

کاربرد سازه های توریسنگی در مهندسی رودخانه

حسین میسمی، مدیر تحقیقات آب و فاضلاب روستایی اصفهان
ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه، مهندسین مشاور iman.elyasian@gmail.com

فصل اول: آشنایی با سازه های توریسنگی (Gabion Structures)

۱- سازه های توریسنگی (گابیونی):

سازه هایی هستند که از دو عنصر سنگ و توری های فلزی تشکیل یافته اند. این سیستم های سازه ای برای پایدار سازی سنگ و خاک استفاده می شوند.

از محاسن گابیون ها می توان به تکنولوژی ساده گابیون، دوام، ایمنی زیاد و سازگاری با طبیعت اشاره کرد. فراوانی مصالح سنگی در ایران، فناوری ساده و اقلیم ایران، رونق این سیستم را باعث شده است. گابیون در ایران برای جلوگیری از فرسایش خاک و نابودی زمینهای زراعتی و انتقال و انباشت رسوب در پشت سدها و سازه های حفاظتی بکار رفته است.

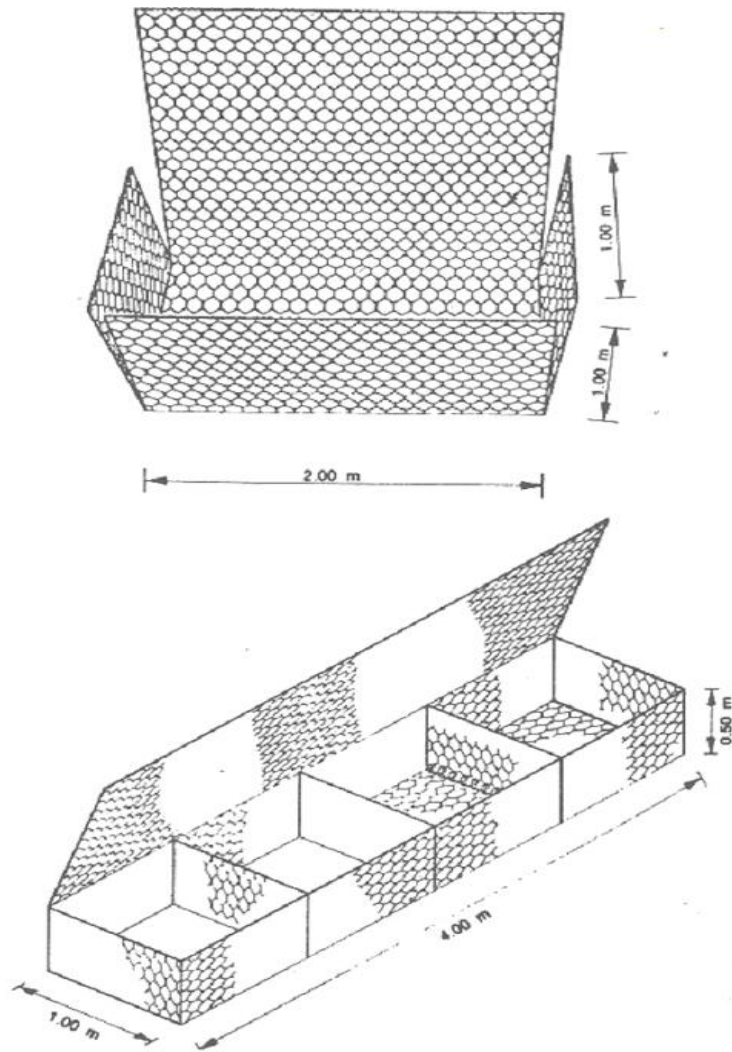
۱-۱- تعریف توریسنگ:

توریسنگ یا بطور معمول توریسنگ قوطی شکل بنا به تعریف سبیدی مکعب مستطیلی است که از شبکه توری (Mesh) شش وجهی، بافته شده با سیم گالوانیزه، تشکیل یافته است.

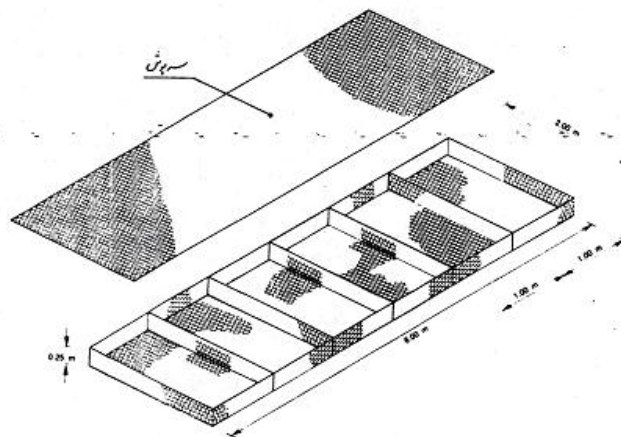
۱-۲- انواع توری سنگ:

۱- توریسنگ جعبه ای: یا توریسنگ قوطی شکل همانطور که گفته شد ساده ترین و معمولترین نوع گابیون است.

۲- توریسنگ تشکی (Reno Mattress): توریسنگ تشکی گونه ای خاص از توریسنگ است که عمق آن نسبت به طول و عرضش کوچک می باشد. این نوع توری سنگ از چند خانه یا کندو که توسط دیافراگم های عرضی از یکدیگر جدا شده اند، تشکیل یافته و معمولاً از شبکه های سیمی شش ضلعی ساخته می شود.



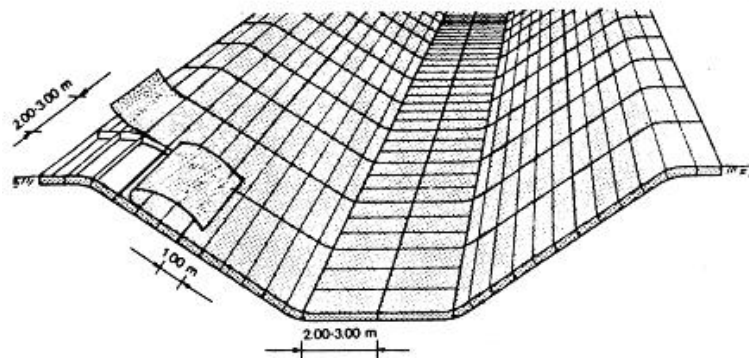
شکل (۱-۱): قفسه توریسنگ جعبه ای با دیافراگم وبدون دیافراگم



شکل (۱-۲): قفسه توریسنگ تشکی

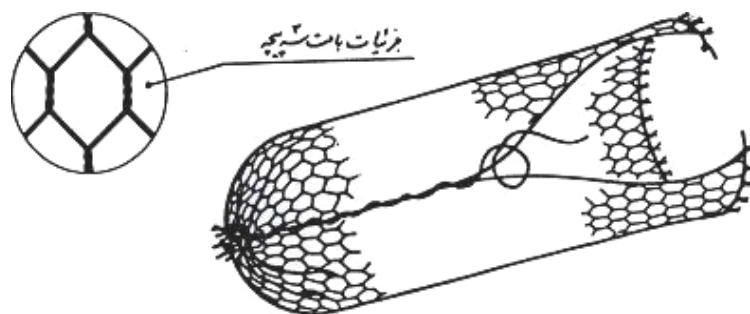


شکل (۱-۳): قفسه گذاری آبراهه ها



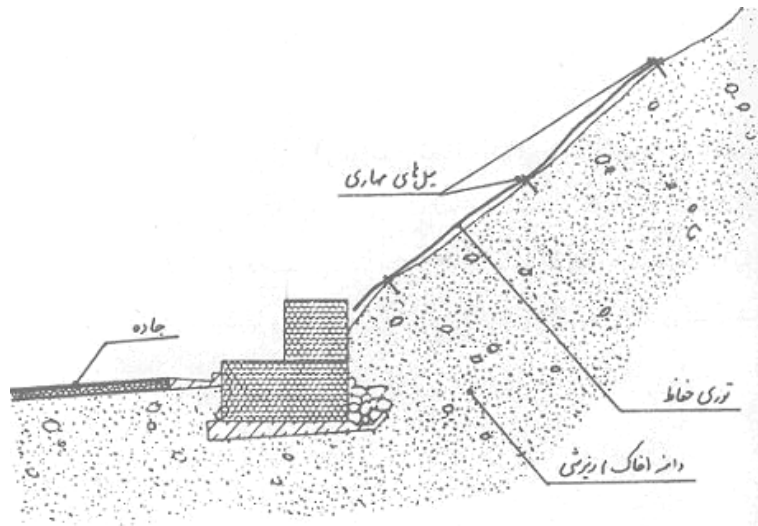
شکل (۱-۴): پوشش توربیسنگ تشکی آبراهه ها

۳- توری سنگ کیسه ای (Sack Gabion): این گونه توربیسنگ ها بصورت استوانه ای سر باز و به شکل کیسه می باشد و درون آن سنگ می ریزند.



شکل (۱-۵): قفسه توری سنگ کیسه ای

۴- توری حفاظ ریزش سنگ (Rock fall Protection Netting): در برخی موارد برای جلوگیری از ریزش سنگ از کوه ها و دامنه ها بر روی جاده ها و خطوط راه آهن، یک شبکه توری بعنوان حفاظ بر روی دامنه جای داده می شود و با میخ هایی به آن اتصال می یابد. این سیستم به رویش گیاهان بر روی سطح موردنظر کمک میکند .



شکل (۶-۱): توری حفاظ دامنه ها



شکل (۷-۱): توری حفاظ دامنه ها

۳-۱- ویژگی های عمومی سازه های توریسنگی:

همانطور که گفته شد هر سازه توریسنگی از دو نوع مصالح اصلی یکی تورهای بافته شده با چشمه های شش ضلعی و دیگری مصالح سنگی درشت دانه تشکیل می شود. تشکل مواد سنگی در درون سبد های فلزی سیستمی را پدید می آورد که دارای ویژگی های تازه ای است. این ویژگی ها عبارتند از:

۱- انعطاف پذیری (Flexibility):

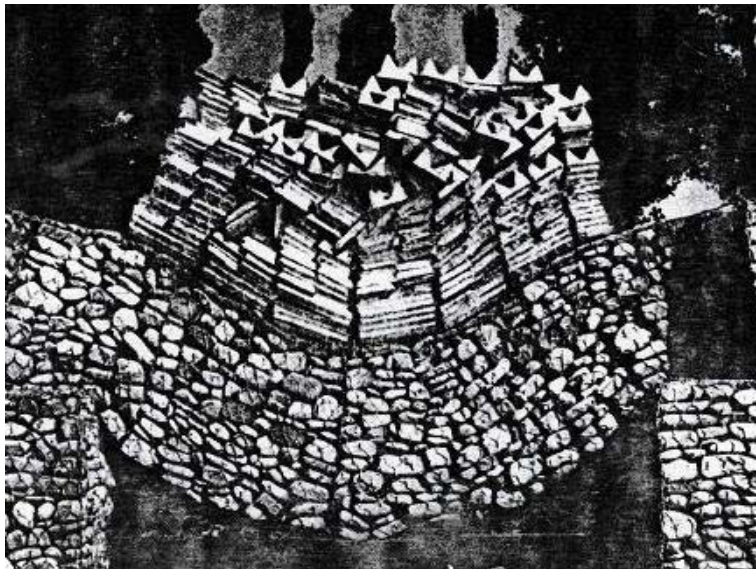
یکی از مهمترین مزایای سازه توریسنگی این است که می تواند نشست های نسبی و نامتقارن را بدون شکستگی و گسیختگی تحمل کند. این ویژگی هنگامی که سازه توری سنگ بر روی زمین سست و ناپایدار قرار گرفته و نیز در جاهایی که حرکت امواج موجب آبشستگی بخش زیرین سازه می شود اهمیت خویش را نمایان می سازد.

۲- تاب مکانیکی (Strength):

یک سیستم توری سنگی با آن که از توده مصالح سنگی، یعنی اجسامی ترد تشکیل می یابد، لیکن بدلیل محصور بودن آن در درون یک سبد سیمی و نیز انعطاف پذیری شبکه فلزی، نهایتاً سازه ای است با تاب بالا و می تواند نیروی قابل ملاحظه ای را بدون زوال کلی تحمل کند.



شکل (۸-۱): انعطاف پذیری توریسنگ در مقابل نشست های قائم



شکل (۹-۱): تاب مکانیکی توریسنگ تحت اثر بارها قابل ملاحظه

۳- نفوذ پذیری (Premeability):

به علت قابلیت تراوایی و نفوذ پذیری بالایی که سیستم توری سنگ داراست، آب از آن عبور کرده و بنا بر این، فشار هیدرواستاتیکی در پشت سازه توری سنگی بگونه چشم گیری کاهش خواهد یافت. بنا بر این توری سنگ برای پایدار سازی شیبهها مناسب است.

۴- دوام (Durability):

یک سیستم توریسنگی جسمی وزین، یکپارچه و پر تاب است که می تواند فشار خاک و نیروی آب را به خوبی تحمل کند. کارایی این سیستم با گذشت زمان بیشتر می شود. زیرا با جمع شدن و فشرده شدن لای و خاک در حفره هایش، سیستم توریسنگی، مستحکم تر خواهد شد. ایجاد پوشش گیاهی در سطح توری سنگ خود نیز به استحکام سازه خواهد افزود.

۵- اقتصاد (Economy):

به دلایل زیر سازه توری سنگی اقتصادی است:

الف) نیاز به نگهداری و تعمیر چندان ندارد.

ب) ساختمان توریسنگی ساده و اجرای آن آسان است.

ج) مصالح اصلی توری سنگ در همه جا یافت می شود.

د) برای ایجاد سازه توری سنگی نیاز به فونداسیون خاص نیست.

ه) بدلیل نفوذ پذیری سازه های توریسنگی نیاز به تعبیه زهکش در آنها نیست.

و) حمل و نقل توری های تا شده به پای کار و بر پا کردن آنها آسان است.

۶- هماهنگی با محیط (Ecology):

از لحاظ محیط زیستی گابیون ها سازگاری خوبی با طبیعت دارند و بر روی تاسیسات توریسنگی پس از مدتی

پوشش گیاهی رشد خواهد کرد و منظره زیبایی ایجاد می شود.

۷- ایمنی (Reliability):

بدلیل آن که شبکه توری سنگها از سیم هایی با بافت های چند پیچه تشکیل می یابد، این شبکه به آسانی از

هم باز نشده و گسیخته نخواهد شد. بنا بر این سازه توری سنگی از ایمنی بالایی برخوردار است.

۲- دامنه کاربرد سازه های توریسنگی :

موارد اصلی کاربرد توریسنگ عبارتند از:

۱-۲- پوشش توری سنگی :

لایه توری سنگی جهت حفاظت دیواره های ساحلی رود خانه ها، دریاچه ها، دریاها و خاکریزها بکار می رود .

۲-۲- بندهای رسوبگیر :

بندهای رسوبگیر توریسنگی سازه هایی هستند که در آبراهه ها به منظور حفاظت سازه های دیگر، مانند پلها، در مقابل آبشستگی ایجاد می شود و همچنین به شکل مخزن برای جمع آوری رسوب ایجاد می شوند .

۲-۳- با له های توریسنگی رودخانه ای (اپی ها):

این باله ها سبب کنترل مسیر جریان و هدایت آن در راستای مورد نظر می شوند. این سازه ها جریان آب را از نواحی بحرانی منحرف ساخته و از آبشستگی ساحل رود خانه می کاهند. در مواردی نیز سبب ایجاد رسوب می شوند .



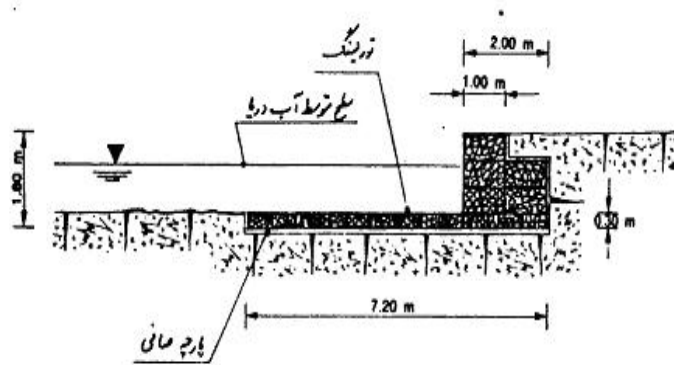
شکل (۱۰-۱): رودخانه ای قبل و بعد از اجرای اپی

۲-۴- پوشش آبراهه ها ، زهکش ها و چشمه ها :

کاربرد دیگر توریسنگ در پوشش آبراهه ها است. به این منظور جداره و کف آبراهه با یک لایه توریسنگ که کاملاً با مسیر آبراهه هماهنگی و اخت دارد، پوشش دهی می شود .

۲-۵- دیواره های ساحلی و اسکله ها :

توریسنگ ها در دیواره های ساحلی بمنظور حفاظت ساحل از فرسایش و دیگر آسیبهای ناشی از عملکرد موج کاربرد دارند. نیز به منظور جلوگیری از ورود رسوبات دریا به درون مصب رودخانه های قابل کشتیرانی و پایدار سازی جداره های مصب ، از سازه هایی بنام اسکلك استفاده می کنند .

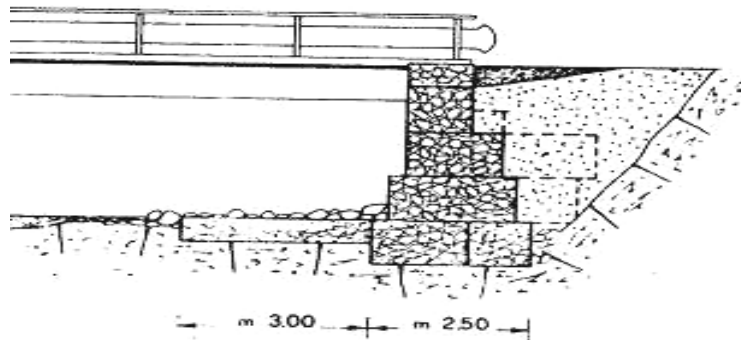


شکل (۱۱-۱): حفاظت سواحل با توریسنگ

۲-۶- دیواره های حایل توریسنگی :

برای جلوگیری از لغزش شیروانی ها می توان از دیوارهای حایل توریسنگی استفاده کرد .

۲-۷- حفاظت پلها :



شکل (۱۲-۱): توریسنگ بعنوان پایه پل و حفاظت کوله ها

می توان با سیستم های توریسنگی کف رود خانه در محل پایه های پل و کوله ها را پوشاند و بدین وسیله پل را از خطر تخریب ناشی از آبشستگی نجات داد . همچنین در پلهای سبک می توان سازه توریسنگی را بعنوان پایه بار بر و سیستم محافظ بکار برد .

۲-۸- سرریز های توریسنگی :

واحد های گابیونی از جمله مصالحی هستند که می توانند در ساخت سازه های سرریز بکار بیایند.

۹-۲- اسکله های کوچک :

ایجاد اسکله برای قایق ها و کشتی های کوچک ، از دیگر کاربرد های سازه های توریسنگی است.

۱۰-۲- جلوگیری از ریزش سنگ :

همانطور که گفته شد ، در دامنه های محل رفت و آمد که خطر ریزش سنگ وجود دارد ، می توان سطح دامنه را با استفاده از توری های مهار شده به دامنه پوشاند .

فصل دوم: کاربرد سازه های توریسنگی در مهندسی رودخانه

همانطور که گفته شد، سازه های توریسنگی، کاربردهای فراوانی در مهندسی عمران دارند، اما کاربردهای این سازه ها بطور خاص در مهندسی رودخانه را می توان بصورت زیر دسته بندی کرد:

۱- حفاظت مستقیم کرانه های رودخانه

۲- حفاظت مستقیم کف رودخانه ها و پایه پل ها

۳- حفاظت غیرمستقیم کرانه های رودخانه

۴- سرریزهای توریسنگی

۱- حفاظت مستقیم کرانه های رودخانه :

مهمترین نقش سازه های توریسنگی در مهندسی رودخانه، حفاظت کرانه های رودخانه در مقابل فرسایش و تثبیت کرانه ها می باشد.

در یک نگاه کلی سیستم های حفاظت کرانه ها را بر حسب نوع توریسنگ می توان بصورت زیر تقسیم کرد:

۱- دیوارهای حفاظتی توریسنگی جعبه ای

۲- توریسنگ های تشکی

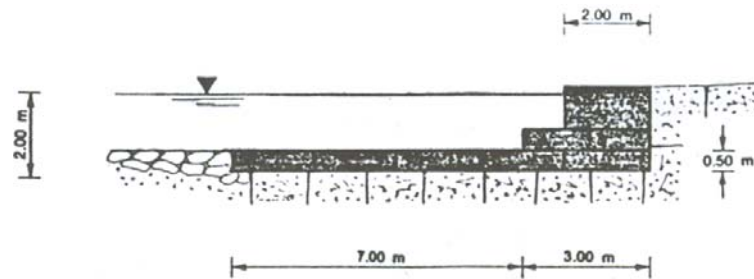
۳- پیش بندها و کف بندها

۴- سیستم های مرکب

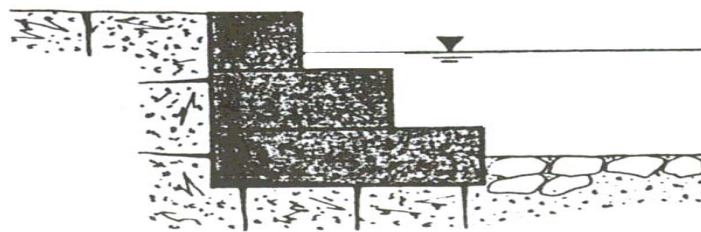
۱-۱- دیوارهای حفاظتی توریسنگی جعبه ای :

اینگونه سازه ها برای حفاظت کرانه های قائم و جلوگیری از فرسایش آنها بکار می رود. این دیوارها معمولاً بصورت پلکانی با پیش بند یا بدون پیش بند اجرا می شوند. اما در هر دو صورت معمولاً دارای دنباله سنگفرش نیز هستند.

پیش‌بند و سنگفرش، برای تقویت پنجه دیواره یا پیش‌بند و جلوگیری از فرسایش ناحیه زیر آنها اجرا می‌گردد. اشکال (۲-۱) و (۲-۲).



شکل (۲-۱): دیوار توریسنگی جعبه ای با پیش بند ودنباله



شکل (۲-۲): دیوار توریسنگی جعبه ای با دنباله

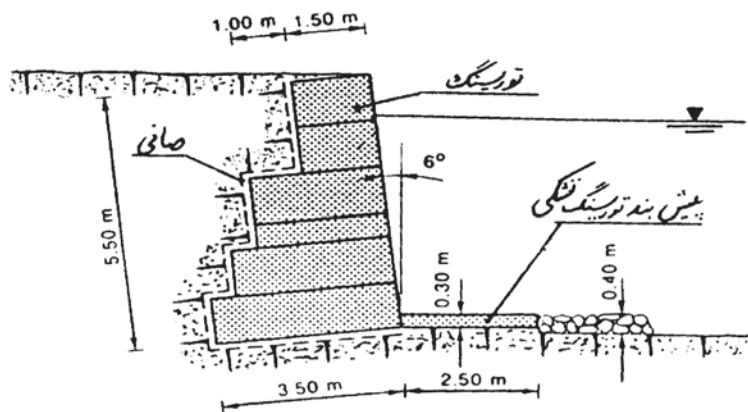
در هر صورت پیشنهاد می‌شود که همواره با هر دیوار حفاظتی کرانه، پیش‌بند نیز اجرا گردد تا خرابی مطابق آنچه در تصویر (۲-۳) دیده می‌شود اتفاق نیفتد. سازه نشان داده شده در این تصویر در اثر زیرشویی و خالی شدن زیر پی بعلت نداشتن پیش‌بند تخریب شده است.

گونه دیگری از دیوارهای حفاظتی پلکانی می‌توانند مطابق شکل (۲-۴)، با نمای مایل و پلکان بیرون از رودخانه اجرا شوند. این نحوه اجرا برای ساماندهی آبراهه‌های درون شهری مناسب می‌باشد.

نوع دیگر حفاظت، شامل یک سازه توریسنگی جعبه‌ای واقع بر سطح شیبدار کرانه و با دنباله‌ای افقی بر روی بستر رودخانه می‌باشد. همانطور که در شکل (۲-۵) مشاهده می‌شود، این دنباله نیز توریسنگی می‌باشد و همان نقش پیش‌بند را ایفا می‌کند. مطابق شکل (۲-۶) این دنباله را می‌توان با یک پنجه نسبتاً قوی جایگزین کرد. از آنجا که کرانه‌های رودخانه در معرض جریان مداوم آب قرار ندارند، می‌توان آنها را در هنگام کم‌آبی رودخانه اجرا نمود. نیز بهمین علت می‌توان روی آنها پوشش گیاهی بوجود آورد که این موجب یکپارچگی توده سنگ درون قفسه گردیده و نهایتاً پایداری، دوام و تاثیر سیستم را افزایش می‌دهد.



تصویر (۲-۳): دیوار اجرا شده بدون پیش بند، قبل و بعد از خرابی

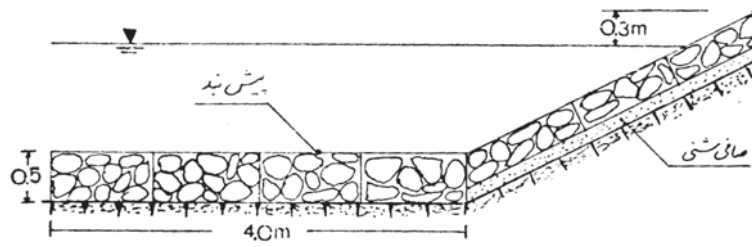


شکل (۲-۴): ساماندهی آبراهه های درون شهری با دیوارهای تورینگ جعبه ای

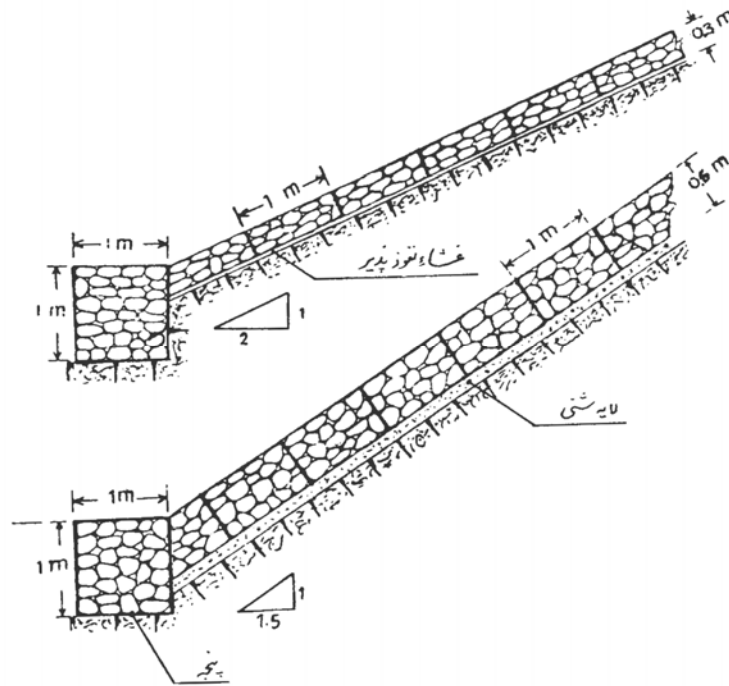
بعنوان چند توصیه کلی برای طراحی و اجرای کلیه سازه های تورینگ باید بگوییم:

الف) ضخامت بخش شیبدار پوشش تورینگ در هر واحد تورینگ، اقل باید برابر دو ردیف سنگ رویهم باشد.

این ضخامت کلیه مواد بستر، بجز ماسه های خیلی ریز، لای و رس را، که می توانند



شکل (۵-۲): توریسنگ جعبه ای بر روی کرانه های شیبدار با پیش بند



شکل (۶-۲): جایگزین کردن پیش بند با پنجه قوی

از لابلاهای سنگهای پوشش بیرون بیایند و شسته شوند را محافظت می کند. بهمین دلیل در بسترهای حاوی مواد ریزدانه، طراحی و اجرای یک لایه ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری فیلتر بین بستر و حفاظ توریسنگی لازم است

ب) در مواردی که شیب کرانه از ۱:۲ کمتر است یک پوشش ۳۰ cm کافی و پایدار است. اما در صورت افزایش شیب کناره باید با شیب بندی کرانه یا افزایش ضخامت پوشش، سیستم را پایدار نمود مثلاً بر روی شیب ۱:۱، ضخامت ۴۵ سانتی متر برای پوشش لازم است.

ج) بجز خطر آبشستگی و خالی شدن زیر سازه محافظ که با اجرای پیش بند، دنباله و پی مناسب مرتفع می گردد، سیستم باید در مقابل خطر خالی شدن پشت آن نیز محافظت گردد. بدین معنی که باید روی پی در پشت

سازه را پس از اجرا ، خاکریزی و پر نمود . همانطور که در تصویر (۷-۲) ملاحظه می‌شود. قسمت‌هایی از دیوار که پشت آنها خاکریزی نشده است ، تخریب گردیده‌اند.



تصویر (۷-۲): دیوار اجرا شده در کرانه رودخانه فهلیان فارس

د) دیوارهای توریسنگی امکان عبور آب از خود را می‌دهند. لذا لازم است، در مواردی که این سازه‌ها برای آزادسازی زمین‌های کشاورزی اجرا می‌شوند، جلوی این ویژگی مطلوب گرفته نشود و مانند تصویر (۸-۲)، این زمین‌ها از آب رودخانه، سیراب گردند.



تصویر (۸-۲): آزادسازی زمین‌های کشاورزی در کنار رودخانه

۱-۲- توریسنگ‌های تشکی :

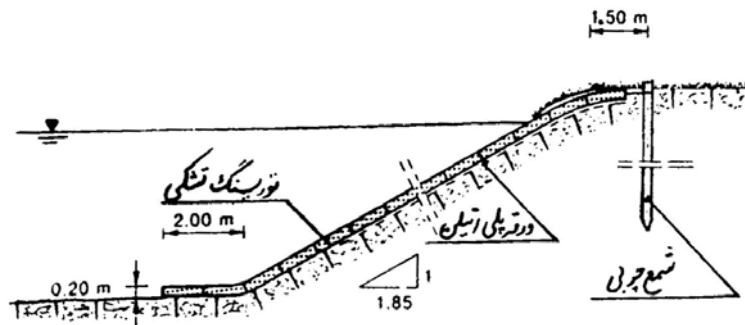
اگر بجای تثبیت و حفاظت یک کرانه قائم، تثبیت و حفاظت از کرانه‌های شیبدار مدنظر باشد، از توریسنگ‌های تشکی که ضخامت کمتری از توریسنگ‌های جعبه‌ای دارند استفاده می‌کنیم.

اما، معمولاً برای پایدارسازی یک سیستم متشکل از توریسنگ‌های تشکی، به تمهیدات بیشتری نسبت به توریسنگ‌های جعبه‌ای نیاز داریم.

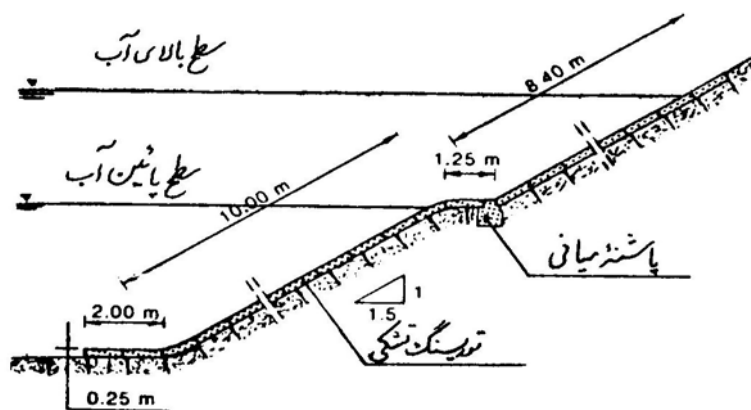
مطابق شکل (۹-۲) برای پایداری و جلوگیری از لغزش پوشش، باید پوشش را در قسمت بالای کرانه، به کمک مهارهای عمودی تثبیت کرد. نیز بهتر است که واحدهای توریسنگی به یکدیگر متصل شوند، (مثلاً با میلگرد). همچنین اجرای دنباله ضروری می‌نماید.

در کرانه‌هایی که طول زیادی دارند. لازم است یک ایستگاه، همانند شکل (۱۰-۲)، در تراز کمی بالاتر از سطح پایین آب همراه با یک پاشنه اجرا گردد.

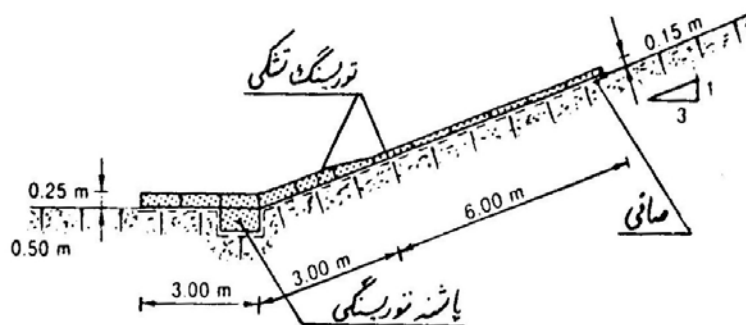
اجرای پاشنه علاوه بر دنباله در پایین سازه، مانند شکل (۱۱-۲)، در مواردی که خاک منطقه کاملاً نفوذپذیر است، برای جلوگیری از فروپاشی آن الزامی می‌نماید.



شکل (۹-۲): تثبیت پوشش به کمک شمع‌های چوبی



شکل (۲-۱۰): اجرای ایستگاه کرانه های با طول زیاد

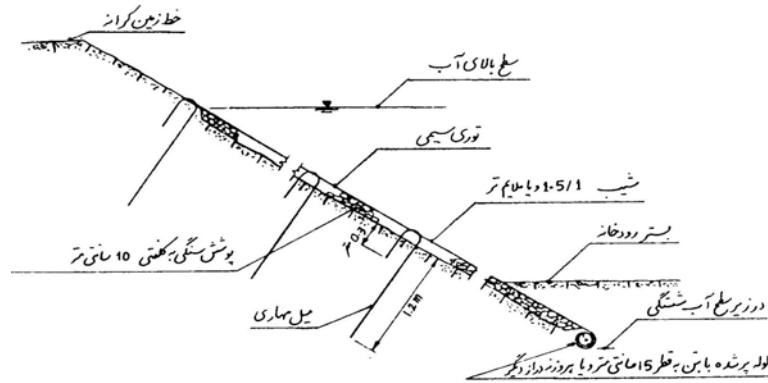


شکل (۲-۱۱): اجرای پاشنه

گاهی برای تقویت پایداری، علاوه بر دنباله، مهارها و پاشنه‌ها، ادامه‌ای در بالا برای سازه در نظر می‌گیرند. واضح است که در این مورد حتماً باید واحدهای توریسنگی به هم متصل باشند. در برخی موارد لازم است که پوشش محافظ ناتراوا باشد. مثلاً برای جلوگیری از تغذیه زمین‌های اطراف. در این موارد، پوشش توریسنگی را با تزریق خمیرمایه آسفالتی، ناتراوا می‌کنند. در مواردی که خطر بریدگی و ساییدگی قفسه‌ها وجود دارد نیز می‌توان علاوه بر قطور نمودن سیم‌های توری اینکار را انجام داد. قابل ذکر اینکه تزریق خمیرمایه آسفالتی موجب کاهش زبری مقطع و افزایش دبی عبوری می‌گردد.

در نوع دیگری از اجرا یک سیستم توریسنگی پیوسته به ضخامت ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر ایجاد می‌کنیم که این لایه با مهارهایی به بستر کرانه متصل می‌شود. این سیستم در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است. برای اجرای این مورد، ابتدا یک لایه توری بر روی کرانه پهن می‌کنیم و آنرا با میله‌گردهای مهاری طویل به زمین یا سنگ زیرین می‌دوزیم.

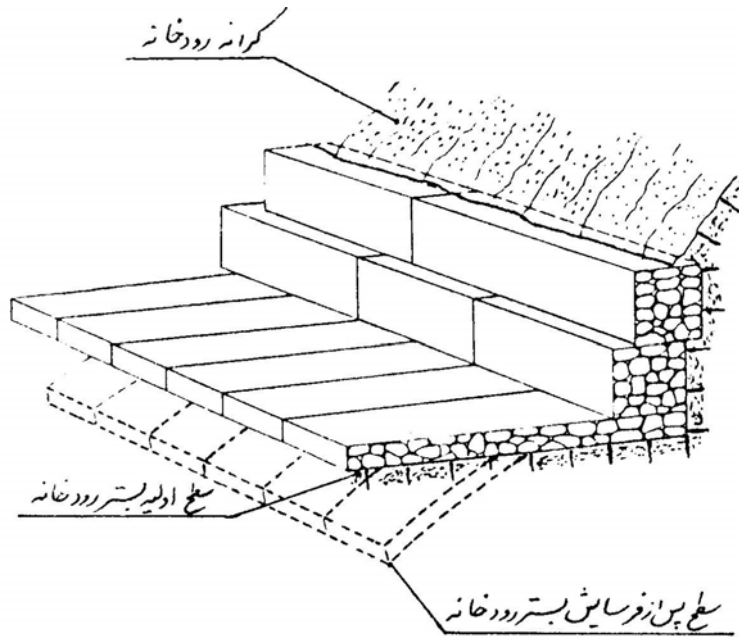
برای آنکه توری همواره صاف و تحت کشش باشد، در پایین آنرا به یک لوله بتنی پر شده یا هر المان سنگین دیگر وصل می‌کنیم. سپس لایه مواد سنگی بر روی توری ریخته می‌شود و توری دوم بر روی آنها پهن می‌گردد. این توری به توری زیرین و قلاب‌های مهاری وصل شده و سیستم کامل می‌گردد.



شکل (۱۲-۲): شمای کلی سیستم توریسنگی پیوسته

۳-۱- پیش‌بندها و کفبندها :

همانطور که قبلاً گفته شد، برای حفاظت خودسازه محافظ در مقابل آب شستگی پنجه و نهایتاً تخریب کل پوشش، در ادامه پوشش، دنباله‌ای از سنگریز یا توریسنگ تشکی اجرا می‌گردد که به آن پیش‌بند می‌گویند. نیز برای محافظت بستر رودخانه، مانند کرانه‌های آن، می‌توان توریسنگ تشکی بکار برد که این مورد را کف‌بند می‌نامند. نکته مهم این است که کفبندها باید طوری انتخاب و طراحی شوند که در هنگام شدیدترین سیلاب‌ها نیز از زمین جدا نشوند و این مستلزم ایجاد پوشش با ضخامت ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر است. از ویژگی‌های مطلوب سازه‌های توریسنگی بعنوان کف‌بند و پیش‌بند این است که این سازه‌ها، انعطاف‌پذیر بوده و خود را با نشست‌ها و فرسایش‌های بستر تطبیق می‌دهند. یعنی مانند شکل (۱۳-۲) سازه بعد از فرسایش بدون شکست، در تماس با زمین باقی می‌ماند. برای ایجاد این خاصیت انعطاف، باید مواد سنگی با اندازه‌های ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر بکار برد.

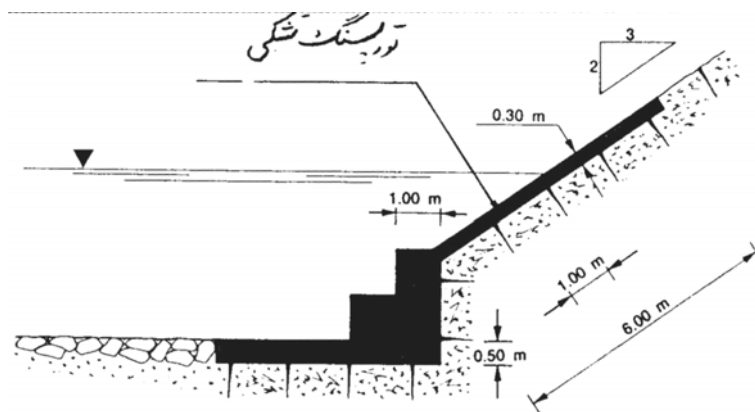


شکل (۲-۱۳): انعطاف پذیری و تطبیق توریسنگ با نشست‌ها و فرسایش‌های بستر

ویژگی مطلوب دیگر آنکه، اجرای پیش‌بندها و کف‌بندها، احتیاج به پی‌کنی ندارد. فقط کافیسیت با چند بار عبور بولدوزر، کف تا حدی صاف شود و چاله‌های زمین با مواد بستر پر گردد.

۱-۴- سیستم‌های مرکب :

این سیستم‌ها از مجموعه توریسنگ‌های جعبه‌ای، توریسنگ‌های تشکی، کف‌بند، پیش‌بند و سنگچین حفاظتی دنباله تشکیل یافته‌اند که نمونه آن در شکل (۲-۱۴) ملاحظه می‌شود.



شکل (۲-۱۴): سیستم مرکب

با اجرای این سیستم، کف، کرانه‌های شیب‌دار و جبهه قائم رودخانه در مقابل آبشستگی حفاظت و تثبیت می‌شوند. در هر صورت انتخاب یک طرح، اعم از توریسنگی و انواع آن، یا پوشش‌های دیگر مثل پوشش بتنی یا سنگچین، بستگی به عوامل فنی، اقتصادی، امکانات اجرایی و هدف از اجرای طرح دارد.

۲- حفاظت مستقیم کف رودخانه‌ها و پایه پل‌ها :

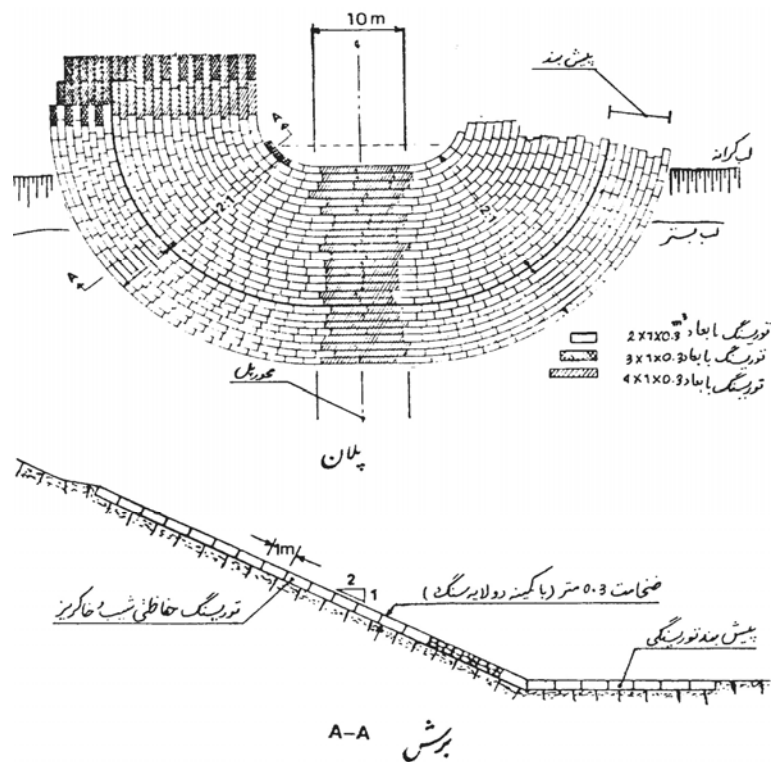
وجود مانع بر سر راه جریان آب، مثل پایه یک پل، سرعت‌های موضعی زیادی را ایجاد می‌کند که موجب آبشستگی‌های موضعی زیادی در محل مانع می‌گردد.

روش‌های زیادی برای حفاظت پایه پل و کرانه رود در محل احداث پل (کوله‌ها) پیشنهاد شده است. از جمله آنها می‌توان به حذف یا کاهش عوامل ایجاد سرعت‌های زیاد موضعی، پایین بردن تراز پی و حفاظت مستقیم پی پل و بستر رودخانه اشاره کرد. همانطور که در بخش ۳-۱ دیدیم، استفاده از کف‌بندهایی بصورت توریسنگ تشکی برای حفاظت بستر رودخانه‌ها در اطراف پایه پل‌ها مانند تصویر (۱۵-۲) بسیار مناسب و مطلوب می‌باشد. نیز مانند بخش ۲-۱ می‌توان توریسنگ‌های تشکی را بعنوان پوشش کوله‌ها بکار برد. (شکل ۱۶-۲). طراحی و اجرای درست این توریسنگ‌ها تا حد زیادی از آبشستگی و خرابی در محل پایه پل و کوله‌های آن جلوگیری می‌کند.



تصویر (۱۵-۲): کف بند توریسنگی در اطراف پایه پل

دیگر اینکه می‌توان با کاهش شیب رودخانه در محدوده پل که منجر به کاهش سرعت و نتیجتاً کاهش آبشستگی پایه‌ها می‌گردد، پل را از خطر تخریب ناشی از آبشستگی پایه‌های آن حفظ کرد. مطابق تصویر (۱۷-۲)، این کاهش شیب را می‌توان در فاصله کمی در پایین دست پل، با اجرای یک سرریز یا آب‌نمای توریسنگی جبران نمود. واضح است که باید در پایین دست سرریز تمهیدات حفاظتی، مانند حوضچه آرامش برای جلوگیری از فرسایش در نظر بگیریم.



شکل (۱۶-۲): حفاظت کوله ها با تورینگ



تصویر (۱۷-۲): کاهش آبشستگی با کاهش شیب و اجرای آبنا در پایین دست پلیدر شیراز

۳- حفاظت غیرمستقیم کرانه‌های رودخانه:

یکی از راه‌های حفاظت کرانه‌های رودخانه، ایجاد اپی در کرانه‌ها می‌باشد. اپی‌ها سازه‌های طولی هستند که با زاویه‌ای نسبت به کناره‌های رودخانه و به سمت محور آن، ایجاد می‌شوند. اپی‌ها جریان را از نقاط بحرانی دور می‌کنند و بهمین لحاظ می‌توان گفت که نقش غیرمستقیم در حفاظت کرانه‌ها ایفا می‌کنند.

ابی‌ها را می‌توان از مصالح متنوعی مانند شن ، خاک ، سنگ ، تیرک‌های چوب و غیره ایجاد کرد. نیز می‌توان آنها را از واحدهای توریسنگی اجرا نمود که نمونه آن در تصویر (۱۸-۲) ملاحظه می‌شود.

بررسی اپی‌ها، بعنوان یکی از انواع سازه‌های رودخانه‌ای، بحث مفصلی است که در مجموعه‌ای جداگانه باید به آن پرداخت .



تصویر (۱۸-۲): اپی توریسنگی در رودخانه ای در استان زنجان

۴- سرریزهای توریسنگی:

اصولاً سرریزها سازه‌هایی هستند که برای تنظیم، کنترل و انحراف جریان آب، در مسیر جریان احداث می‌شوند. از سرریزها می‌توان برای افزایش عمق و کاهش سرعت در محدوده‌ای از رودخانه برای اهداف کشتیرانی، تفریحی و کاهش فرسایش استفاده نمود.

سرریزها برحسب امکانات اقتصادی، فنی و اجرایی از مصالح گوناگون و از جمله از واحدهای توریسنگی ساخته می‌شوند. انواع سرریزهای توریسنگی بر حسب شکل عبارتند از:

۱- سرریز قائم

۲- سرریز پلکانی

۳- سرریز شیب‌دار

۴-۱- سرریزهای قائم :

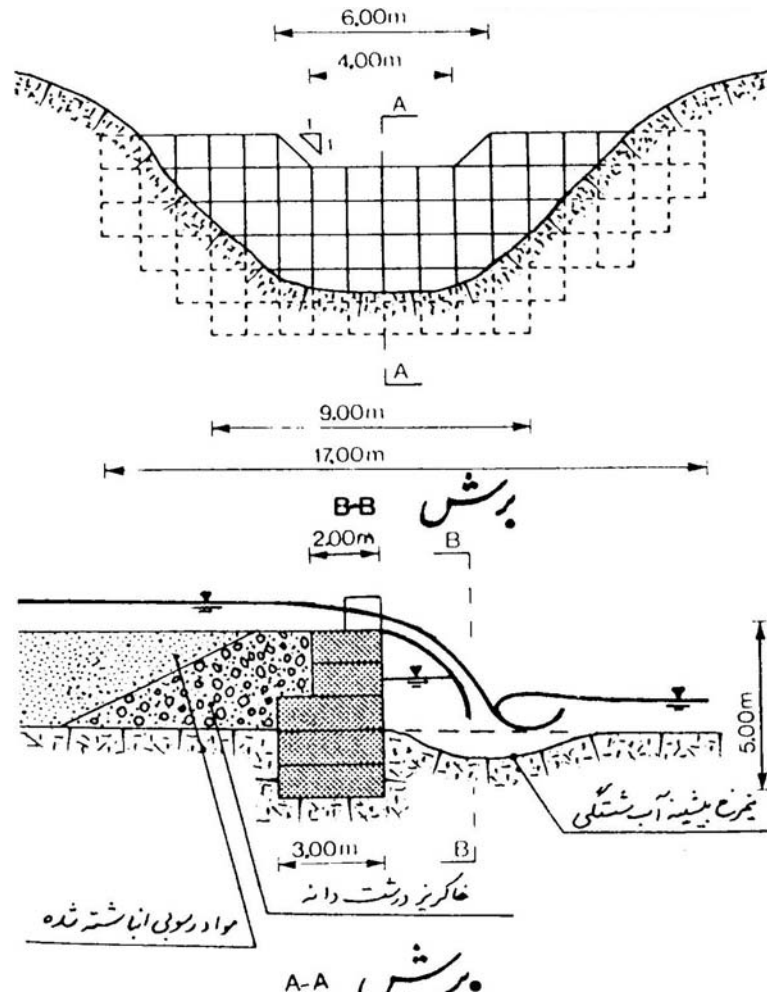
این سرریزها ساده‌ترین نوع سرریز می‌باشند که جهت تنظیم سطح آب یا انباشت رسوب، ساخته می‌شوند.

شکل (۱۹-۲)، یک بند قائم توریستی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، برای کاهش نشت آب از بدنه سرریز، باید بالا دست آنرا با مصالح درشت‌دانه (متناسب با اندازه چشمه‌های توری) پر نمود. البته اگر آبراهه، خود حامل مقداری زیادی رسوب باشد، که در بیشتر موارد در ایران زمین با اینگونه آبراهه‌ها سروکار داریم، پر کردن بالادست سرریز منتفی می‌شود. در نمونه‌ای از این سرریزها در استان فارس، پشت سرریز در مدت کمتر از یکسال، از رسوب پر گردید.

قابل ذکر اینکه پایین دست سرریز حتماً باید با تمهیدات حوضچه آرامش و پوشش‌های محافظ، خصوصاً در ناحیه پنجه، در مقابل فرسایش، آبستنگی و زیرشویی محافظت گردد.

۴-۲- سرریز های پلکانی :

این سرریزها همانطور که از نامشان پیداست، سازه‌های هیدرولیکی با چند پله هستند. وجود این پلکان‌ها باعث استهلاک مقداری زیادی از انرژی آب می‌گردد و لزوم استفاده از حوضچه آرامش را در اکثر موارد منتفی و حفاظت را به اجرای یک پیش‌بند محدود می‌سازد. این پله‌ها ممکن است بصورت تو گرد و با شیب روبه بالا ساخته شوند. سرریز پلکانی برای مقاطعی که دبی آب و دبی رسوب کم باشد مناسب است. تصاویر (۲۰-۲) و (۲۱-۲) نمونه‌هایی از این سازه را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود، در تصویر (۲۱-۲) یک قسمت از سرریز، بعلت گیر کردن شاخه‌ها در آن تخریب شده است.



شکل (۱۹-۲): بند قائم توریسنگی



تصویر (۲۰-۲): سرریز توریسنگی پلکانی در استان فارس



تصویر (۲۱-۲): سرریز توریسنگی تصویر قبل که بخشی از آن بعلت گیر کردن شاخه‌ها در آن تخریب شده است

۴-۳- سرریزهای شیبدار :

جبهه پایین دست این سرریزها، شیبدار می‌باشد. این شیب باید طوری طراحی شود که آب جاری بر روی آن از بستر جدا نگردد و جریان بصورت ورقه‌ای از روی آن عبور کند. این نوع سرریز برای شرایط دبی زیاد، بار رسوبی کم و خاک بستر ضعیف بکار می‌رود. بهتر است که شیب پایین دست سرریز و تاج آن، با استفاده از پوشش بتنی یا آسفالت محافظت گردد. در اینجا نیز مانند سرریزهای قائم، طرح و اجرای حوضچه آرامش مناسب، الزامی است. حتی ممکن است بعد از حوضچه نیز، نیاز به پیش‌بند داشته باشیم.

تصویر (۲۲-۲) نمونه دیگری از سرریز توریسنگی در حال ساخت را نشان می‌دهد.

در طراحی انواع سرریز باید نکات زیر را مدنظر قرار داد:

الف) تاج سرریز باید بگونه‌ای طراحی شود که بتواند دبی سیلاب طراحی را از خود عبور دهد و موجب طغیان بالادست رودخانه در هنگام سیلاب نگردد.

ب) برای جلوگیری از تخریب سرریز در اثر شسته شد مواد کف پی، باید حتماً مقدار نشت آب از زیر و اطراف سازه را در حد مطلوب کنترل کنیم.

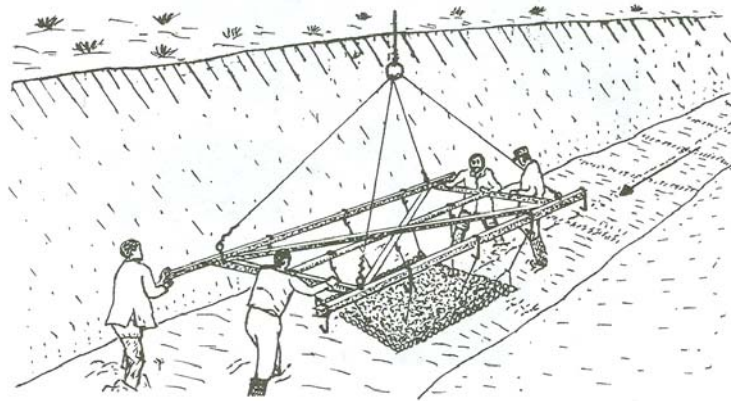


تصویر (۲۲-۲): سرریز توریسنگی در حال ساخت

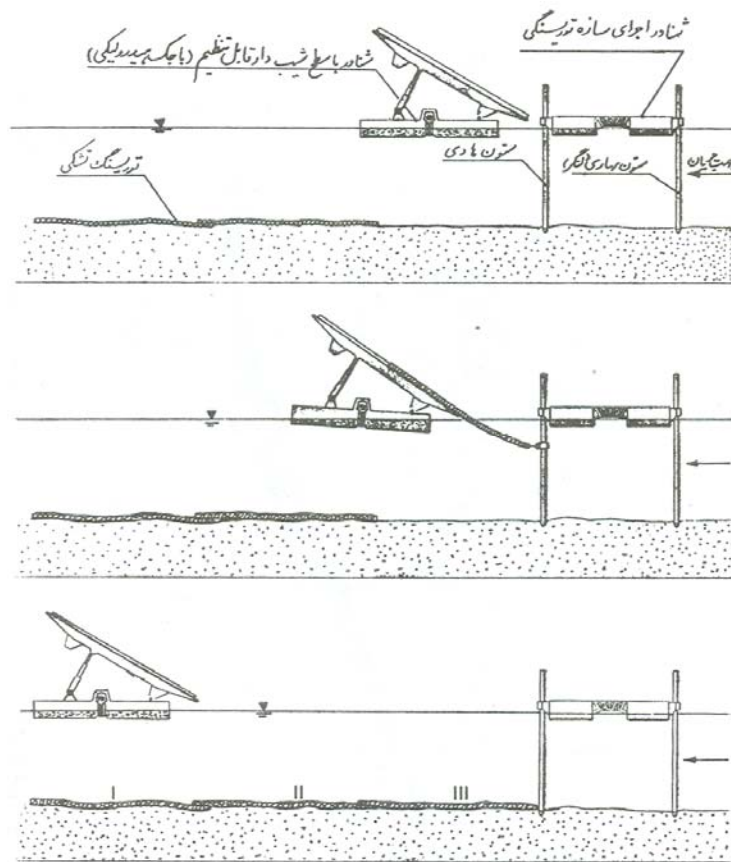
۵- اجرای سازه‌های توریسنگی در آب:

در پایان این فصل خوبست که نگاهی اجمالی به نحوه اجرای سازه‌های توریسنگی در آب بیندازیم. برای اجرای سازه‌های توریسنگی در آب، خصوصاً توریسنگ‌های تشکی، ابتدا واحدهای بزرگ توریسنگ را در خشکی یا بر روی عرشه‌های شناور می‌سازند. سپس قطعات آماده شده را به وسیله جرثقیل یا با لغزاندن بر روی سطح شیبدار، در درون آب، بر روی بستر جای می‌دهند. شکل‌های (۲۲-۲) و (۲۳-۲) نحوه انجام عملیات را نشان می‌دهند.

بدین ترتیب بدون انحراف جریان آب، می‌توان نسبت به ایجاد بستری مقاوم و پایدار در رودخانه، اقدام نمود. این بستر می‌تواند برای جاهایی که لازم است، لوله‌ای از درون آب بگذرد نیز مناسب باشد. از همین واحدهای توریسنگ تشکی برای حفاظت روی لوله‌ها از اثرات دینامیکی جریان، برخورد سنگ‌ها و زیرشویی نیز می‌توان استفاده کرد.



شکل (۲۲-۲): جای دهی واحدهای توریسنگ بر روی بستر به کمک جرثقیل



شکل (۲۳-۲): جای دهی واحدهای توریسنگ بر روی بستر با لغزاندن بر روی سطح شیب‌دار

فصل سوم: تحلیل و طراحی سازه‌های توریسنگی

همانطور که در فصل اخیر در مجموعه حاضر بیان شد، بیشترین کاربرد سازه‌های توریسنگی در کارهای رودخانه‌ای، استفاده از آنها در پوشش‌های محافظ کف و کرانه‌های رودخانه است.

پایداری این پوشش‌ها بیشتر، منوط به هیدرولیک جریان بوده و کمتر به مسائل سازه‌ای مربوط می‌شود. حتی می‌توان گفت که پایداری این پوشش در مقابل جریان، خود پایداری سازه‌ای مجموعه را تضمین می‌کند. فقط بطور خاص در مورد سرریزها و اپی‌های توریسنگی باید علاوه بر هیدرولیک جریان، پایداری سازه‌ای سازه را نیز بدقت و بصورت پایه‌ای مدنظر قرار دهیم. این مسائل در یک نگاه کلی عبارتند از: نیروهای مقاوم، نیروهای محرک وارد بر سازه، بررسی پایداری یک واحد توریسنگ در مقابل لغزش و واژگونی، بررسی پایداری کل مجموعه در مقابل لغزش و واژگونی، پایداری پی و نهایتاً کنترل ترواش آب از زیر سازه و اطراف آن، برای پیشگیری از شسته شدن ذرات خاک و تخریب سازه.

بررسی این مسائل به مهندسين سازه مربوط می‌شود. لذا در این فصل ابتدا به آنالیز پایداری پوشش‌های توریسنگی آبراهه‌ها می‌پردازیم. سپس طراحی گام به گام این سازه‌ها را بیان می‌کنیم. بعد، مقایسه‌ای بین پوشش‌های توریسنگی و سنگچین بر اساس مسائل مطرح شده انجام می‌دهیم. بررسی عوامل کلی تخریب سازه‌های توریسنگی، بخش دیگری از این فصل می‌باشد. در پایان برای روشنتر شدن روابط بیان شده، به طراحی پوشش یک آبراهه در قالب یک مثال عددی می‌پردازیم.

۱- تحلیل پایداری پوشش‌های توریسنگی:

۱-۱- روش تنش مجاز:

همانطور که در مباحث رسوب و فرسایش مطرح شده است، برای پایدار بودن یک جسم بر روی بستر آبراهه، باید تنش برشی وارد بر آن از طرف آب از تنش برشی آستانه حرکت کمتر باشد.

تنش برشی وارد بر کف پوشش τ_b عبارت است از:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot y \cdot s$$

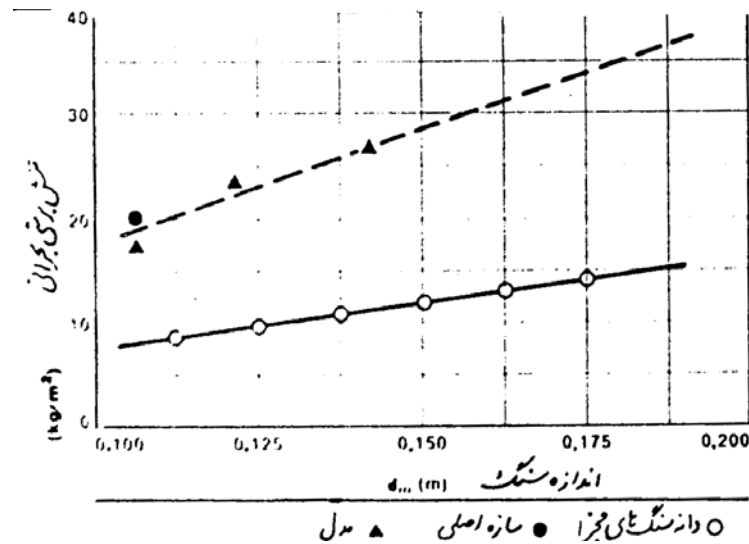
که در آن γ_w ، وزن مخصوص آب، y عمق آب و s شیب آبراهه است.

حال اگر فرض کنیم که ضخامت پوشش برابر اندازه متوسط سنگ‌های بکار رفته در آن باشد (d_m یا d_{50})، در آن

صورت، پارامتر شیلدز (C^*) بصورت زیر بدست می‌آید:

$$C^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) d_m}$$

پارامتر شیلدز، برای پاره سنگهای جدا از هم برابر ۰/۰۴۷ و برای همان پاره سنگهای قرار داده شده در انواع توریسنگ، به میزان دو برابر قبلی، یعنی تقریباً برابر با ۰/۱ می‌باشد. این بدلیل محصور شدن سنگها در قفسه فلزی می‌باشد که این مطلب در نمودار شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱): تفاوت تنش برشی بحرانی در توریسنگ و پاره سنگهای مجزا

حال می‌توانیم تنش برشی بحرانی یا همان تنش برشی آستانه حرکت (\$\tau_c\$) را مستقیماً محاسبه نماییم:

$$\tau_c = 0.1(\gamma_s - \gamma_w) d_m$$

حال اگر نامساوی \$\tau_b \le \tau_c\$ برقرار باشد، پوشش توریسنگی، پایدار خواهد بود.

برای بررسی پایداری پوشش در کرانه‌ها روابط زیر را داریم:

$$\tau_m = 0.75 \cdot \gamma_w \cdot y \cdot s$$

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \Phi}}$$

که در آن \$\theta\$ زاویه شیب کرانه و \$\Phi\$ زاویه اصطکاک داخلی پوشش سنگی و بستر است و مقدار آن را برای

توریسنگ تشکی، می‌توان ۴۱ درجه فرض نمود.

حال اگر نامساوی \$\tau_m \le \tau_s\$ برقرار باشد، پوشش توریسنگی کرانه، پایدار خواهد ماند. در محل پیچ‌ها مقدار تنش

برشی در کرانه بیرونی پیچ بیشتر است. در اینجا برای مقدار \$\tau_m\$ داریم:

$$\tau_m = k \cdot \gamma_w \cdot R \cdot s$$

که در آن R شعاع هیدرولیکی و k تابعی از نسبت پهنای آبراهه به شعاع انحنای مسیر $\left(\frac{T}{r}\right)$ می‌باشد و مقدار آن از روی نمودار شکل (۳-۲) خوانده می‌شود.

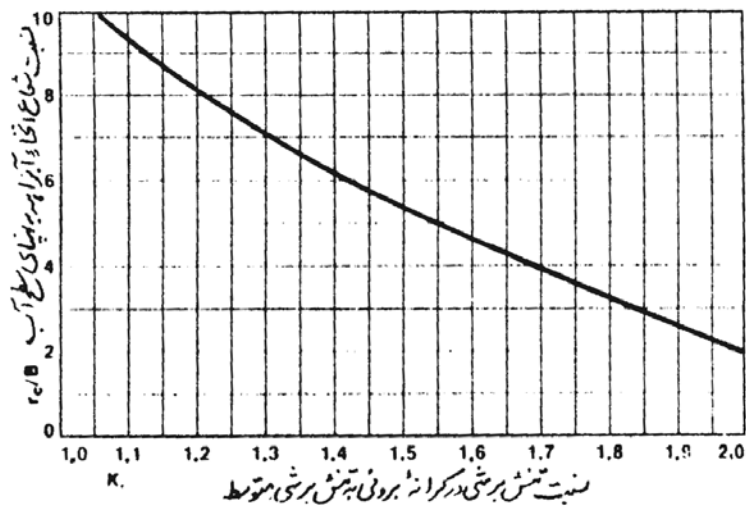
۱-۲- روش سرعت مجاز:

بمانند روش تنش مجاز در اینجا هم میبیینیم که، بازای قطعات با اندازه معین، توریسنگ تشکی می‌تواند، سرعتی به مراتب بیشتر از سرعت مجاز در قطعات مجزا را تحمل کند. نیز با فرض سرعتی معین، اندازه قطعات تشکیل دهنده توریسنگ پایدار، بسیار کوچکتر از اندازه قطعات پوشش با سنگ‌های جدا از هم است. در نمودار شکل (۳-۳)، مقایسه‌ای بین سرعت بحرانی در توریسنگ و سنگ‌های مجزا از هم صورت گرفته است.

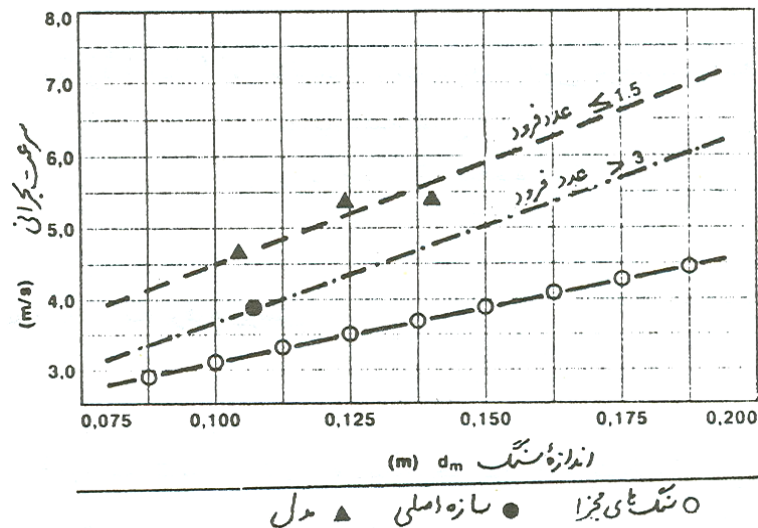
جدول (۳-۱): مقادیر ضریب زبری برای انواع پوشش توریسنگی

ردیف	نوع پوشش آبراهه	ضریب زبری
۱	پوشش توریسنگ تشکی، آببندی شده با آسفالت (سطح صاف)	۰/۰۱۵۸
۲	پوشش توریسنگی و آببندی شده با آسفالت (سطح پرداخت نشده)	۰/۰۱۷۲
۳	پوشش توریسنگی با تزریق سطحی آسفالت	۰/۰۲۰۰
۴	پوشش توریسنگی با تزریق عمیق آسفالت و آببندی نشده	۰/۰۲۱۵
۵	پوشش توریسنگی تشکی با سنگهای انتخاب شده و پرداخت دقیق	۰/۰۲۲۲
۶	پوشش توریسنگی تشکی با سنگهای انتخاب شده و پرداخت معمولی	۰/۰۲۵۰
۷	پوشش توریسنگی تشکی با سنگهای درهم و پرداخت معمولی	۰/۰۲۷۰
۸	پوشش توریسنگی جعبه ای با سنگهای انتخاب شده و پرداخت دقیق	۰/۰۲۶۰
۹	پوشش توریسنگی جعبه ای با سنگهای درهم و پرداخت معمولی	۰/۰۲۸۵

در روش سرعت مجاز، ابتدا سرعت متوسط جریان را از فرمول مانینگ محاسبه می‌کنیم. مقادیر ضریب زبری، مانینگ را می‌توان از جدول (۳-۱) بدست آورد. سپس این مقادیر را با سرعت مجاز که از نمودار شکل (۳-۳) برحسب قطر متوسط قطعات بکار رفته و عدد فرود بدست می‌آید مقایسه و پایداری پوشش را بررسی می‌کنیم.



شکل (۲-۳)



شکل (۳-۳): سرعت بحرانی برای توریسنگ ها

۳-۱- تأثیر تغییر فرم پوشش:

هنگامی که تنش برشی به حد بحرانی خود می‌رسد، بخشی از سنگهای درون قفسه فلزی به سمت پایین دست حرکت کرده و با افزایش میزان تنش برشی یکی از دو پدیده زیر بوقوع می‌پیوندد:

۱- از بین رفتن اثر پوشش و نمایان شدن خاک بستر

۲- بوجود آمدن تعادلی جدید در اثر مقاومت کششی سیم توری

در حالت دوم حفاظت توریسنگ از خاک بستر تغییری نمی‌کند. چون سرعت آب در زیر پوشش تغییر چندانی

نمی‌کند.

برای تخمین میزان تغییر فرم پوشش توریسنگی، پارامتر بی بعد $\frac{\Delta z}{d_m}$ را که ضریب تغییر فرم نام دارد بکار

می‌بریم. مطابق شکل (۳-۴) Δz تفاوت ارتفاع بین بالاترین و پایین‌ترین سطح سنگ در پوشش می‌باشد.

حال این ضریب را با پارامتر مؤثر شیلدز که بصورت زیر تعریف می‌شود، در نمودار شکل (۳-۵) روبرو می‌کنیم.

$$C^* = \frac{\tau_b - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) d_m}$$

همانطور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش پارامتر مؤثر شیلدز، از حدی به بعد، مقدار ضریب تغییر فرم، تغییر چندانی نمی‌کند. از اینروست که توریسنگ تشکی، با کلفتی حدود ۲ برابر اندازه سنگ پایدار باقی می‌ماند و می‌تواند شرایطی بسیار وخیم‌تر از آنچه در طرح پیش‌بینی شده است را تحمل کند.

کاهش ضخامت پوشش سنگی در بخش بالادست توریسنگ (Δt) تقریباً برابر $\frac{\Delta z}{2}$ می‌باشد. لذا برای تضمین

پایداری اثر مجموعه، بدین معنی که خاک بستر در بخش بالا دست توریسنگ، بدون پوشش نماند، باید داشته باشیم:

$$\frac{\Delta z}{d_m} \leq 2 \left(\frac{t}{d_m} - 1 \right)$$

که در آن t ضخامت پوشش توریسنگ است. مشاهده می‌شود که اگر در این رابطه مقدار ضریب تغییر فرم را

بمیزان حداکثر آن، یعنی تقریباً برابر با ۲ قرار دهیم، رابطه زیر بدست می‌آید.

$$2.d_m \leq t$$

از رابطه ماقبل آخر، می‌توان مقدار تغییر فرم مجاز توریسنگ را هم در کف و هم در کناره‌ها تخمین زد.

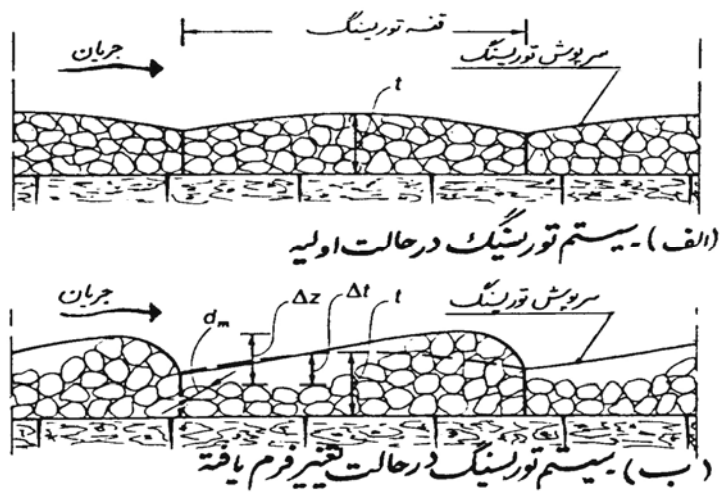
اما نکته مهم در مورد تغییر فرم اینکه، اگر مقدار تغییر فرم توریسنگ، طبق رابطه ماقبل آخر، در محدوده مجاز

باقی بماند، می‌توان مقدار تنش برشی مجاز را بمیزان ۲۰٪ بیشتر از آنچه که از روابط گفته شده در بخش ۱-۱ همین

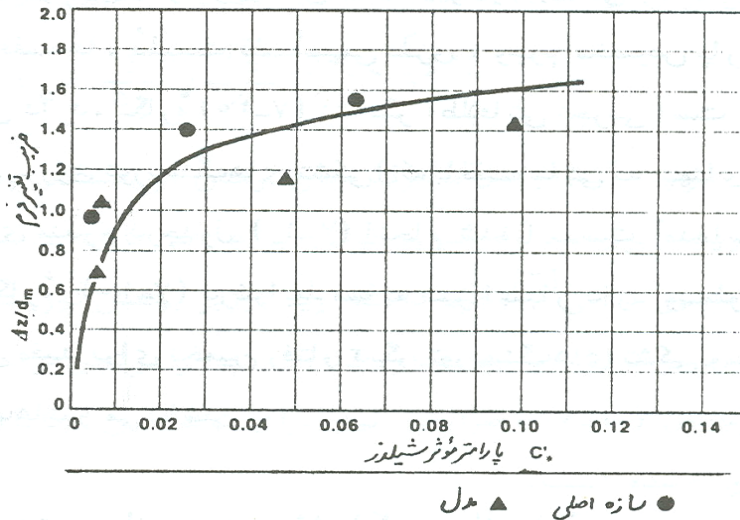
فصل بدست می‌آید در نظر گرفت.

بر این اساس برقراری نامساوی‌های $\tau_b \leq 1.2 \cdot \tau_c$ و $\tau_m \leq 1.2 \cdot \tau_s$ ، بترتیب پایداری پوشش‌های کف و

کرانه‌ها را تضمین می‌کند.



شکل (۳-۴): نحوه تغییر فرم تورسنگ



شکل (۳-۵): ارتباط ضریب تغییر فرم با پارامتر مؤثر شیلدز

۴-۱- پایداری خاک بستر:

آنچه تا کنون بیان شد در مورد پایداری خود سازه تورسنگی بود. لیکن در کنار این مطلب، باید پایداری خاک بستر، که هدف اصلی از اجرای پوشش است را نیز بررسی نماییم. برای بررسی پایداری خاک زیر بستر، از روش سرعت مجاز استفاده می‌کنیم. بدین ترتیب که ابتدا سرعت مجاز برای شسته نشدن ذرات خاک را مثلاً از مطالعات فوریته واسکوبی یا روش یانگ، محاسبه می‌کنیم. نیز از رابطه ابعادی زیر می‌توان سرعت مجاز (v_e) برای خاکهای غیرچسبنده را بدست آورد.

$$V_e = 16.1 \times d^{1/2}$$

حالا باید سرعت جریان در لایه بین بستر یا فیلتر و پوشش را از رابطه مانینگ حساب کنیم:

$$V = \frac{1}{n_f} \cdot \left(\frac{d_m}{2} \right)^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

در این رابطه شعاع هیدرولیکی حفرات بین بستر و پوشش به اندازه $\frac{d_m}{2}$ فرض شده است.

n_f برای بستر بدون فیلتر برابر ۰/۰۲ و برای فیلترهای شنی ۰/۰۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

حال اگر سرعت جریان بدست آمده از سرعت مجاز کمتر باشد، بستر پایدار می‌ماند. در غیر اینصورت نیاز به

طراحی، یا ایجاد تغییر در طراحی فیلتر داریم.

۵-۱ - تأثیر خمیرمایه آسفالتی:

تزریق خمیرمایه آسفالتی موجب یکپارچگی بیشتر و افزایش وزن سیستم شده و در نتیجه پایداری مجموعه، در مقابل جریان افزایش می‌یابد. بویژه، خمیرمایه آسفالتی، مجموعه را در مقابل تغییر فرم، محافظت می‌کند. بهمین دلیل است که پوشش‌های تزریق شده را برای شرایط بسیار وخیم، می‌توان بکار برد، خصوصاً برای مواردی که عدم نفوذپذیری و وجود سطحی صاف با زبری کم، مدنظر باشد. در جدول (۲-۳) مقایسه‌ای بین سرعت مجاز در پوشش‌های آسفالتی و بدون آسفالت صورت گرفته است.

جدول (۲-۳): مقایسه پوشش‌های تزریق شده و تزریق نشده

سرعت بحرانی	اندازه	کلفتی	نوع	
۳/۵	۷۰ - ۱۰۰	- ۰/۱۷	توریسنگ تشکی	تزریق شده
۴/۲	۷۰ - ۱۵۰	۰/۱۵		
۳/۶	۷۰ - ۱۰۰	- ۰/۲۵		
۴/۵	۷۰ - ۱۵۰	۰/۲۳		
۴/۲	۷۰ - ۱۲۰	۰/۳		
۵/۰	۱۰۰ - ۱۵۰			
۵/۸	۱۰۰ - ۲۰۰	۰/۵	توریسنگ جعبه ای	
۶/۴	۱۲۰ - ۲۵۰			
۵/۵	۷۰ - ۹۰	- ۰/۱۷	توریسنگ تشکی	تزریق
		۰/۱۵		

۶/۳	۷۰ - ۱۲۰	- ۰/۲۵ ۰/۲۳		نشده
۷/۰	۱۰۰ - ۱۵۰	۰/۳		
۸/۵	۱۰۰ - ۲۰۰	۰/۵	توریسنگ جعبه ای	

۲- طراحی پوشش‌های توریسنگی:

مطابق آنچه گفته شد، در ادامه مراحل طراحی یک پوشش توریسنگی را بصورت گام به گام بیان می‌کنیم:

گام اول: اطلاعات اولیه

۱- انتخاب مشخصات توریسنگ شامل ضخامت، نوع توری و قطرسیم.

۲- انتخاب نوع و اندازه مصالح پرشونده، مشخص کردن d_{90} (برحسب متر) و d_{50} و محاسبه ضریب

زبری مانینگ از رابطه استریکلر:

$$n = \frac{d^{1/6}}{90 \cdot 26}$$

۳- محاسبه عمق آب از فرمول مانینگ.

گام دوم: کنترل پایداری توریسنگ

۱- محاسبه τ_b ، τ_m ، τ_c و τ_s از روابط گفته شده در بخش ۱-۱ همین فصل

۲- کنترل نامساوی‌های زیر بشرط کنترل تغییر فرم سازه:

$$\tau_b \leq 1.2 \tau_c$$

$$\tau_m \leq 1.2 \tau_s$$

و اگر تغییر فرم سازه را کنترل نکردیم:

$$\tau_b \leq \tau_c$$

$$\tau_m \leq \tau_s$$

۳- محاسبه سرعت جریان (V) از فرمول مانینگ، عدد فرود و محاسبه سرعت مجاز (V_c) از نمودار شکل (۳-۳)

برحسب عدد فرود و d_m و چک کردن نامساوی زیر:

$$V \leq V_c$$

گام سوم: کنترل پایداری خاک بستر

محاسبه سرعت مجاز جریان (V_e) و سرعت جریان موجود در لایه بین بستر و پوشش (V) از روابط و جداول بخش ۴-۱ همین فصل و چک کردن نامساوی زیر:

$$V \leq V_e$$

در صورت ارضا نشدن این نامساوی، طراحی فیلتر الزامی است.

گام چهارم: کنترل تغییر فرم سازه

۱- برای بستر و کناره‌ها ضرایب مؤثر شیلدز را تعیین کنید.

۲- با استفاده از نمودار (۵-۳) و ضرایب مؤثر شیلدز، مقدار $\frac{\Delta z}{d_m}$ را برای بستر و کرانه‌ها محاسبه نموده و نامساوی

زیر را چک کنید.

$$\frac{\Delta z}{d_m} \leq 2 \left(\frac{t}{d_m} - 1 \right)$$

۳- مقایسه پوشش توریسنگی و پوشش سنگریز:

الف - ضریب شیلدز برای توریسنگ، تقریباً دو برابر مقدار آن در پوشش سنگی آزاد است. این بدین معنی است که بعد توسط پاره سنگ‌های بکار رفته در توریسنگ، نصف اندازه قطعات سنگریز آزاد است. به بیان دیگر، سرعت مجاز برای پوشش توریسنگی، دو برابر سرعت مجاز در پوشش سنگریز می‌باشد.

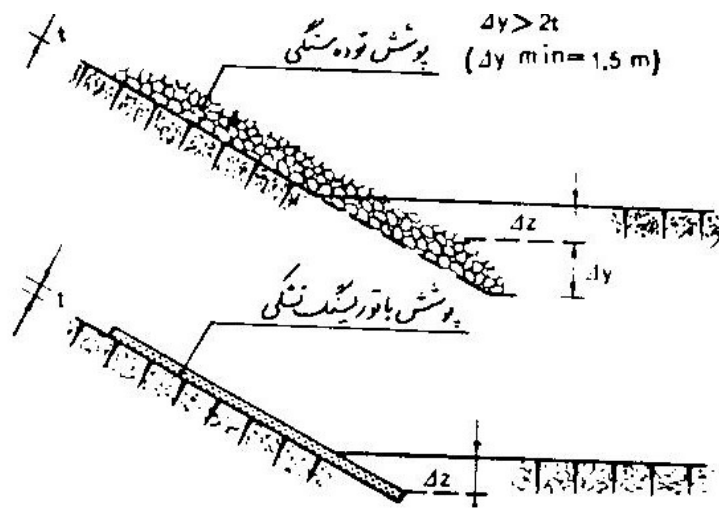
ب - مفهوم آستانه حرکت برای پوشش سنگی آزاد یک شرط حدی است که ورای آن، پوشش بتدریج نابود می‌گردد. اما در مورد توریسنگ‌ها، پس از وقوع شرط آستانه حرکت، بعلت محصور بودن سنگ‌ها در شبکه توری فلزی، حالت تعادلی جدیدی برای سیستم ایجاد می‌گردد، بدون اینکه اثر حفاظت پوشش از بستر، از بین برود.

ج - با کاربرد قطعات کوچکتر سنگ در توریسنگ، سرعت در لایه بین بستر و پوشش توریسنگی کاهش می‌یابد که این خود پایداری و ایمنی بیشتر بستر را تضمین کرده و لزوم بکار بردن فیلتر را از بین می‌برد.

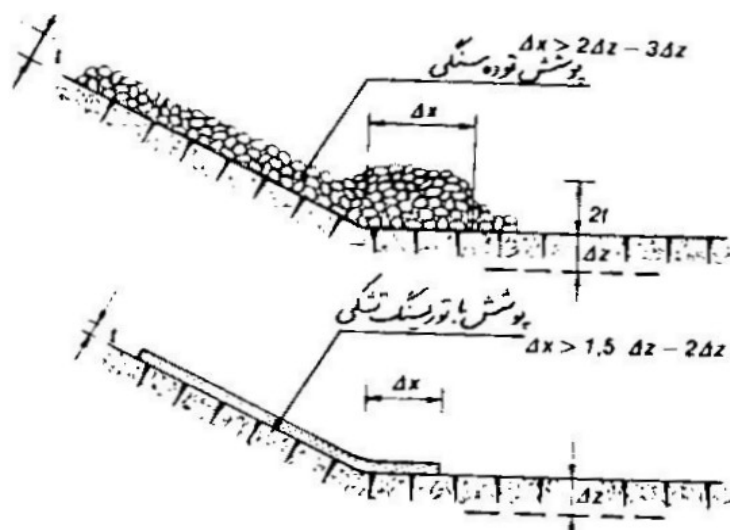
د - همچنین، کاربرد قطعات کوچک، موجب کاهش ضریب زبری و افزایش ظرفیت آبراهه می‌گردد.

هـ - قواعد حاکم بر طراحی سنگریزها، کمینه ضخامت ۳۰ سانتیمتر را توصیه می‌کند (۱/۵ تا ۲ برابر قطر میانگین سنگ‌ها). نیز برای کارهای زیر آب، این ضخامت تقریباً ۵۰ درصد افزایش می‌یابد و حداکثر شیب به مقدار ۱:۲ محدود می‌گردد. در صورتیکه ضخامت پوشش توریسنگی می‌تواند در حدود ۱۵ سانتیمتر بوده و شیب کناره‌ها به حدود ۱:۱/۵ برسد.

طول دنباله‌های پوشش سنگریز از طول پیش‌بندها یا دنباله‌های پوشش‌های توریسنگی بیشتر است. بعلاوه اینکه بر خلاف دنباله‌های پوشش‌های توریسنگی، در دنباله‌های پوشش‌های سنگریز، باید ضخامت پوشش را نیز افزایش دهیم. (شکل‌های (۳-۶) و (۳-۷)).



شکل (۳-۶): ادامه سنگریز تا زیر عمق فرسایش



شکل (۷-۳): ادامه افقی سنگریز با افزایش ضخامت

۴- زوال پوشش‌های توریسنگی:

عمده ساز و کارهای زوال پوشش‌های توریسنگی بقرار زیر می‌باشد:

- آب شستگی بیش از حد در ناحیه پنجه سازه

- سرعت و یا تنش برشی بیش از اندازه

- شرایط وخیم هیدرولیکی، ورای آنچه پیش‌بینی شده است.

- اثر امواج

- نشت آب

- یخ‌زدگی

- دانه‌بندی نامناسب مصالح سنگی یا بی‌دوام بودن آنها

- گسیختگی توری فلزی

- اجرای نامناسب سازه

- عدم رسیدگی و نگهداری

- دستکاری و دستبرد به سیستم

۵- حل یک مثال - مطالعه موردی:

در این قسمت برای روشن شدن روابط بیان شده در این فصل به حل یک مثال می‌پردازیم. صورت مسأله از این

قرار است:

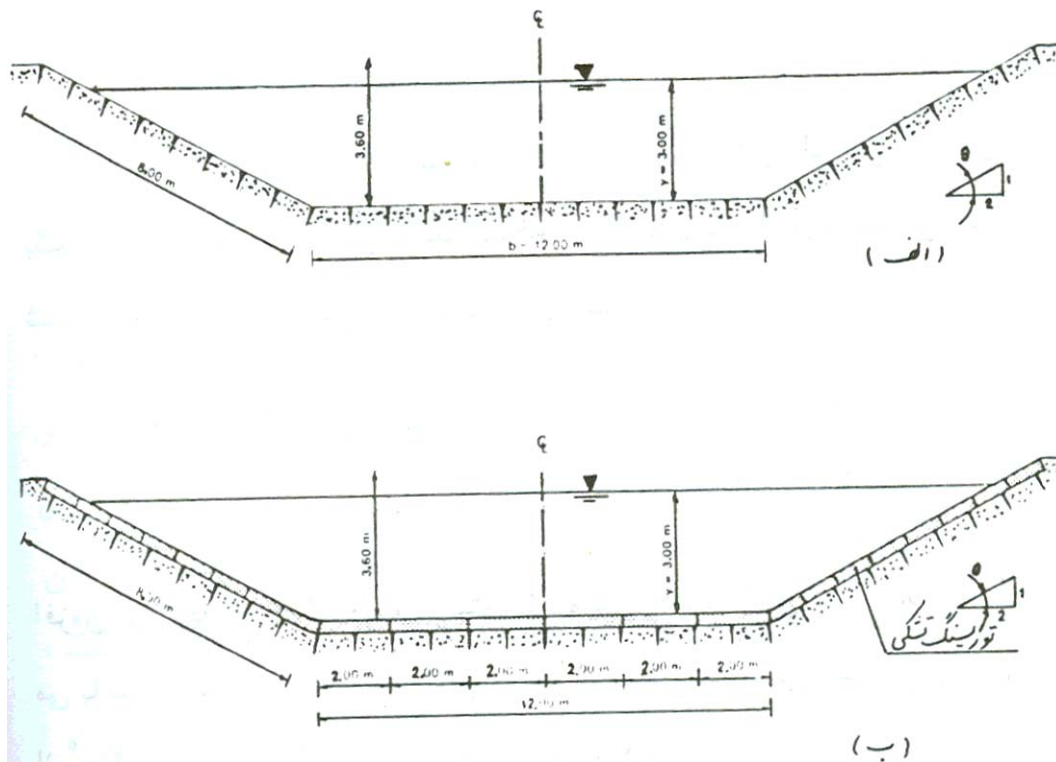
بخشی از یک پروژه ساماندهی رودخانه، شامل اجرای یک کانال زهکش با مقطع شکل زیر می‌باشد. مشخصات

این کانال بقرار زیر است:

$$y = 3 \text{ (m)}$$

$$s = 0.008$$

و بافت خاک مسیر زهکش، شنی با $d_{50} = 0.5 \text{ mm}$ می‌باشد. یک پوشش حفاظتی توریستی تشکی برای این کانال طراحی نمایید.



شکل مربوط به مثال

حل:

گام اول: اطلاعات اولیه

برای حفاظت این آبراهه، یک پوشش توریستی به ضخامت ۲۵ سانتیمتر و ابعاد ۲ متر در یک متر و توری از نوع ۵×۷ با سیم به قطر ۲ میلیمتر را انتخاب می‌کنیم. اندازه پاره سنگ‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ میلیمتر و d_m و d_{90} بترتیب برابر با ۱۴۰ میلیمتر و ۱۷۰ میلیمتر فرض می‌شوند. با توجه به شکل هندسی کانال، ۶ واحد توریستگ پهلوی به پهلوی به ابعاد ۲ متر در ۱ متر، بطوریکه عرض آنها در امتداد محور طولی کانال باشد، در بستر می‌توان جای داد. بر روی کرانه‌های شیبدار، توریستگ‌های با ابعاد ۱ متر در ۴ متر را بطوریکه طول آنها در امتداد محور طولی کانال باشد جای می‌دهیم.

ضریب زبری مانینگ برابر است با:

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} = \frac{0.170^{1/6}}{26} = 0.0286$$

برای محاسبه ضریب زیری افزون بر فرمول بالا، می‌توان از جدول (۳-۱) نیز استفاده نمود.

مساحت مقطع (A)، محیط تر شده (P)، شعاع هیدرولیکی (R) و پهنای سطح آزاد آب (T) بقرار زیر می‌باشد:

$$A = 54 \quad (\text{m}^2)$$

$$P = 25.42 \quad (\text{m})$$

$$R = 2.124 \quad (\text{m})$$

$$T = 24 \quad (\text{m})$$

گام دوم: کنترل پایداری توریسنگ

مقادیر سرعت جریان (V)، دبی (Q)، و عدد فرود (F_r) بقرار زیر می‌باشد:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} = \frac{1}{0.0286} \times (2.124)^{2/3} \times (0.008)^{1/2} = 5.17 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V = 54 \times 5.17 = 279 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \times \frac{A}{T}}} = \frac{5.17}{\sqrt{9.81 \times \frac{54}{24}}} = 1.1$$

حال مقدار τ_b ، τ_m ، τ_c و τ_s ، بترتیب تنش‌های برشی موجود در کف و کناره و تنش‌های مجاز در کف و کناره را

بدست می‌آوریم:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot y \cdot s = 1000 \times 3 \times 0.008 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_m = 0.75 \cdot \tau_b = 0.75 \times 24 = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_c = 0.01 (\gamma_s - \gamma_w) d_m = 0.01 \times (2500 - 1000) \times 0.140 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_s = \tau_c \times \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta_0}} = 21 \times \sqrt{1 - \frac{\sin^2 26.5^\circ}{\sin^2 41^\circ}} = 15.4 \text{ kg/m}^2$$

همانطور که ملاحظه می‌گردد، مقادیر τ_b و τ_m ، بترتیب از τ_c و τ_s بزرگتر می‌باشند. اما همین دو مقدار از

مقادیر 1.2 τ_c و 1.2 τ_s کوچکترند. این بدین معنی است که بشرط کنترل تغییر فرم، پوشش توریسنگی انتخاب

شده بر روی بستر و کرانه‌ها، مناسب و پایدار می‌باشد.

حالا بر روش سرعت مجاز هم، پایداری پوشش را بررسی می‌کنیم. با عدد فرود $1/1$ و قطر متوسط 140 میلیمتر از روی نمودار (۳-۳)، سرعت مجاز را در حدود $5/5$ متر بر ثانیه بدست می‌آوریم که از سرعت جریان در کانال بیشتر بوده و مؤید پایداری پوشش می‌باشد.

گام سوم: کنترل پایداری خاک بستر

سرعت جریان در لایه بین بستر و پوشش (V) را محاسبه می‌کنیم.

$$V = \frac{1}{n_f} \left(\frac{d_m}{2} \right)^{2/3} .s^{1/2} = \frac{1}{0.02} \times \left(\frac{0.140}{2} \right)^{2/3} \times (0.008)^{1/2} = 0.76 \text{ m/s}$$

سرعت مجاز برای لایه شنی مورد نظر (V_e) بصورت زیر بدست می‌آید.

$$V_e = 16.1 \times d_{50}^{1/2} = 16.1 \times (0.0005)^{1/2} = 0.63 \text{ m/s}$$

همانطور که ملاحظه می‌شود سرعت مجاز جریان بر روی بستر شنی بزرگتر از سرعت مجاز می‌باشد. لذا طرح لایه فیلتر بین بستر و پوشش الزامی می‌باشد.

گام چهارم: کنترل تغییر فرم سازه

مقدار ضریب مؤثر شیلدز را برای کف و کناره بترتیب زیر محاسبه می‌کنیم:

$$C^{*'} = \frac{\tau_b - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) d_m} = \frac{18 - 15.4}{(2500 - 1000) \times 0.140} = 0.014$$

$$C^{*'} = \frac{\tau_m - \tau_s}{(\gamma_s - \gamma_w) d_m} = \frac{18 - 15.4}{(2500 - 1000) \times 0.140} = 0.012$$

با در دست داشتن این مقادیر و مراجعه به نمودار (۳-۵)، مقدار ضریب تغییر فرم $\frac{\Delta z}{d_m}$ برای کف و کناره مساوی

هم و تقریباً برابر با $1/1$ بدست می‌آید.

بدین ترتیب مقدار Δz بدست می‌آید:

$$\Delta z = 1.1 \times 14 = 15.4 \quad (\text{cm})$$

این بدین معنی است که ضخامت بالادست واحد توریسنگ ، در اثر تغییر فرم تقریباً برابر با $\frac{\Delta z}{2}$ یعنی، در

حدود ۷/۷ سانیمتر کاهش یافته و به مقدار ۱۷/۳ سانیمتر می‌رسد که این مقدار، برای حفاظت بستر کفایت می‌کند.

برقراری نامساوی زیر مؤید همین مطلب است.

$$\frac{\Delta z}{d_m} \leq 2 \left(\frac{t}{d_m} - 1 \right)$$
$$1.1 \leq 2 \left(\frac{25}{14} - 1 \right) \quad \checkmark$$

مراجع:

۱- طرح و آنالیز و اجرای سازه های توریسنگی (گابیون) ؛ محمود جوان ، مهدی فرشاد ، ناصر طالب بیدختی ،

پرهام جواهری ؛ معاونت امور آب جهاد سازندگی

۲- ایمان الیاسیان، بسپازی خاک و مقاوم سازی فونداسیون، انجمن ملی مقاوم سازی وسایت [Iransaze](http://Iransaze.com)

۳-ایمان الیاسیان، راههای مقابله با زمین لفرش

انجمن ملی مقاوم سازی وسایت [Iransaze](http://Iransaze.com)

۴- حسین میسمی، روشهای گودبرداری، انتشارات سازمان عمران، انجمن ملی مقاوم سازی ۱۳۸۸