

# روشی ساده برای محاسبه مقدار نشت از پی سدهای خاکی با وجود بلانکت و دیوار آببند

علی قنبری<sup>۱\*</sup> و سجاد زریابی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و بی، دانشگاه خوارزمی

## چکیده

با توجه به محدودیت‌های اجرایی و آینین‌نامه‌ای جهت آببندی بی سدهای خاکی، استفاده از ترکیب سیستم‌های آببندی، راهکاری مناسب برای کنترل نشت محسوب می‌شود. با این حال در آینین‌نامه‌ها و مراجع معتبر برای طراحی ترکیب سیستم‌های آببندی، منحنی‌های طراحی و یا تجربی ارائه نشده است. بر این اساس طراح باید الزاماً از نرم‌افزارهای تحلیل نشت استفاده کرده و یا بر اساس قضاوت مهندسی تراوش از پی را تخمین بزند. در این مقاله یک رابطه ساده برای محاسبه کاهش نشت از پی سدهای خاکی که در آن آببندی بر اساس ترکیب بلانکت و دیوار آببند است، ارائه شده است. به منظور یافتن این رابطه از نتایج تعداد ۵۴۰ تحلیل عددی حاصل از برنامه Seep/w استفاده شده است. در همین راستا تأثیر مشخصات فیزیکی و هندسی بلانکت و دیوار آببند مانند نفوذپذیری، ضخامت دیوار آببند، طول و ضخامت بلانکت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی با داده‌های پارامترهای ذکر شده نتایج تحلیل‌های عددی با نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی با داده‌های نرم‌افزاری مقایسه شده‌اند. مقایسه مذکور نشان می‌دهد که اختلاف نتایج رابطه پیشنهادی با تحلیل‌های عددی ناچیز است.

**واژگان کلیدی:** سد خاکی، دیوار آببند، پوشش بالادست، کنترل نشت، آببندی بی.

## ۱- مقدمه

### USACE نمودار ارائه شده در شکل (۱) را برای برآورد

میزان کاهش نشت در اثر احداث دیوار آببند پیشنهاد کرده است [۱].

همچنین این مرجع رابطه زیر را نیز جهت دبی عبوری از پی سد در اثر احداث دیوار آببند ارائه داده است [۱]:

$$Q/K_0 H = 1 / \{ 0.88 + (B/D) + ((K_0/K) - 1)(E/D) \} \quad (1)$$

که در شکل (۱) و رابطه (۱)،  $B$  عرض کف هسته،  $D$  عمق پی،  $E$  ضخامت دیوار آببند،  $K_0$  ضریب نفوذپذیری پی و  $K$  ضریب نفوذپذیری دیوار آببند است. علاوه بر این، آینین‌نامه USBR جهت کنترل نشت از پی در اثر استفاده از پوشش بالادست روابطی ارائه داده است که در شکل (۲) نیز نشان داده شده‌اند [۲]:

$$Q = f K_f H \quad (2)$$

امروزه در بسیاری از موارد سدهای خاکی بر روی لایه‌های آبرفتی که از نفوذپذیری قابل ملاحظه‌ای برخوردار هستند احداث می‌گردند. لذا کنترل نشت از پی و محاسبه مقدار جریان آب از پی از اهمیت بالایی برخوردار است. در صورتی که نشت آب از پی سدهای خاکی کنترل نشود ممکن است در دراز مدت، با وقوع پدیده رگاب در پی، خسارات جبران‌ناپذیری به سد وارد شود. بر این اساس کنترل تراوش در پی سدهای خاکی به منظور محدود کردن میزان تراوش آب، حفظ پایداری خاکریز پائین دست و جلوگیری از فرسایش ذرات ریز خاک، اهمیت بالایی دارد.

به منظور کنترل و جلوگیری تراوش از پی سدهای خاکی روش‌های مختلفی وجود دارد. احداث ترانشه‌های رسی، پتوی نفوذناپذیر بالادست (بلانکت)، پرده تزریق و دیافراگمهای بتنی از جمله راهکارهای کنترل نشت از پی هستند. طراحان سدهای خاکی برای استفاده از هر یک از سیستم‌های ذکر شده با محدودیت‌های خاصی مواجه هستند. در بسیاری از موارد استفاده از ترکیب سیستم‌های آببند می‌تواند راهکاری مناسب جهت کنترل نشت از پی سدهای خاکی باشد.

و همکاران مطالعه‌ای بر سد فریم صحرا در مازندران انجام دادند. آنان با استفاده از تحلیل‌های عددی و مقایسه نتایج نرمافزار با روش Bennett متوجه شدند که طول مناسب برای بلانکت بالادست ۱۵۰ متر و ضخامت آن ۰/۷۵ متر می‌باشد [۵].

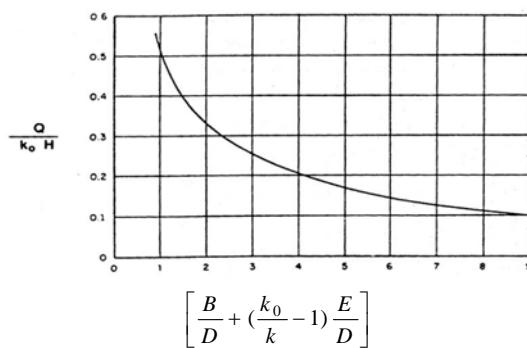
در این مقاله ترکیب دیوار آب‌بند و پتوی نفوذناپذیر بالادست برای کنترل نشت در پی سدهای خاکی مورد مطالعه قرار گرفته و عوامل مؤثر بر کاهش نشت در اثر ترکیب دو سیستم بررسی شده است. در پایان با استفاده از تحلیل نتایج نرمافزار یک رابطه تقریبی جدید جهت محاسبه مقدار نشت عبوری از پی سدهای خاکی با وجود ترکیب دیوار آب‌بند و بلانکت ارائه شده است.

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق، سدی با مشخصات هندسی نشان داده شده در شکل (۳) در نظر گرفته شده است. با توجه به مشخصات مکانیکی و هندسی پی، بلانکت نفوذناپذیر بالادست و دیوار آب‌بند درصد کاهش نشت از پی به دست می‌آید. این پارامترها شامل؛ ضریب نفوذپذیری بلانکت ( $K_b$ )، طول بلانکت ( $L_b$ )، ضخامت بلانکت ( $t_b$ )، ضریب نفوذپذیری پی ( $K_f$ )، عمق پی ( $H_f$ )، ضریب نفوذپذیری دیوار آب‌بند ( $K_w$ )، ضخامت دیوار آب‌بند ( $t_w$ ) و عمق نفوذ دیوار آب‌بند ( $D$ ) می‌باشند. همان‌گونه که دیده می‌شود، در این حالت تراوش در پی سد با وجود دیوار آب‌بند و بلانکت مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با توجه به پارامترهای ذکر شده در کاهش میزان تراوش، از رگرسیون چندگانه استفاده و رابطه‌ای جهت درصد کاهش نشت ارائه گردیده است.

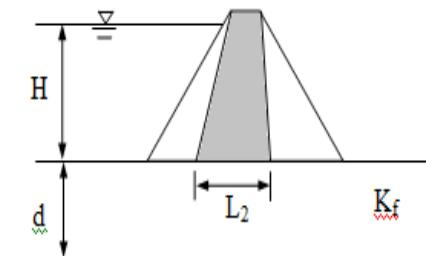
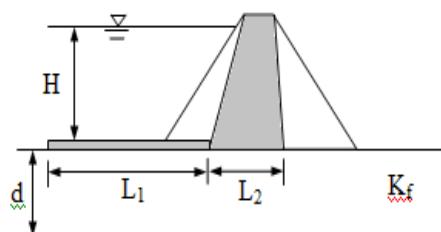
## ۳- محدوده تغییر پارامترها

در تعیین و انتخاب عوامل مؤثر در کاهش تراوش از پی سدهای خاکی سعی شده است که محدودیت‌ها و واقعیت‌های اجرایی لحاظ گردد و با توجه به شیوه‌های اجرایی مدل‌سازی‌ها انجام گیرد. برای مثال با توجه به محدودیت حداقل ضخامت بلانکت که ۰/۵ متر است [۳]، سعی شده که این نکته در مدل‌سازی‌ها لحاظ گردد. محدوده تغییر پارامترهای فیزیکی و هندسی پی، بلانکت و ترانشه رسی در جدول (۱) ارائه گردیده است.



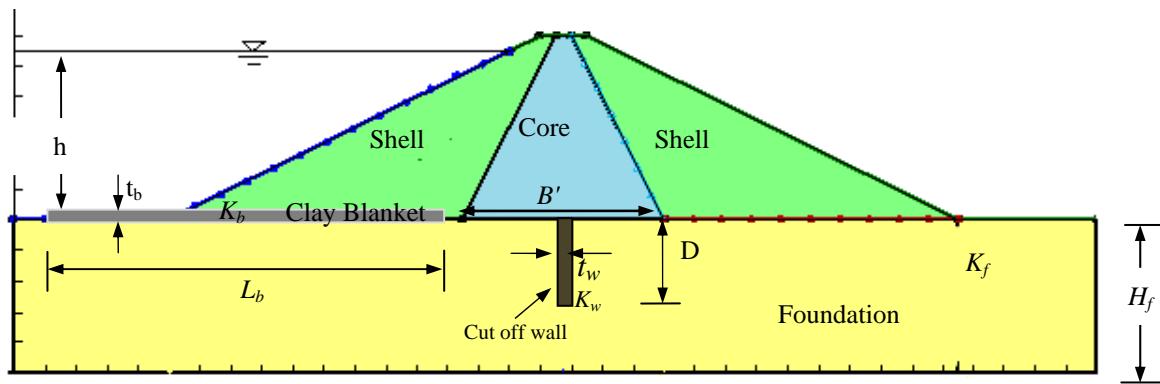
شکل ۱- نمودار درصد کاهش تراوش در اثر احداث دیوار آب‌بند [۱]

که در آن  $Q$  دبی در واحد عرض است. همچنین  $f$  ضریب شکل می‌باشد و روابط محاسبه آن برای هر حالت در شکل (۲) نشان داده شده است. علاوه بر دو مرجع ذکر شده، در سال‌های گذشته مطالعات فراوانی جهت کنترل نشت از پی صورت گرفته است [۷-۱]. Brown مطالعاتی در مورد سیستم بلانکت نفوذناپذیر و چاههای زهکش برای کنترل تراوش از میان هسته دو سد که بر روی رودخانه کلمبیا احداث شده‌اند انجام داد. در هر دو سد طول بلانکت ۳۱۰ تا ۴۱۰ متر بود [۳]. Peterson گزارشی از عملکرد سدی که در رودخانه ساسکاتچوان کانادا احداث شده است و از سیستم بلانکت نفوذناپذیر در بالادست سد استفاده شد ارائه داد [۴].



$$f = d/(L_2 + 0.88d) \quad f = d/(L_1 + L_2 + 0.43d)$$

شکل ۲- روابط تراوش در اثر احداث بلانکت [۱]



شکل ۳- مشخصات هندسی مدل سد خاکی مورد استفاده در تحلیل‌ها

جدول ۱- محدوده تغییر پارامترهای فیزیکی و هندسی پی و ترانشه رسانی

مشخصه	بلانکت	دیوار آب بند	پی
ضریب نفوذپذیری (متر بر ثانیه)	$10^{-8}$ تا $10^{-6}$	$10^{-6}$ تا $10^{-4}$	$10^{-3}$ تا $10^{-4}$
طول (متر)	۱۶۵ تا ۳۳۰	.....	.....
ضخامت (متر)	$0.5$ تا $1.5$	$0.5$ تا $1.5$	$0.5$ تا $1.5$

$$Q=V.A, V=K.i = K(\Delta h/\Delta l) \quad (3)$$

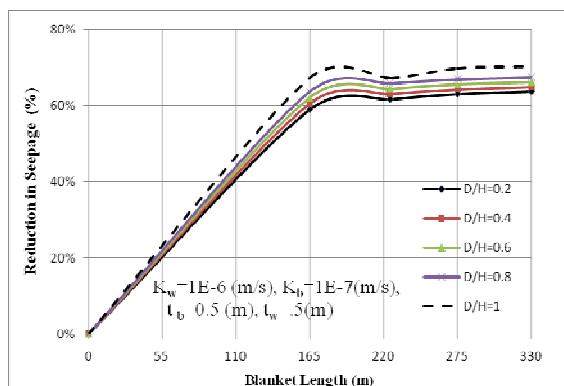
که در آن  $Q$  میزان نشت از یک مقطع به مساحت  $A$  می‌باشد و  $V$  سرعت جریان می‌باشد. همچنین  $K$  ضریب نفوذپذیری محیط و  $i$  گرادیان هیدرولیکی است.  $\Delta h$  نیز اختلاف هد بین دو نقطه به طول  $\Delta l$  می‌باشد. لذا با اندکی دقت می‌توان دریافت که افزایش طول بلانکت، باعث افزایش طول مسیر و کاهش گرادیان هیدرولیکی می‌گردد. همین امر سبب کاهش سرعت جریان و در نتیجه کاهش نشت از پی می‌شود. این تغییرات در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده‌اند.

با توجه به این که عواملی نظیر ضریب نفوذپذیری پی، ضریب نفوذپذیری دیوار آب‌بند، ضریب نفوذپذیری بلانکت، ضخامت دیوار آب‌بند، عمق نفوذ دیوار آب‌بند در پی، طول و ضخامت بلانکت و عمق پی در نتیجه تحلیل‌ها مؤثر هستند، برای پیشنهاد یک رابطه مناسب، تعداد ۵۴۰ مقطع سد با متغیرهای تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

#### ۴- نتایج حاصل از تحلیل‌ها

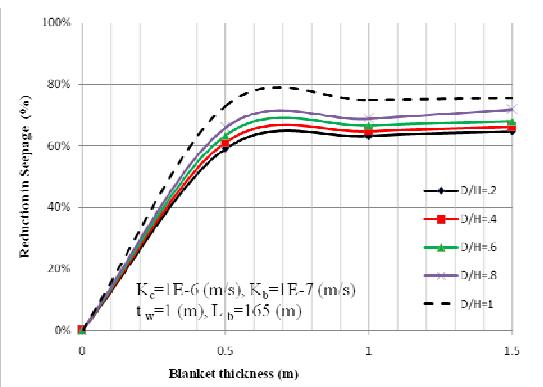
جهت انجام تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Seep/w ویرایش ۲۰۰۷ استفاده گردیده است. با توجه به تأثیر پارامترهای فیزیکی و هندسی در کنترل نشت، ۵۴۰ مقطع سد مورد تحلیل قرار گرفته است. جهت المان‌بندی مدل‌های ارائه شده از المان‌های مستطیلی ۴ گرهی و المان‌های مثلثی ۳ گرهی استفاده شده است. سپس نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها با یکدیگر مقایسه و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نتایج تحلیل نرم‌افزاری نشان می‌دهند که برای یک دیوار آب‌بند با مشخصات ثابت، با افزایش طول بلانکت مقدار نشت از پی کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان کاهش گرادیان هیدرولیکی در اثر افزایش مسیر جریان آب دانست. در مبانی مکانیک خاک رابطه زیر برای محاسبه نشت از یک محیط خاکی اشباع ارائه شده است [۶]:

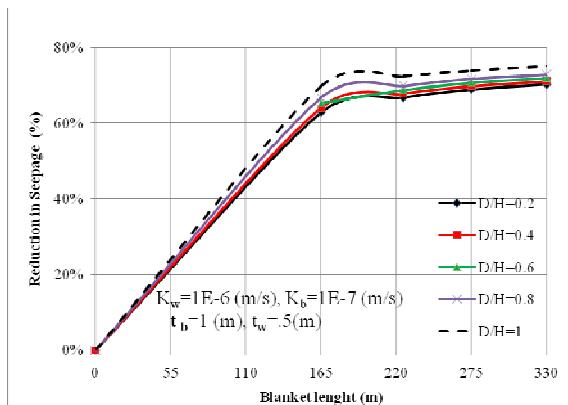


شکل ۴- تغییرات درصد کاهش تراوش از پی در برابر افزایش

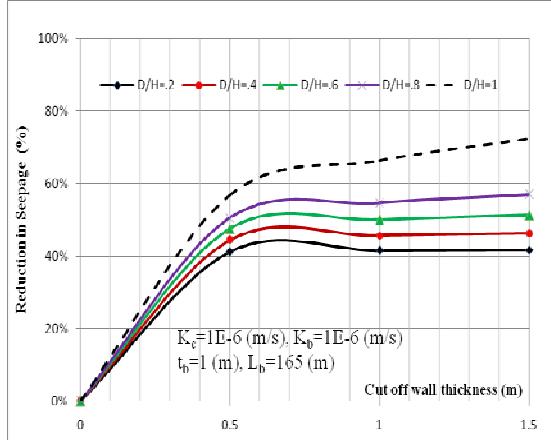
طول بلانکت به ازای مقادیر مختلف ( $D/H$ )



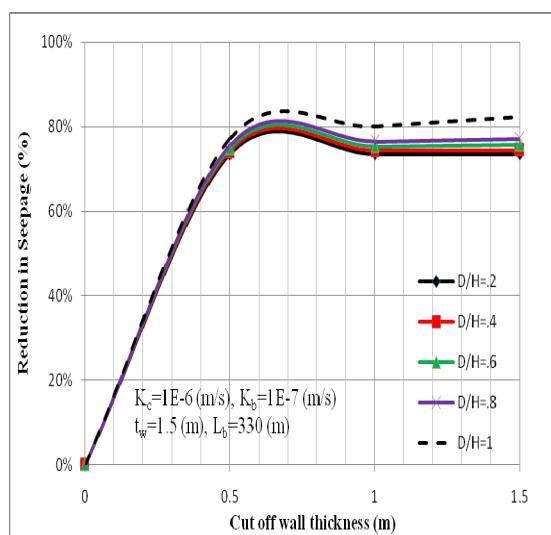
شکل ۶- تغییرات درصد کاهش تراوش از پی در برابر افزایش ضخامت بلانکت به ازای مقادیر مختلف ( $D/H_f$ )



شکل ۵- تغییرات درصد کاهش تراوش از پی در برابر افزایش طول بلانکت به ازای مقادیر مختلف ( $D/H_f$ )



شکل ۷- تغییرات درصد کاهش تراوش از پی در برابر افزایش ضخامت دیوار آببند به ازای مقادیر مختلف ( $D/H_f$ )



شکل ۸- تغییرات درصد کاهش تراوش از پی در برابر افزایش ضخامت دیوار آببند به ازای عمق نفوذگاهی مختلف دیوار آببند

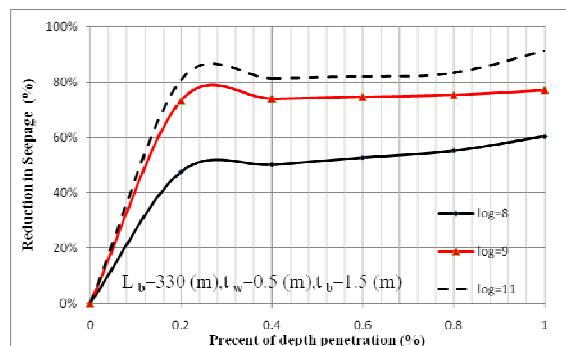
نتایج تحلیلهای عددی حاکی از کاهش نشت عبوری در اثر افزایش طول بلانکت تا ۴ برابر ارتفاع آب پشت سد هستند. در صورت افزایش بیشتر طول بلانکت، کاهش نشت از پی بسیار ناچیز است. بر این اساس، حداقل طول مورد توصیه برای بلانکت در بالادست سدهای با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر معادل ۴ برابر ارتفاع آب سد است.

در شکل‌های (۶) تا (۸)، تأثیر ضخامت بلانکت و دیوار آببند بر کاهش نشت از پی بررسی شده است. نتایج حاصله حاکی از افزایش درصد کاهش تراوش از پی در اثر افزایش ضخامت بلانکت و دیوار آببند است. اما مشاهده می‌شود که تغییرات درصد کاهش تراوش بعد از ضخامت نیم تا یک متر بسیار ناچیز است. بنابر این افزایش ضخامت بلانکت و دیوار آببند به بیشتر از یک متر تأثیر چندانی در کاهش تراوش ندارد. بلکه در صورت افزایش ضخامت بیشتر از یک متر هزینه‌های طرح بدون توجیه افزایش می‌یابد. لذا پیشنهاد می‌گردد که محدوده مورد قبول ضخامت بلانکت و دیوار آببند جهت آببندی سدهای خاکی ۰/۵ الی ۱ متر باشد. هر چند که ضخامت  $0/5$  متر، وضعیت اقتصادی و بهینه‌ای را می‌دهد، ولی در برخی شرایط میزان کاهش نشت و یا گرادیان هیدرولیکی در حد مطلوبی نیست.

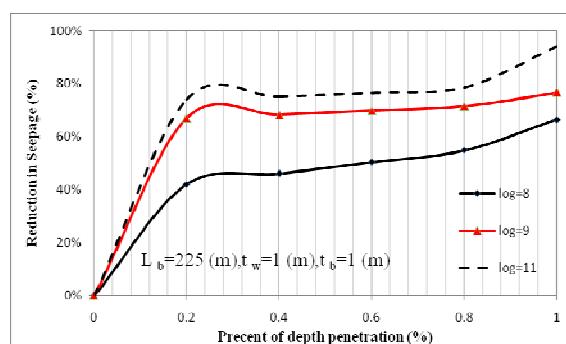
از دیگر عوامل مؤثر بر درصد کاهش نشت از پی در اثر وجود پوشش بالا دست و دیوار آببند، ضریب نفوذپذیری مصالح است. شکل‌های (۹) و (۱۰) تأثیر این پارامتر را نشان می‌دهند. نتایج تحلیلهای عددی نشان می‌دهند که با افزایش مقدار نسبت  $\text{Log} \{K_f/K_b K_w\}$  درصد کاهش نشت عبوری از پی در اثر وجود بلانکت و دیوار آببند افزایش می‌یابد.

در شکل (۹) مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار  $\log\{K_f/K_b K_w\}$ ، از ۸ به ۹ برای بلانکت با طول ۳۳۰ متر و عمق نفوذ دیوار آب‌بند به میزان  $1/2$ ، درصد کاهش تراوش از پی در اثر وجود بلانکت و دیوار آب‌بند، ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. بررسی‌های عددی این تحقیق نشان می‌دهند که درصد کاهش تراوش از پی در ارتفاع‌های مختلف یکسان است و با تغییر ارتفاع آب مخزن هیچ تغییری در درصد کاهش نشست از پی سد حاصل نمی‌گردد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که ارتفاع آب مخزن تأثیری بر کاهش تراوش از پی سد را ندارد. این مقایسه در جدول (۲) نشان داده شده است.

در مجموع داده‌های ۵۴۰ مدل با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به زیاد بودن متغیرها، از روش رگرسیون چندگانه، که مقادیر یک متغیر وابسته را از روی مقادیر چند متغیر مستقل برآورده می‌کند، استفاده شده است. نهایتاً آزمون‌های متعددی بر روی نتایج حاصل از تحلیل‌ها انجام شد تا بهترین منحنی جهت پوشش داده‌ها حاصل گردد. جداول (۳) و (۴) نتایج حاصل از رگرسیون را نشان می‌دهند.



شکل ۹- تغییرات درصد کاهش تراوش از پی در برابر عمق نفوذ ترانشه به ازای افزایش ضریب نفوذپذیری بلانکت و دیوار آب‌بند



شکل ۱۰- تغییرات درصد کاهش تراوش از پی در برابر عمق نفوذ ترانشه به ازای افزایش ضریب نفوذپذیری بلانکت و دیوار آب‌بند

جدول ۲- تأثیر ارتفاع آب مخزن بر درصد کاهش نشست از پی

کاهش نشست (%)	h (m)	D/H <sub>f</sub> (m)	K <sub>f</sub> (m/s)	K <sub>t</sub> (m/s)	K <sub>w</sub> (m/s)	L <sub>b</sub> (m)	t <sub>b</sub> (m)	t <sub>w</sub> (m)	B' (m)
۶۸/۷۵	۵۵	۰/۴	۱۰ <sup>-۴</sup>	۱۰ <sup>-۷</sup>	۱۰ <sup>-۶</sup>	۲۲۵	۱	۲	۳۵
۶۸/۷۵	۴۰	۰/۴	۱۰ <sup>-۴</sup>	۱۰ <sup>-۷</sup>	۱۰ <sup>-۶</sup>	۲۲۵	۱	۲	۳۵
۶۸/۷۵	۲۵	۰/۴	۱۰ <sup>-۴</sup>	۱۰ <sup>-۷</sup>	۱۰ <sup>-۶</sup>	۲۲۵	۱	۲	۳۵

جدول ۳- مقدار ضریب همبستگی و شاخص‌های آماری

خطای تخمین	ضریب همبستگی ( $R^2$ )	مدل
۰/۷۸۹۹۹۸	۰/۷۸۲	۱

جدول ۴- ضرایب رگرسیون برای داده‌های مورد بررسی

Sig.	ضرایب استاندارد شده			t	مدل
	B	Std. Error	Beta		
۰/۰۰۰	-۰/۳۰۶	۰/۰۲۴		-۱۲/۹۵۲	۱ (Constant)
۰/۰۷۳	-۱۱/۰۲۱	۶/۱۳۸	-۰/۰۳۶	-۱/۷۹۵	$B'.t_w/L_b^2$
۰/۰۰۰	۲/۳۷۳	۰/۵۴۷	۰/۱۸۰	۶/۱۶۱	$t_b.D/H_f^2$
۰/۰۰۰	۰/۰۹۳	۰/۰۰۲	۰/۷۸۷	۳۹/۰۱۷	$\log(K_f/K_c.K_b)$
۰/۰۰۰	۰/۱۳۰	۰/۰۱۵	۰/۲۵۱	۸/۶۰۹	$D/H_f$

هسته برحسب متر است. همچنین با فرض آن که ارتفاع آب مخزن باشد، مقدار دبی در واحد عرض پی سد با وجود بلانکت و دیوار آببند از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = (1-R)/(H_f/(B+0.88H_f))K_f h \quad (5)$$

### ۵- مقایسه رابطه پیشنهادی با روابط سایر مراجع

در جدول (۵) درصد کاهش نشت عبوری از پی، حاصل از رابطه پیشنهادی و نرمافزار Seep/w مورد مقایسه قرار گرفته است. مشاهده می‌شود که اختلاف رابطه پیشنهادی و نتایج تحلیل‌های عددی در حد قابل قبولی است و رابطه پیشنهادی اغلب به صورت محافظه‌کارانه عمل می‌نماید.

با توجه به جدول (۳) و ضریب همبستگی  $R^2$  که دارای مقدار ۰/۷۸۲ می‌باشد، نتایج رگرسیون از دقت خوبی برخوردار است. همچنین با استفاده از جدول شماره (۴) رابطه زیر جهت کاهش تراوش از پی در اثر ترکیب دیوار آببند و بلانکت پیشنهاد می‌گردد:

$$r = -30.6 + 13(D/H_f) + 9.3 \log(K_f/K_w K_b) + 337.3(t_b D/H_f^2) - 1102.1(t_w B'/L_b^2) \quad (4)$$

در آن  $r$  درصد کاهش نشت از پی در اثر وجود بلانکت با طول  $L_b$  (m)، ضخامت  $t_b$  (m) و ضریب نفوذپذیری  $K_b$  (m/s) و دیوار آببند با ضخامت  $t_w$  (m)، عمق نفوذ  $D$  (m)، ضریب نفوذپذیری  $H_f$  (m/s) می‌باشد. همچنین  $K_f$  (m/s) عمق پی بر حسب متر، ضریب نفوذپذیری پی بر حسب متر بر ثانیه و  $B'$  عرض کف

جدول ۵- مقایسه درصد کاهش نشت از پی سدهای خاکی حاصل از رابطه پیشنهادی با نرمافزار Seep/w

درصد خطا	درصد نشت از رابطه پیشنهادی	درصد نشت از نرم افزار	$\log(K_f/K_b, K_w)$	D	$H_f$	$D/H_f$	$t_b$	$t_w$	$B'$	$L_b$	$t_w B/L_b^2$	$t_b B/H_f^2$	$K_f$	$K_b$	$K_w$	$\hat{r}$
-۰/۰۳	۶۷/۲۷	۶۷/۲۰	۸/۸۲	۳۵	۵۰	۰/۷	۱	۲	۳۵	۱۶۰	-۰/۰۲۷۳	-۰/۰۱۴	-۰/۰۰۱	۱/۵ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۱	۱
-۰/۲۵	۵۴/۲۱	۵۶/۲۶	۷/۸۲	۳۲	۵۰	۰/۶۴	۱	۱	۳۵	۲۶۰	-۰/۰۰۰۵۱	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۰۱	۴/۳ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۳۵	۲
-۰/۰۴	۶۷/۲۶	۷۰/۲۰	۸/۱۷	۵۰	۵۰	۱	۱/۵	۱	۳۵	۲۶۰	-۰/۰۰۰۵۱	-۰/۰۳	-۰/۰۰۰۱	۶/۷ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۱	۳
-۰/۰۴	۹۰/۸۸	۹۷/۶۲	۹/۵۷	۲۵	۲۵	۱	۱/۵	۱	۴۵	۲۵۵	-۰/۰۰۰۶۹	-۰/۰۶	-۰/۰۰۰۲۵	۶/۷ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۱	۴
۱/۲۵	۷۵/۹۹	۷۴/۷۴	۹/۵۷	۱۵	۲۵	۰/۶	۱/۵	۲	۴۵	۲۰۵	-۰/۰۰۲۱۴	-۰/۰۳۶	-۰/۰۰۰۲۵	۶/۷ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۱	۵
-۰/۰۵	۶۷/۱۴	۷۳/۵۴	۹/۱۰	۱۸	۳۵	۰/۵۱	۱/۵	۱	۵۵	۲۵۰	-۰/۰۰۰۸	-۰/۰۲۲	-۰/۰۰۰۵	۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۴	۶
-۰/۰۹	۷۶/۵۵	۷۵/۵۶	۹/۱۰	۳۰	۳۵	۰/۸۶	۱/۵	۱	۵۵	۲۵۰	-۰/۰۰۰۸	-۰/۰۳۷	-۰/۰۰۰۵	۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۴	۷
-۰/۰۱	۷۳/۶۳	۷۹/۶۴	۹/۱۰	۳۵	۳۵	۱	۱/۵	۱/۲	۵۵	۲۰۰	-۰/۰۰۰۱۶	-۰/۰۴۳	-۰/۰۰۰۵	۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۴	۸
۲/۶۱	۸۷/۱۴	۷۸/۶۳	۱۰/۷۰	۲۰	۳۵	۰/۵۷	۱/۵	۲	۵۵	۲۰۰	-۰/۰۰۱۲۲	-۰/۰۲۴	-۰/۰۰۰۵	۱۰⁻۸	-۰/۰۰۰۱	۹
-۰/۰۴	۷۳/۱۶	۷۵/۷۰	۹/۵۶	۳۲	۴۰	۰/۸	۰/۸	۱	۵۵	۲۵۰	-۰/۰۰۰۸	-۰/۰۱۶	-۰/۰۰۰۵	۴/۳ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۳۵	۱۰
-۰/۰۴	۷۲/۴۷	۷۶/۰۲	۹/۵۶	۳۲	۴۰	۰/۸	۰/۸	۱/۵	۵۵	۲۵۰	-۰/۰۰۰۱۳	-۰/۰۱۶	-۰/۰۰۰۵	۴/۳ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۳۵	۱۱
-۰/۰۱	۷۵/۶۲	۹۶/۶۳	۹/۵۶	۴۰	۴۰	۱	۰/۸	۱/۵	۵۵	۲۵۰	-۰/۰۰۰۱۳	-۰/۰۲	-۰/۰۰۰۵۵	۴/۳ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۳۵	۱۲
-۰/۰۱	۹۴/۳۶	۹۶/۵۷	۱۱/۲۰	۴۰	۴۰	۱	۱/۲	۱/۵	۵۵	۲۰۰	-۰/۰۰۰۲۶	-۰/۰۳	-۰/۰۰۰۵۵	۱۰⁻۸	-۰/۰۰۰۳۵	۱۳
۲/۸۸	۷۲/۵۷	۶۹/۶۹	۱۰/۰۴	۲۰	۴۰	۰/۵	۱/۵	۲	۵۵	۲۰۰	-۰/۰۰۰۲۷	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۰۵	۵ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۱	۱۴
-۰/۰۲۲	۸۶/۴۸	۹۹/۲۰	۱۰/۰۴	۴۰	۴۰	۱	۱/۵	۲	۵۵	۲۵۰	-۰/۰۰۰۱۷	-۰/۰۳۸	-۰/۰۰۰۵	۵ × ۱۰⁻۷	-۰/۰۰۰۱	۱۵

گردد، تأثیر قابل توجهی در کاهش نشت ندارد. نتایج نشان می‌دهند که ضخامت مؤثر بلانکت و دیوار آببند نیز نیم متر تا حد اکثر یک متر است و در صورت افزایش آن، درصد کاهش تراوش چندان تغییر نمی‌کند.

با توجه به اهمیت تأثیر پارامترهای ذکر شده جهت درصد کاهش نشت پیشنهاد می‌گردد که طراحان سدهای خاکی در مراحل اولیه پروژه و در شرایطی که نیاز به تخمین سریع میزان کاهش نشت از پی دارند، از روابط (۴) و (۵) برای این منظور استفاده نمایند. مقایسه این رابطه با نتایج نرمافزار Seep/w

### ۶- نتیجه‌گیری

در این نوشتار سیستم آببندی ترکیبی بلانکت و دیوار آب-بند مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل‌های عددی نشان می‌دهند که مؤثرترین پارامتر در این سیستم ضریب نفوذپذیری بلانکت و دیوار آببند است. در صورت کاهش ضریب نفوذپذیری این المان‌ها درصد قابل توجهی از نشت در پی کاهش می‌یابد. پارامتر مهم دیگر طول بلانکت در این سیستم می‌باشد که در صورت افزایش آن، می‌توان تراوش را کاهش داد. اما این افزایش طول تقریباً تا ۴ برابر ارتفاع آب پشت سد مناسب است و در صورتی که طول بلانکت بیش از این مقدار انتخاب

- [4] Brown, F. S., "Service Behavior of Blanket as a Method of Sealing dams", The 7<sup>th</sup> International Congress on Large Dams, (ICLD 61), Rome, 1961, pp 301-325
- [5] Peterson, R., "Lessons Learned from Practice of P.F.R.A. Including Stability Problems on Clay Shales", Delacourte Press, New York, 1968.
- [6] Fakhari, A., Ghanbari, A., "A Simple Method for Calculating the Seepage from Earth Dams with Clay Core", Journal of GeoEngineering, 2013, 8 (1), 27-32.
- [7] Ghanbari, A., Zaryabi, S., "A Simple Method for Calculating the Seepage at the Foundation of Embankment Dams with Blanket and Clay Trench", Journal of GeoEngineering, 2014, 9 (1), 21-32.

نشان می دهد که این رابطه تقریب مناسبی از کاهش نشت از پی در وجود ترکیب بلانکت و ترانشه رسی را نشان می دهد.

#### - مراجع -۷

- [1] USACE, "Seepage Control in Earth foundation", EM 1110-2-1901, U.S. Army Corps of Engineering, Washington DC, US, 1993.
- [2] USBR, "Erbankment Dams", Chapter 5, Seepage Analysis, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Washington DC, US, 1987.
- [3] Goharnejad, H., Noury, M., Noorzad, A., Shamsaie, A., Gohanejad, A., "The Effect of Clay Blanket Thickness to Prevent Seepage in Dam Reservoir", International Journal of Environmental Sciences, 2010, 4 (6), 556-565.

## EXTENDED ABSTRACT

# A Simple Method to Calculate Seepage from the Foundation of Earth Dam with Combination of Cut off Wall and Blanket

Ali Ghanbari\*, Sajjad Zaryabi

*Faculty of Civil Engineering, University of Kharazmi, Tehran 3197937551, Iran*

**Received:** 28 June 2013; **Accepted:** 05 February 2014

---

### Keywords:

Earth dam, Blanket, Cut off wall, Seepage control, Foundation seepage control

---

## 1. Introduction

In many cases, embankment dams are constructed on alluvial layers with high permeability and therefore controlling the seepage at the foundation of dam and calculating the discharge of water are very important. If the seepage at the foundation of embankment dams is not controlled, besides with wasting the water, in the long term use, piping might occur at the foundation causing irreversible damages to the dam. Therefore, controlling the seepage is necessary to restrict the amount of seepage, maintain the stability of the downstream backfill and prevent the corrosion of small particles underneath the foundation.

In some reliable references and design codes, a general chart is proposed for controlling the seepage in the foundation due to construction of clay trench [1, 2]

## 2. Methodology

Controlling the seepage at the foundation of embankment dams is of great importance. In order to reduce the seepage, various approaches are available any of which can be selected based on the condition of the foundation. The correlations recommended in the design codes for calculating the seepage, have been derived for critical conditions and mostly provide conservative values. On the other hand, some effective parameters in seepage at the foundation have not been taken into account in those correlations and thus sometimes the values obtained from them differ a lot with the real values. In this paper, a simple correlation is proposed for calculating the reduction in seepage at the foundation of embankment dams due to construction of combination of cut-off wall and clay blanket. In order to derive these correlations, the results from hundreds numerical analyses performed by the Seep/W program have been used.

The effect of physical and geometrical factors related to the clay blanket and trench such as the coefficient of permeability, slope of trench, width of the bottom of trench, length and thickness of the blanket have also been considered. Eventually, with regard to the effect of the mentioned factors, the results of numerical analyses have been analyzed with the SPSS 18 software.

## 2. Results and discussion

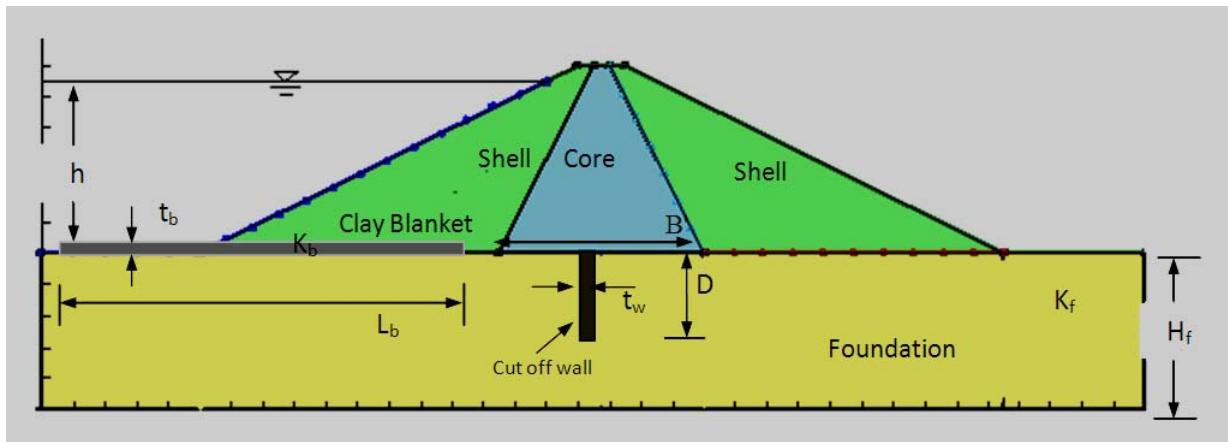
Based on numerical analysis, following correlation is proposed for initial designs and also for situations where a quick estimation of seepage reduction in the foundation due to construction of cut-off wall and blanket is required:

$$q = (1 - R) \left( \frac{H_f}{B + 0.88H_f} \right) K_f h \quad (1)$$

---

\* Corresponding Author

E-mail address: ghanbari.khu@gmail.com (Ali Ghanbari)



**Fig. 1.** Geometrical parameters for analysis

Where  $r$  is the percentage of seepage reduction in the foundation (%),  $h$  is the height of water in reservoir,  $K_f$  is the coefficient of permeability of the foundation in m/s,  $B$  is the width of the core in m, and  $H_f$  is the thickness of dam foundation in m. A correlation for  $r$  is presented in the full paper.

$$r = -30.6 + 13(D/H_f) + 9.3 \log(K_f/K_w K_b) + 337.3(t_b D/H_f^2) - 1102.1(t_w B'/L_b^2) \quad (2)$$

As shown in Fig. 1,  $K_w$  is the coefficient of permeability of the cut-off wall in m/s and  $B'$  is the width of the core in m. The results obtained from the suggested correlation have been compared with those obtained from the software analyses as well as internationally recommended formulas. This comparison reveals that in some cases, the values obtained from the equations proposed in those references show a considerable difference with the results of numerical modeling. In the same physical and geometric factors such as blanket and cut-off wall permeability, cut-off-wall thickness, blanket length and thickness is considered. However, the difference between the results of the suggested formula in this study is shown to be very small with those of numerical analyses.

#### 4. Conclusions

Comparing the results calculated from these correlations with those obtained from Seep/W software and reliable references shows that the correlations suggested in this study provide an appropriate estimation of the seepage reduction in the foundation with regard to the type of sealing system used. The results of these formulas are more precise compared with the curves and correlations suggested in other references. Overall, the correlations suggested in this paper are capable of predicting an acceptable estimation of reduction in seepage at the foundation and they can be used for initial designs of sealing systems for embankment dams.

#### 5. References

- [1] USACE, "Seepage Control", EM 1110-2-2300, US Army Corps of Engineers, Washington DC, US, 2004.
- [2] USBR, "Embankment Dams", Chapter 5, Seepage Analysis, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Washington DC, US, 1987.