تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۵، بهمن و اسفند ۱۳۹۶ (ص۹۴۰-۹۲۹) DOI: 10.22059/ijswr.2017.211110.667497

بررسی اثرات گل‌آلوده‌سازی آب در کاهش نشت از کانال‌های انتقال آب (مطالعه موردی: شهرستان فردوس، خراسان جنوبی)

علی نصیریان[1*]، محمود فغفور مغربی[2]، ابوالفضل اکبرپور[3]، علی محتشمی[4]

۱. استادیار، دانشکده مهندسی گروه عمران دانشگاه بیرجند

۲. استاد، دانشکده مهندسی گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشیار، دانشکده مهندسی گروه عمران دانشگاه بیرجند

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی گروه عمران دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲ – تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱/۲۰ – تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱/۲۷)

چکیده

آب قنوات بلده از طریق کانالی به طول تقریبی ۱۵ کیلومتر به اراضی فردوس می‌رسد. کشاورزان برای کاهش اتلاف آب در کانال انتقال، نسبت به گل‌آلوده‌سازی آب مبادرت می‌ورزند. در تحقیق حاضر با انجام اندازه‌گیری نشت در کانال‌های مختلف در زمان عبور آب زلال و گل‌آلود، اثرات گل‌آلوده‌سازی بر روی اتلاف آب کانال‌ها بررسی شد. اندازه‌گیری نشت در کانال‌های ۱ و ۲ با آزمایش ورودی-خروجی و در کانال ۳ با آزمایش برکه محاسبه شد. نتایج نشان داد که عبور آب گل‌آلود می‌تواند در بازه زمانی ۱۶ ساعت، نشت را ۶۰ تا ۶۷ در صد کاهش دهد. ادامه گل‌آلوده سازی در طی زمان و کنترل فرسایش می‌تواند به ۹۵ درصد کاهش نشت منجر شود. اتلاف آب در اثر نشت از محل‌های ورودی آب به زمین‌های کشاورزی دو برابر نشت از بستر کانال می‌باشد و گل‌آلوده‌سازی آب در آب‌بندی منافذ دریچه‌های آبگیری نیز به شکل مشابه بستر کانال می‌تواند تا ۹۵ درصد نشت را کاهش دهد. در حال حاضر، مهم‌ترین تأثیر مثبت گل‌آلودگی آب قنات بلده در مسیر انتقال به زمین‌های کشاورزی، بستن تمامی درزها و منافذ خروجی آب بازمانده زیر دریچه‌های کشویی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری دبی، گرفتگی منافذ خاک، آب‌بندی کانال، دریچه آبگیر

مقدمه

به دلیل قرارگیری ایران در منطقه خشک و کم آب، همواره آب در آن ارزش و منزلت بالایی داشته است. یکی از مهم‌ترین مشکلات در زمینه انتقال آب، اتلاف آب در کانال‌ها می‌باشد. این اتلاف به‌صورت نشت از جداره‌ها، خروج از روزنه‌های موجود در دیواره‌ها و همچنین عدم بسته شدن کامل محل‌های انشعاب می‌باشد. روش‌های متفاوتی همچون استفاده از پوشش‌های آسفالتی، بتنی، ژئوممبرن‌ها، فایبرگلاس‌ها و ... به‌منظور کاهش نشت در کانال‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. روشی که در گذشته برای کاهش نشت مورداستفاده قرار می‌گرفته است، گل‌آلوده سازی آب بوده است. گل‌آلوده‌سازی آب از عملیات رایج در بین کشاورزان سنتی برای عبور آب از کانال‌های جدیدالاحداث و مخصوصاً بر روی بسترهای شنی بوده است. این کار در قسمت خشکه کار قنوات نیز به‌عنوان تنها تکنیک کاهش نشت شناخته می‌شود؛ اما گل‌آلوده سازی آب در برخی مناطق نظیر بلده فردوس به شکل دیگری مورداستفاده قرار می‌گیرد.

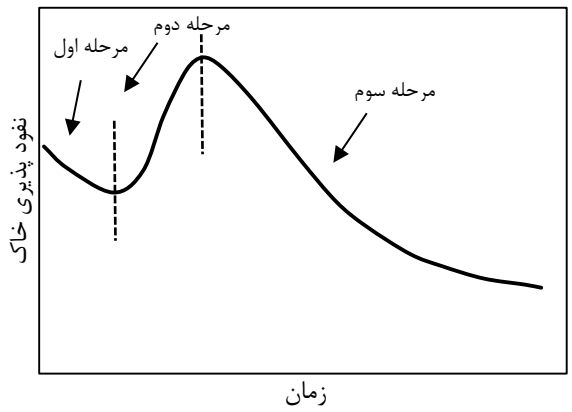
آب قنوات بلده از طریق کانالی به طول تقریبی ۱۵ کیلومتر به باغات و زمین‌های باغستان و اسلامیه فردوس می‌رسد. مردم منطقه با گل‌آلوده‌سازی آب، تنها روشی که در گذشته وجود داشت، سعی در کاهش نشت کانال در انتقال به زمین‌های پایین‌دست می‌نمودند؛ اما حال باوجود پوشش‌دار شدن اکثر مسیر کانال، هنوز هم مردم منطقه به گل‌آلوده‌سازی آب مبادرت می‌ورزند.

در زمینه نشت از کانال‌های خاکی و تأثیر گل‌آلوده‌سازی آب بر نشت، تحقیقات زیادی در سایر نقاط جهان به انجام رسیده است. Allison (1947) سه بخش مهم تغییرات نفوذپذیری با زمان را همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، تشریح کرد: ۱-کاهش اولیه در نفوذپذیری به خاطر ته‌نشینی رسوبات و تورم ذرات خاک در برخی از انواع خاک‌های رسی. ۲-دوره کوتاه‌مدت افزایش نفوذپذیری به خاطر جایگزینی هوای موجود بین دانه‌های خاک با آبی که به داخل خاک نفوذ

* نویسنده مسئول: ali.nasirian.1359@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

کرده است. ۳- گرادیان کاهشی در میزان نشت آب به خاطر آب‌بندی ناشی از فعالیت‌های میکروبی.



شکل ۱- تغییرات نفوذپذیری به‌صورت تابعی از زمان (Allison, 1947)

Byrnes and Webster (1981) اظهار داشتند که نفوذپذیری خاک بستر تنها در کانال‌های جدیدالاحداث عامل مهمی است ولی با گذشت زمان از ساخت یا تغییرات در کانال، کانال‌ها در طی یک فرایند طبیعی، خودشان را تا رسیدن به یک حالت حدی، آب‌بندی می‌کنند. Smith and Turner (1982) اظهار داشتند که ته‌نشینی مناسب لایه‌ای از رسوبات بر روی بستر کانال می‌تواند به‌صورت پوششی برای کانال عمل کند و در آب‌بندی کانال بسیار مؤثر است. Kraatz (1977) آب‌بندی کانال‌ها را بدین شرح بیان کرد. مواد معلق موجود در آب هنگام نشت به داخل منافذ خاک کانال حمل می‌شوند. اگر آب جاری در کانال مقادیر قابل‌توجهی مواد معلق داشته باشد، نشت کانال در طول یک دوره زمانی کوتاه‌مدت کاهش می‌یابد. اگر میزان مواد معلق خیلی کم باشد، آب‌بندی کانال در طول مدت زیادی پدیدار خواهد شد. اگر سرعت آب جاری در کانال کاهش یابد، ظرفیت حمل رسوب توسط آب کاهش خواهد یافت، در نتیجه رسوب‌گذاری قسمتی از مواد معلق در کانال را خواهیم داشت. Brockway And Worstell (1968) بخش زیادی از کاهش نشت آب را به نفوذ رسوبات به داخل بافت خاک نسبت داده و تغییرات فصلی نفوذپذیری را به فعالیت‌های میکروبی مرتبط دانستند. Cunningham *et al.* (1994) اثر متغیرهای مواد رسوبی را روی گرفتگی منافذ نشت آب بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان نفوذپذیری بستر بعد از ۲۴ ساعت از اضافه کردن رسوبات معلق به آب کانال، بین ٪۹۵-۷۰ درصد کاهش یافت. آن‌ها اثر مواد رسوبی متفاوتی را در غلظت‌هایی که بین ۲۰۰ppm تا ۱۶۰۰ppm بود، مورد آزمایش قرار داند. نتایج این تحقیقات نشان داد که برای همه انواع رسوبات معلق میزان نفوذپذیری بستر بین ٪۹۵-۷۰ درصد کاهش یافت. تغییر میزان رسوب موجود در آب بین ۲۰۰ تا ۱۶۰۰ppm، هیچ‌گونه اثر معنی‌داری روی کاهش نفوذپذیری نشان نداد. تمامی رسوبات مورداستفاده در آن پژوهش اندازه‌ای کمتر از ۱ میلی‌متر داشتند و به‌صورت دقیق‌تر اندازه آن‌ها در بازه ۰/۰۶ تا ۰/۰۰۱ میلی‌متر بود. تغییرات سرعت متوسط آب کانال، نقش مهمی در فرآیند گرفتگی منافذ کانال[1] دارد. برای سرعت‌هایی در حدفاصل صفر تا ۰/۲۷ m/s کاهش در میزان نفوذپذیری بستر کانال به‌وسیله لایه‌ای به ضخامت ۱/۲۷-۰/۴۶ cm از مواد ریزدانه که در سطح مواد نفوذپذیر ته‌نشین شده‌اند، انجام می‌شود. برای سرعت‌های بالاتر، بیش از ۰/۲۷ m/s، فرآیند گرفتگی منافذ کانال به‌وسیله یک لایه نازک و به هم فشرده در داخل منفذهای خاک در بالاترین لایه خاک از کانال با بستر رسوبی، سبب کاهش نشت می‌شود (Cunningham *et al.* 1994). بررسی‌های Goldschneider *et al.* (2007) بر روی قسمتی از رودخانه سنت جان[2] نشان داد که رسوبات در سرعت‌های کمتر از ۰/۰۱۲ m/s ته‌نشین نشده‌اند.

تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر وجود مواد معلق بر روی تغییر ضریب نفوذپذیری خاک صورت گرفته است (Gibson *et al.*, 2009; Gibson *et al.* 2000, Huang and Wu, 2011).

Wu (2008) با بررسی غلظت مواد معلق نشان داد که غلظت‌های بالاتر گل‌آلودگی، ذرات جامد سریع‌تر انباشته شده و ضرایب نفوذپذیری و تخلخل ستون ماسه کم می‌شود. Bouwer *et al.* (2001) اثرات حرکت و انباشت مواد موجود در آب گل‌آلود بر روی نشت در شرایط زهکشی نشده را بررسی کردند. آن‌ها از لایه‌هایی با نفوذپذیری کم استفاده کرد و توزیعی از مواد درشت‌دانه در لایه زیرین و مواد ریزدانه در لایه بالایی مطرح کرد که این مسائل در برکه‌های بزرگ قابل‌استفاده است.

Naghavi and Maghrebi (2010) اثر وجود مواد رسوبی بر آبگیری از سیستم آبگیرهای کفی را بررسی کردند. همچنین تأثیر جریان‌های گل‌آلود بر روی نفوذپذیری بستر رودخانه‌ها و تأثیر آن بر آب‌های زیرزمینی موضوع برخی از تحقیقات بوده است (Unrich *et al.*, 2015; Meixner *et al.*, 2012, Pholkem *et al.*, 2015). باوجود تحقیقات زیادی که در زمینه تأثیر وجود رسوبات بر روی آب بر روی کاهش نشت انجام شده است، تحقیقاتی بر روی استفاده کاربردی از گل‌آلوده سازی آب بر روی کاهش نشت از کانال‌ها انجام نشده است.

به‌منظور بررسی اثرات گل‌آلوده سازی آب در کاهش نشت و نحوه عملکرد آن، در طی یک تحقیق اثرات گل‌آلوده‌سازی آب

1. Clogging
2. Saint John River

Archive of SID
www.SID.ir

بررسی شد. این تحقیق با احداث کانال‌هایی در روی زمینه‌ای منطقه و عبور آب زلال و گل‌آلود و اندازه‌گیری میزان نشت در طی زمان انجام شد. هم‌چنین اندازه‌گیری‌هایی نیز بر روی بازه‌هایی از کانال‌های طبیعی بلده انجام شد. در انتها در کانال‌های پوشش شده منطقه نیز اندازه‌گیری‌هایی برای مقایسه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه واقع در فردوس در شمال غرب استان خراسان جنوبی است. شهرستان فردوس، از شمال به شهرستان بجستان، از شمال شرقی به شهرستان گناباد، از شرق و جنوب به شهرستان سرایان، از جنوب غربی به شهرستان طبس و از غرب به شهرستان بشرویه محدود می‌شود. همچنین مساحت شهرستان ۵۱۰۰ کیلومترمربع است. برای انجام آزمایشات وسایل موردنیاز بر طبق آخرین استانداردها طراحی و ساخته شدند که عبارت‌اند از (شکل‌های ۲ الی ۵): الف) برای اندازه‌گیری نشت به روش ورودی-خروجی سرریزهای استاندارد بر طبق مراجع معتبر طراحی و ساخته شد (Bos 1989). ب) به‌منظور قرائت دقیق عمق آب در فاصله موردنظر از سرریز، ابزار موردنیاز تهیه و در محل مناسب نصب گردید. ج) برای قرائت دقیق تراز آب ابزار موردنیاز ساخته شد. د) برای اندازه‌گیری تبخیر، در محل یک تشتک نصب گردیده و با ایستگاه تبخیرسنجی کالیبره شد.

شکل ۲- سرریزهای نصب‌شده بر روی کانال‌های آزمایشی مسیر ۱ و ۲

شکل ۳- سرریزهای نصب‌شده بر روی کانال آزمایشی مسیر ۳

شکل ۴- ابزار اندازه‌گیری عمق

شکل ۵- اشل اندازه‌گیری ارتفاع آب

در کانال احداثی شماره ۱ و کانال شماره ۲ که به‌صورت کاملاً مستقیم هستند، تغییرات نشت در طول زمان اندازه‌گیری شد. هم‌چنین بر روی بازه‌هایی از کانال بلده و کانال‌های آبیاری بتنی منطقه، برداشت هم‌زمان دبی در حالت پایدار و در نتیجه میزان نشت در حالت پایدار انجام شد. جدول (۱) مشخصات کانال‌های احداثی را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

در اولین آزمایش از بازه شماره ۱، به مدت حدود ۸ ساعت، آب زلال عبور داده شد و در فواصل زمانی ۱/۵ ساعته دبی‌های ورودی و خروجی قرائت شد. این زمانی بود که مقدار نشت به حالت پایدار رسید. سپس به مدت ۱۶ ساعت آب گل‌آلود از کانال عبور داده شد. در این آزمایش گل‌آلوده‌سازی آب در طول مدت آزمایش با آهنگی یکنواخت، انجام شد و در مواقع قرائت دبی، از آب گل‌آلود نمونه‌گیری شد. در انتها، پس از اتمام آزمایش با آب گل‌آلود، مجدداً کانال با آب زلال مورد آزمایش قرار گرفت.

بر روی کانال شماره ۲ که بازه‌ای از کانال کشاورزی مزرعه واقع در مجاورت کانال شماره ۱ بود، نیز آزمایش‌های مشابه کانال شماره ۱ انجام شد. جدول (۲) دانه‌بندی نمونه‌های بستر را به تفکیک شماره الک بیان می‌کند.

جدول (۳) و شکل (۶) به ترتیب دانه‌بندی میانگین نمونه‌ها را با بیان درصدی و منحنی دانه‌بندی میانگین نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات کانال‌های احداثی

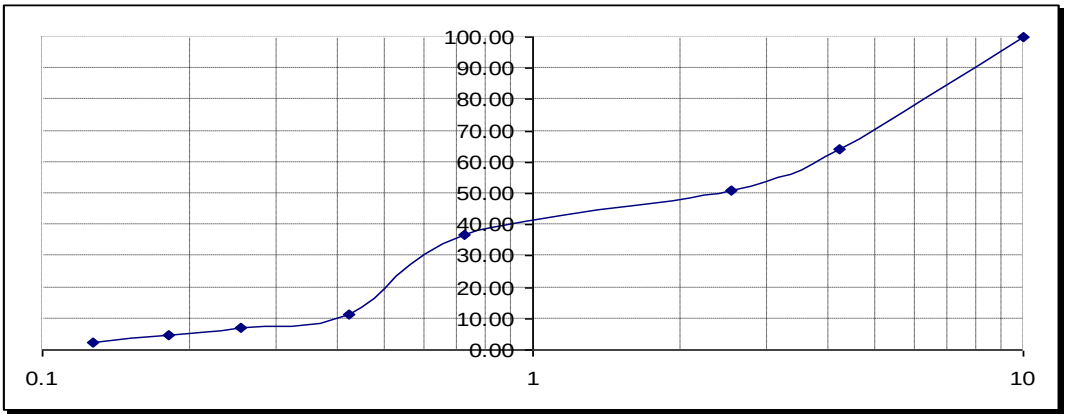
شماره کانال	طول کانال (متر)	شیب کانال (درصد)	جنس خاک کانال
۱	۳۵۳/۷۶	۱/۸	شن و ماسه همگن
۲	۲۱۵/۵	۱/۸	شن و ماسه همگن
۳	۱۲۱۵/۱۵	۱/۲	رس و سیلت

جدول ۲- جدول دانه‌بندی نمونه‌های بستر

الک	۴	۶	۱۰	۳۵	۶۰	۱۰۰	۱۴۰	۲۰۰	<۲۰۰
نمونه ۱	۱۴۷۱	۹۱۰	۷۵۶	۵۷۵	۱۹۹	۱۰۷	۷۰	۳۴	۷
نمونه ۲	۱۳۹۳/۵	۹۰۱/۵	۷۳۱/۵	۵۳۱/۵	۸۴	۹۴/۵	۶۳/۵	۳۷/۵	۸/۵
نمونه ۳	۱۳۲۱	۸۶۴	۶۵۴	۴۹۵	۱۴۲	۱۰۱	۵۹	۲۹	۵
مواد گل‌آلوده	۰	۰	۰	۰	۲	۴	۲	۴	۸۸

جدول ۳- جدول دانه‌بندی میانگین نمونه‌های ۱، ۲ و ۳

الک	۴	۶	۱۰	۳۵	۶۰	۱۰۰	۱۴۰	۲۰۰	<۲۰۰
میانگین	۱۰۰	۶۳/۹۹	۵۱/۱۳	۳۸/۲۳	۱۰/۱۰	۷/۲۳	۴/۵۹	۲/۴۰	۰/۵۰



شکل ۶- منحنی دانه‌بندی میانگین نمونه‌های ۱، ۲ و ۳

بر طبق بررسی‌های محلی و چاه‌های موجود در محدوده کانال شماره ۳، این کانال بر روی لایه رسوبات ریزدانه‌ای به ضخامت ۱ تا ۲ متر قرار گرفته است. خاک اطراف کانال با انبوه ریشه گیاهان احاطه شده و سطح آن به خاطر وجود جلبک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها دارای خاکی چسبنده است و شیب کانال توسط شیب‌شکن کاهش شیب داده شده و به‌خوبی در برابر

Archive of SID
www.SID.ir

فرسایش محافظت شده است. در مشاهدات محلی دیده شد که حتی موقع زلال بودن آب نیز هیچ‌گونه فرسایشی در جدار کانال اتفاق نمی‌افتد. این کانال در بازه مورد آزمایش دارای حدود ۵۰ دریچه خروجی آب برای آبیاری باغات مسیر می‌باشد. خروج آب از کانال برای آبیاری باغات در فواصل زمانی مشخص، توسط دریچه‌های کشویی انجام می‌شود. این دریچه‌ها با حدود ۴۰ سانتی‌متر تورفتگی نسبت به دیواره‌های کانال اصلی نصب شده‌اند. شکل‌های (۷) الی (۱۰) تصاویری از کانال‌های مختلف را نمایش می‌دهند.

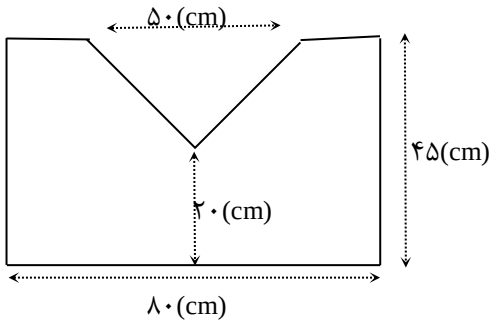
شکل ۷- نمایی از شروع کانال مسیر ۱

شکل ۸- کانال مسیر ۲

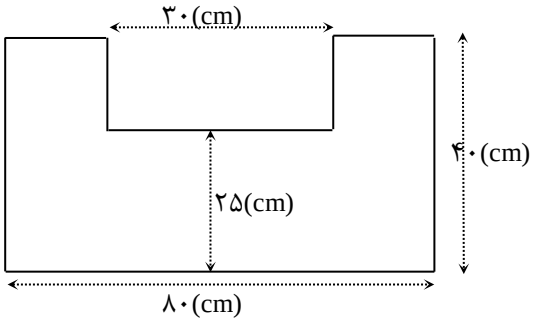
شکل ۹- سرریز مثلثی بر روی کانال مسیر ۲

شکل ۱۰- کانال مسیر ۳ (کانال بلده)

برای اندازه‌گیری دبی بر روی این کانال‌ها متناسب با دبی آن‌ها، دو نوع سرریز لبه تیز مستطیلی و مثلثی استاندارد که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مقطع آن‌ها ترسیم شده است طراحی و نصب گردید. در این تحقیق دو روش ورودی-خروجی و آزمایش برکه برای اندازه‌گیری نشت مورداستفاده قرار گرفته است. آزمایش برکه تنها برای مقدار نشت آب در پشت دریچه‌ها مورداستفاده قرار گرفت. با نصب دریچه‌ها، آب در پشت این دریچه‌ها بالا می‌آید و نشت در این مناطق زیاد خواهد بود برای رفع اثر این بخش از نشت، مقدار نشت از پشت دریچه‌ها از نشت کل بازه کسر گردید.



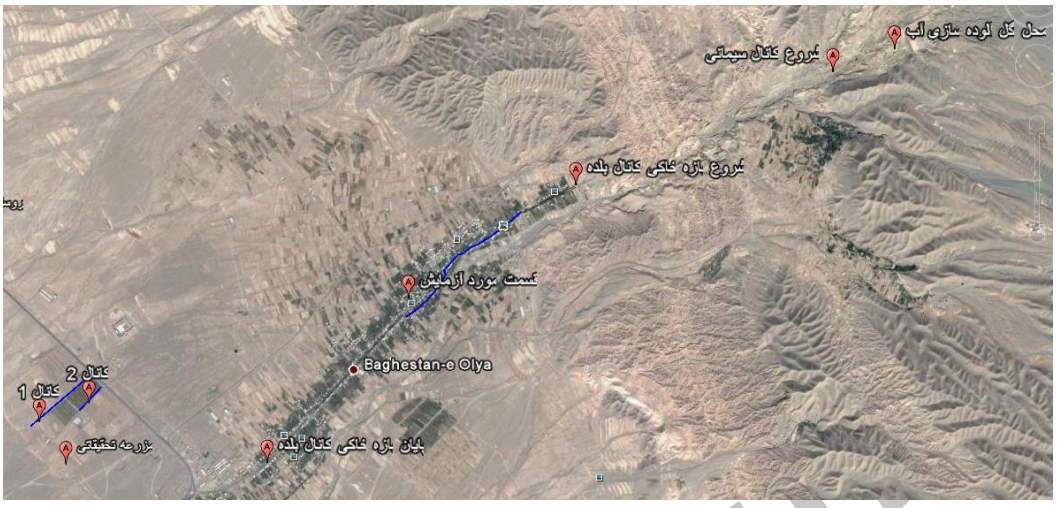
شکل ۱۱ – مقطع سرریز مثلثی در مسیر ۲



شکل ۱۲- مقطع سرریز مستطیلی در مسیر ۱

Archive of SID
www.SID.ir

شکل (۱۳) نقشه تهیه‌شده از موقعیت کانال‌ها در بلده می‌باشد.



شکل ۱۳- موقعیت کانال‌ها

آزمایش ورودی-خروجی

یکی از روش‌های رایج اندازه‌گیری نشت در کانال‌ها روش اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی بازه‌ای از کانال در زمان برقراری جریان پایدار در کانال است که به روش ورودی-خروجی معروف است و برای کانال‌هایی با شیب تند (کانال ۱ و ۲) مورداستفاده قرار می‌گیرد. نشت در بازه‌های انتخابی با روش ورودی-خروجی اندازه‌گیری شد. قابل‌ذکر است در زمان اندازه‌گیری‌ها برداشت آب در بازه آزمایش انجام نمی‌شود و تنها برخی نشت‌های جزئی در بازه‌های اندازه‌گیری نشت جریان‌های خروجی اندازه‌گیری نمی‌شود. در طراحی بازه‌های آزمایشی ازلحاظ طول بازه موردنیاز، ابزار اندازه‌گیری دبی به تحقیقات سایر محققین مراجعه شد (Alam and Bhutt 2003; Trout and Mackey 1988). Trout and Mackey (1988) پس از بررسی دقیق اندازه‌گیری‌های ورودی-خروجی نتایج ذیل را ارائه دادند: خطاهای روش ورودی-خروجی با خطاهای اندازه‌گیری تغییر می‌کند و ممکن است این روش دارای خطاهای بزرگی باشد. خطای تعیین نفوذپذیری با روش ورودی-خروجی به‌سرعت افزایش می‌یابد، بنابراین اگر درصدی از دبی ورودی که نشت می‌کند، کاهش یابد، برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری نفوذپذیری، باید طول کانال مورد آزمایش به‌اندازه کافی طولانی انتخاب شود تا دقت اندازه‌گیری نفوذپذیری بالا رود. استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری مشابه دبی در مقاطع مختلف کانال خطاهای دستگاهی را کاهش می‌دهد. اندازه‌گیری نفوذپذیری کانال می‌تواند برای خطاهایی که در فرآیند اندازه‌گیری وجود دارد، تصحیح شود (Trout and Mackey 1988). معادله پایه محاسبه نشت با استفاده از روش ورودی-خروجی عبارت است از:

$$S = \frac{Q_i - Q_0 - E - D + I}{P.L} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن S = میزان نشت (طول بر زمان)، Q_i = نرخ جریان ورودی (حجم بر زمان)، Q_0 = نرخ جریان خروجی (حجم بر زمان)، E = تبخیر در طول مسیر (حجم بر زمان)، D = انحراف در طول مسیر (حجم بر زمان)، I = جریان ورودی در طول مسیر به‌طور مثال باران یا رواناب (حجم بر زمان)، P = متوسط پیرامون مرطوب (واحد طول) و L = طول کانال دسترسی (واحد طول) می‌باشند.

آزمایش برکه

معادله پایه محاسبه نشت با استفاده از آزمایش برکه که برای کانال‌هایی با شیب کم (کانال ۳) استفاده می‌شود به شکل زیر می‌باشد:

$$S = \frac{WL(d_1 - d_2) - (EWL) + I}{PL(t_2 - t_1)} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

اگر ریزش باران تنها جریان ورودی در مسیر کانال باشد (که معمولاً فرض می‌شود به همین صورت باشد)، طول مسیر دسترسی (کانال) از معادله حذف شده و معادله به شکل زیر در می‌آید:

$$S = \frac{W[(d_1 - d_2) - E + R]}{P(t_2 - t_1)} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن S = نرخ نشت (حجم بر سطح بر زمان)، W = متوسط عرض سطح برکه بین t_1 و t_2 (واحد طول)، d_1 = ارتفاع

Archive of SID
www.SID.ir

آب در زمان t_1 (واحد طول)، d_2 = ارتفاع آب در زمان t_2 (واحد طول)، E = تبخیر در طول مسیر دسترسی بین زمان‌های t_1 و t_2 (واحد طول)، R = ریزش باران در طول مسیر دسترسی بین زمان‌های t_1 و t_2 (واحد طول)، I = جریان ورودی در مسیر دسترسی بین زمان‌های t_1 و t_2، به‌عنوان مثال ریزش باران یا رواناب (واحد حجم)، P = سطح تماس آب با کانال بین زمان‌های t_1 و t_2 (واحد طول)، L = طول کانال دسترسی (واحد طول)، t_1 = زمان اولیه محاسبه ارتفاع آب (واحد زمان) و t_2 = زمان اولیه محاسبه ارتفاع آب (واحد زمان) می‌باشد. واحدها بایستی برای همه پارامترها ثابت باشند.

روش گل‌آلوده سازی

گل‌آلوده‌سازی آب‌کاری نسبتاً هزینه‌بر و پردردسر می‌باشد. حمل و رسوب‌گذاری رسوبات در مسیر کانال نیز مشکلاتی هم در زمینه از دست رفتن آب زلال و هم لایروبی کانال ایجاد می‌کند. در انتها، رسوبات انتقال‌یافته نیز برای کشاورزان مشکلاتی ایجاد خواهد نمود. رسوب‌گذاری این رسوبات به‌صورت یکنواخت در سطح زمین اتفاق نمی‌افتد و مشکلاتی برای جابجایی رسوبات وجود خواهد داشت. علیرغم تحقیقاتی بر روی کاهش نفوذپذیری خاک در اثر عبور آب گل‌آلود در دنیا صورت گرفته است، اما در ایران که مهد استفاده از روش‌های بهره‌وری از آب است، تاکنون تحقیقاتی به انجام نرسیده است.

شکل ۱۴- آزمایش برکه در پشت دریچه‌ها

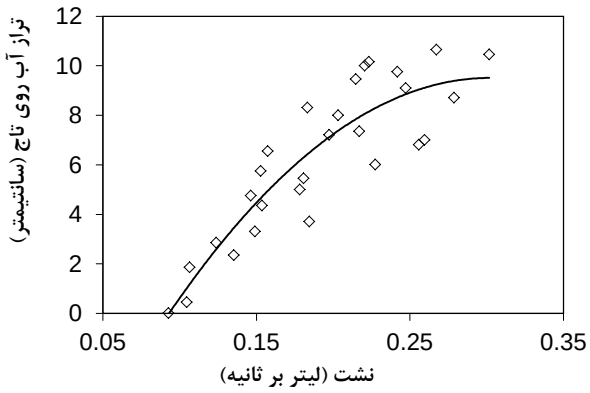
نتایج و بحث

با توجه به متغیر بودن دبی جریان آب در کانال در آزمایشات مختلف، بجای بررسی مقدار آب نشت شده از کانال، درصد آبی که در اثر نشت از کانال به هدر رفته است در نمودارها ترسیم شده است. این عبارت را می‌توان به شکل زیر ارائه کرد:

$$S = \frac{T}{Q} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن S = نرخ نشت (حجم بر سطح بر زمان)، T= مقدار آب هدررفته و Q= دبی کل ورودی کانال است.

مقدار درصد نشت آب نسبت به‌کل جریان آب ورودی در ۱۰۰ متر طول کانال محاسبه و مورداستفاده قرار گرفته است. با توجه به این‌که عمق آب در پشت دریچه‌ها افزایش می‌یابد، برای از بین بردن اثر این افزایش عمق بر روی نشت، مقدار تلفات آب در این نقاط با آزمایش برکه اندازه‌گیری شد. سپس مقدار تلفات آب در بازه‌های پشت دریچه از میزان نشت کلی کسر گردید. شکل (۱۴) انجام آزمایش و شکل (۱۵)، نمودار نشت در برابر تراز آب بالای تاج سرریز برای برکه پشت یکی از سرریزها نشان می‌دهد. هم‌چنین میزان تلفات آب در مسیر ۳ (بازه‌ای از کانال بلده) برداشت شد. با اندازه‌گیری تبخیر و برآورد تلفات آب ناشی از آن مشخص شد که میزان تبخیر در تمام آزمایش‌ها ناچیز بوده و قابل صرف‌نظر کردن است.

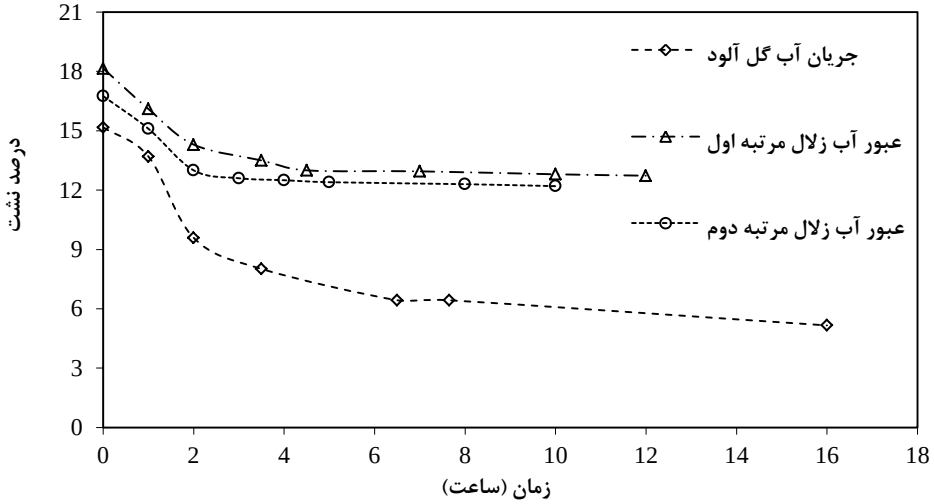


شکل ۱۵- نمودار نشت در برحسب ارتفاع آب روی تاج

نتایج آزمایشات روی مسیر ۱

نمودارهای شکل (۱۶) درصد نشت آب به‌کل جریان آب ورودی در برابر زمان برای آزمایشات مختلف کانال ۱ رسم شد. در شکل (۱۶) تغییرات نشت با زمان در اثر عبور آب زلال و آب گل‌آلود مشاهده می‌شود. همچنین جدول (۴) مقادیر درصد نشت برای عبور آب زلال را در مرتبه اول و دوم نشان می‌دهد.

www.SID.ir



شکل ۱۶- تغییرات درصد نشت با زمان در کانال ۱

جدول ۴- مقادیر درصد نشت برای عبور آب زلال در مرتبه اول و دوم

زمان	(ساعت)	۰	۱	۲	۳/۵	۴/۵	۷	۱۰	۱۲
عبور آب زلال ۱	(درصد نشت)	۱۸/۱۵	۱۶/۱	۱۴/۳	۱۳/۵	۱۳	۱۲/۹۵	۱۲/۸	۱۲/۷۳
زمان	(ساعت)	۰	۱	۲	۳	٤	٥	۸	۱۰
عبور آب زلال ۲	(درصد نشت)	۱۶/۷۵	۱۵/۱	۱۳	۱۲/۶	۱۲/۵	۱۲/۴	۱۲/۳	۱۲/۲

در جریان عبور آب زلال از کانال مشاهده می‌شود که مقدار درصد تلفات آب در طی حدود ۵ ساعت از ۱۸/۱۵ درصد به ۱۲/۷۵ درصد رسیده است. این کاهش ۳۰ درصدی در تلفات نشت به علت اشباع شدن خاک اطراف کانال می‌باشد. همچنین در این آزمایش دبی در زمان اول ۱۷/۲۲ لیتر بر ثانیه بوده است که پس از گذشت ۵ ساعت به ۱۶/۹۶ لیتر بر ثانیه رسیده است. در عبور جریان آب گل‌آلود از کانال مشاهده می‌شود که مقدار تلفات از ۱۵/۱۷ به ۵/۱۶ درصد می‌رسد و سپس تقریباً ثابت می‌شود. با مقایسه نشت در دو حالت عبور آب زلال و آب گل‌آلود مشاهده می‌شود که نشت تثبیت‌شده حالت اول ۱۲/۷۳ درصد و حالت دوم ۵/۱۶ درصد دبی ورودی به دست آمده است. به‌عبارت‌دیگر، میزان نشت در اثر عبور آب گل‌آلود، حدود ۶۰ درصد کاهش پیدا کرده است. در طی آزمایش با آب گل‌آلود، هیچ لایه رسوبی بر روی کانال تشکیل نشد و کاهش نشت در اثر نفوذ ذرات ریز رسوبات به همراه آب در لایه سطحی خاک اتفاق افتاده است. این مشاهدات نتایج Cunningham et. al. (1994) را تائید می‌نماید. به عبارتی کاهش نشت به دلیل گرفتگی منافذ خاک در سطحی‌ترین لایه اتفاق افتاده است.

بعد از گذشت ۲۴ ساعت از انجام آزمایش با آب گل‌آلود در کانال شماره ۱، مجدداً از این کانال آب زلال عبور داده شد. در این آزمایش میزان نشت مشابه آزمایش اول به دست آمد. بر این اساس، تأثیر عبور آب گل‌آلود بر روی کاهش نشت، فقط در زمان عبور آب گل‌آلود مشاهده شده است و پس از عبور آب زلال به‌سرعت لایه گرفته تشکیل‌شده، از بین رفته و اثرات کاهشی عبور آب گل‌آلود مشاهده نمی‌شود. علت این مسئله شیب زیاد کانال و فرسایش شدید کانال است. برای کاربرد این روش برای شرایط واقعی لازم خواهد بود که شیب کانال با تعبیه تعدادی شیب شکن به مقدار کمتری کاهش یابد تا فرسایش کانال کاهش یابد. ضمناً انتظار می‌رود که با انجام گل‌آلوده سازی در دوره‌های زمانی طولانی‌تر، اثرات مثبت آن با عبور آب زلال نیز مشاهده شود.

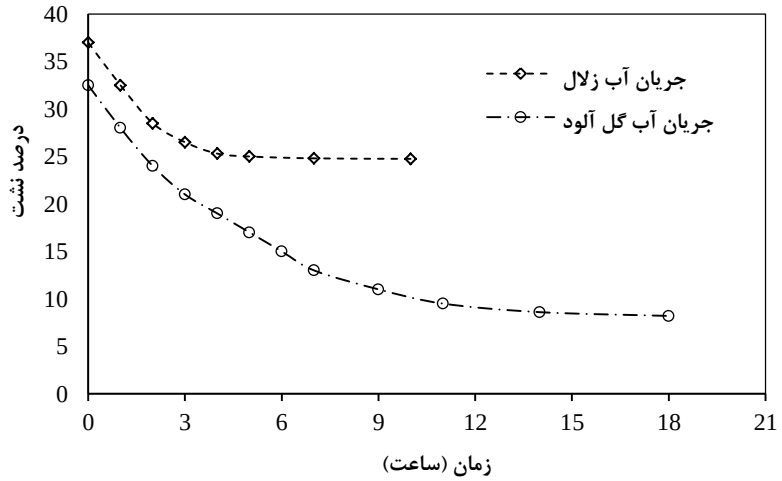
در نمونه‌های آب گل‌آلود گرفته‌شده حین آزمایش، میزان گل‌آلودگی بین ۳۵۰ ppm تا ۵۰۰ ppm تغییر کردند؛ که بر اساس Cunningham et. al. (1994) انتظار می‌رود تغییرات مواد معلق در این فاصله بر میزان کاهش نشت تأثیری نداشته باشند.

نتایج آزمایشات روی مسیر ۲

شکل (۱۷) تغییرات نشت با زمان در کانال شماره ۲ را با عبور آب زلال و گل‌آلود نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود در شروع اندازه‌گیری‌ها، میزان نشت در عبور آب زلال ۳۷/۸ درصد می‌باشد که پس از چند ساعت به ۲۴/۷۵ درصد می‌رسد. این کاهش ۳۴ درصدی نشت به خاطر اشباع

Archive of SID
www.SID.ir

شدن خاک کانال است. نشت در این کانال در حالت پایدار، به‌طور متوسط در هر متر ۰/۱۱۵ درصد می‌باشد که در مقایسه با کانال شماره ۱ که درصد آب نشت شده متوسط آن بر هر متر ۰۳۴/ درصد می‌باشد، بسیار بیشتر است و علت اصلی این تفاوت خروج آب از محل‌های ورودی آب به زمین‌های کشاورزی است؛ یعنی جایی که خاک به‌شدت در معرض شستشو قرار داشته و خاکی درشت‌دانه می‌باشد و به همین علت دارای نفوذپذیری و نشت زیاد است. قابل‌ذکر است که خاک مورداستفاده برای بستن این محل‌ها معمولاً از کف کانال یا دهانه زمین کشاورزی برداشته می‌شود. آب نشت کرده از این ناحیه در شکل (۱۸) به‌وضوح دیده می‌شود. همچنین در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود که در اثر عبور آب گل‌آلود میزان نشت از این کانال مقدار تلفات آب به ۸/۲ درصد کاهش یافته است. به عبارتی مقدار تلفات ۶۷ درصد کاهش یافته است.



شکل ۱۷- تغییرات درصد نشت با زمان برای کانال ۲

شکل ۱۸- عبور آب از مرز بین زمین زراعی و کانال

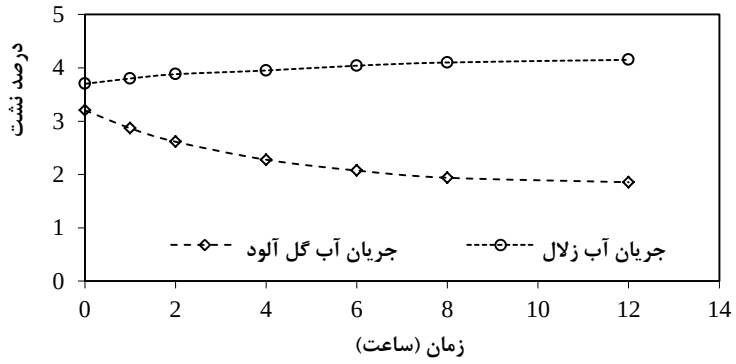
آزمایشات کانال شماره ۳ (کانال انتقال آب بلده)

در بازه انتخابی از کانال بلده سرریزهای اندازه‌گیری دبی نصب شده و نشت کانال اندازه‌گیری شد. نکته قابل‌ذکر در مورد این بازه از کانال بلده، وجود شیب‌شکن‌های زیاد و کاهش شیب متوسط کانال است. مجموع اختلاف ارتفاع شیب‌شکن ها ۱۵/۷۲ متر بوده که با کسر این مقدار از اختلاف ارتفاع ۳۰/۳۲ متری بازه انتخابی، شیب متوسط بازه ۱/۱۹ درصد می‌باشد. میزان نشت این مسیر بر طبق برداشت‌های میدانی، ۱/۱ لیتر بر ثانیه بوده که ۱/۸۵ درصد دبی ورودی است. شکل (۱۹) تغییرات نشت آب در بازه‌ای حدود ۱۲۰۰ متری از کانال بلده را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که در مدت جریان آب زلال از کانال پس از یک دوره عبور آب گل‌آلود، مقدار نشت از کانال رو به افزایش است. این به علت کاهش تدریجی اثرات لایه سطحی دارای گرفتگی منافذ و مهم‌تر از آن شسته شدن رسوبات پشت دریچه‌ها می‌باشد. در زمان عبور آب گل‌آلود با توجه به رسوب‌گذاری و فرسایش مستمر، وضعیت رسوبات در حالتی پایدار قرار دارد. این وضعیت مشابه وجود حالت رژیم در فرایند فرسایش رودخانه‌ها می‌باشد.

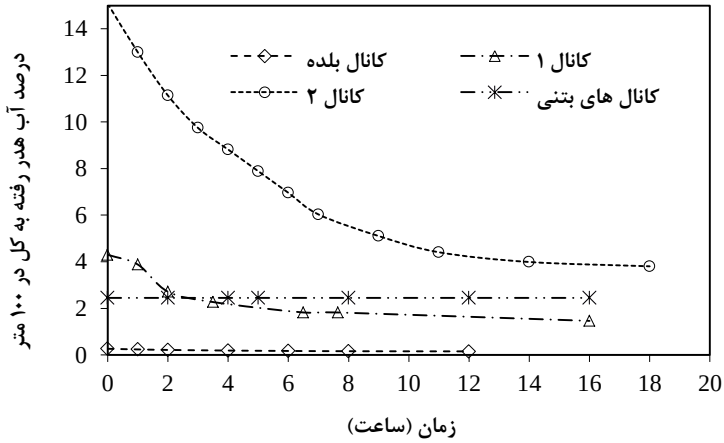
با توجه تفاوت طول کانال‌ها، در شکل (۲۰) مقدار نشت از ۱۰۰ متر طول در کانال‌های مختلف برای عبور آب گل‌آلود ارائه شده است. مقدار درصد آب نشت شده به ازای هر ۱۰۰ متر در کانال بلده، ۰/۱۶ درصد از مقدار آب ورودی به کانال می‌باشد. این عدد برای کانال شماره ۲، ۳/۸ و برای کانال شماره ۱، ۱/۴۶ درصد می‌باشد. در این نمودار میزان نشت در کانال‌های بتنی منطقه نیز ارائه شده است. مقدار این شاخص برای ۱۰۰ متر از کانال‌های بتنی منطقه که دارای دریچه‌های آبگیری در طول

Archive
www.SID.ir

بازه آزمایش بوده‌اند ۲/۴۵ درصد از مقدار آب ورودی بوده است. عمده این تلفات مربوط به عدم آب‌بندی صحیح دریچه‌های آبگیری از کانال برای باغات و اراضی کشاورزی می‌باشد. در این نمودار دیده می‌شود که مقدار تلفات آب در کانال بلده بسیار پایین‌تر از سایر کانال‌ها می‌باشد. علت این امر به کاهش تلفات آب از بستر کانال در طی دوره بسیار طولانی عبور آب از این کانال و آب‌بندی عالی بستر از یک سو و آب‌بندی پشت دریچه‌های آبگیری با توجه به نحوه نصب دریچه‌ها مربوط می‌شود.



شکل ۱۹- تغییرات درصد نشت با زمان در کانال ۳



شکل ۲۰- مقایسه نشت در کانال‌های مختلف برای ۱۰۰ متر طول کانال

جمع‌بندی اثرات گل‌آلوده‌سازی

با توجه به نتایج آزمایشات و اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات میدانی اثرات گل‌آلوده سازی آب شامل موارد ذیل می‌باشند. نتایج آزمایشات نشان داد که عبور آب گل‌آلود از کانال خاکی به مدت ۱۶ ساعت، میزان نشت را به مقدار ۶۰ درصد کاهش داده است. در طی آزمایش به علت شیب نسبتاً زیاد مسیر و سرعت بالای جریان، رسوب‌گذاری انجام نشد. هم‌چنین مشاهده شد که به عبور مجدد آب زلال پس از عبور آب گل‌آلود، هیچ کاهشی در نشت نسبت به عبور آب زلال در اولین مرحله مشاهده نمی‌شود. این نشان می‌دهد که کاهش نشت به علت وجود لایه‌ای بسیار نازک در سطح خاک است که با عبور آب زلال به‌سرعت از بین خواهد رفت.

رسوب مواد ریزدانه روی بستر کانال و نفوذ به فضاهای خالی خاک باعث کاهش نشت از بستر کانال می‌شود. با رشد جلبک‌ها و ریشه گیاهان به‌تدریج این لایه ضخیم شده و تا یک حالت حدی کانال را آب‌بندی می‌کند و این یک عامل مهم در کاهش نشت از کانال‌های خاکی است. با توجه به تشکیل و ثبات این لایه در کانال بلده، گل‌آلوده سازی آب در حال حاضر در این زمینه نقش چندانی ایفا نمی‌کند. در زمان جریان آب زلال، مقدار نشت از کانال شماره ۱ با طول تقریبی ۳۵۱ متر، میزان نشت در حالت تثبیت‌شده ۱۲/۷۳ درصد و برای کانال شماره ۲ با طول ۲۱۵ متر این شاخص ۲۴/۷۵ می‌باشد؛ بنابراین علیرغم نوع خاک بستر مشابه، نشت آب از کانال ۲ حدود ۳ برابر کانال ۱ بوده که علت آن نشت از محل ورودی آب به زمین‌های

www.SID.ir

کشاورزی است؛ به عبارت دیگر نشت از منافذ بازمانده از محل‌های آبگیری دو برابر نشت از بستر کانال خاکی در تلفات آب مؤثر است. خروج آب از روزنه‌های اطراف دریچه‌های کشویی نیز شرایط مشابهی ایجاد می‌کند و عامل مهمی در تلفات آب از کانال‌ها می‌باشد. در کانال بلده با عبور آب گل‌آلود و با توجه به اینکه دریچه‌ها نسبت به کانال کمی عقب‌تر نصب می‌شوند، به‌تدریج پشت دریچه با رسوبات پر می‌شود و نشت آب از زیر دریچه‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد (شکل (۲۱)).

شکل ۲۱- رسوب‌گذاری پشت دریچه‌های کشویی و کاهش نشت از زیر دریچه‌ها

به نظر می‌رسد که در گذشته هدف گل‌آلوده سازی قدری با زمان حال متفاوت بوده است. در گذشته، از ابتدای خروج آب از مظهر قنات تا محل مزارع، تمام مسیر آب از طریق کانالی خاکی منتقل می‌شده که اکنون قسمت عمده این فاصله پوشش‌دار شده است. این کانال خاکی در آن زمان در بستری رودخانه‌ای احداث شده بود و دارای نفوذپذیری زیاد بود و با گل‌آلوده سازی، نشت از بستر کانال کاهش می‌یافت. عملیات مرمت و پوشش‌دار کردن کانال بلده از مظهر قنات تا ابتدای باغستان فردوس در ۱۲ سال پیش انجام شد اما گل‌آلوده‌سازی آب برای کاهش نشت منفذی همچنان ادامه دارد.

کارایی و اقتصادی بودن روش گل‌آلوده سازی آب تنها با هدف کاهش نشت از بستر با توجه به راه‌حل‌های جایگزین برای تمامی شرایط موردتردید است؛ اما در شرایطی که خاک مناسب و مرغوب در محل سرچشمه موجود باشد و حمل این خاک به اراضی کشاورزی مزیت محسوب شود، با توجه به اثرات آن در آب‌بندی تمام منافذ فرار آب می‌تواند موردتوجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تغییرات نشت از کانال‌های خاکی در سه کانال خاکی شامل بازه‌ای از کانال آبیاری مزرعه با موقعیت‌های آبگیری متعدد، کانال دست‌ساز در مجاورت کانال مزرعه و بازه‌ای از کانال انتقال آب قنات بلده فردوس را با عبور آب زلال و گل‌آلود موردبررسی قرار داد. نتایج نشان دادند که با عبور آب زلال از کانال‌های مورد آزمایش، نشت از کانال به‌تدریج کاهش می‌یابد و در فاصله زمانی حدود ۲ ساعت به حالت تثبیت‌شده‌ای می‌رسد که میزان نشت در این حالت ۳۰ تا ۳۵ درصد کمتر از نشت در آغاز آزمایش است. عبور آب گل‌آلود از کانال می‌تواند نشت از کانال‌ها را کاهش دهد. آزمایشات نشان دادند که با عبور آب گل‌آلود در کانال‌های مختلف در مدت حدود ۱۶ ساعت ۶۰ تا ۶۷ درصد کاهش یافته است. روند کاهش نشت در آزمایشات نشان می‌دهند که ادامه آزمایش با عبور آب گل‌آلود می‌تواند به کاهش بیشتر نشت نیز منجر شود. مشاهدات نشان دادند که در کانال‌های خاکی با شیب زیاد، با توجه به فرسایش دائمی کانال، لایه مواد رسوبی بر روی بستر کانال شکل نمی‌گیرد. کاهش نشت در این حالت در اثر ورود مواد رسوبی به بافت خاک و تشکیل لایه‌ای به هم فشرده در سطحی‌ترین لایه خاک ایجاد شده است. این لایه در صورت عدم انجام گل‌آلوده سازی به‌سرعت دچار فرسایش می‌شود و اثرات مثبت گل‌آلوده سازی در کاهش نشت از بین خواهد رفت. برای رفع این نقیصه باید شیب کانال با تعبیه شیب شکن کنترل شود. کانال بلده با این شیوه به شیب پایدار رسیده است به‌طوری‌که در حال حاضر ضخامت رسوبات به بیش از ۱ متر می‌رسد. در مقایسه کانال بلده و کانال ۲ که بازه‌ای از کانال واقعی است نشان داد که نشت در کانال بلده ۷۱ برابر کمتر از کانال شماره ۲ می‌باشد؛ بنابراین می‌توان گفت که در اثر گل‌آلوده سازی آب در کانال بلده و رسوب‌گذاری رسوبات و آب‌بندی آن، مقدار نشت ۹۵ درصد کاهش یافته است. همچنین با بررسی و مقایسه کانال ۲ که

Archive of SID
www.SID.ir

دارای محل‌های آبگیر متعدد است با کانال ۱ که در مجاورت این کانال احداث شده و فاقد آبگیر است، نشان داد که نشت از محل‌های آبگیر ۲ برابر نشت از بستر کانال می‌باشد. بررسی بر روی کانال‌های بتنی منطقه نیز مقدار نشت بالا از محل دریچه‌ها را تائید نمود. بررسی‌ها نشان داد که گل‌آلوده سازی در آب‌بندی محل‌های آبگیر چه به‌صورت خاک‌ریز باشد و چه به‌صورت دریچه کشویی می‌تواند به آب‌بندی آن‌ها منجر شود.

سپاسگزاری

این طرح با همکاری و مساعدت شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی و هم‌چنین دانشگاه آزاد اسلامی شهرستان فردوس به انجام رسید و در اینجا از کلیه عوامل و دست‌اندرکاران مخصوصاً خانم مهندس فتوحی و خانم مهندس رحمانی تشکر می‌شود.

REFERENCES

Alam, M.M. and Bhutta M.N., (2004). Comparative evaluation of canal seepage investigation techniques. *Agricultural Water Management*, 66(1), 65–76.

Allison, L.E., (1947). Effects of micro-organisms on permeability of soil under prolonged submergence. *Soil Science*. 63(6), 439-450.

Bos. M.G. (1989). Discharge measurement structures. International Institute for land reclamation and improvement, Wageningen. The Netherlands.

Bouwer, H., Ludke, J., Robert C., (2001). Sealing pond bottoms with muddy water. *Ecological Engineering*, 18(2), 233-238.

Brockway, C.E. and Worstell, R.V. (1968). Field Evaluation of Seepage Measurement Methods. 41-147.

Byrnes, R.P. and Webster, A. (1981). Direct Measurement of Seepage from Earthen Channels. Australian Water Resources Council, Technical Paper No. 64, 78pp.

Cunningham A.B., Anderson C. J. and Bouwer H.(1994). Effects of Sediment Laden Flow on Channel Bed Clogging. *Journal of Irrigation and Drainage*. 113(1), 106-117.

Gibson, S., Abraham, D., Heath, R., and Schoellhamer, D. (2009). Vertical gradational variability of fines deposited in a gravel framework. *Sedimentology*, 56(3), 661-676.

Gibson, S., Heath, R., Abraham, D., and Schoellhamer, D. (2011). Visualization and analysis of temporal trends of sand infiltration into a gravel bed. *Water Resources Research*. 47(12).

Goldschneider, A., Haralampides, K., and MacQuarrie, K. (2007). River sediment and flow characteristics near a bank filtration water supply: Implications for riverbed clogging. *Journal of Hydrology*, 344(1), 55-69.

Kraatz, D.B. (1977). Irrigation Canal Lining. FAO Land and Water Development Series. No. 1, FAO, United Nations, Rome, Italy.

Naghavi, B. and Maghrebi, M. (2010). Experimental Study of Sediment Flow Discharge in New System of Bottom Intakes with Porous Media. *Transport in Porous Media*, 85(3), 867-884.

Pholkern, K., Srisuk, K., Grischek, T., Soares, M., Schäfer, S., Archwichai, L., Saraphirom, P., Pavelic, P., and Wirojanagud, W. (2015). Riverbed clogging experiments at potential river bank filtration sites along the Ping River, Chiang Mai, Thailand. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 7699-7709.

Simpson, S. and Meixner, T. (2012). Modelling effects of floods on streambed hydraulic conductivity and groundwater-surface water interactions. *Water Resources Research*, 48(2).

Smith, R.J, and Turner, A.K., (1982). Measurements of Seepage from Earthen Irrigation Channels. Civil Engineering. Trans., *Inst. Eng. Aust.*, 24 (4), 338-345.

Trout T.J. and Mackey B.E., (1988). Inflow-Outflow Infiltration Measurement Accuracy. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 113(1), 256.

Ulrich, C., Hubbard, S., Florsheim, J., Rosenberry, D., Borglin, S., Trotta, M., and Seymour, D. (2015). Riverbed Clogging Associated with a California Riverbank Filtration System: An Assessment of Mechanisms and Monitoring Approaches. *Journal of Hydrology*, 529(3), 1740-1753.

Wu J., (2008). Mechanism and process simulation for chemical clogging of the tailing dam. School of Environmental Science and Engineering Shanghay Jiao Tong University.

Wu, F. and Huang, H. (2000). Hydraulic Resistance Induced by Deposition of Sediment in Porous Medium. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(7), 547-551.

Archive of SID

www.SID.ir