

## معرفی روش های مناسب مدیریت طبیعی در کاهش آلودگی رواناب های ناشی از سیلاب در محیط های شهری

سیداحمد حسینی، محمودرضا طباطبایی

اعضای هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران [sahosseini@yahoo.com](mailto:sahosseini@yahoo.com)

### چکیده

مدیریت سیلاب به فرآیندهای فراگیری در مهار سیل اطلاق می شود که گسترش سیلاب و خسارت ناشی از آن را تعدیل می کند. اقدامات سازه ای و مدیریتی زیادی برای مقابله با انواع آلودگی های رواناب های شهری نظیر رسوب، نیترات، فسفر و فلزات سنگین وجود دارد. بهترین اقدام مدیریتی برای یک سیلاب مناسب ترین راهی است که برای پیش گیری و یا کاهش آلودگی رواناب ناشی از بارش وجود دارد. این اقدامات از نظر اندازه به پروژه های نسبتاً بزرگ چندین هکتاری نظیر حوضچه های مرطوب و تالاب ها، تا پروژه های کوچک محلی نظیر باغ های بارانی برای گرفتن رواناب یک حیاط تقسیم می شود. انتخاب اقدام مناسب بستگی به اندازه و خصوصیات حوزه آبخیز، ارزش زمین، هزینه احداث و نوع آلودگی مورد نظر برای پالایش دارد. نوع آلودگی که باید کنترل شود، وسعت حوزه آبخیز، میزان تراوایی زمین، و مقدار زمین موجود برای سازه، همگی بر انتخاب بهترین اقدام مدیریتی تأثیر دارند. شماری از روش های مدیریتی و ویژگی های فنی کاربرد هر یک از آن ها، نظیر استفاده از حوضچه های مرطوب، تالاب های سیلاب گیر، چاه های نفوذ، حفاظت بیولوژیکی یا باغ های بارانی، فیلترهای ماسه ای و پخش کننده های سطحی و رودکنارها در این مقاله بحث شده اند.

**واژه های کلیدی:** آلودگی، چاه های نفوذ، حفاظت بیولوژیکی، حوضچه های مرطوب، رواناب، سیلاب گیر، فیلترهای ماسه ای، مدیریت.

## مقدمه

با وجودیکه بشر در طول تاریخ سیلاب‌ها زندگی کرده است، هیچ‌گاه اثرات مخرب سیلاب‌ها در گذشته مانند امروز نبوده است. زیرا افراد بسیار کمتری در سیلاب‌دشت‌ها زندگی می‌کردند و فعالیت‌های انسانی در گذشته این‌چنین موجب افزایش پتانسیل سیلاب نمی‌گردید. امروزه بر اساس تجارب جهانی مشخص شده است که مهار همه سیلاب‌ها امکان‌پذیر نیست و تنها می‌توان با مدیریت آن‌ها، خسارت‌ها را حداقل نمود.

روش‌های مختلفی برای مدیریت سیلاب به کار گرفته می‌شوند. این روش‌ها را می‌توان در چهار دسته زیر طبقه‌بندی نمود:

۱- تلاش در جهت کاهش سیلاب

۲- تلاش در جهت کاهش آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب

۳- تلاش در جهت کاهش خسارات

۴- ایجاد آمادگی برای تحمل خسارات

اولین دسته بر مبنای حفاظت فیزیکی به‌وسیله سازه‌ها می‌باشد و روش‌های سازه‌ای نامیده می‌شود. سه دسته دیگر در گروه روش‌های غیر سازه‌ای طبقه‌بندی می‌شوند.

به‌عبارت‌دیگر روش‌های سازه‌ای، قبل از وقوع سیلاب اعمال می‌شوند، ماهیت عمدتاً سازه‌ای دارند و به‌منظور دور کردن سیلاب از مردم به کار گرفته می‌شوند.

کلیه روش‌های کاهش مشکلات سیلاب که دربرگیرنده تواما سه مشخصه فوق‌نباشند، روش‌های غیر سازه‌ای مدیریت سیلاب می‌باشند. برای مثال مقابله به‌هنگام با سیلاب، دارای ماهیت سازه‌ای است و به‌منظور دور کردن سیلاب از مردم صورت می‌گیرد ولی در هنگام سیلاب انجام می‌شود یا مدیریت حوضه آبریز قبل از وقوع سیل و به‌منظور دور کردن سیلاب از مردم صورت می‌گیرد ولی ماهیت آن عمدتاً غیر سازه‌ای است.

روش‌های دیگر مانند هشدار سیلاب و تخلیه ساکنین به‌هنگام سیلاب و به‌منظور دور کردن مردم از سیلاب انجام می‌شدند و دارای ماهیت غیر سازه‌ای می‌باشند.

بهترین اقدام مدیریت طبیعی برای یک سیلاب شهری مناسب‌ترین راهی است که برای پیش‌گیری و یا کاهش آلودگی رواناب ناشی از بارش وجود دارد. این اقدام می‌تواند به‌سادگی استفاده از مقدار مناسب کود برای باغچه‌ی یک‌خانه و یا به پیچیدگی احداث یک سازه‌ی مهندسی همچون تالاب سیلاب‌گیر (Storm water Wetland) باشد. برخی از اقدامات تحت شرایط خاصی بهتر از دیگر اقدامات جواب می‌دهند. نوع آلودگی که باید کنترل شود، وسعت حوزه آبخیز، میزان تراوایی زمین، و مقدار زمین موجود برای سازه، همگی بر انتخاب بهترین اقدام مدیریتی تأثیر دارند. برخی اقدامات نسبتاً شناخته‌شده و تحقیق‌شده‌اند، درحالی‌که برخی دیگر در مرحله طفولیت می‌باشند. در ادامه چند اقدام برای مدیریت رواناب ناشی از باران، همراه با ویژگی‌های فنی کاربرد هریک از آن‌ها توضیح داده‌شده است.

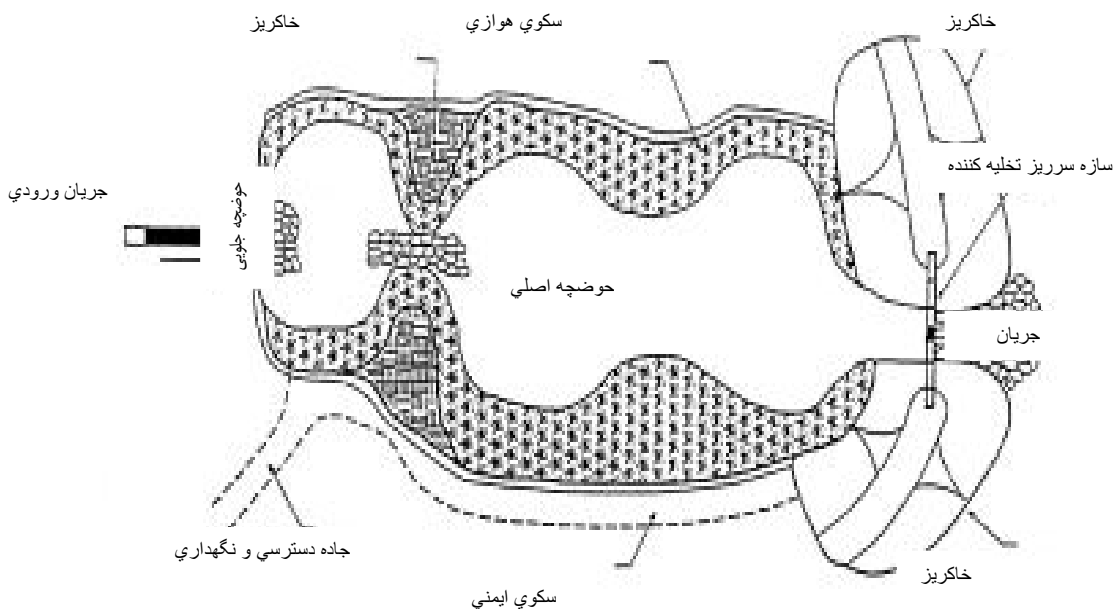
## ۱- استفاده از حوضچه‌های مرطوب (Wet Ponds)

حوضچه‌های مرطوب از اقدام‌های خیلی مرسوم می‌باشند که طی سالیان زیاد برای کنترل رواناب استفاده‌شده‌اند. در ابتدا حوضچه‌های مرطوب برای کنترل کمیت آب یا کنترل سیل طراحی می‌شدند. به یک مفهوم، مخازنی همچون دریاچه‌های طبیعی، حوضچه‌های مرطوب بزرگ هستند. این مخازن برخلاف حوضچه‌های مرطوب متعارف، آب موردنیاز مردم را نیز تأمین می‌کنند و برای ذخیره‌سازی آب کافی در دوران خشک‌سالی طراحی می‌شوند.

در حال حاضر حوضچه‌های مرطوب برای افزایش کیفیت رواناب‌های ناشی از سیلاب طراحی می‌شوند. در شکل ۱ یک طرح تیپ از این قبیل حوضچه‌ها نشان داده‌شده است. بدنه اصلی حوضچه مرطوب، یک استخر به عمق ۱/۲ تا ۲/۴ متر است که به دنبال یک حوضچه جلویی (forebay) آورده می‌شود. حوضچه جلویی جایی است که رواناب واردشده و رسوبات و آلودگی‌های چسبیده به رسوبات ته‌نشین می‌شوند. حوضچه جلویی طوری طراحی می‌شود که به‌آسانی تخلیه شود و با فراهم کردن امکان دسترسی برای ماشین‌آلات حفاری، رسوبات ته‌نشین شده به‌راحتی برداشته شوند.

در دو ضلع حوضچه مرطوب، یک سکوی آبی (وابسته به آب) که با گیاهان مرداب پسند پر شده است ساخته می‌شود. سکو کم عمق بوده و دارای شیب ملایمی نظیر شیب ۱ به ۶ (عمودی به افقی) می‌باشد. عرض سکو حداقل ۳/۶ متر برای ملاحظات ایمنی در نظر گرفته می‌شود. رواناب ورودی به حوضچه مرطوب از طریق یک سری خروجی، شامل سرریزها و ناودان‌ها خارج می‌شود؛ این خروجی‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که آب داخل آن‌ها از روی سد سرریز نشود.

اندازه یک حوضچه مرطوب متناسب با وسعت حوزه آبخیزی که حوضچه برای آن ساخته شده است تغییر می‌کند. در برخی مناطق، حوضچه‌های مرطوب باید به بزرگی ۱ تا ۲ درصد از سطحی که رواناب آن را زهکشی می‌کنند باشند. مثلاً یک حوزه ۱۰ کیلومترمربعی ممکن است به یک حوضچه مرطوب به وسعت ۱۰ تا ۲۰ هکتار نیاز داشته باشد. فاکتورهای دیگری که بر اندازه حوضچه مرطوب اثر می‌گذارند عبارت از عمق حوضچه ذخیره و مقدار تراوایی سطوح حوضچه هستند. حوضچه‌های عمیق‌تر اجازه استفاده از مساحت کمتری را می‌دهند. بدیهی است یک حوزه شهری کاملاً توسعه یافته، با سطوح نفوذناپذیر فراوان در مقایسه با حوزه‌ای که سطوح سبز بیش‌تری دارد، به حوضچه مرطوب بزرگ‌تری احتیاج دارد.



شکل ۱- پلان یک حوضچه مرطوب

قیمت زمین و هزینه حفاری، هزینه‌های اصلی حوضچه‌های مرطوب می‌باشند. هزینه‌های دیگر شامل هزینه‌ی طراحی و ساخت سد و خروجی‌ها (تخلیه کننده‌ها)، نگهداری دوره‌ای حوضچه جلویی و تأسیسات خروجی می‌باشد. در نواحی شهری کاملاً توسعه یافته که قیمت زمین خیلی بالاست و خاک‌های حفاری شده باید تا مسافت‌های طولانی حمل شوند، این اقدام ممکن است پرهزینه و غیراقتصادی باشد.

تحقیقات نشان داده است که حوضچه‌های مرطوب نرخ جداسازی رسوب خیلی بالایی بالغ بر ۷۰ درصد یا بیش‌تر برای کل جامدات معلق (TSS) دارند، به شرطی که از حوضچه خوب نگهداری شود. این مسئله به دلیل کاهش سرعت رواناب هنگام ورود به حوضچه مرطوب می‌باشد که اکثر مواد جامدی را که با سرعت بالا با خود حمل می‌کند، نمی‌تواند نگه دارد. از آنجاکه دیگر آلودگی‌ها نظیر فسفر و آفت‌کش‌ها به رسوبات می‌چسبند، حوضچه‌های مرطوب، مقدار زیادی از آن‌ها را نیز حذف می‌کنند. با این وجود، حوضچه‌های مرطوب نیترات- نیتروژن را جدا نمی‌کنند. در مطالعاتی که اخیراً انجام شده است نشان می‌دهد نرخ پالایش نیترات بین ۲۰ تا ۲۵ درصد می‌باشد.

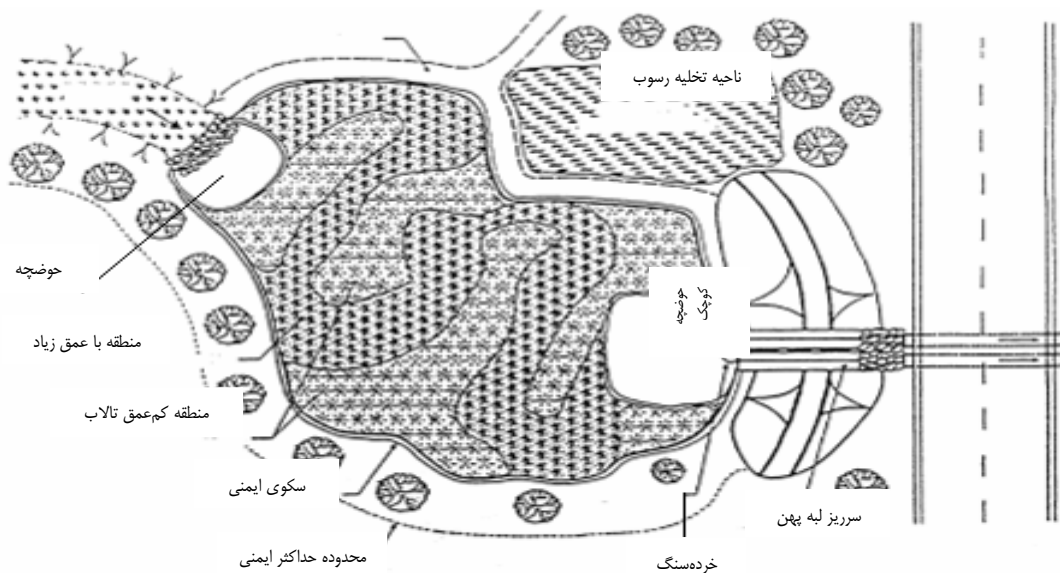
## ۲- به کارگیری تالاب‌های سیلاب‌گیر (Storm water Wetlands)

تالاب‌های سیلاب‌گیر در برخی محیط‌های شهری در حال تبدیل شدن به یک اقدام مردمی شده‌اند. طراحی آن‌ها شبیه طراحی حوضچه‌های مرطوب است، به جز این که عمق آن‌ها خیلی کم‌تر است. تالاب‌های سیلابی به ندرت عمیق‌تر از ۳۰ تا ۴۵ سانتی‌متر ساخته می‌شوند؛ از این رو قابلیت کنترل سیل آن‌ها محدود است. در طراحی این تالاب‌ها برای به حداکثر رساندن طول مسیر جریان، از ایجاد حالت سینوزیته استفاده می‌شود (شکل ۲). این موضوع زمان ماند جریان در تالاب را افزایش داده و از عبور سریع سیلاب از تالاب جلوگیری می‌کند. یک تالاب سیلابی به‌طور تیپیک از یک حوضچه جلویی (یا استخر کوچک) جایی که مواد جامد در همان ابتدا ته‌نشین می‌شوند، آغاز می‌شود. همانند حوضچه‌های مرطوب، حوضچه جلویی ناحیه‌ای است که به راحتی قابل دسترسی برای لایروبی و برداشت مواد ته‌نشین شده می‌باشد. بدنه اصلی تالاب از نواحی بلند و پست تشکیل شده است، که موجب تغییر در نوع پوشش گیاهی در سطح تالاب می‌شود.

همانند حوضچه‌های مرطوب، تالاب‌ها از ته‌نشین کردن رسوبات و آلودگی‌های پیوسته به آن‌ها به‌عنوان یک ابزار پالایش استفاده می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، تالاب‌ها حدود ۸۰ درصد از TSS را حذف می‌کنند. هم‌چنین تالاب‌ها در مقایسه با حوضچه‌های مرطوب مقدار بیشتری از نیترات-نیترژن را حذف می‌کنند. پوشش گیاهی درون تالاب مقداری از نیترات محلول را برای رشد گیاه جذب می‌کند، پوشش گیاهی تالاب محیطی را برای میکروبی‌های هوازی و غیر هوازی برای هضم نیترات فراهم می‌کند، که در نهایت از طریق چرخه نیتروژن دهی (Denitrification) به گاز نیتروژن بی‌خطر تبدیل می‌شود. در حالی که نرخ جداسازی نیترات بسته به طراحی تالاب و شرایط پیشین به مقدار زیادی متغیر است؛ نشان داده شده است که تالاب‌ها به‌خوبی بیش از ۴۰ درصد از نیترات ورودی به سیستم را پالایش می‌کنند.

تالاب‌ها، به‌طور طبیعی، سطح زمین بیش‌تری را نسبت به حوضچه‌های مرطوب اشغال می‌کنند. هزینه‌های حفاری در تالاب‌ها به دلیل کم‌عمق بودن، عموماً کم‌تر از حوضچه‌های مرطوب است. هزینه طراحی و احداث سازه تخلیه‌کننده (خروجی)، که اغلب یک سرریز کوتاه است، به اندازه هزینه حوضچه‌ها نمی‌باشد. با این وجود هزینه کاشت گیاه در تالاب، هزینه اضافی است که در مورد حوضچه‌ها وجود ندارد.

جاده دسترسی و نگهداری



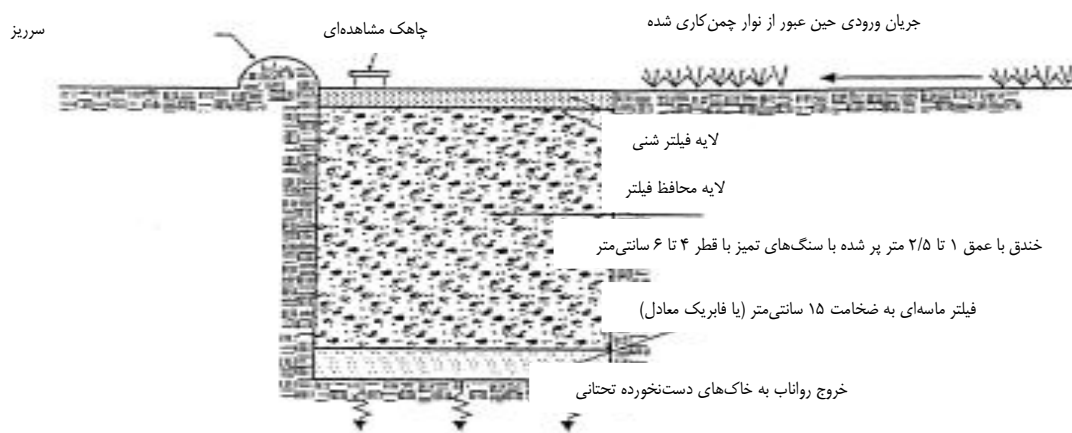
شکل ۲- پلان یک تالاب سیلاب‌گیر

### ۳- خندق‌ها/چاه‌های نفوذ (Infiltration Trenches/Wells)

همان‌طور که گفته شد، یکی از اثرات اولیه توسعه شهری آن است که آبی که پیش‌تر از طریق نفوذ وارد زمین می‌شد، اکنون تبدیل به رواناب می‌شود. از آنجاکه آب‌های زیرزمینی دبی پایه بسیاری از آبراهه‌ها را تأمین می‌کنند بسیار مهم است که از طریق نفوذ دادن رواناب به داخل زمین، سطح آب زیرزمینی در ترازهای بالا نگه‌داشته شود. شیوه‌های مختلفی برای افزودن آب سطحی به آب‌های زیرزمینی وجود دارد. به‌طور مشخص خندق‌ها یا چاه‌های نفوذ برای این کار طراحی می‌شوند.

خندق و چاه نفوذ در اصل یک کارکرد دارند و تفاوت آن‌ها تنها در ابعاد و حجم می‌باشد. خندق‌ها طولانی و باریک هستند و در طول بیش‌تری مسیر رواناب سطحی را قطع می‌کنند. چاه‌ها در واقع گودال‌هایی هستند که برای گرفتن جریان‌های متمرکز طراحی می‌شوند. هر دو با سنگ‌های بزرگ بسیار تراوا پر می‌شوند (شکل ۳). خندق یا چاه در طول رگبار از رواناب پر شده و آب را ذخیره می‌کند تا آب به داخل زمین نفوذ کند. کارایی این شیوه بستگی به نوع خاک محیط دارد. خاک تا حد ممکن بهتر است که ماسه‌ای باشد. انواع خاک‌های ریزدانه‌تر از ماسه‌ی لومی، منجر به شکست خندق یا چاه می‌شود. از این‌رو این اقدام بیش‌تر در دشت‌های ساحلی و نواحی تپه‌های ماسه‌ای کاربرد دارد.

چنانچه اجازه داده شود جریان‌های واریزه‌ای وارد سیستم شوند ممکن است چاه یا خندق را مسدود کند. در این صورت تنها راه باز کردن مجدد سیستم، برداشتن کلیه سنگ‌های درون چاه یا خندق می‌باشد. از این‌رو باید دقت زیادی شود تا تنها آب بتواند وارد سیستم شود و مواد معلق خارج از سیستم نگه‌داشته شوند.

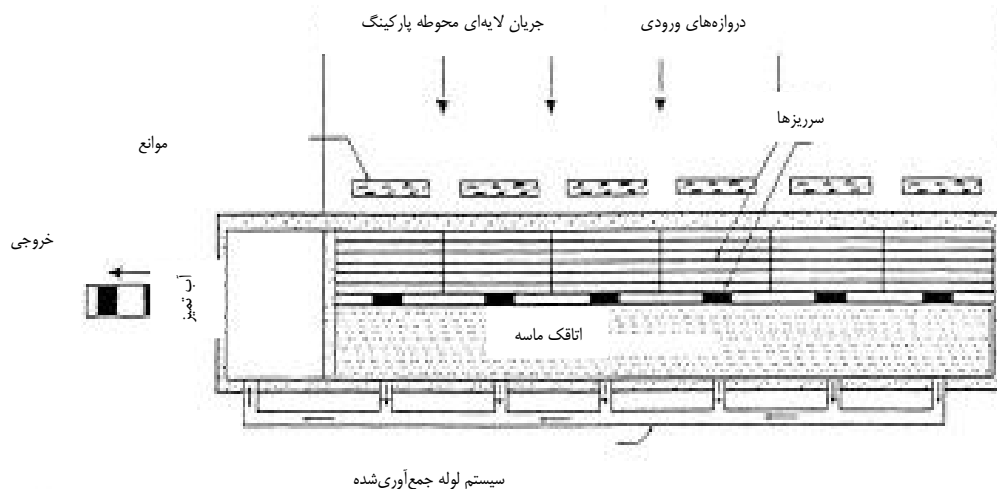


شکل ۳- پروفیل یک سیستم نفوذ

مطالعات اندکی برای تعیین تأثیر کمی و کیفی این نوع سیستم‌های نفوذ بر جداسازی آلودگی‌ها از رواناب انجام شده است. اگر دقت شود تا جریان‌های واریزه‌ای و مواد معلق همراه با رواناب وارد چاه‌های نفوذ نشوند، این چاه‌ها هزینه زیادی ندارند و هزینه حفاری، حمل سنگ‌ها و جایگذاری آن‌ها، هزینه عمده این سیستم می‌باشد.

### ۴- فیلترهای ماسه‌ای (Sand Filters)

فیلترهای ماسه‌ای دارای یک سیستم دو ردیفه هستند (شکل ۴). رواناب حاصل از رگبار ابتدا وارد یک اتاقک رسوب‌گذاری می‌شود که در آن مواد رسوبی و غیره ته‌نشین می‌شود. آنگاه آب وارد یک محفظه‌ی پر از ماسه می‌شود و از درون ستونی از ماسه عبور می‌کند. در این مرحله است که بخش عمده پالایش آب انجام می‌شود. ماسه‌ای که در این سیستم استفاده می‌شود اغلب همان ماسه بتن‌سازی است. فیلترهای ماسه‌ای قابلیت آن را دارند که به‌آسانی مسدود شوند. به همین دلیل از این سیستم بیش‌تر برای پالایش رواناب نواحی بسیار ناتراوا نظیر پارکینگ‌ها استفاده می‌شود. برای احداث فیلتر ماسه‌ای نشان داده شده در شکل ۴، برای پالایش رواناب حاصل از هر ۴۰۰۰ مترمربع زمین، نیاز به سطحی در حدود ۴۰ مترمربع می‌باشد.



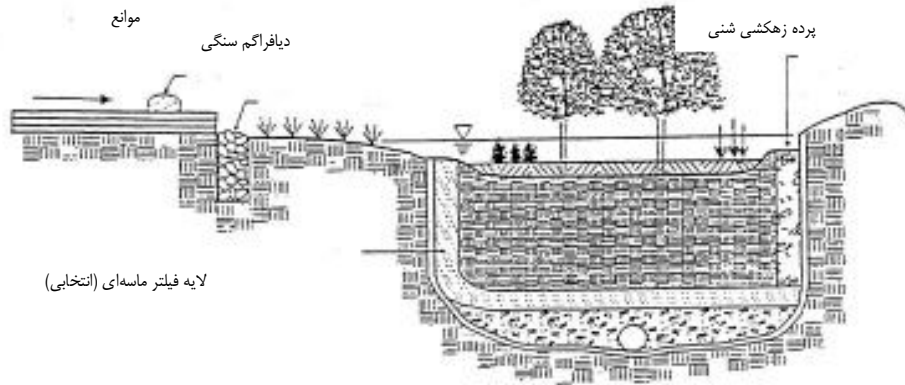
شکل ۴- پلان یک فیلتر ماسه‌ای

سامانه‌ی فیلترهای ماسه‌ای خیلی گران بوده و معمولاً از بتن پیش‌ساخته یا ریخته شده در محل ساخته می‌شوند. هزینه عمده دیگر این فیلترها در نیاز شدید آن‌ها به نگهداری است که بسته به میزان استفاده از پارکینگ، هر سه سال تا شش ماه یک‌بار انجام می‌شود. نگهداری این فیلترهای ماسه‌ای معمولاً شامل تعویض لایه بالایی ماسه به ضخامت ۲/۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر در هنگام گرفتگی فیلتر است. فیلترهای ماسه‌ای یک مزیت مهم دارند و آن این است که نیاز به زمین با سطح زیاد نظیر تالاب‌ها و یا حوضچه‌های مرطوب ندارند. در مناطق شهری بسیار توسعه یافته که زمین بسیار گران است، فیلترهای ماسه‌ای ممکن است بهترین گزینه باشند. فیلترهای ماسه‌ای در جداسازی آلودگی‌های غیر محلول شامل TSS و آلودگی‌های جذب شده به رسوبات خیلی مؤثر هستند. در برخی مطالعات نرخ جداسازی حدود ۸۰٪ برای TSS و تا ۶۰٪ برای فسفر بوده است. با این حال فیلترهای ماسه‌ای به خاطر طبیعتشان تولیدکننده نیترات هستند ولی شکل‌های دیگری از نیتروژن نظیر نیتروژن آلی را، که در یک محیط هوایی به نیترات تبدیل می‌شود، به تله می‌اندازند. از این رو، در حالی که نرخ جداسازی نیتروژن کل مثبت است، سطح نیتروژن-نیترات در استفاده از فیلترهای ماسه‌ای افزایش می‌یابد. در حال حاضر محققین به دنبال طرح‌ها و مواد دیگری برای فیلترهای ماسه‌ای برای جداسازی نیتروژن-نیترات هستند.

#### ۵- نواحی حفاظت بیولوژیکی یا باغ‌های بارانی

وسیله دیگر نفوذ آب که در حال متداول تر شدن است، باغ‌های بارانی (Rain Gardens) یا نواحی حفاظت بیولوژیکی (Bio-Retention Areas) می‌باشند. این اقدام منجر به تلفیق عمل کنترل رواناب حاصل از رگبار با ایجاد چشم اندازهای زیبا می‌شود، که باعث شده است بسیاری از مالکین خانه‌ها این روش را به کار گیرند. برخلاف تالاب‌ها و حوضچه‌ها، که رواناب را برای مدت طولانی در خود نگه می‌دارند، نواحی حفاظت بیولوژیکی رواناب‌ها را تنها برای مدت زمانی کوتاه نگه می‌دارند. این نواحی طوری طراحی می‌شوند که طی ۴۸ ساعت پس از سیلاب‌های بزرگ، زهکشی و تخلیه شوند. از این رو گیاهانی که به طور طبیعی در تالاب‌ها و حوضچه‌ها قادر به رشد نیستند برای این قبیل نواحی یا باغ‌ها مناسب می‌باشند.





شکل ۵ - سطح مقطع یک باغ بارانی

در شکل ۵ سطح مقطع یک باغ بارانی نشان داده شده است. سطح زمین از لایه‌ای از خاک مناسب برای رشد گیاهان و درختان پوشیده است. در زیر این لایه، یک مخلوط ماسه تا ماسه لومی قرار می‌گیرد که بسیار متخلخل و تراوا است. طراح باغ بارانی این انتخاب را دارد که لوله‌های زهکشی را در قسمت تحتانی باغ قرار دهد و یا اجازه دهد که آب به داخل زمین اطراف نفوذ کند. همانند سیستم خندق‌ها و چاه‌های نفوذ، شرایط خاک محیط بسیار مهم است. خاک‌های ماسه‌ای در این شرایط بهترین نوع خاک هستند و خاک‌های ریزتر از ماسه‌ی لومی، نیاز به زهکشی دارند و بدون آن، سیستم با شکست مواجه خواهد شد. از آنجاکه این روش جدید است و آمار و اطلاعات زیادی در مورد آن وجود ندارد میزان تأثیر باغ‌های بارانی هنوز نسبتاً ناشناخته است. با این وجود، مطالعات اولیه نشان می‌دهد که این سیستم مقادیری از بیش‌تر انواع آلودگی را از رواناب جدا می‌کند، گرچه نتایج نشان می‌دهد که این سیستم نمی‌تواند نیترات را کنترل کند. در این طرح نیز ملاحظات اقتصادی شامل هزینه حفاری، سیستم زهکشی، زمین موردنیاز و پوشش گیاهی می‌باشد.

#### ۶- پخش‌کننده‌های سطحی و رودکنارها

در برخی مناطق ایجاد و حفظ فضاهای کنار رودخانه‌ای (Riparian Buffers) یا رودکنارها در طول آبراهه‌ها اجباری است. عبور رواناب سطحی ورودی به آبراهه از این فضاها باعث جداسازی انواع آلودگی‌ها از جمله رسوب، فسفر و نیترات می‌شوند. رسوب و فسفر با آهسته شدن سرعت جریان هنگام عبور از فضاهای کنار رودخانه‌ای به تله می‌افتد. نیترات موجود در آب زیرسطحی، به‌وسیله میکروبه‌های موجود در محیط زیرین، به همان طریق که در مورد تالاب‌ها گفته شد، به گاز نیتروژن تبدیل می‌شود. در برخی موارد رودکنارها با استفاده از خندق‌ها و یا لوله‌هایی میان‌بر زده می‌شوند. این کار تأثیرگذاری این فضاها را در پالایش رواناب به مقدار زیادی محدود می‌کند.

از پخش‌کننده‌های سطحی (Level Spreaders) می‌توان برای پخش کردن جریان استفاده کرد. به طوری که یک لایه نازک از جریان از طریق فضاهای کناری رودخانه‌ای عبور نماید. پخش‌کننده‌های سطحی به صورت خندق‌های کم‌عمق به موازات آبراهه با پوشش سنگفرش که لبه آن‌ها از ابتدا تا انتها کاملاً تراز می‌باشد احداث می‌شوند. هدف از احداث پخش‌کننده‌های سطحی، ایجاد جریان ورقه‌ای است. اگر یک قسمت از پخش‌کننده سطحی تراز نباشد تمام سیستم بی‌اثر می‌شود. این روش در محیط‌های شهری کاملاً جدید می‌باشد و داده‌های کمی برای نشان دادن میزان تأثیر پخش‌کننده‌های سطحی وجود دارد. به‌طور نظری این سیستم باعث کاهش سرعت جریان در حین عبور از فضای رودکنار شده و منجر به ته‌نشست رسوبات و نفوذ بخشی از جریان سطحی به داخل زمین می‌شود. مناطق کنار رودخانه‌ای نیاز به قطعات طولانی از زمین دارند، که مقدار زیادی پول می‌طلبد. احداث پخش‌کننده‌های سطحی نسبتاً آسان است و فضای زیادی نمی‌خواهد. باوجوداین، در نواحی معینی با شیب تندتر ممکن است نیاز به بیش از یک پخش‌کننده باشد تا جریان ورقه‌ای را در سرتاسر منطقه ایجاد کند.

## ۷- کانال‌های چمنی مسلح (Reinforced Grassy Swales)

کانال‌های چمنی (کانال‌های کوچک با پوشش چمن) برای انتقال رواناب در مناطق کم‌تر توسعه‌یافته به کار می‌روند. این کانال‌ها می‌توانند مقدار کم اما مهمی از آلودگی را پالایش کنند. برای رواناب‌های با سرعت بالا (بیش از ۱/۲ متر بر ثانیه) استفاده از کانال‌های چمنی مناسب نیست زیرا منجر به فرسایش آن‌ها می‌شود. در این صورت لازم است از پوشش‌های بتنی یا سنگفرش در کف کانال‌ها استفاده شود. شیب‌شکن‌های مناسب نیز می‌توانند در طول این کانال‌ها ساخته شوند. این شیب‌شکن‌ها مخازن موقتی را برای نگهداری رواناب ایجاد کرده و در نهایت آن را به درون زمین نفوذ می‌دهند. میزان تأثیر این اقدام با ۱۵ درصد جداسازی مواد آلی و جداسازی حدود ۳۰ درصد مواد جامد معلق (TSS) نسبتاً کم می‌باشد. چنانچه کانال‌های چمنی درست نگهداری نشوند، مثلاً کوتاه کردن چمن‌ها به‌موقع انجام نشود، این سیستم ممکن است به افزایش مواد آلی موجود در آب کمک کند.

### نتیجه‌گیری

از زمان‌های دور فرسایش و رسوب به‌عنوان یکی از ملاحظات کیفیت آب شناخته‌شده است. علاوه بر رسوبات، فلزات و مواد شیمیایی آلی از وسایل نقلیه و صنایع، رواناب ناشی از رگبار را به مقدار زیادی آلوده می‌کنند. نیترا‌تها هم در محیط‌های شهری در شکل‌های مختلفی از طریق کودهای شیمیایی که برای رشد گیاهان استفاده می‌شود، فضولات حیوانات خانگی و سیستم تخلیه فاضلاب‌های انسانی وارد می‌شوند. روش‌های زیادی برای کاهش میزان آلودگی وجود دارد که برخی از آن‌ها به کاهش منبع آلودگی توجه دارند (نظیر استفاده مناسب از کودها و اجرا و نگهداری صحیح سیستم جمع‌آوری فاضلاب‌های خانگی) و برخی دیگر به جداسازی آلودگی از رواناب جاری می‌پردازند. در این مقاله به‌مرور روش‌های مناسب برای مدیریت رواناب و کاهش مقدار آلودگی ورودی به آبراه‌ها پرداخته شد.

از آنجائی که سیلاب زمانی روی می‌دهد که خاک و گیاهان نتوانند بارش را جذب نموده و در نتیجه کانال طبیعی رودخانه کشش گذردهی رواناب ایجاد شده را نداشته باشد، به‌کارگیری روش‌های اصلی مهار سیلاب شامل احیاء جنگل‌ها، احداث سیل بندها، سدها، مخازن و کانال‌های سیلاب بر دارای اهمیت می‌باشند. سیل بندها ممکن است طراحی شوند یا بدون طراحی احداث شوند. در سیل بندهای طراحی‌شده، ملاحظات تخصصی بر شرایط خاک پی، نوع خاک مورد استفاده در خاکریز، تراکم مناسب خاکریز، حفاظت بالادست سیل بند در مقابل آبشستگی و دیگر عوامل مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌طور خلاصه تمهیدات برنامه‌ریزی و واکنشی مورد نیاز در مدیریت سیلاب در جدول‌های شماره ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- تمهیدات برنامه‌ریزی

هدف	زمان	ماهیت	روش
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	هنگام وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	پیش‌بینی سیلاب
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	هنگام وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	پیش‌بینی سیلاب‌های دریایی
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	قبل از وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	کنترل گسترش سیلاب‌دشت
می‌تواند در دور کردن مردم از سیلاب مؤثر باشد	قبل از وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	بیمه سیلاب
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	قبل از وقوع سیلاب	سازه‌ای و غیر سازه‌ای	مقاوم‌سازی در مقابل سیلاب
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	قبل از وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	آموزش عمومی
عمدتاً دور کردن سیلاب از مردم	قبل از وقوع سیلاب	سازه‌ای و غیر سازه‌ای	مدیریت حوضه آبریز
هر دو	قبل از وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	تصمیم‌گیری
عمدتاً دور کردن سیلاب از مردم	قبل از وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	مدیریت سیلاب فصلی در مخازن



جدول ۲- تمهیدات واکنشی

هدف	زمان	ماهیت	روش
هر دو	قبل از وقوع سیلاب	غیر سازه‌ای	برنامه‌ریزی جهت مقابله با سیل
عمدتاً دور کردن مردم از مردم	به هنگام سیلاب	عمدتاً سازه‌ای	مقابله با سیلاب
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	به هنگام سیلاب	غیر سازه‌ای	هشدار سیل
دور کردن مردم از سیلاب	به هنگام سیلاب	غیر سازه‌ای	تخلیه
هر دو	به هنگام سیلاب	غیر سازه‌ای	مدیریت بهنگام سیلاب در مخزن
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	به هنگام سیلاب	غیر سازه‌ای	کمک‌های اضطراری

امروزه بر اساس تجارب جهانی مشخص شده است که مهار همه سیلاب‌ها امکان‌پذیر نیست و تنها می‌توان با مدیریت آن‌ها، خسارات را حداقل نمود. به‌طور کلی مقایسه روش‌های اشاره‌شده در کنترل آلودگی ناشی از رواناب و سیلاب نشان داد نرخ جداسازی رسوب در حوضچه‌های مرطوب بالغ بر ۷۰ درصد برای کل جامدات معلق (TSS) می‌باشد، در صورتی که تالاب‌ها با حذف حدود ۸۰ درصد از TSS، بهترین روش کنترل مواد می‌باشند. همچنین تالاب‌ها در مقایسه با حوضچه‌های مرطوب مقدار بیشتری از نیترات-نیترژن را حذف می‌کنند. همچنین نرخ جداسازی TSS و فسفر در به‌کارگیری روش فیلترهای ماسه‌ای به ترتیب حدود ۸۰ و ۶۰ درصد می‌باشد. کانال‌های چمنی نیز با جداسازی حدود ۳۰ درصد TSS، کمترین میزان تأثیر را در جداسازی مواد جامد معلق دارند.

#### منابع

- Brown, W. and T. Schueler. 1997. National Pollutant Removal Performance Database for Storm water Best Management Practices. Ellicott, MD: Center for Watershed Protection.
- Claytor, R.A. and T.R. Schueler. 1996. Design of Storm water Filtering Systems. Ellicott City, MD: Center for Watershed Protection.
- DEHNR. 1995. Storm water Best Management Practices Manual. Raleigh: North Carolina Department of Environment, Health, and Natural Resources. 85 pp.
- Environmental Protection Agency. 1992. Sand Filter Design for Water Quality Treatment. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Watershed Management Unit. 6 pp.
- Environmental Protection Agency. 1996. Protecting Natural Wetlands: A Guide to Storm water Best Management Practices. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. (Epa-843-B-96-001)
- Northern Virginia Planning District Commission and Engineers and Surveyors Institute. 1992. Northern Virginia BMP Handbook: A Guide to Planning and Designing Best Management Practices in Northern Virginia. Annandale, VA: Northern Virginia Planning District Commission. 302pp.