نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۱۰۶۳-۱۰۵۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 1052-1063

بررسی میدانی و عددی تاثیر گل آلوده سازی آب بر روی کاهش نشت از کانال‌های خاکی و قسمت خشکه کار قنوات

علی نصیریان[1*]، علی محتشمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲

چکیده

ایرانیان از دیرباز با احداث قنات اقدام به استحصال آب از منابع آب‌های زیرزمینی نموده اند. در صورتی که قنات در خاکی با ضریب نفوذپذیری زیاد احداث شده باشد، نشت آب در قسمت خشکه کار تعیین کننده خواهد بود. یکی از روش‌هایی که برای کاهش تلفات آب در خشکه کار مخصوصا در گذشته ها استفاده شده است، روش گل آلوده سازی آب است. در این تحقیق به بررسی میزان تاثیر گل آلوده سازی آب بر روی کاهش نشت ازکانال خاکی با مقطع ذوزنقه که نزدیکترین شکل به مقطع عرضی خشکه کار قنات ها است پرداخته شد. بدین منظور کانالی خاکی با مشخصات معلوم احداث گردید و در دو مرحله آب زلال و گل آلود از آن عبور داده شد و نشت با روش آزمایش برکه اندازه‌گیری شد. برخی از مهمترین نتایج این تحقیق عبارتند از: ۱- عبور آب گل‌آلوده از کانال در بازه زمانی کوتاه و تشکیل لایه رسوبی می تواند نشت کانال را به میزان ۴۶ درصد کاهش دهد. ۲- در تحلیل عددی مشخص شد که عمده‌ترین عامل کنترل نشت در کانال‌های خاکی با داشتن لایه سطحی نازک از رسوبات، لایه سطحی خاک می‌باشد.۳-نتایج بررسی ها نشان داد که نتایج بدست آمده از روش بوور برای هر دو حالت وجود و عدم وجود لایه نازک از رسوبات با نتایج آزمایشگاهی دارای انطباق مناسبی است.

واژه‌های کلیدی : آب بندی، پلکسیس، کانال خاکی، روش بوور، نشت

مقدمه

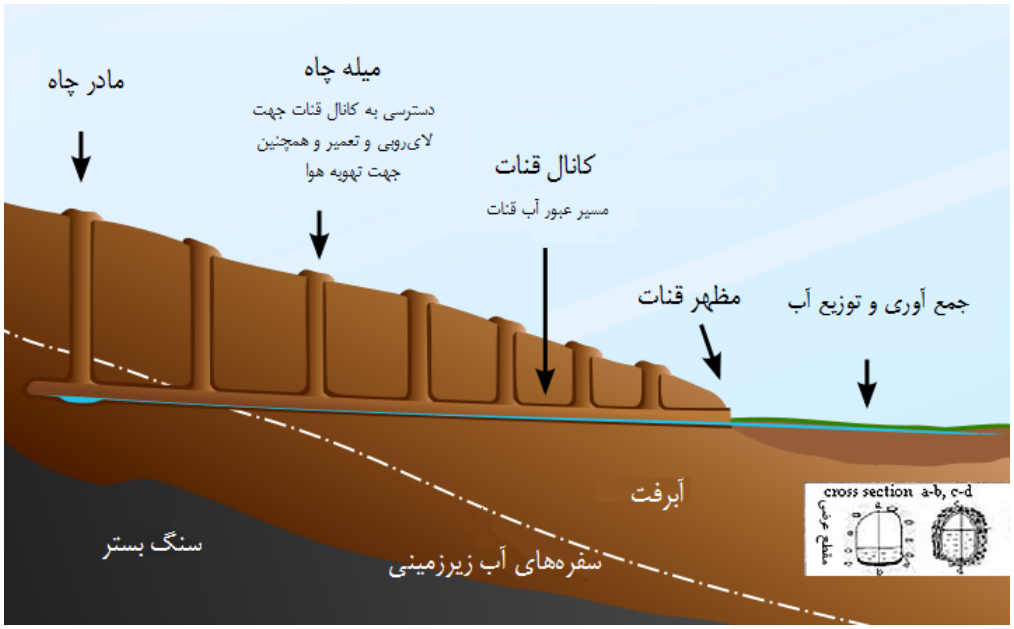
به دلیل قرارگیری در مناطق خشک و کم آب جهان، در ایران همواره آب دارای ارزش و منزلت بالایی بوده و به همین دلیل در زمینه استحصال و انتقال آب، پیشرفت‌ها و ابداعات زیادی پدید آمده است. از مهمترین این پیش‌رفت‌ها می‌توان به قنات، آب انبار، سد و بندسارها و صدها نوع سازه و عملیات مدیریتی دیگر که مورد استفاده قرار گرفته، اشاره نمود. قنات توسط مقنیان ایرانی اختراع شده و هزاران سال قدمت دارد. قدمت بسیاری از قنات های ایران از پنج یا شش هزار سال متجاوز است و با وجود چندین هزار سال از اختراع آن، هنوز هم قنات یکی از ارکان اصلی کشت و زرع در نواحی خشک را تشکیل می‌دهد.

هر قنات از دو بخش تشکیل شده است. بخشی از قنات که در بالادست واقع شده است و در زیر سطح آزاد آب‌های زیرزمینی قرار دارد، تره کار قنات نامیده می شود. در این بخش آب به کوره قنات وارد می شود. ادامه کوره قنات که بالاتر از سطح آب‌های زیرزمینی واقع شده و نقش انتقال آب به اراضی را ایفا می کند و خشکه کار قنات نامیده می شود. میزان آب استحصالی در قنوات متاثر از دو عامل می باشد. ۱- مقدار آبی که در قسمت تره کار قنات وارد قنات می شود که به اختلاف تراز آب زیرزمینی و کوره قنات، طول قسمت ترِ کار و نفوذپذیری آبخوان بستگی دارد. ۲- میزان تلفات آبی در قسمت خشکه کار قنات که در اثر نشت از قنات از دسترس خارج می شود. در صورتی که قنات در اراضی با ضریب نفوذپذیری زیاد احداث شده باشد، مقدار نشت آب در قسمت خشکه کار، در میزان آب استحصالی تعیین کننده خواهد بود. شکل ۱ پلان و برشی از یک قنات را نشان می دهد. در این شکل مشاهده می شود که وجود لایه ای از خاک شن و ماسه ای در مسیر خشکه کار قنات می تواند بخش زیادی از آب استحصالی را به هدر دهد. مقطع گالری قنات به شکل بیضی یا تخم مرغی می باشد و قسمتی که آب در آن جریان دارد به مستطیلی یا ذوذنقه ای عریض تا حدودی ممکن است شباهت داشته باشد.

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بیرجند
۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه سیستان و بلوچستان
(* - نویسنده مسئول: (Email: a.nasirian@birjand.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱- نمای جانبی از حفر قنات در زمین

یکی از روش‌هایی که برای کاهش تلفات در کانال های خاکی (بخصوص در سالیان قدیم) به کار گرفته شده است، گل آلوده سازی آب است. روشهای دیگری نظیر استفاده از لوله گذاری، کول گذاری و پوشش دارکردن سطح مجرای عبور آب نیز امروزه رواج زیادی دارد که پر هزینه است. در قدیم که ابزارهای امروزی وجود نداشت و دسترسی به مصالح مناسب دشوار تر بود، روش گل آلوده سازی آب از اقبال بیشتری برخوردار بود. عبور آب گل آلود از کانال باعث ایجاد لایه ای سطحی با نفوذپذیری کم می شود که در کاهش نفوذپذیری کانال‌های خاکی بسیار موثر می باشد (۱۳). خاک مورد استفاده برای گل آلوده سازی نیز معمولا از قسمتهای بالادست گالری قنات که دارای خاک با درصد ریزدانه می باشد تامین می شود (شکل ۱). لازم به ذکر است که شیب گالری قنات طوری انتخاب می شود که فرسایش اتفاق نیفتد. از این رو تنها با یکبار انجام گل آلوده سازی و تشکیل لایه رسوبی، مشکل مرتفع می شود و نیاز به انجام دائمی آن نیست تا مشکل لایروبی و ... بوجود آید. در صورتی که قناتی به دلیل ریزش آوار و غیره لایروبی شود و لایروبی باعث از بین رفتن این لایه شود می توان با انجام این کار برای چند دقیقه دوباره این لایه را ایجاد نمود. در بسیاری از قنوات که آب داری املاح محلول بالا است، رسوب این املاح نیز می تواند لایه ای سخت در سطح خاک ایجاد کند که تا حدود زیادی نفوذپذیری را کاهش می دهد.

در زمینه نشت از کانال‌های خاکی و تاثیر گل‌آلوده‌سازی آب بر نشت، تحقیقات متعددی به انجام رسیده است. وبستر و بیرنز اظهار داشتند که نفوذپذیری خاک بستر تنها در کانال های 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 (Webster & Byrnes, 1981). اسمیت و ترنر اظهار داشتند که ته‌نشینی مناسب لایه‌ای از رسوبات بر روی بستر کانال می‌تواند به صورت پوششی برای کانال عمل کند و در آب‌بندی کانال بسیار موثر است (Smith & Turner, 1982). کراتز آب بندی 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 قابل توجهی مواد معلق داشته باشد، نشت کانال در طول یک دوره زمانی کوتاه مدت کاهش می‌یابد. اگر میزان مواد معلق خیلی کم باشد، آب‌بندی کانال در طول مدت زیادی پدیدار خواهدشد. 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(Kraatz, 1977). بروکوی 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 دانست(Brockway, 1973). بلاسک و همکاران در اثر عبور سیلاب گل آلود از رودخانه دانوب جدید، کاهش ۴۰ تا ۶۰ درصدی نشت از این رودخانه را مشاهده کردند(Blaschke et al, 2003). هرتو و همکاران تاثیر آب بندی ذرات معلق را روی پوشش شنی با اندازه ذراتی به ترتیب ۳۰ میکرون و ۸ میلی‌متر مورد بررسی قرار دادند و توزیع عمقی رسوبات ریزدانه در بین شن و ماسه ها را مورد بررسی قرار دادند(Herrero et al. 2014).

www.SID.ir

Archive of SID

تحقیقات متعددی در زمینه تاثیر وجود مواد معلق بر روی تغییر ضریب نفوذ پذیری خاک صورت گرفته است(Gibson et al. 2011; Gibson et al. 2009). به طوریکه وو و هوآنگ پس از تایید تغییر ضریب نفوذ پذیری خاک پس از پخش مواد معلق در آن، به این نتیجه رسیدند که اندازه ذرات مواد معلق بر چگونگی پخشش آن تاثیر دارد(Wu & Huang, 2000) . دنگ و همکاران بر پایه نظریه دارسی در شرایطی که ضرایب نفوذپذیری لایه‌های خاک متفاوت بودند معادلات دیفرانسیلی حاکم بر نشت آب گل آلود را ارائه کردند و به روابط منحصر به فردی در این زمینه رسیدند. (Dang et al. 2006). وو مقدار نفوذ آب گل آلود را با غلظت های متفاوت پارامترهای فیزیکی بررسی کرد، نتایج آزمایشگاهی نشان داد که غلظت هر یک از پارامتر های فیزیکی در فرایند نفوذ آب گل آلود تاثیر مهمی بر ضریب نفوذپذیری دارد، نتایج همچنین نشان داد که در غلظت های بالاتر گل آلودگی، ذرات جامد سریع تر نهشته می‌شود(Wu,2008). باور و همکاران اثرات حرکت و انباشت مواد معلق موجود در آب گل آلود بر روی نشت در شرایط زهکشی نشده را بررسی کرد. وی از لایه‌هایی با نفوذپذیری کم در روی لایه هایی با نفوذپذیری زیاد استفاده کرد که در برکه‌های بزرگ برای کاهش نشت قابل استفاده است(Bower et al. 2012). نقوی و مغربی اثر وجود مواد رسوبی بر آبگیری از سیستم آبگیرهای کفی را بررسی کردند (Naghavi & Maghrebi, 2010). همچنین تاثیر جریان های گل آلود بر روی نفوذپذیری بستر رودخانه ها و تاثیر آن بر آبهای زیرزمینی موضوع برخی از تحقیقات بوده است (Simpson & Meixner, 2012; Ulrich, 2015). ژو وهمکاران با این دید که آب گل آلود می تواند نشت را کاهش دهد، بر روی مکانیزم های جلوگیری از نشت در کانال‌ها بحث کردند، آن‌ها کاربرد های گل آلودسازی آب را در طراحی سیستم کنترل نشت در مخزن را بیان کردند، با تحلیل سیستماتیک قانون تغییر پایداری انباشت‌های رسوبی، غلظت رسوبات، ترکیبات دانه‌بندی با فصول و تست های آزمایشگاهی، دریافتند که گل آلود سازی آب موجب کاهش نشت از رودخانه زرد در چین می شود (Zhu et al. 2011). فنگ جی مخزن متوسطی را برای تحقیق انتخاب کرد، با ترکیب تئوری نشت یکنواخت و تئوری نشت آب گل آلود آزمایشاتی انجام داد (Feng-jie, 2012). با وجود تحقیقات زیادی که در زمینه تاثیر وجود رسوبات بر روی آب بر روی کاهش نشت انجام شده است، تحقیقاتی بر روی استفاده کاربردی از گل آلوده سازی آب بر روی کاهش نشت از کانال ها انجام نشده است. فولکرن و همکاران به بررسی تاثیر آب گل آلود در نشت از رودخان ها پرداختند. آن ها متوجه شدند لایه رسوبی تشکیل شده در رودخانه هایی که گل آلودگی آن بیشتر و سرعت جریان در آن کم است از رودخانه هایی که سرعت جریان در آن زیاد و گل آلودگی کمتر است، محکمتر و قوی تر می باشد(Pholkern et al. 2015)

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر گل آلوده سازی آب در کاهش نشت، کانالی خاکی با مقطع ذوزنقه که نزدیکترین شکل به مقطع عرضی قنات ها است احداث گردید و در دو حالت تغییرات نشت آب با زمان از کانال مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. برای اندازه گیری میزان نشت از آزمایش برکه استفاده شد. در آزمایش اول، پس از احداث کانال، کانال با آب زلال پر شد و میزان نشت آن در بازه های زمانی مختلف تا رسیدن به حالت تثبیت شده ثبت گردید. سپس به مدت یک ساعت آب گل آلود از کانال عبور داده شد و مجددا آزمایش تعیین نشت تکرار شد. در ادامه مقدار نشت بدست آمده با نتایج بدست آمده از روش ریاضی بوور و همچنین نتایج بدست آمده از نرم افزار پلکسیس مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

به لحاظ کیفی نفوذپذیری به سهولت حرکت آب و یا هر سیال دیگر در محیط متخلخل پیوسته که لوله‌های موئین غیر منظم را تشکیل می دهند، اطلاق می گردد. بر این اساس نفوذپذیری به خصوصیات محیط خاک و خصوصیات سیالی که در آن جریان دارد، بستگی پیدا می کند. عوامل تاثیر گذار دیگر بر این ضریب عبارتند از: اندازه و توزیع اندازه ای حفرات، منحنی دانه بندی، نسبت تخلخل، زبری سطح دانه ها و درجه اشباع خاک. ضریب نفوذپذیری برای خاک های مختلف به مقدار زیادی تفاوت می کند؛ برای مواد دانه ای، نفوذپذیری خاک عموما با عکس سطح مخصوص ذرات بستگی دارد. همچنین این پارامتر برای خاک های غیر اشباع کوچکتر است و با افزایش درجه اشباع، به سرعت افزایش می یابد.

روش بوور

بوور سه حالت کلی که بسیاری از مساله‌های شرایط طبیعی می تواند در این سه حالت کلی با کمی اغماض در رفتار سیستم جریان نشت مورد استفاده قرار گیرد را بیان می کند:

الف) لایه ای از خاک با نفوذپذیری بسیار بالا در زیر کانال با فاصله ای مشخص قرار گرفته است. در هنگام بررسی نفوذپذیری بی نهایت فرض می شود.

ب) لایه ای از خاک با نفوذپذیری بسیار کم در فاصله ای در زیر کانال واقع شده است. بررسی با فرض نفوذپذیری صفر انجام می‌گیرد.

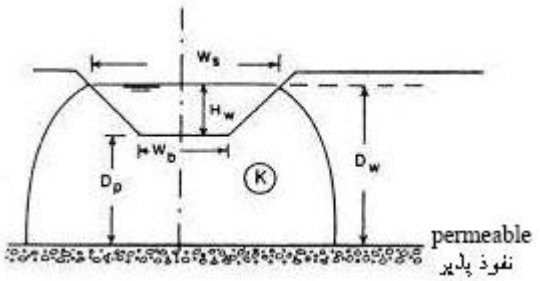
ج) خاک اطراف کانال تا فاصله کوتاهی دارای نفوذپذیری بسیار پایین نسبت به خاک اصلی منطقه است. شرایط گرفتگی خاک و ایجاد پوششی نیمه نفوذ پذیر در اطراف کانال در نظر گرفته می‌شود.

در این تحقیق با توجه به پایین بودن سطح آب‌های زیرزمینی، حالت‌ها اول و سوم متناظر با حالت بدون لایه گرفته و حالت وجود

www.SID.ir

Archive of SID

لایه گرفته می باشد و مورد ارزیابی قرار می گیرد.



شکل۲- حالت ساده فرضی بوور، شرایط اول (Bower, 1969)

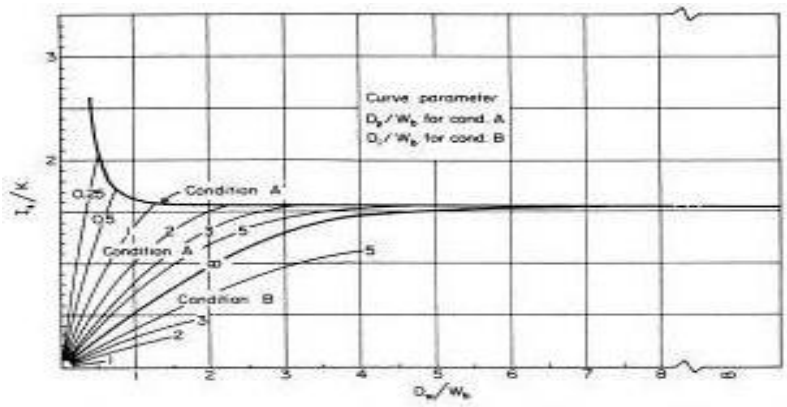
در شکل ۲ D_P و D_C به ترتیب فاصله تا لایه نفوذ پذیر و نفوذ ناپذیر است. شکل ۲ کانال داده شده ذوزنقه ای با شیب کناره‌های ۱:۱ است. با توجه به اینکه شکل کانال اثر کمی روی میزان نشت دارد، دیگر اشکال کانال می‌تواند با بهترین مقطع ذوزنقه‌ای با شیب ۱:۱ نمایش داده شود. عمق سطح آب های زیرزمینی، D_W فرض می شود.

$$q_s = \frac{I_s}{K} K W_s \quad (۱)$$

K: ضریب نفوذپذیری خاک (متر بر روز)، W_S: عرض کانال در تراز سطح آب(متر)، H_W: ارتفاع آب در کانال(متر).

زمانی که تراز سطح آب های زیرزمینی زیر سطح لایه نفوذ پذیر باشد، زهکشی آزاد به مناطق عمیق در لایه با نفوذپذیری بالا، رخ خواهد داد. بطور هیدرودینامیکی و به صورت نشت به یک تراز سطح آب های زیرزمینی ثابت با عمق D_P زیر کف کانال پارامترگذاری می شود. D_W برای این حالت، $D_P + H_W$ می باشد.

نتایج تحلیل در دیاگرام بدون بعدی ارائه می شود که در آن محور افقی نشان دهنده $\frac{D_W}{W_b}$ و محور قائم نشان دهنده $\frac{I_s}{K}$ به ازاء $\frac{I_s}{K}$ در برابر $\frac{D_W}{W_b}$ برای مقادیر مختلف $\frac{D_c}{W_b}$ و $\frac{D_p}{W_b}$ می باشد. I_s نشان دهنده نرخ نشت بر واحد طول کانال است. برای عرض سطح آب کانال W_S داده می شود. بنابراین I_s شبیه میزان نشت بوده و واحد آن سرعت است. شکل ۳ جواب ها را برای سه نسبت $\frac{H_w}{W_s}$ متقارن عمق آب به عرض سطح آب را نشان می دهد.



شکل۳- نتایج تحلیل نشت برای کانال ذوذنقه ای برای $\alpha = 45^o$ و $H_w / W_b = 0.25$ (Bower, 1969)

نتایج این تحلیل نشان داده که برای اتلاف آب از کانال بدون لایه دارای گرفتگی اگر آب های زیرزمینی نسبتا کم عمق باشند، میزان نشت با عمق آب های زیرزمینی به طور خطی تغییر می کند و اگر آب های زیرزمینی در عمق زیاد قرار داشته باشند میزان تلفات آب از کانال به عمق آب های زیرزمینی وابسته نیست.

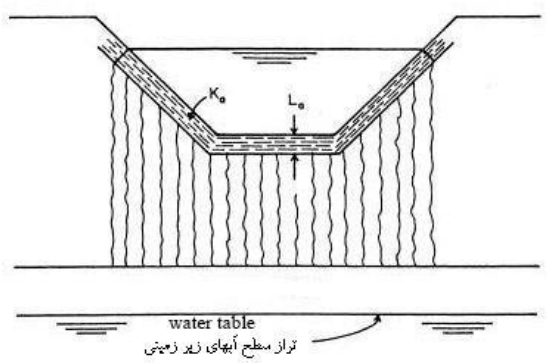
نشت از کانال های خاکی در جاهایی که پیرامون مرطوب کانال دارای گرفتگی است، با مشخصات این لایه یعنی K_s: ضریب نفوذپذیری لایه و L_s: ضخامت لایه مرتبط است. شکل ۴ این مطلب را نشان می دهد. خطوط رشته مانند مسیر جریان را در قسمت غیر اشباع خاک نشان می دهد. در این حالت نشت کانال از تراز سطح آب های زیرزمینی یا فاصله با منطقه خاک اشباع زیر لایه گرفته، تاثیر نمی پذیرد.

نرخ نشت را می توان با بکارگیری قانون دارسی محاسبه نمود و تمام مقاومت در برابر نشت به این لایه نسبت داده می شود و هد آب بالای این لایه نیز همان عمق آب خواهد بود و همچنین فشار منفی زیر این لایه نیز باید در نظر گرفته شود. این فشار منفی نیز بوسیله مشخصات هیدرولیکی غیر اشباع خاک زیر لایه گرفته تعیین می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴ حالتی را که تراز سطح آب های زیرزمینی و منطقه اشباع خاک در زیر تراز کف کانال واقع شده است را نشان می دهد. اگر تراز سطح آب های زیرزمینی بالای کف کانال باشد بین میزان نشت و عمق آب های زیرزمینی رابطه خطی وجود دارد.



شکل ٤- شکل و پارامترهای کانال با لایه گرفته و تراز سطح آب های زیرزمینی در پایین تر از تراز کف کانال، (Bower, 1969)

نرم افزار پلکسیس[1]

اجزای محدود روشی ریاضی برای حل مسائل است و قابلیت‌های بسیار گسترده ای برای حل انواع مساله دارد. برای حل مسائل ابتدا محیط به اجزای کوچکتر تقسیم می شود و مساله برای یک المان حل می شود. سپس المان‌ها بر روی هم سوار می شوند و شرایط مرزی اعمال می شود. مقادیر پاسخ در گره ها محاسبه می شود و برای سایر نقاط محیط بر طبق معادلات حاکم بر المان محاسبه می شود. دقت این روش به نوع المان و ابعاد المان بستگی دارد. به منظور تحلیل نشت از کانال، از نرم افزار پلکسیس استفاده خواهد شد. این نرم افزار یک نرم افزار اجزای محدود است که دو جزء ۶ و ۱۵ گرهی دارد. این نرم افزار برای اهداف بررسی نشت و تنش در خاک ارائه شده است. استفاده از نرم افزار شامل ۱- معرفی هندسه شامل شکل، خصوصیات خاک و انتخاب المان المان بندی و ۲- تعریف شرایط اولیه شامل تراز آب‌های زیرزمینی و شرایط مرزی تحلیل، می باشد.

اندازه گیری میدانی

به منظور بررسی میزان نشت در کانال‌های خاکی، کانالی در اراضی کشاورزی شهرستان فردوس احداث شد. این کانال ذوذنقه ای با عرض بستر ۳۰ سانتیمتر و شیب کناره ها ۴۵ درجه ساخته شد. مقطعی از قنات که آب در آن جریان می یابد به شکل تخم مرغی شکل است که در قسمت پایین آن به یک کانال ذوذنقه ای یا مستطیلی نزدیک است. کانال خاکی مستطیلی از پایداری مناسبی برخوردار نیست و لذا بهترین حالت برای انجام این آزمایش مقطع ذوذنقه ای می باشد. خاک محل شن و ماسه‌ای نسبتا همگن با میانگین نفوذپذیری $2/5\times10^{-2}$ cm/s می‌باشد. شیب بازه مورد آزمایش ۰/۲۵ درصد و طول بازه ۲۱ متر می باشد. مقطع کانال مطابق شکل ۷ ذوزنقه با شیب عرضی ۱:۱ و عرض کف ۵۰ سانتی‌متر می باشد. قبل از شروع آزمایش دو انتهای بازه با خاک پر شد. برای اینکه هیچ زه آبی از این مرز خاکی عبور نکند یک صفحه پلاستیکی در وسط آن قرار داده شد. در شکل ۵ این صفحه پلاستیکی مشخص است. برای قرائت دقیق عمق از یک شاخص استفاده شد. با این وجود برای کنترل داده ها با یک اشل مدرج عمق ابتدا و انتهای بازه نیز در چند مرحله قرائت شد. با توجه به اینکه طول بازه نسبتا کوتاه بوده و از طرفی در زمان انجام آزمایش هوا آرام بود استفاده از یک شاخص کافی بود. در صورت وجود باد یا طولانی بودن بازه بهتر است از دو شاخص برای قرائت عمق استفاده شود تا اثرات شیبدار شدن سطح آب به علت باد از بین برود.

برای اندازه گیری نشت از کانال از آزمایش برکه استفاده شد. برای آنکه نشت در شرایط پایدار اندازه گیری شود، قبل از شروع آزمایشات کانال به مدت ۳ شبانه روز آب اندازی و میزان نشت از کانال اندازه گیری شد. سپس به مدت ۲ ساعت آب گل آلود از کانال عبور داده شد و به منظور کاهش سرعت، افزایش عمق و رسوب گذاری بیشتر، چند قطعه سنگ در مقطعی از کانال قرار داده شد تا رسوب گذاری بهتر و سریع تر انجام شود. پس از مدت ۲ ساعت عبور آب گل آلود، لایه ای از رسوبات به ضخامت ۱ سانتیمتر روی جدار کانال قرار گرفت. در این زمان مجددا آزمایش برکه انجام شد. در انتها ضخامت و مشخصات خاک لایه رسوبی آزمایش شد. مشخصات دانه بندی مواد گل آلوده سازی آب در جدول ۱ مشخص شده است.

نتایج و بحث

آزمایشات میدانی

شکل های ۹ تا ۱۴ نتایج آزمایشات را قبل و بعد از عبور آب گل آلود نشان می دهند. از مقایسه نمودار ۹ و ۱۰ مشخص می شود که نفوذپذیری در شروع آزمایش قبل و بعد از عبور آب گل آلود به ترتیب ۲ و ۱/۱۵ لیتر بر متر مربع در دقیقه می باشد و به عبارتی در اثر ایجاد لایه رسوبی نشت از کانال ۴۲ درصد کاهش یافته است. از مقایسه شکل های ۱۱ و ۱۲ نیز مشاهده می شود که افت سطح آب در طی زمان ۶۰ دقیقه ای در دو حالت قبل و بعد از عبور آب گل آلود به ترتیب ۱۰ و ۶ سانتی‌متر بوده است. همچنین نشت برای عمق ۱۰ سانتی‌متر در آزمایش اول نشت ۱/۵۵ و در آزمایش دوم ۰/۸۵ لیتر بر متر مربع در دقیقه بدست می آید. این به معنی کاهش ۴۵ درصدی در نشت است که فقط به خاطر یک لایه با نفوذ پذیری کمتر در سطح خاک می باشد.

1- Plaxis

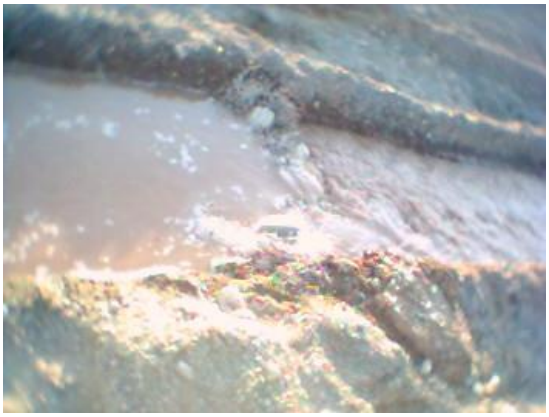
www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- مشخصات دانه بندی مواد گل آلوده سازی آب

ماسه	سیلت	رس
۱۲ درصد	۸۰ درصد	۸ درصد

شکل ۵- انجام آزمایش برکه



شکل ٦- عبور آب گل آلود از بازه آزمایشی

شکل ۷- مقطع کانال ۳

شکل ۸- ابزار اندازه‌گیری عمق آب

تحلیل عددی

اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل توسط نرم افزار پلکسیس شامل دانسیته خشک γ_d و اشباع خاک γ_s، ضریب الاستیسیته خاک E_{ref}، ضریب پواسون ν، چسبندگی C و زاویه اصطکاک خاک ϕ و از همه مهم‌تر ضریب نفوذپذیری خاک k می‌باشد. جز ضریب نفوذپذیری خاک، سایر اطلاعات در مسائل تعیین تنش تاثیرگذار می باشند و ضریب مهم در نشت ضریب نفوذ پذیری خاک می باشد. بر اساس اطلاعات آزمایشگاه مکانیک خاک، برای خاک منطقه:

$\gamma_d = 1867\ {kg}/{m^3}$, $\gamma_s = 2145\ {kg}/{m^3}$ و

$E_{ref} = 40000\ {kN}/{m^2}$ و $\nu = 0.3$ و $\phi = 36^\circ$ و

$C = 0.1\ {kN}/{m^2}$

و برای خاک رسوب کرده روی کانال:

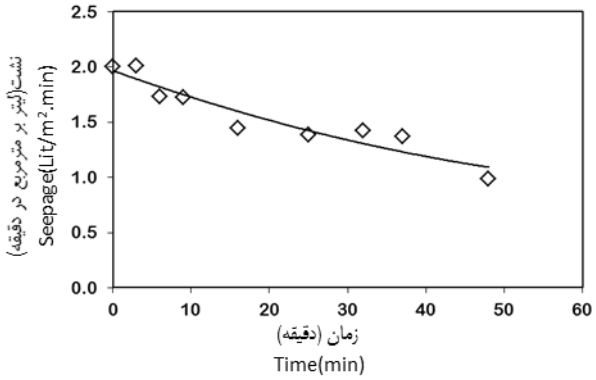
$\gamma_d = 1650\ {kg}/{m^3}$ $\gamma_s = 2010\ {kg}/{m^3}$ و

$E_{ref} = 2000\ {kN}/{m^2}$ و $\nu = 0.2$ و $C = 0.2\ {kN}/{m^2}$،

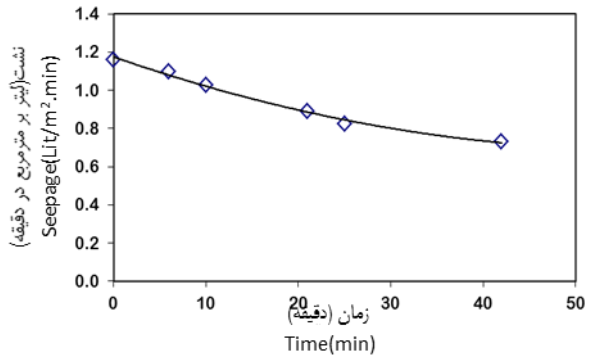
$\phi = 15^\circ$

www.SID.ir

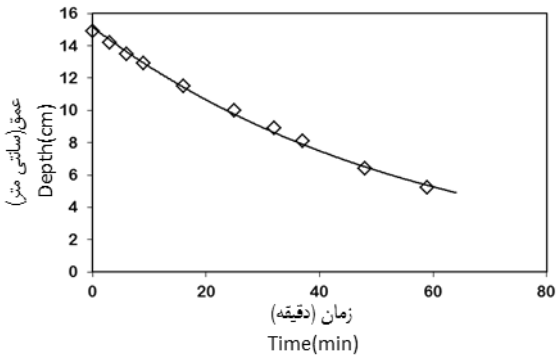
Archive of SID



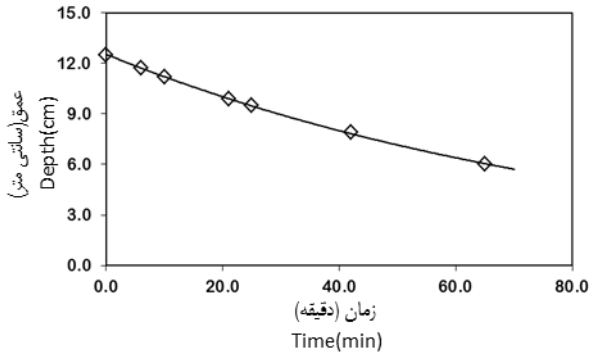
شکل ۹- تغییرات نشت در کانال قبل از عبور آب گل آلود



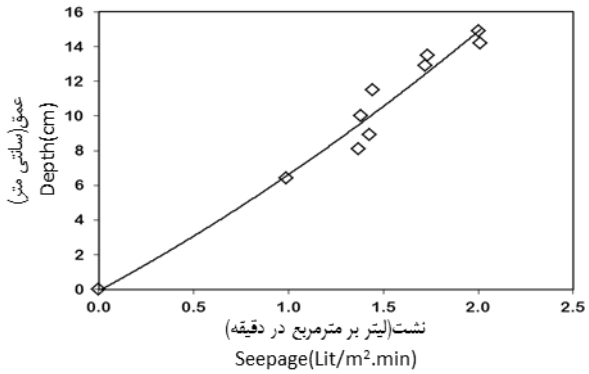
شکل ۱۰- تغییرات نشت در کانال پس از عبور آب گل آلود



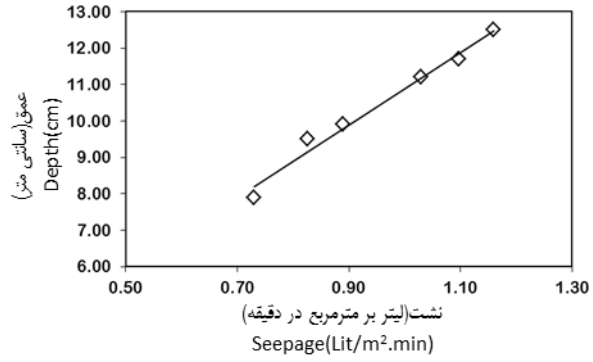
شکل ۱۱- تغییرات میانگین عمق جریان با زمان قبل از عبور آب گل آلود



شکل ۱۲- تغییرات میانگین عمق جریان با زمان پس از عبور آب گل آلود



شکل ۱۳- تغییرات نشت با عمق قبل از عبور آب گل آلود



شکل ۱٤- تغییرات نشت با عمق پس از عبور آب گل آلود

با توجه به اینکه نشت کل کانال در آزمایش تعیین شده، با سعی و خطا ضریب نفوذپذیری به گونه ای تعیین می‌شود که نشت نمونه عددی با نشت آزمایش برابر شود. این ضریب نفوذپذیری، ضریب نفوذپذیری خاک خواهد بود. آزمایش در دو مرحله انجام می شود: الف) تعیین ضریب نفوذپذیری خاک ب) استفاده از ضریب نفوذ پذیری خاک مرحله قبل و اضافه نمودن یک لایه خاک به ضخامت ۱ سانتی‌متر روی بستر و محاسبه ضریب نفوذ پذیری این لایه و همچنین بررسی عملکرد این لایه.

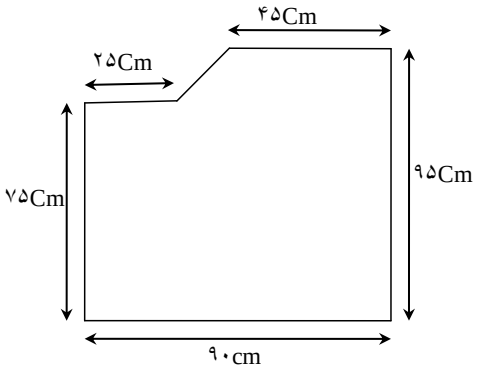
تعیین ضریب نفوذپذیری خاک بستر

با توجه به تقارن مساله تحلیل برای نصف کانال انجام می شود. گام اول در تحلیل، انتخاب حجم کنترل است. ابعاد حجم کنترل و نحوه مش زنی آن به ترتیب در شکل های ۱۵ و ۱۶ ترسیم شده است. ضریب نفوذ پذیری برای اندازه گیری‌های مربوط به عمق آب

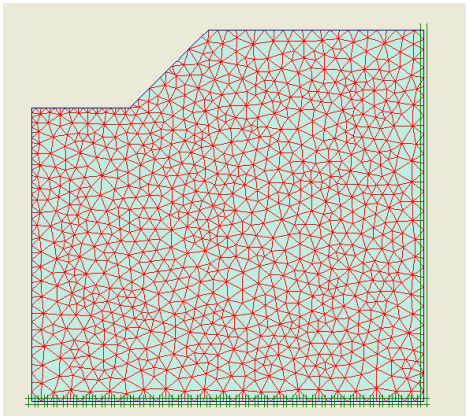
www.SID.ir

Archive of SID

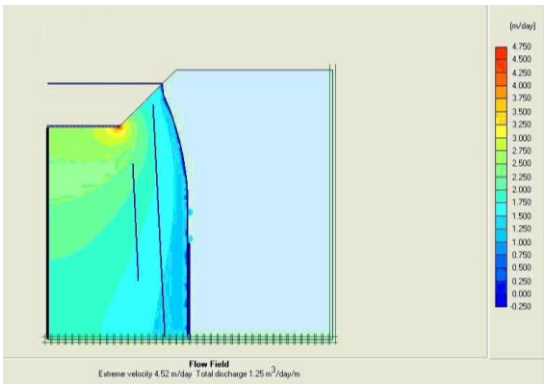
۱۰ سانتی‌متر محاسبه مـی شـود. در ایـن عمـق نشـت آب از مقطـع آزمایشی ۰/۹۵ متر مکعب بر روز بر واحد طول کانال است. با سـعی و خطا برای ضریب نفوذ پذیری ۲/۵۲ متر بر روز میزان نشت ۰/۹۶ متر مکعب بر روز بر متر به دست آمد. با ایـن ضـریب هـدهای متفـاوتی اعمال شد و نشت محاسبه گردید. شکل ۱۷ خطوط کنتور هم سرعت را برای هد ۱۵ سانتی‌متر نشان می دهد.



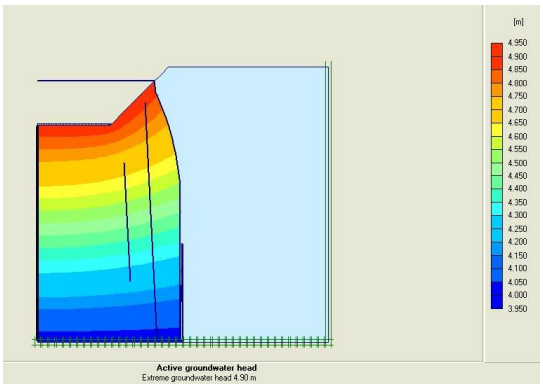
شکل۱۵- حجم کنترل انتخابی



شکل ۱۶- شبکه بندی حجم کنترل



شکل ۱۷- خطوط هم سرعت



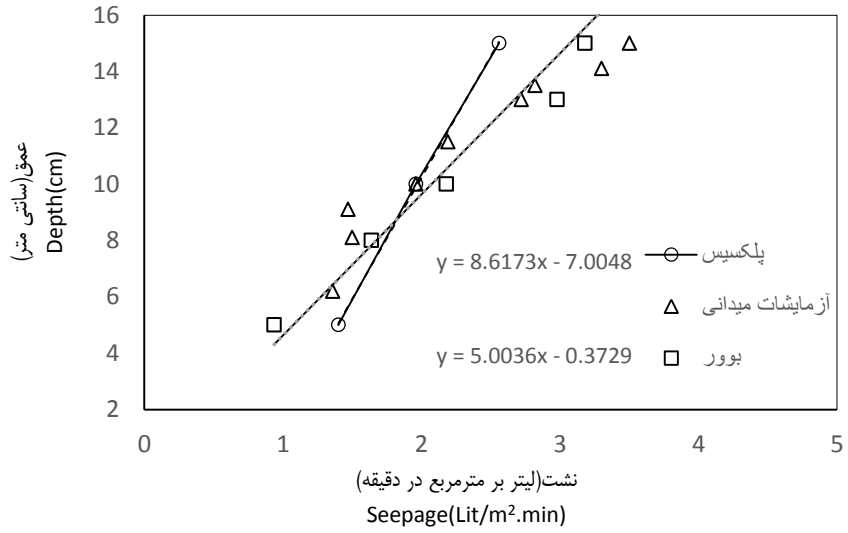
شکل ۱۸- خطوط هم پتانسیل

در شکل۱۷ چند نکته قابل توجه اسـت: ۱- بـیش‌تـرین نشـت از گوشه کانال رخ می دهد. به این موضـوع قـبلا توسـط بـاور (۱۹۶۹) اشاره شده است. ۲- با حرکت به سمت خط سطح آزاد سرعت جریان کم می شود و بالاترین سرعت روی خط تقارن رخ می دهـد. ۳- بـر طبق نتایج تحلیل حداکثر فاصله جانبی که خاک کانال اشباع می شود تا کانال حدود ۲۰ سانتی‌متر فاصله دارد. خطوط پتانسیل در شـکل ۱۸ دیده می شود. همانطور که در شکل دیده می شود خطوط پتانسیل بـا حرکت به سمت عمق افقی می شوند.

تغییرات نشت اندازه گیری شده، نتیجه بدست آمده از پلکسیس و روش ریاضی بوور برای ترازهای مختلف آب در شکل ۱۹ ارائـه شـده است. همانگونه که در شکل ۱۹ مشاهده می شود نتایج بدست آمده از نرم افزار پلکسیس رابطه خطی بین دبی نشت و هد آب را نشان مـی دهد. این موضوع با توجه بـه رابطـه دارسـی قابـل درک اسـت زیـرا سرعت آب در محیط متخلخل با هد آب رابطه خطی دارد و ایـن نـرم افزار که به حل معادله لاپلاس به صورت عددی می پـردازد بـه ایـن معادله متکی است. بر این اساس استفاده از سه نقطه برای ایـن روش کافی می باشد. نتایج روش بوور حول یک خط نوسـان دارد کـه ایـن نوسانات مربوط به خطای قرائت داده ها از روی نمودارهـا مـی باشـد. همانگونه که بیان شد، مقدار ضریب نفوذپـذیری خـاک بـه گونـه ای تعیین شده است که نتایج بدست آمده از نـرم افـزار بـرای عمـق ۱۰ سانتی متر با نتایج اندازه گیری شده یکسان باشد. انطباق مقدار بدست امده از نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی ناشی از این موضوع مـی باشـد. در نمودار مشاهده می شود که نتایج روش بوور نیز در ایـن عمـق بـا نتایج دو روش دیگر به یکدیگر نزدیک شده اند. امـا بـا تغییـر عمـق روشی که نتایج نزدیک تری به مقدار اندازه گیری شده دارد، عملکـرد بهتری خواهد داشت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۹- تغییرات نشت با عمق در حالت عدم وجود لایه گرفته

در شکل۱۹ مشاهده می شود که نتایج آزمایشگاهی با نتایج روش بوور دارای انطباق بهتری است، در حالی که نتایج بدست آمده از پلکسیس دارای زاویه می باشد. به عبارت دیگر با کاهش یا افزایش عمق، مقدار نشت محاسبه شده در نرم افزار با مقدار بدست آمده از روش بوور و نتایج بدست آمده از آزمایشات میدانی، تطابق خوبی ندارند. لازم به ذکر است رابطه تغییرات نشت با عمق در حالت عدم وجود لایه گرفته برای نتایج نرم‌افزار پلکسیس و روش بوور بر روی نمودار مشخص شده است. همانطور که در شکل دیده می شود، تغییرات نشت واقعی با عمق با نتایج به دست آمده از نرم افزار متفاوت است. این موضوع احتمالا به علت تغییرات در تراکم خاک در لایه های مختلف است که بر روی ضریب نفوذپذیری تاثیر دارد.

تحلیل نشت با لایه رسوبی

به منظور بررسی اثر لایه رسوبی ایجاد شده روی سطح کانال، لایه خاکی با ضخامت ۱ سانتی‌متر که در کناره ها به صورت خطی کاهش می یابد، مدل می شود. با سعی و خطا ضریب نفوذپذیری برای لایه رسوب سطح کانال تعیین شد. برای اینکه نشت عددی با نشت واقعی در عمق ۱۰ سانتی‌متر برابر شود ضریب نفوذپذیری این لایه ۰/۰۷۶ متر بر روز به دست آمد. نکته جالب توجه در این قسمت عدم ایجاد سطح آزاد اشباع خاک می باشد. در این حالت نرم افزار خطوط پتانسیل را نیز ارائه نمی‌نماید. نتایج به دست آمده از آزمایش، نرم افزار و روش بوور در شکل۲۱ آورده شده است.

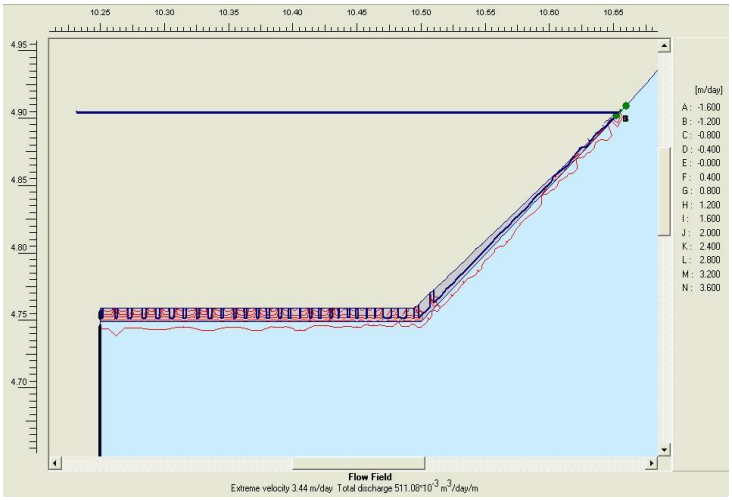
در شکل ۲۱ مشاهده می شود که بجز نتیجه آزمایش برای عمق ۱۴ سانتی متر سایر نتایج بدست آمده از سه روش به خوبی با یکدیگر انطباق دارند. به عبارت دیگر روش بوور و نرم افزار پلکسیس توانسته اند مقدار نشت را به خوبی شبیه سازی نمایند. مغایرت مقدار آزمایش در عمق ۱۴ سانتی متر نیز به علت عدم امتداد یافتن لایه گرفته به صورت کامل تا این عمق می باشد. رابطه تغییرات نشت با عمق در حالت وجود لایه بر روی نمودار شکل ۲۱ بیان شده است.

نتیجه گیری

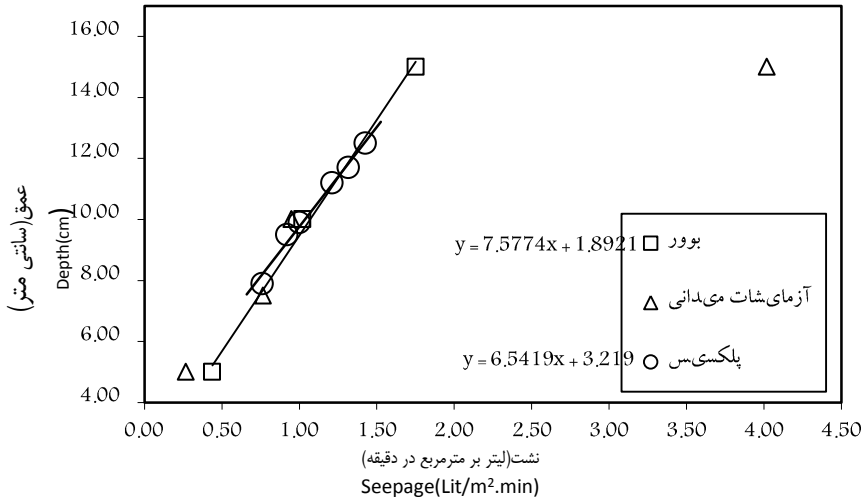
در طی تحلیل‌ها مشخص شد که با حرکت آب به عمق خاک، خطوط پتانسیل افقی می شوند و این باعث بی تاثیر شدن بزرگ بودن ابعاد حجم کنترل از یک حالت حدی می شود، در ضمن این عمق به نفوذپذیری خاک بستگی ندارد. در آزمایشات و تحلیل ها به خوبی مشاهده شد که وجود لایه گرفته به صورت جدی می تواند به کاهش نشت از کانال منجر شود. بر اساس آزمایشات و تحلیل ها وجود لایه ای گرفته ناشی از یک ساعت عبور آب گل آلود از کانال منجر به کاهش ۴۵ درصدی میزان نشت شد. روش بوور در دو حالت با و بدون وجود لایه گرفته نتایج مناسبی را برای تخمین نشت از کانال ها ارائه می نماید. نتایج بدست آمده از نرم افزار پلکسیس برای حالت بدون گرفتگی دارای درصدی مغایرت با نتایج آزمایشگاهی بود ولی در حالت وجود لایه گرفته، نتایج قابل قبولی را ارائه نمود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲۰- خطوط هم سرعت



شکل ۲۱- نتایج آزمایش، نرم افزار و روش بوور در حالت با گرفتگی

منابع

Blaschke, A. P., Steiner, K., Schmalfuss, R., Gutknecht, D. and Sengschmitt, D., (2003), Clogging processes in hypothetic interstices of an impounded river, the Danube at Vienna, Austria, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Herrero, A., Berni, C., Camenen, B. and Thollet, F., (2014), Infiltration of silt-sized sediment in a gravel-bed channel, EGU General Assembly 2014, held 27 April - 2 May, 2014 in Vienna, Austria, id.7107.

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

Byrnes, R.P. and Webster, A.,(1981), Direct measurement of seepage from earthen channels, Australian Water Resources Council, Technical Paper No. 64., Australian Government Publishing Service, Canberra, Aust.

Smith, R.J., and Turner, A.K., (1982), Measurements of seepage from earthen. Irrigation Channels. *Civ. Eng. Trans.*, Inst. Eng. Aust., CE24 (4), 338-345.

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

Brockway, C.E., (1973), Investigation of natural sealing effects in irrigation channels, Water Research Institute, University of Idaho.

www.SID.ir

Archive of SID

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

Feng-jie,Y. (2012), Study on seepage stability mechanism of an inclined-wall earth and rock-fill dam based on muddy water seepage theory, Journal of Water-Power, 38(10), 24-27.

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

Xu, S. J., Dang, F. N., Cheng, s. Z. , (2011), Research of muddy water seepage theory and anti-seepage technique for plain reservoirs, Journal of Rock and Soil Mechanics, 32(07), 2093-2098.

Bouwer, H., (1969), Theory of seepage from open channels, In: V.T. Chow (Ed.), Advances in Hydro science, Academic Press, NY, USA, 5, 121-172

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

Dang, F., Liu, Y., Chen, J. et al., (2006), Muddy water seepage theory and its application, SCIENCE CHINA SER E 49(4), 476-484.

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

Bouwer, H., Ludke, J., Robert C. (2012), sealing pond bottoms with muddy water, *Journal of Guangxi Universit,:* Nat Sci Ed, 37(2), 224-228.

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, 867-884.

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, 1740-1753.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 1052-1063

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۱۰۶۳-۱۰۵۲

Experimental and Numerical Investigation of the Effects of Muddy Water on Seepage Reduction in Earthen Channels and Dry Zone of Qanat

A. Nasirian[1*], A. Mohtashami[2]

Recived: Oct.28, 2018 Accepted: Feb.01, 2019

Abstract

The ancient Iranians have used the underground water resources by excavating Qanats. If the Qanat is excavated in soils with high permeability coefficient, seepage in dry zone is the determinant part. One of the methods which is used for reduction of water-loss in dry zones is getting the water muddy. This study is about the investigation of the effects of muddy water on seepage reduction in trapezoid earthen channels which has the most resemblance to dry zones of qanats. In order to achieve this purpose an earthen channel with determined characteristics was excavated. In two stages fresh water and muddy water are conveyed into the channel and finally seepage was measured by using pondage test. The results have revealed that: 1- With moving the muddy water in a small period of time with forming sedimentary layer the seepage can be reduced more than forty-six percent (46%). 2- Numerical analysis indicated that the most significant factor in seepage reduction is sedimentary layer. 3- The achieved results from investigation showed in both conditions the Bouwer method indicates good correspondence with experimental results.

Keywords: Sealing, Plaxis, earthen channel, Bouwer method, Seepage

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Ph.D. Student of Civil Engineering, Water Resources Management, University of Sistan and Baluchestan
(* - Corresponding Author: Email: a.nasirian@birjand.ac.ir)

www.SID.ir