.B., 1984, "Local scour at bridge abutments", University of Auckland, Dept. of Civil Eng., Rep. No. 329.
55. US Interagency Committee, 1957, "Some Fundamentals of Particle Size Analysis, A study of methods used in measurement and analysis of sediment loads in streams", Subcommittee of Sedimentation, Interagency Committee on Water Resources, Report No. 12, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, Minneapolis, Minnesota.
56. van Rijn L.C., 1984, "Sediment transport", Part III : Bed form and alluvial roughness, Journal of Hydraulic Engineering, 110(12), December, 1733-1754.
57. Wong H.H., 1982, "Scour at bridge abutments", University of Auckland, Dept. of civil Eng., Rep No. 275.
58. Zanke V., 1981, "Seegang erzeugte Kolke am Bauwerken", Sonder forschugs bereich 79, Teilprojekt B9, TU Hannover.





## خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیتهای عمرانی به کار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی دو سال اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها  
و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله



سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
معاونت امور فنی

**فهرست نشریات**

**منتشر شده (۱۳۸۳-۱۳۸۴)**

**دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش**

**خطرپذیری ناشی از زلزله**



## نشریات دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله (بخش تدوین)

ملاحظات	نوع دستورالعمل	تاریخ انتشار چاپ		شماره نشریه	عنوان نشریه
		آخر	اول		
	۱		۱۳۸۱	۲۳۴	آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران
	۲۳۵-۱ نوع ۲ ۲۳۵-۲ نوع ۳		۱۳۸۲ ۱۳۸۱	۲۳۵	ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتنی جلد اول - مشخصات فنی عمومی و اجرایی سازه و معماری سیلو (۲۳۵-۱) جلد دوم - مشخصات فنی عمومی و اجرایی تأسیسات برق سیلو (۲۳۵-۲) جلد سوم - مشخصات فنی عمومی و اجرایی تأسیسات مکانیکی سیلو (۲۳۵-۳)
	۳		۱۳۸۱	۲۴۰	راهنمای برگزاری مسابقات معماری و شهرسازی در ایران
	۳		۱۳۸۱	۲۴۵	ضوابط طراحی سینما
	۱		۱۳۸۱	۲۴۶	ضوابط و مقررات شهرسازی و معماری برای افراد معلول جسمی- حرکتی
	۳		۱۳۸۱	۲۴۷	دستورالعمل حفاظت و ایمنی در کارگاههای سדسازی
	۳		۱۳۸۱	۲۴۸	فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آبشکنها
	۲		۱۳۸۱	۲۴۹	فهرست خدمات مرحله توجیهی مطالعات ایزوتوبی و ردیابی مصنوعی منابع آب زیرزمینی
	۱		۱۳۸۲	۲۵۰	آیین نامه طرح و محاسبه قطعات بتن پیش تنیده
	۳		۱۳۸۱	۲۵۱	فهرست خدمات مطالعات بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود
	۳		۱۳۸۱	۲۵۲	رفتارسنجی فضاهای زیرزمینی در حین اجرا
	۱		۱۳۸۱	۲۵۳	آیین نامه نظارت و کنترل بر عملیات و خدمات نقشه برداری
	۳ ۱ ۳		۱۳۸۱	۲۵۴	دستورالعمل ارزیابی پیامدهای زیست محیطی پروژه های عمرانی: جلد اول - دستورالعمل عمومی ارزیابی پیامدهای زیست محیطی پروژه های عمرانی (۲۵۴-۱) جلد دوم - شرح خدمات بررسی اولیه و مطالعات تفصیلی ارزیابی آثار زیست محیطی طرح عمرانی (۲۵۴-۲) جلد سوم - دستورالعمل های اختصاصی پروژه های آب .... (۲۵۴-۳)
	۳		۱۳۸۱	۲۵۵	دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران
	۳		۱۳۸۱	۲۵۶	استانداردهای نقشه کشی ساختمانی
	۳			۲۵۷	دستورالعمل تهیه طرح مدیریت مناطق تحت حفاظت
	۳		۱۳۸۱	۲۵۸	دستورالعمل بررسیهای اقتصادی منابع آب
	۳		۱۳۸۱	۲۵۹	دستورالعمل آزمون میکروبیولوژی آب
	۳		۱۳۸۱	۲۶۰	راهنمای تعیین عمق فرسایش و روشهای مقابله با آن در محدوده پایه های پل
	۱		۱۳۸۱	۲۶۱	ضوابط و معیارهای فنی روشهای آبیاری تحت فشار مشخصات فنی عمومی آبیاری تحت فشار
	۲		۱۳۸۲	۲۶۲	فهرست جزئیات خدمات مطالعات تأسیسات آبیگری (مرحله های شناسائی ، اول و دوم ایستگاههای پمپاژ )
	۲		۱۳۸۲	۲۶۳	فهرست جزئیات خدمات مهندسی مطالعات تأسیسات آبیگری ( سردخانه سازی)
	۱		۱۳۸۲	۲۶۴	آیین نامه اتصالات سازه های فولادی ایران
	۳		۱۳۸۲	۲۶۵	برپایی آزمایشگاه آب
	۳		۱۳۸۲	۲۶۶	۱- دستورالعمل تعیین اسید یته و قلیائیت آب ۲- دستورالعمل تعیین نیتروژن آب

## نشریات دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله (بخش تدوین)

ملاحظات	نوع دستورالعمل	تاریخ انتشار چاپ		شماره نشریه	عنوان نشریه
		آخر	اول		
				۲۶۷	این نامه ایمنی راه‌های کشور ایمنی راه و حریم (جلد اول) ایمنی ابنیه فنی (جلد دوم) ایمنی علائم (جلد سوم) تجهیزات ایمنی راه (جلد چهارم) تأسیسات ایمنی راه (جلد پنجم) ایمنی بهره‌برداری (جلد ششم) ایمنی در عملیات اجرایی (جلد هفتم)
	۳		۱۳۸۲	۲۶۸	دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها
	۳		۱۳۸۲	۲۶۹	راهنمای آزمایش‌های دانه‌بندی رسوب
تجدیدنظر دوم	۱		۱۳۸۳	۵۵	مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی
	۳		۱۳۸۳	۲۷۰	معیارهای برنامه‌ریزی و طراحی کتابخانه‌های عمومی کشور
	۳		۱۳۸۲	۲۷۱	شرایط طراحی (DESIGN CONDITIONS) برای محاسبات تأسیسات گرمایی، تهویه هوا و تهویه مطبوع مخصوص تعدادی از شهرهای کشور
	۳		۱۳۸۳	۲۷۲	راهنمای مطالعات بهره‌برداری از مخازن سدها
	۳		۱۳۸۳	۲۷۳	راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی
	۳		۱۳۸۳	۲۷۴	دستورالعمل نمونه‌برداری آب
	۱		۱۳۸۳	۲۷۵	ضوابط بهداشتی و ایمنی پرسنل تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
				۲۷۶	شرح خدمات مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه یا مسیل
	۳		۱۳۸۳	۲۷۷	راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل آن
	۳		۱۳۸۳	۲۷۸	راهنمای انتخاب ظرفیت واحدهای مختلف تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری
	۱		۱۳۸۳	۲۷۹	مشخصات فنی عمومی زیرسازی راه‌آهن
	۱		۱۳۸۳	۲۸۰	مشخصات فنی عمومی راهداری
	۳		۱۳۸۳	۲۸۱	ضوابط عمومی طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی
	۳		۱۳۸۳	۲۸۲	ضوابط هیدرولیکی طراحی ساختمان‌های تنظیم سطح آب و آبگیرها در کانال‌های روباز
				۲۸۳	فهرست خدمات مهندسی مرحله ساخت طرح‌های آبیاری و زهکشی
	۳		۱۳۸۳	۲۸۴	راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری بخش دوم - تصفیه ثانویه
	۳		۱۳۸۳	۲۸۵	راهنمای تعیین و انتخاب وسایل و لوازم آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
	۳		۱۳۸۳	۲۸۶	ضوابط طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار
	۳		۱۳۸۳	۲۸۷	جلد یکم: راهنمای برنامه‌ریزی و طراحی معماری
					جلد دوم: راهنمای طراحی تأسیسات مکانیکی
					جلد سوم: راهنمای طراحی تأسیسات برقی
					جلد چهارم: راهنمای گروه‌بندی و مشخصات فنی تجهیزات
					جلد یکم: راهنمای برنامه‌ریزی و طراحی معماری
					جلد دوم: راهنمای طراحی تأسیسات مکانیکی
					جلد سوم: راهنمای طراحی تأسیسات برقی
					جلد چهارم: راهنمای گروه‌بندی و مشخصات فنی تجهیزات بیمارستانی
				طراحی بناهای درمانی (۱) بخش بستری داخلی - جراحی ۲۸۷-۱	
				طراحی بناهای درمانی (۲) بخش مراقبت‌های ویژه I.C.U ۲۸۷-۲	
	۱		۱۳۸۳	۲۸۸	این نامه طرح هندسی راه‌آهن
				۲۸۹	راهنمای روش محاسبه تعدیل آحاد بهای پیمان‌ها

## نشریات دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله (بخش تدوین)

ملاحظات	نوع دستورالعمل	تاریخ انتشار چاپ		شماره نشریه	عنوان نشریه
		آخر	اول		
				۲۹۰	دستورالعمل تهیه، ارائه و بررسی پیشنهادهای تغییر، با نگاه مهندسی ارزش دستورالعمل تهیه و ارسال گزارش سالانه پیشنهادهای تغییر، با نگاه مهندسی ارزش
				۲۹۱	جزئیات تیپ کارهای آب و فاضلاب
				۲۹۲	مجموعه نقشه‌های همسان پل‌های راه دهانه ۲ تا ۱۰ متر
				۲۹۳	مجموعه نقشه‌های همسان پل‌های راه‌آهن دهانه ۲ تا ۱۰ متر
				۲۹۴	مجموعه نقشه‌های همسان پل‌های راه دهانه ۱۰ تا ۲۵ متر
				۲۹۵	مجموعه نقشه‌های همسان پل‌های راه‌آهن دهانه ۱۰ تا ۲۵ متر
				۲۹۶	راهنمای بهسازی رویه‌های شنی و آسفالتی
				۲۹۷	فرهنگ واژگان نظام فنی و اجرایی کشور
				۲۹۸	مجموعه مقالات کارگاه مشترک ایران و ژاپن (۵-۷ مهرماه ۱۳۸۳)
				۲۹۹	دستورالعمل طراحی و حفاظت پل در مقابل آتشستگی
				۳۰۰	آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران
				۳۰۱	مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن
				۳۰۲	دستورالعمل مطالعات هیدرولیکی و آتشستگی پل
				۳۰۳	مشخصات فنی عمومی کارهای مربوط به لوله‌های آب و فاضلاب شهری
				۳۰۴	راهنمای طراحی نمای ساختمان‌های عمومی
				۳۰۵	شرح خدمات مطالعات برنامه‌ریزی و تهیه طرح‌های تفصیلی - اجرایی جنگلداری جنگل‌های شمال کشور
				۳۰۶	آماده‌سازی و تمیزکاری سطوح فلزی جهت اجرای پوشش
				۳۰۷	راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه
				۳۰۸	راهنمای طراحی دیوارهای حائل
				۳۰۹	راهنمای طراحی سازه‌های تونل‌های آب‌بر
				۳۱۰	دستورالعمل و ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور
				۳۱۱	راهنمای حفاظت کاتدی خطوط لوله و سازه‌های فولادی
				۳۱۲	ضوابط عمومی طراحی سازه‌های آبی بتنی
				۳۱۳	فهرست خدمات مهندسی مطالعات بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری
				۳۱۴	ارزیابی ظرفیت وام‌گیری کشاورزان در طرح‌های آبیاری و زهکشی
				۳۱۵	راهنمای نگهداری سامانه‌های زهکشی
				۳۱۶	راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه
				۳۱۷	ضوابط طراحی هیدرولیکی ایستگاه‌های پمپاژ شبکه‌های آبیاری و زهکشی»
				۳۱۸	دستورالعمل کنترل کیفیت در تصفیه‌خانه‌های آب
				۳۱۹	ضوابط طراحی تعیین فاصله و زهکش‌های زیرزمینی
				۳۲۰	فهرست خدمات ارزیابی عملکرد سامانه‌های زهکشی زیرزمینی
				۳۲۱	ضوابط طراحی هیدرولیکی سیفون‌ها و آبگذر زیر جاده
				۳۲۲	دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک

**Islamic Republic of Iran**

**Instruction Manual for Studies of Bridge  
Hydraulics and Scoring**

**No : 302**

Management and Planning Organization  
Office of Deputy for Technical Affairs  
Technical , Criteria Codification and  
Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau

Ministry of Road and Transportation  
Deputy of Education Research  
and Technology  
Transportation Research Institute

2005/1384