

ارائه حل تحلیلی مسئله نشت محصور از پی‌های آبرفتی و ارزیابی آن

احمدرضا محسنیان^{۱*}، محمد صدقی اصل^۲، منصور پرویزی^۳

۱. کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد یاسوج

۲. استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج

۳. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۳۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۳۰)

چکیده

بسیاری از روش‌های تحلیلی که برای حل مسائل دوبعدی آب زیرزمینی ارائه شده‌اند، با تعیین توابعی سروکار دارند که مسئله را از یک محدوده هندسی که حل مسئله باید در آن پیدا شود، به محدوده دیگری که در آن حل معلوم باشد، تبدیل می‌کنند. استفاده از قضیه نکاشت و تکنیک‌های مناسب آن این امکان را ایجاد می‌کند که حتی مسائل پیچیده جریان به شکل‌های هندسی منظم تبدیل شود. در این مقاله، یک راه حل تحلیلی برای محاسبه نشت فشار بالا بر پی - های آبرفتی واقع در زیر سدها ارائه می‌شود. در پژوهش حاضر از هد و گراف سرعت و تبدیل شوارتز-کریستوفل استفاده و فشار بالا بر در زیر پی آبرفتی در اعماق و اندازه‌های متفاوت پرده آب‌بند و پوشش بالادست، تعیین می‌شود. نکته مهم در این مقاله کارگزاری نامتقارن بلانکت نسبت به پرده آب‌بند در مسیر طولی می‌باشد. سرانجام با مقایسه نتایج بدست‌آمده از این روش و نتایج حاصل از روش‌های آزمایشگاهی صحت نتایج روش تحلیلی مورد ارزیابی قرار گرفته و نکات قوت و ضعف آن به بوجه نقد گذاشته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پی آبرفتی، تبدیل شوارتز-کریستوفل، فشار بالا بر، نشت.

مقدمه

نشت از پی سازه‌های آبی همواره یکی از موضوعات مهم در طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد و چنانچه کنترل نگردد، ممکن است موجب تخریب این‌گونه سازه‌ها شود. مطالعات صورت گرفته در زمینه محاسبات نشت در پیمهای آبرفتی، چه روش‌های تحلیلی و چه روش‌های عددی، توسط محققان مختلف با بکارگیری روش‌های متفاوتی انجام گرفته است. از چندین دهه گذشته محققان زیادی مسائل نشت را به صورت تحلیلی و عددی مورد بررسی قرار داده‌اند. ابتدا ترزاقی اثر بلانکت و پرده آب‌بند بر جریان نشت در سدهای خاکی را مورد بررسی قرار داد، وی مفهوم گرادیان هیدرولیکی بحرانی را برای کنترل جوشش و زیر شویی تعریف کرد (Terzaghi; 1943).

Bennet (1946) تأثیر بلانکت بر میزان نشت را با استفاده از مدل‌های ریاضی برای حالتی که طول بلانکت محدود و نامحدود باشد، مورد ارزیابی قرار داد. Maknamee (1949) برای کنترل جوشش و فرسایش درونی ضریب اطمینانی را ارائه کرد.

Neuman and Witherspoon (1970)، نشت از پی و بدنه

سدهای خاکی را به روش اجزای محدود مورد ارزیابی قرار دادند و مشاهده کردند که این روش می‌تواند مسائل آب زیرزمینی را به خوبی شبیه‌سازی نماید، اما در مقایسه با روش تفاضلات محدود از پیچیدگی‌های ریاضیاتی بیشتری برخوردار است.

Hathoot (1986) به بررسی مسئله نشت در زیر سدهای

بتنی در حضور فیلتر با استفاده از مفهوم نکاشت و تبدیل مختصات پرداخت. ایشان طول بهینه فیلتر برای کنترل مطمئن نشت را ۷۰ درصد ضخامت پی گزارش کرد.

Javan and Farjood (1993) نشت از پی سد دروزن در

استان فارس را به کمک مدل M-SEEP مبتنی بر روش اجزای محدود، مورد ارزیابی قرار دادند و توانایی مدل یادشده را در

شبیه‌سازی نشت از پی و تکیه‌گاه‌های سد خوب بیان نمودند

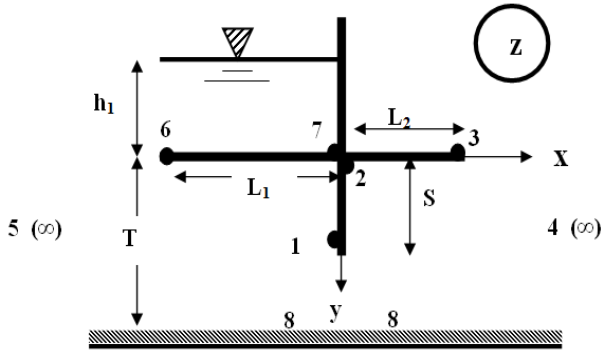
Fujii and Kacimov (1998) به مطالعه نشت فاضلاب‌ها

و حفرات افقی پرداختند. آنها میزان کل آب تراوش شده در زهکش‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

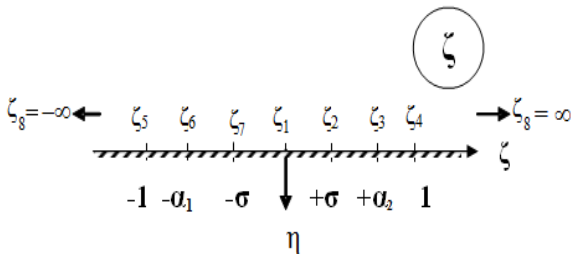
Swamee and Kashyap (2001) نشت از کانال‌های بدون

گوشه شامل کانال دایره‌ای را در حالت گسترش نامحدود محیط متخلخل (لایه زهکش در عمق بی‌نهایت) با بکار بردن روش عددی تفاضلات محدود بدست آوردند که روش آن‌ها منجر به

حقیقی صفحه‌ی ζ ترسیم می‌شود. با در نظر گرفتن تقارن، $(-\infty, \infty)$ در صفحه‌ی ζ ، در نقاط ۱ و σ واقع می‌شوند. نقاط ۱ و ۳ روی نقاط ζ برابر صفر و $\alpha_2 + \alpha_1$ قرار می‌گیرند.



شکل ۱. صفحه فیزیکی مسئله، صفحه z



شکل ۲. صفحه کمکی، صفحه ζ

که در شکل (۲) $\alpha_1, \alpha_2, \sigma$ و غیره نقاط روی محور صفحه‌ی ζ که با نقاط مرزی مربوطه بر روی صفحه z متناظرند. α_1 و α_2 و σ متغیرهایی مابین اعداد ۱ و -۱ بر روی صفحه ζ می‌باشد.

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، با در نظر گرفتن تناظر بین نقاط در صفحات z و ζ از تبدیل شوارتز-کریستوفل بصورت زیر استفاده می‌شود:

$$z = M \int_0^{\zeta} \frac{\xi d\xi}{(1-\xi^2)\sqrt{\sigma^2-\xi^2}} + N \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در رابطه (۱)، z انتگرال شوارتز کریستوفل، M و N مقادیر ثابت مختلط می‌باشد.

با جانشین کردن روابط زیر و حل انتگرال فوق به روش تغییر متغیر داریم:

$$\sigma^2 - \xi^2 = \tau^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\xi d\xi = -\tau d\tau$$

و با قرار دادن شرایط مرزی و بدست آوردن مقدار ثابت مختلط N ، معادله (۱) به صورت زیر در می‌آید:

دیگرام‌هایی گردید که توسط Kacimov (1998) با جزئیات بیشتری توضیح داده شده است.

اخیراً Sedghi-Asl et al (2010) به بررسی آزمایشگاهی ابزارهای کنترل نشت تحت فشار از پی سازه‌های هیدرولیکی مستقر بر روی پی‌های نفوذپذیر آبرفتی پرداخته‌اند و روابطی را بصورت عمق بهینه پرده آب‌بند و طول بهینه بلانکت ارائه کرده‌اند.

تا کنون حل‌های تحلیلی زیادی برای تخمین خصوصیات جریان نشت از پی‌های آبرفتی ارائه شده‌اند. در حل تحلیلی موجود، محاسبه نشت در پی‌های آبرفتی با عمق محدود توسط روش هیدروگراف سرعت و تبدیل شوارتز-کریستوفل ارائه شده و از آنجا که تاکنون نتایج این تحلیل‌ها با داده‌های آزمایشگاهی مطمئن مقایسه نشده، لذا در پایان، نتایج محاسبه شده با روش تحلیلی نگاشت با داده‌های آزمایشگاهی موجود که توسط Sedghi-Asl (2010) ارائه شده است مقایسه شد. همچنین با استفاده از نتایج بدست آمده از این تحقیق، می‌توان به ارزیابی دقت روش‌های تحلیلی برای طرح مطمئن سازه‌های هیدرولیکی پرداخت. بنابراین انجام راه‌حل تحلیلی حالت مذکور و بررسی این‌که آیا راه‌حل بکار گرفته شده دقت کافی را نسبت به نتایج آزمایشگاهی در شرایط مساوی را دارد یا نه، از مهم‌ترین اهداف مطالعه حاضر می‌باشد. در این تحقیق برای اولین بار اثر بلانکت در مدل‌سازی تحلیلی نشت صورت می‌گیرد. زیرا در مطالعات انجام شده قبلی، معمولاً پرده آب‌بند در وسط قاعده سد نصب و بررسی می‌گردید. درحالی‌که در اینجا طول بلانکت بالادست مطابق الگوی آزمایشگاهی افزایش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

حل تحلیلی

به منظور تشریح روش کلی حل، ساختار سد، سرریز و یا تخلیه کننده، مطابق شکل (۱) در نظر گرفته می‌شود. محیط متخلخل زیرین سد، محیطی همگن، همسانگرد و با عمق محدود است. از اثرات موئینگی، تراوش و تبخیر صرف نظر و فرض می‌گردد که جریان حالت پایدار دارد و قانون داریسی را ارضاء می‌نماید.

که در ساختار مورد نظر S عمق پرده آب‌بند، T عمق لایه متناهی، L_1 و L_2 به ترتیب طول بلانکت بالادست و پایین دست، h_1 عمق آب بالادست است.

با ترسیم صفحه z (شکل ۱) بر روی نیمه پایینی صفحه ζ (شکل ۲) حل مسئله شروع می‌شود. بدین منظور، برای سادگی نقاط $(-\infty, \infty)$ ، 6 ، 7 را به نقاط ζ برابر با -1 ، $-\alpha_1$ ، $-\sigma$ روی محور

با نگاشت صفحه پتانسیل مختلط (W_r) بر روی صفحه (W_1) و با کمک انتگرال بیضوی نوع اول معادله زیر بدست می‌آید:

$$w_1 = \frac{h_1}{K} \int_0^{We} \frac{dW_r}{\sqrt{(1-W_r^2)(1-\lambda^2 W_r^2)}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

با مدول:

$$\lambda = \sqrt{\frac{2(\alpha_1 + \alpha_2)}{(1 + \alpha_1)(1 + \alpha_2)}} \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن K انتگرال بیضوی کامل نوع اول با مدول λ است. می‌توان رابطه مذکور را به شکل زیر تبدیل نمود:

$$w_1 = \frac{h_1}{K} \int_0^{W_1} \frac{dW_1}{\sqrt{(1-W_1^2)(1-\lambda^2 W_1^2)}} \quad (\text{رابطه ۹})$$

و همچنین با نگاشت صفحه W_r بر روی صفحه W_2 مشخص می‌شود که:

$$w_2 = w_1^2 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

با بررسی داده‌های مربوطه از شکل‌های (۲ و ۴) که در جدول زیر نشان داده شده است رابطه (۱۱) را می‌توان بدست آورد:

جدول ۱: داده‌های استخراجی از صفحات ζ و w_2

$(\zeta, W)_n$	ζ_n	W_2
۳	α_2	۰
۴	۱	∞
۵	-۱	$1/\lambda_2$
۶	$-\alpha_1$	۱

$$w_2 = \frac{(1 + \alpha_1)(\alpha_2 - \zeta)}{(\alpha_1 + \alpha_2)(1 - \zeta)} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

با توجه به رابطه کلی (۹) و رابطه‌های فوق توزیع فشار بالابر وارد آمده در نقاط ۶، ۷، ۲ و ۳ (در شکل ۱) را می‌توان به وسیله رابطه زیر بدست آورد:

$$p = -\frac{kh_1}{K} \int_0^{W_1} \frac{dw_1}{\sqrt{\frac{(1 + \alpha_1)(\alpha_2 - \zeta)}{(1 - \zeta)(\alpha_1 + \alpha_2)(1 - \zeta)} (1 - \lambda^2 \frac{(1 + \alpha_1)(\alpha_2 - \zeta)}{(\alpha_1 + \alpha_2)(1 - \zeta)}}}} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$p = -\frac{kh_1}{K} \int_0^{W_1} \frac{dw_1}{\sqrt{\frac{(1 + \alpha_1)(\alpha_2 - \zeta)}{(1 - \zeta)(\alpha_1 + \alpha_2)(1 - \zeta)} (1 - \lambda^2 \frac{(1 + \alpha_1)(\alpha_2 - \zeta)}{(\alpha_1 + \alpha_2)(1 - \zeta)}}}} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$z = -\frac{M}{\sigma} \tan^{-1} \frac{\sqrt{\sigma^2 - \xi^2}}{\sigma} \quad (\text{رابطه ۳})$$

پس از محاسبه ثابت مختلط M و بدست آوردن مقدار ζ بر حسب Z در معادله (۴) خواهیم داشت:

$$\xi = \pm \sqrt{\sigma^2 + \sigma'^2 \tanh^2 \frac{\pi z}{2T}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\sigma = \sin \frac{\pi s}{2T}$$

$$\sigma' = \cos \frac{\pi s}{2T}$$

و بنابراین:

$$\xi = \pm \cos \frac{\pi s}{2T} \sqrt{\tan^2 \frac{\pi s}{2T} + \tanh^2 \frac{\pi z}{2T}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

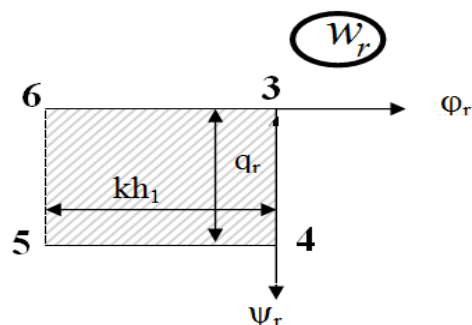
و به‌ویژه برای قسمت‌های انتهایی ساختار، با جانشین کردن $z = L_2$ و $z = -L_1$ در معادله (۵) خواهیم داشت:

$$\alpha_1 = \cos \frac{\pi s}{2T} \sqrt{\tan^2 \frac{\pi s}{2T} + \tanh^2 \frac{\pi L_1}{2T}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$\alpha_2 = \cos \frac{\pi s}{2T} \sqrt{\tan^2 \frac{\pi s}{2T} + \tanh^2 \frac{\pi L_2}{2T}}$$

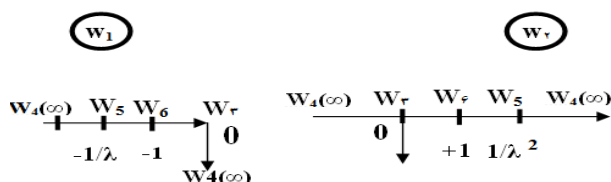
در گام بعدی صفحه پتانسیل مختلط در شکل (۳) نشان داده شده است؛ که در این شکل Φ_r پتانسیل سرعت و Ψ_r تابع خط جریان می‌باشد.

ترسیم صفحه w (صفحه پتانسیل مختلط) با انجام گام-های استاندارد ارائه شده (Har-Pvlvbarynva-Kvchyna (1962) کشیده می‌شوند.

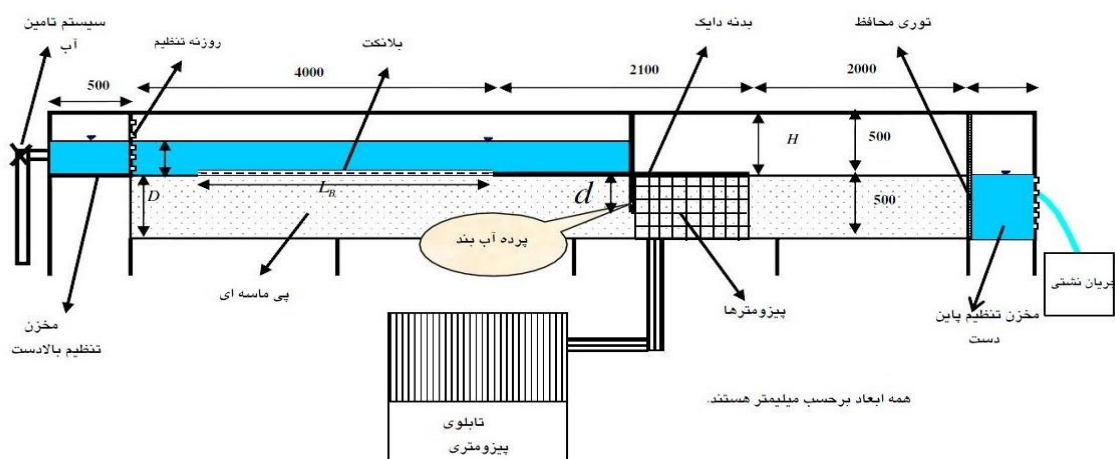


شکل ۳: صفحه پتانسیل مختلط، صفحه w

و در ادامه حل صفحه w توسط تبدیل شوارتز-کریستوفل بر روی نیمه پایینی صفحه کمکی w_1 و w_2 نگاشت خواهند شد.



شکل ۴: صفحه کمکی، صفحه w_1 و w_2



شکل ۵. طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی (Sedghi-Asl et al;2011)

تجهیزات آزمایشگاهی

یک مدل آزمایشگاهی به طول ۹ متر، ارتفاع و عرض یک متر با استفاده از اسکلت فولادی و جداره‌های شیشه‌ای و پلکسی گلاس^۲ ساخته شد. مصالح پی ماسه تمیز ساحلی بود که با تراکم یکنواخت در عمق ۵۰ سانتیمتری پایینی فلوم مورد استفاده قرار گرفت. پرده آب‌بند و پتوی رسی (بلانکت) به‌عنوان متغیرهای طولی، از ورقه‌های پلکسی‌گلاس ساخته شدند. ترازهای پیژومتریک در وجه پایین‌دست دایک با استفاده از پیژومترهای شفاف با قطر کم اندازه‌گیری شدند (شکل ۵).

اجزاء تجهیزات آزمایشگاهی بکار رفته در این مدل عبارتند از: ۱- سیستم تأمین آب ۲- تبدیل‌ها و اتصالات ۳- بلانکت و پرده آب‌بند ۴- مخازن تنظیم‌کننده تراز آب بالادست و پایین‌دست ۵- دایک ساحلی ۶- وسایل ثبت تراز پیژومتریک ۷- سیستم اندازه‌گیری شدت جریان.

اسکلت فلوم از جنس فولاد می‌باشد و کف آن با ورق‌هایی از جنس پلکسی گلاس پوشیده شده است. به‌عنوان جداره فلوم از ورق‌های شیشه‌ای ۱۰ میلیمتری که برای جلوگیری از ترک خوردن توسط چسب سیلیکون بر روی ورق‌های پلکسی‌گلاس چسبانیده شده‌اند، استفاده گردید. برای ثبت داده‌های پیژومتریک در ۱۱ مقطع افقی با گام مکانی ۱۰ سانتیمتری و در مجموع تعداد ۴۴ پیژومتر متشکل از لوله‌های پلاستیکی شفاف با قطر کم نصب گردید. انتهای دیگر پیژومترها برای سهولت قرائت‌ها بر روی یک تابلوی مخصوص نصب شدند. برای اتصال، آب‌بندی و نیز جلوگیری از شکستگی شیشه‌ها در کف فلوم از چندین پل شیشه‌ای، استفاده شد. ۵۰ سانتیمتر تحتانی

از عمق فلوم به پی ماسه‌ای و ۵۰ سانتیمتر بالائی آن به تراز آب و ارتفاع آزاد فلوم اختصاص داده شد. جریان آب در فلوم توسط سیستم تأمین آب آزمایشگاه برقرار و دبی جریان خروجی به طریق وزنی اندازه‌گیری شد.

در مدل ساخته شده ارتفاع پی ۵۰ سانتیمتر، عرض آن ۱۰۰ سانتیمتر و طول آن ۲۱۰ سانتیمتر و از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت ۸ میلی‌متر می‌باشد. پرده‌های آب‌بند در اعماق ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری از پی قرار داده شدند. ارتفاع آب بالادست در تراز ۲۵ سانتیمتری از کف دایک (سطح پی) و تراز آب پایین‌دست در تراز صفر تنظیم گردید. برای بلانکت ۴ طول ۱، ۲، ۳ و ۳/۵ متر از محور دایک به سمت بالادست در نظر گرفته شد. همان‌طور که قبلاً اشاره گردید، برای ایجاد بحرانی‌ترین حالت از نظر پتانسیل ایجاد فرسایش، از ماسه ریز تمیز (ماسه ساحلی) که فاقد هرگونه چسبندگی بوده و به پدیده فرسایش درونی^۳ و جوشش^۴ فوق‌العاده حساس است، به‌عنوان مصالح پی استفاده گردید.

با استفاده از آزمایش بار افتان، نفوذپذیری ماسه ساحلی مورد استفاده برابر با $2/7 \times 10^{-4}$ cm/s تعیین شد و به کمک روش الک $d_{50} = 0.3$ mm برای ماسه به دست آمد. برای جلوگیری از شسته شدن مصالح به مخزن پایین‌دست، یک شبکه توری شماره ۱۵۰ در حد فاصل مخزن تنظیم‌کننده مذکور و پی نصب گردید. نحوه انجام آزمایش‌ها بدین ترتیب بود که پس از نصب اجزای آب‌بندی‌کننده، شیر مخزن بالادست باز گذاشته می‌شد تا پی به تدریج از آب اشباع شود که این عمل در

3. Piping
4. Boiling

2. Plexiglas

شرایط آزمایشگاهی موجود حدود ۸ ساعت به طول می انجامید. بعد از اشباع شدن مصالح پی و بالا آمدن تراز آب در پشت دایک و تنظیم آن در تراز ۲۵ سانتیمتری، پیزومترها به کمک پمپ خلأ هواگیری شدند و پس از برقراری حالت آرام و ماندگاری جریان، رقوم آب در پیزومترها قرائت و دبی نشت با روش اندازه گیری حجمی تعیین گردید. مدت انجام هر آزمایش در ترازهای مورد نظر برای هریک از گزینه ها در حدود ۲۴ ساعت بوده است.

نتایج

اثر طول بلانکت بر فشار بالابر

شکل های (۶ الی ۹) اثر طول بلانکت بر فشار بالابر محاسبه شده به روش تحلیلی مورد نظر در حضور $S/T = 0.2$ و نسبت های بی بعد تراز آب بالادست برابر با 0.5 ، 0.4 ، 0.3 و 0.2 را نشان می دهند، می توان دریافت که با افزایش طول بلانکت مقدار فشار بالابر کاهش می یابد. (نسبت بی بعد تراز آب بالادست نسبت تراز آب بالادست به عمق پی آبرفتی می باشد h_1 به H) که در تمامی اشکال و محاسبات مقدار عمق پی آبرفتی به صورت ثابت برابر با 0.5 متر در نظر گرفته شده است)

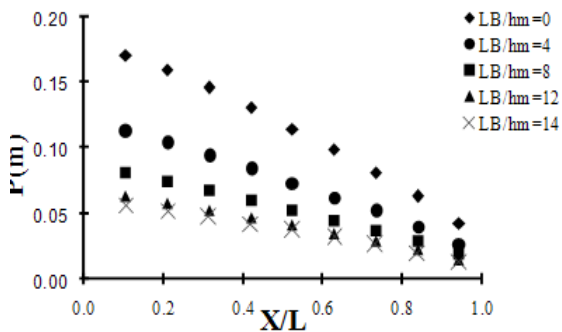
(در همه نمودارهای زیر مقدار $h_1 = hm = 0.25$ است.)

hm تراز آب بالادست به مقدار ثابت ۲۵ سانتی متر است که به منظور بی بعد کردن پارامتر طول بلانکت در رسم گرافها استفاده می شود؛ و h تراز آب بالادست می باشد. LB طول بانکت در هر آزمایش می باشد که مقدارش بین ۱ تا $3/5$ متر متغیر می باشد که در روش حل تحلیلی L_1 و L_2 (شکل ۱) نمایش داده شده است و در رابطه (۶) مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۵) شماتیک کلی از مدل آزمایشگاهی و معرفی پارامترهای به کار رفته در مسئله، می باشد.

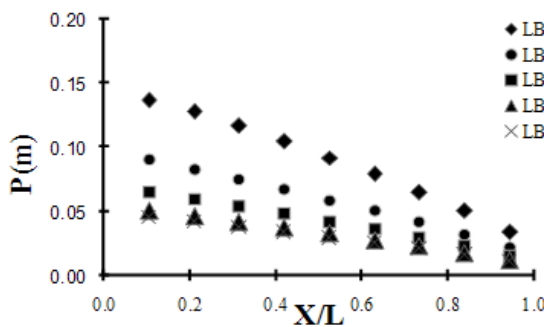
نقاط مشخص شده در زیر سد، مکان های نصب پیزومترها هستند. یک ردیف پیزومتر در عمق ۱۰ سانتی متری پی به تعداد ۹ عدد که در طول زیر سد در قسمت پایین دست، می باشند، نصب شدند. فاصله پیزومترها در جهات افقی از یکدیگر ۱۰ سانتی متر می باشد و x فاصله پیزومتر مورد نظر تا پرده آب بند است. لازم به ذکر است که در نسبت X/L ، مقدار L را واحد طول در نظر می گیریم و این صرفاً به منظور بی بعد کردن محور افقی نمودار است.

در محور عمودی، P فشار بالابر محاسبه شده از رابطه

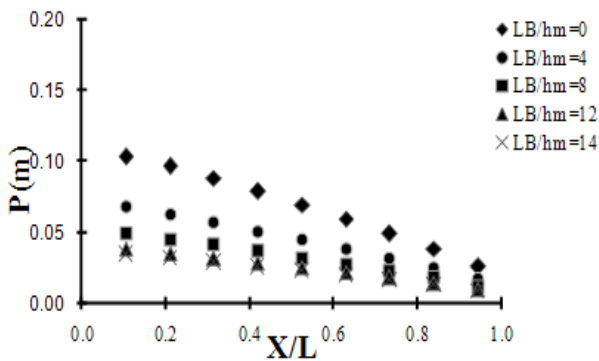
(۱۲) می باشد.



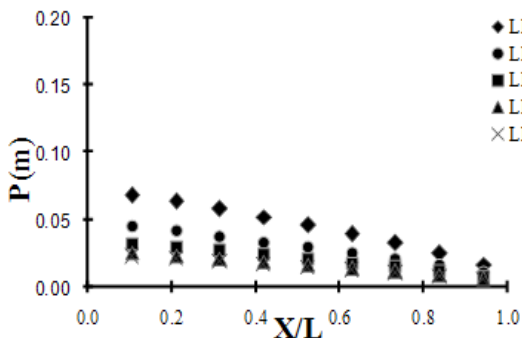
شکل ۶. نشان دهنده اثر بلانکت بر فشار بالابر در حضور $h/H = 0.5$ و $S/T = 0.2$



شکل ۷. نشان دهنده اثر بلانکت بر فشار بالابر در حضور $h/H = 0.4$ و $S/T = 0.2$

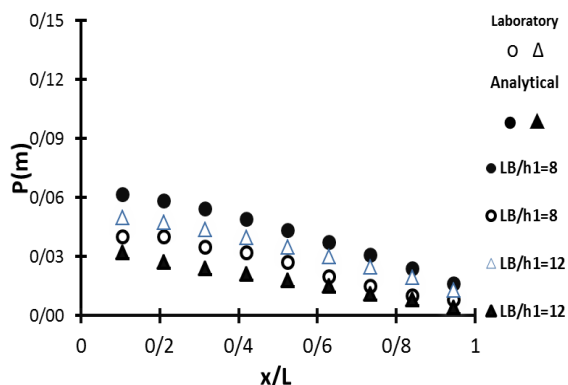


شکل ۸. نشان دهنده اثر بلانکت بر فشار بالابر در حضور $h/H = 0.3$ و $S/T = 0.2$



شکل ۹. نشان دهنده اثر بلانکت بر فشار بالابر در حضور $h/H = 0.2$ و $S/T = 0.2$

با توجه به اینکه در طراحی سازه های هیدرولیکی بخصوص سدهای خاکی و دایک های ساحلی معمولاً حداکثر تراز



شکل ۱۱. مقایسه نتایج تحلیلی با داده‌های آزمایشگاهی در حالت $S/T = 0.8$ و $h/H = 0.5$

جدول ۳. درصد خطای نسبی نتایج تحلیلی با داده‌های آزمایشگاهی در حالت $h/H = 0.5$ و $S/T = 0.8$

LB/h1	X/L								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
8	53	45	54	52	59	85	104	139	100
12	55	75	82	88	94	100	126	141	225

همان‌طور که هم از نمودارهای ۱۰ و ۱۱ مشخص است، نتایج فشار بالابر در روش تحلیلی و روش آزمایشگاهی در بعضی موارد بسیار به هم نزدیک هستند. مخصوصاً در حالتی که دبی نشتی زیر سد کم می‌شوند نتایج در هر دو حالت بسیار به هم نزدیک می‌شوند، با توجه به نمودارهای بالا می‌توان به دقت و صحت روش تحلیلی مدنظر در این مقاله بیشتر پی برد. درصد خطای نسبی محاسبه شده حاکی از آن است که هر چه به سمت پایین‌دست سازه و دایک حرکت می‌شود، مقدار انحراف بیشتر می‌شود و این به دلیل افزایش نیروی نشت و گرادیان هیدرولیکی خروجی می‌باشد. این مهم نیز با دلایل فیزیکی قابل حمایت می‌باشد، هر چه جریان نشت به سمت خروجی و منشور انتهایی نیروی نشت حرکت کند قابلیت به حرکت درآمدن ذرات خاک و پدیده جوشش افزایش می‌یابد که این نیز در بعضی از آزمایش‌های انجام‌شده به وقوع پیوست. خاک مورد استفاده در این تحقیق خاک ماسه ریز ساحلی بود که فوق‌العاده به جوشش و فرسایش حساس بود، زیرا فاقد چسبندگی می‌باشد. معذالک مدل تحلیلی قادر به لحاظ کردن اثر چسبندگی و پارامترهای رفتاری خاک نمی‌باشد و تنها پارامتر مهمی را که لحاظ می‌کند ضریب نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی مصالح پی است.

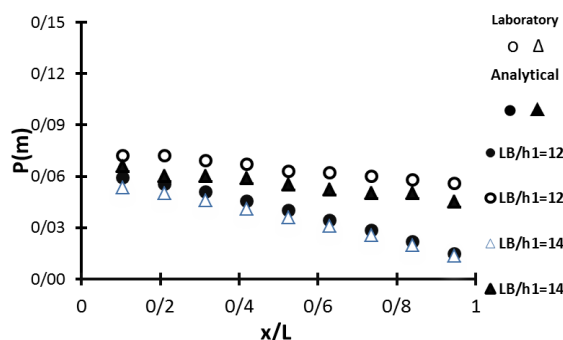
نتیجه‌گیری

با ارزیابی نتایج تحلیلی و داده‌های آزمایشگاهی مشاهده گردید که نتایج در بیشتر موارد به هم نزدیک‌اند و این صحت روابط

آب در محاسبات لحاظ می‌شود، لذا در اینجا نتایج مربوط به $h/H = 0.5$ که همان حداکثر تراز آب می‌باشد بیشتر مدنظر است. بر اساس شکل (۶) می‌توان مشاهده کرد که با افزایش طول بلانکت، میزان فشار بالابر کاهش می‌یابد تا اینکه در نسبت‌های طولی ۱۲، ۱۴، ۱۶ نتایج تقریباً یکسان می‌شود، یعنی افزایش طولی بلانکت از ۱۲ به ۱۴ تأثیر زیادی در فشار بالابر ایجاد نکرده است. همین نتایج و روند برای شکل‌های (۷) الی (۹) نیز تکرار شده است. یعنی نسبت طولی $LB/hm = 12$ نسبتی بهینه برای کنترل فشار بالابر می‌باشد. هرچه فشار بالابر زیادتر باشد به‌عنوان یک نیروی محرک و تخریب‌گر عمل شده و پایداری سازه را به خطر می‌اندازد. در قسمت‌های پایین‌دست سد در پی‌های آبرفتی و ماسه‌ای افزایش فشار بالابر می‌تواند سبب وقوع پدیده جوشش ماسه‌ای و نهایتاً فرسایش درونی گردد.

ارزیابی نتایج فشار بالابر

فشار بالابر محاسبه‌شده به روش تحلیلی با داده‌های پیرومتریک در روش آزمایشگاهی، در نمودارهای زیر (شکل ۱۰، ۱۱) و در حالات مختلف پرده آب‌بند و بلانکت، مقایسه شده است. محاسبات نمودارها برای حالت‌هایی که عمق آب بالادست ۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۱۰ و ۰/۰۵ متر است، انجام شده است (در همه نمودارهای زیر مقدار $h1 = hm = 0.25$ است). درصد خطای نسبی محاسبات با داده‌های آزمایشگاهی نیز در جدول‌های (۲ و ۳) نمایش داده شده است.



شکل ۱۰. مقایسه نتایج تحلیلی با داده‌های آزمایشگاهی در حالت $S/T = 0.4$ و $h/H = 0.5$

جدول ۲. درصد خطای نسبی نتایج تحلیلی با داده‌های آزمایشگاهی در حالت $h/H = 0.5$ و $S/T = 0.4$

LB/h1	X/L								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
12	19	16	23	30	34	40	48	60	70
14	17	22	26	32	36	44	52	62	73

فهرست علائم

عمق پرده آب بند	= S
عمق لایه متناهی	= T
طول بلانکت بالادست	= L ₁
طول بلانکت پلایندست	= L ₂
عمق آب بالادست	= h ₁
تراز آب بالادست به مقدار ثابت ۲۵ سانتی متر	= hm
فشار بالابر	= P
انتگرال بیضوی کامل نوع اول	= K
طول بلانکت در هر آزمایش	= L _B
مدول	= λ
ثابت نفوذپذیری	= k
پتانسیل سرعت	= φ _r
تابع خط جریان	= ψ _r
مقدار دبی نشتی در واحد طول	= q _r

تحلیلی موجود و محاسبات انجام گرفته را می‌رساند. با ارزیابی صورت گرفته مشخص شد که در نشت‌های میانی در قیاس با نشت‌های کمتر نتایج بسیار به هم نزدیک‌تر می‌شوند و در صورتی که $S/T \leq 0.2$ باشد، می‌توان نسبت $LB/hm = 12$ نسبتی بهینه برای کنترل فشار بالابر می‌باشد. این در حالی است که نسبت بهینه معرفی شده به وسیله سازمان آمریکا برای سدهای خاکی، نسبت کلی $LB/hm = 10$ است. خاطر نشان می‌شود که مدل تحلیلی قادر به در نظر گرفتن خواص رفتاری خاک از جمله چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک نمی‌باشد و به همین دلیل تکیه بر مقایسه نتایج بدون توجه به پارامترهای ژئوتکنیکی خیلی مطلوب نیست؛ بنابراین توصیه می‌شود که محققان و پژوهشگران به دنبال روش‌های تحلیلی باشند که پارامترهای ژئوتکنیکی خاک را لحاظ نمایند.

REFERENCES

- Bennet, P.T. (1946), "The Effect of Blankets on Seepage Through Previous Foundation", Trans., ASCE, Vol 111.
- Harr, M. E. (1962). Groundwater and Seepage. New York: Mc Graw-Hill Book Company. Available from: Technical Information Center, U. S. Army Engineer Experiment Station, P. O. Box 631, Vicksburg, MS 39180-0631.
- Hathood, H. M. (1986). Seepage Beneath a Concrete Dam. With a downstream filter. Applied mathematical modeling. 10(2): 129-132.
- Fujii, N. Kacimov, A.R. (1998). "Analytically computed rates of seepage flow into drains and cavities". J. Numer. Anal. Meth. Geomech, Vol. 22,301- 277.
- Javan, M. Farjood, M.R. (1993). "Evaluation of Foundation Seepage at Doroodzan Earth Dam. Proceeding of the International Conference on Environmental Management, Geo-Water and Engineering Aspects". Feb. 11-8, Wollongong, august, A.A Balkema.
- McNamee, J., and Institution of Civil Engineers, "Seepage into a Sheeted Excavation," Geotechnique 4(1):229-241 (1949).
- Neuman, S. P., and Witherspoon, P. A., (1970). "Finite Element Method for Analyzing Steady Seepage with a Free Surface", Water Resources Research, 6: 889-897.
- Sedghi-Asl. M, Rahimi, H and H, Khaleghi. (2010). Laboratory Investigation of the Seepage Control Measures under Coastal Dikes. Experimental Techniques, 36(1) : 61-71.
- Sedghi-Asl. M, H, Rahimi and H, Khaleghi. (2010) "Experimental Analysis of Seepage Flow under Coastal Dikes Experimental Techniques 34(4): 49- 54.
- Swamee, P.K. and D. Kashyap (2001), "Design of minimum seepage loss non-polygonal canal sections ", J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol.127, No.2, 113-117.
- Terzaghi, K., (1943), "Theoretical Soil Mechanics", John Wiley and Sons, New York.