

## مطالعه آزمایشگاهی کنترل نشت از پی های آبرفتی

محمد صدقی اصل<sup>i\*</sup>، حسن رحیمی<sup>ii</sup>، حسن خالقی<sup>iii</sup>

### چکیده

نشت از پی سازه‌های دریائی و از جمله دایک‌های ساحلی، یکی از مسائل مهم در امر کنترل شوری اراضی ساحلی و نیز پایداری سازه‌های دریائی به شمار می‌رود. در خصوص نشت از پی سازه‌های آبی تاکنون تحقیقات زیادی، بویژه در قالب مدل‌های عددی انجام شده است که برای ارزیابی درستی آنها به داده‌های صحرائی و آزمایشگاهی نیاز است. در این تحقیق برای بررسی اثر عوامل موثر بر نشت از پی دایک‌های ساحلی، یک مدل آزمایشگاهی به طول ۹ متر، ارتفاع و عرض یک متر با استفاده از اسکلت فولادی و جداره‌های شیشه‌ای و پلکسی گلاس (Plexiglas) 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) بعنوان متغیرهای طولی، از ورقه‌های پلکسی‌گلاس ساخته شدند. ترازهای پیزومتریک در وجه پایین دست دایک با استفاده از پیزومترهای شفاف با قطر کم اندازه گیری شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که نسبت طول بهینه بلانکت و عمق پرده آب‌بند به عمق آب مخزن و ضخامت پی به منظور حداقل نمودن دبی نشت و کنترل فرسایش درونی، به ترتیب برابر ۸ و ۰/۸ می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** دایک‌های ساحلی، نشت، بلانکت، پرده آب‌بند، مدل آزمایشگاهی

## Laboratory Investigation on Seepage Control Measures through Alluvial Foundations

Mohammad. Sedghi-Asl, Hassan. Rahimi, Hassan. Khaleghi

### ABSTRACT

Seepage under coastal structures including coastal dikes is one of the major issues for controlling stalinization of coastal lands and stability of the related structures. So far, for analysis of seepage under hydraulic structures much research works have been conducted in the form of numerical models. However, less field and laboratory works have been done for evaluating of the numerical models. In the present research, a laboratory model was made to simulate seepage and its controlling measures under coastal dikes. The model consists of a flume 8m long, 1m deep and 1m wide, in which horizontal blanket and vertical cut off were provided by Perspex sheets. The flume was made of steel frame and Perspex as well as thick glass sheets. The foundation material was made of clean fine sand, compacted to a uniform density and covered the bottom 50cm of flume. Perspex sheets were employed as blanket and cut off variable length. The piezometric heads at the downstream side of dike were measured using small diameter clear plastic tubes. The results of the test showed that the optimum ratio of blanket length and cut off depth to the depth of water and the thickness of foundation at the upstream side of dike for minimum seepage loss and control of piping was 8 and 0.8 respectively.

### KEY WORDS

Coastal dikes, Seepage, Blanket, Cut off, Laboratory Model

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۲/۱۱

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۷/۱۲/۲۲

<sup>i</sup> \* نویسنده مسئول و دانش‌اندوخته سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری تاسیسات آبیاری، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، Email: m\_sedghiasl@yahoo.com

<sup>ii</sup> استاد بازنشسته گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج Email: rahimi@ut.ac.ir

<sup>iii</sup> دانشیار بخش مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران Email: Khaleghi@modares.ac.ir

کوتاه‌ترین مسیر نشت قرار گرفته، شروع می‌شود و دوم اغتشاش و تخریب عمومی که توده بزرگتری از خاک را شامل می‌گردد. لین (۱۹۱۲) فرض کرد که طول خزش جریان از پی بندهای انحرافی بایستی با مجموع طول قائم و یک- سوم طول افقی مسیر جریان نشتی برابر باشد. بر همین اساس وی برای پی‌های مختلف برای کنترل مناسب پدیده جوشش و پیرو آن فرسایش درونی ضرابی را پیشنهاد نمود. لین ضریب وزنی را به صورت  $(c = \frac{L}{\Delta h})$  تعریف کرد که در آن،  $L$  طول خزش و  $\Delta h$  اختلاف هد آب بالادست و پائین‌دست سد و  $c$  هم ضریب وزنی لین می‌باشد. چنانچه ضریب وزنی محاسبه شده برای یک بند یا خاکریز از مقدار پیشنهادی لین بیشتر باشد، در آن هنگام بند به لحاظ ایمنی در مقابل جوشش و فرسایش درونی مشکلی نخواهد داشت (لیلایوسکی ۱۹۶۵). نیومن و ویترسپون (Neuman and Witherspoon, 1970) نشت از پی و بدنه سدهای خاکی را به روش اجزای محدود (Finite Elements) مورد ارزیابی قرار داده و دیدند که این روش می‌تواند مسائل آب زیرزمینی را به خوبی شبیه سازی نماید، اما در مقایسه با روش تفاضلات محدود (Finite Differences) از پیچیدگی‌های ریاضی بیشتری برخوردار است. جوان و فرجود (Javan- & Farjood 1993) نشت از پی سد درودزن 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 مورد اشاره، خوب بیان نمودند.

پس از آن و بر اساس تحقیقات لی و لیپ (Lee and Leap, 1997) و کو و لیپ (Koo & Leap, 1998) نشت ماندگار با سطح آزاد از بدنه سدهای خاکی را به کمک روش تبدیل مختصات برازش مرزی (Boundary-fitted Coordinate Transformation) مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که این روش مشکلات روش تفاضلات محدود را در مقاطع هندسی پیچیده کاهش می‌دهد.

از آنجا که مدل‌های عددی زیادی برای تخمین خصوصیات جریان نشت از پی دایک‌های ساحلی ارائه شده و تاکنون این مدل‌ها با داده‌های آزمایشگاهی مطمئن مقایسه نشده، لذا این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی به پایان رسید. همچنین با استفاده از نتایج بدست آمده از این تحقیق، می‌توان به ارزیابی درستی روشهای تجربی برای طرح مطمئن هیدرولیکی سازه‌های هیدرولیکی پرداخت. در تحقیق حاضر برای تحلیل نشت عبوری از پی

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. از چندین دهه گذشته محققین زیادی مسائل نشت را بصورت تحلیلی و عددی مورد بررسی قرار داده‌اند. در اغلب این مطالعات درستی نتایج مدل‌های عددی با داده‌های صحرایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مطالعه و تحلیل مساله نشت از پی دایک‌های ساحلی به کمک یک مدل آزمایشگاهی می‌تواند بگونه‌ای علمی‌تر روابط مورد نیاز برای طراحی دایک‌های ساحلی را استخراج و نیز درستی روابط تجربی را مورد ارزیابی قرار دهد. اهمیت شبیه‌سازی آزمایشگاهی مساله نشت را می‌توان به دو دلیل توجیه نمود. اول اینکه شرایط پی و خصوصیات زمین شناسی سایت مورد بررسی در صحرا و مدل تفاوت زیادی باهم دارند و دوم اینکه با تقریب معادلات ریاضی حاکم بر حرکت آب زیرزمینی در بیشتر حالات مقداری بی اطمینانی را وارد مساله نموده و انتظار می‌رود، بین نتایج مدل‌های ریاضی و آزمایشگاهی تفاوت محسوسی وجود داشته باشد.

اثر بلانکت (پتوی رسی) و پرده آب‌بند بر جریان نشت در سدهای خاکی ابتدا توسط ترزاقی مورد بررسی قرار گرفت. وی مفهوم گرادیان هیدرولیکی بحرانی (گرادیان غوطه وری)  $i_c$  را برای کنترل جوشش و زیرشوئی تعریف کرد (Terzaghi, 1943). بنت (Benne, 1946) تاثیر بلانکت بر میزان نشت را با استفاده از مدل‌های ریاضی برای حالتی که طول بلانکت محدود و نامحدود باشد مورد ارزیابی قرار داد. مک نامی (McNami, 1949) برای کنترل جوشش و فرسایش درونی ضریب اطمینانی را که به‌صورت نسبت گرادیان هیدرولیکی بحرانی به گرادیان خروجی تعریف می‌شود، بشرح رابطه ۱ ارائه کرد:

$$F = \frac{i_c}{i_e} \quad (1)$$

در رابطه شماره ۱:

$$i_c = \text{گرادیان هیدرولیکی بحرانی}$$

$$i_e = \text{گرادیان خروجی}$$

$$F = \text{ضریب اطمینان در مقابل زیر شوئی}$$

وی دو نوع عمده تخریب ناشی از نشت را تعریف کرده که عبارتند از: اول تخریب موضعی مثل زیرشوئی یا جوشش که به احتمال زیاد از یک نقطه در مجاورت پرده آب‌بند که در امتداد

نفوذ ناپذیر بر میزان نشت، یک مدل آزمایشگاهی به طول ۹ متر، ارتفاع یک متر و عرض ۱ متر ساخته شد. ضخامت پی و ارتفاع سازه نیم متر لحاظ شدند. حال بر اساس این ابعاد، سایر ابعاد فلوم یعنی طول بالادست و پایین دست سازه و همچنین طول سازه، طرح شدند. با در نظر گرفتن یک شیب جانبی یک به یک برای یک خاکریز ساحلی، طول دایک در مجموع ۲۱۰ سانتی متر انتخاب گردید. انتخاب طول ۹ متر در مقایسه با عمق و عرض یک متر بطور معمول بدلیل شبیه سازی مخزن آب پشت می باشد که تا حد ممکن به واقعیت نزدیک باشد ضمن آنکه فضای لازم برای اجرای طولهای مختلف بلانکت مهیا گردد. شکل (۱) تصویری از مدل و شکل شماره (۲) طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی ساخته شده را نشان می دهد. اجزا تجهیزات آزمایشگاهی بکار رفته در این مدل عبارتند از: ۱- سیستم تامین آب ۲- تبدیل ها و اتصالات ۳- بلانکت و پرده آب بند ۴- مخازن تنظیم کننده تراز آب بالادست و پایین دست ۵- دایک ساحلی ۶- وسایل ثبت تراز پیزومتریک ۷- سیستم اندازه گیری شدت جریان.

اسکلت فلوم از جنس فولاد می باشد و کف آن با ورق هایی از جنس پلکسی گلاس پوشیده شده است. بعنوان جداره فلوم از ورق های شیشه ای ۱۰ میلی متری استفاده گردید. برای نصب پیزومترها و ثبت داده های پیزومتریک یک قسمت از جداره فلوم از جنس پلاکسی گلاس انتخاب گردید. برای ثبت داده های پیزومتریک در یک طرف فلوم در ۴ تراز قائم ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی متری از کف و ۱۱ مقطع افقی با گام مکانی ۱۰ سانتی متری و در مجموع تعداد ۴۴ پیزومتر متشکل از لوله های پلاستیکی شفاف با قطر کم نصب گردید. انتهای دیگر پیزومترها برای سهولت قرائت ها بر روی یک تابلوی مخصوص نصب شدند. برای اتصال، آب بندی و نیز جلوگیری از شکستگی شیشه ها در کف فلوم از چندین پل شیشه ای، استفاده شد. ۵۰ سانتی متر تحتانی از عمق فلوم به پی ماسه ای و ۵۰ سانتی متر بالائی آن به تراز آب و ارتفاع آزاد فلوم اختصاص داده شد. جریان آب در فلوم توسط سیستم تامین آب آزمایشگاه برقرار و دبی جریان خروجی به طریق وزنی اندازه گیری شد.

دایک های ساحلی، یک مدل آزمایشگاهی با دو نوع متعارف عامل آب بندی کننده یعنی پرده آب بند و بلانکت نفوذناپذیر ساخته و طی آزمایش های مختلف اثر عوامل آب بندی کننده بر میزان جریان نشت عبوری از پی دایک های ساحلی با هدف حداقل سازی این میزان و کنترل فرسایش درونی، مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- مبانی تئوریک

جریان دوبعدی حرکت آب در محیط متخلخل خاک توسط قانون دارسی به صورت رابطه ۲ بیان می گردد:

$$V = -k \cdot \text{grad}(h) \quad (2)$$

که در آن  $V$  بردار سرعت،  $k$  ماتریس نفوذپذیری و  $h$  تراز پتانسیل می باشد. اصل بقای جرم در یک حجم کنترل مشخص به صورت رابطه ۳ بیان می گردد:

$$\int_V \nabla \cdot \mathbf{v} \, dV = 0 \quad (3)$$

که در آن  $V$  بردار سرعت،  $S$  سطح مقطع و  $n$  بردار واحد عمود بر  $S$  می باشد. از تلفیق روابط ۲ و ۳ معادله شماره ۴ بدست می آید.

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

درحالتی که نفوذ پذیری در محیط همگن و همروند باشد ( $k_x = k_y$ )، معادله شماره ۴ به معادله مشهور لاپلاس، بشرح رابطه ۵ تبدیل می گردد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (5)$$

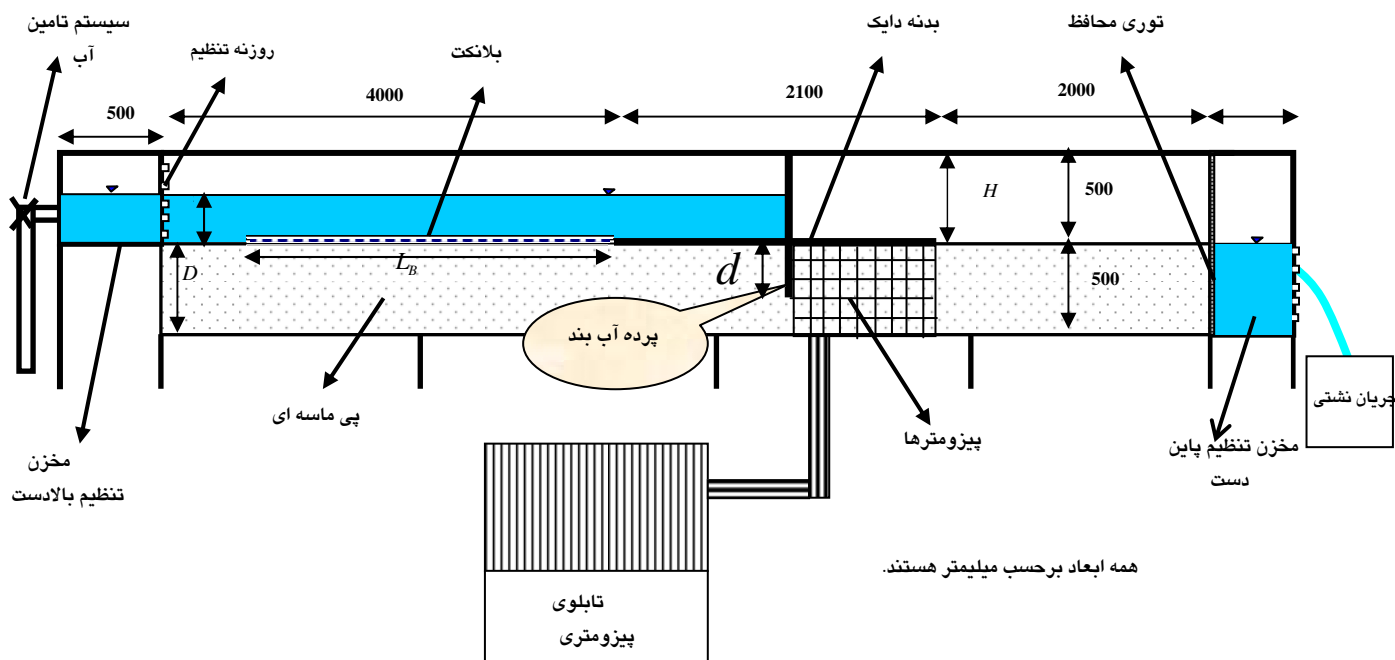
هر چند که قانون دارسی هنوز هم اعتبار خود را در تجزیه و تحلیل جریان آب زیر زمینی حفظ نموده است اما به نوبه خود دارای محدودیت هایی است که از جمله می توان به نداشتن کارائی این قانون در جریان با سرعت های زیاد و جریان های غیره ماندگار (Unsteady Flow) اشاره نمود.

### ۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی

برای انجام این مطالعه و بررسی اثر بلانکت و پرده آب بند



شکل ۱: تصویر عمومی مدل آزمایشگاهی ساخته شده



شکل ۲: طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی

آب بند در اعماق ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی متری از پی قرار داده شدند. ارتفاع آب بالادست در ۵ تراز ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متری از کف دایک (سطح پی) و تراز آب پایین دست در تراز صفر تنظیم گردید. برای بلانکت ۴ طول ۱، ۲، ۳ و ۵ متر از محور دایک بسمت بالادست در نظر گرفته شد. همانطور که پیشتر اشاره گردید، برای ایجاد بحرانی ترین حالت از نظر پتانسیل ایجاد فرسایش، از ماسه ریز تمیز (ماسه ساحلی)، بدون هرگونه

### ۳-۲- روش آزمایش

در این تحقیق برای مطالعه کنترل نشت سه حالت کلی در نظر گرفته شد. در حالت اول فقط از پرده آب بند، در حالت دوم تنها از بلانکت و در حالت سوم از تلفیق پرده آب بند و بلانکت با طول های مختلف استفاده گردید. در مدل ساخته شده ارتفاع دایک ۵۰ سانتی متر، عرض آن ۱۰۰ سانتی متر و طول آن ۲۱۰ سانتی متر و از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۸ میلی متر می باشد. پرده های

مطابق معادلات تجزیه و تحلیل نتایج تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند:

$$F(q, q_0, q_m, h, H, d, D, h_m, L_B, p) = 0 \quad (6)$$

$$F(q/q_0, q/q_m, h/H, L_B/h_m, d/D) = 0 \quad (7)$$

که در آنها  $L_B$  طول بلانکت،  $h$  تراز آب بالادست،  $h_m$  ماکزیمم تراز آب بالادست (۲۵ سانتی متر)،  $d$  عمق پرده آب بند،  $D$  ضخامت پی،  $q$  دبی نشست برای هر حالت دلخواه و  $q_0$  دبی مبنای کل، به ازای طول بلانکت صفر و حداقل عمق پرده آب بند مورد نظر برای جلوگیری از شروع فرسایش درونی (۱۰ سانتی متر) می باشند.  $q_m$  نیز حداکثر دبی نشست به ازای اعماق مختلف پرده آب بند و طول بلانکت صفر می باشد. در واقع برای هر عمق پرده آب بند یک  $q_m$  و در مجموع ۴ مقدار برای آن وجود خواهد داشت.

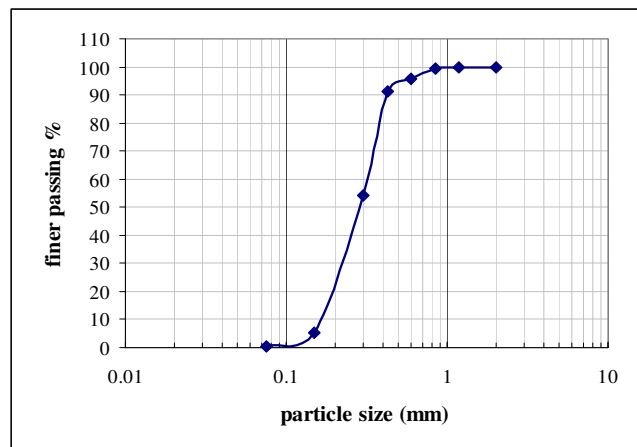
### ۳- نتایج

اینک نتایج آزمایشها در قالب شکل‌های ۴ الی ۱۱ ارائه می گردند: در این تحقیق ملاک انتخاب یک نسبت بعنوان معیار بهینه این است که با افزایش آن نسبت (طول بلانکت و یا عمق پرده آب بند) تغییر چشمگیری در کاهش نشست دیده نشود. این فرضیه از جنبه کاربردی نیز قابل حمایت می باشد زیرا هزینه اجرای هر واحد طول بلانکت یا عمق پرده آب بند در نسبتهای بالا به هیچ روی مقرون بصرفه نمی باشد. در اعماق زیاد نصب پرده آب بند با محدودیت‌های زیادی همراه بوده و هزینه اجرا بطور تصاعدی افزایش می یابد. از طرف دیگر هزینه اجرای بلانکت (بخصوص از نوع رسی) بر روی پی آبرفتی بدلیل افزایش تلسکوپی پلان مخزن کاملاً قابل توجه می باشد و تحمل آن تنها بخاطر کاهش درصد ناچیزی از نشست منطقی بنظر نمی رسد. لذا مبنای گزینش معیار مناسب برای اجزای آب بندی کننده بکارگیری نگرش مهندسی در کنار نتایج آزمایشگاهی می باشد. از آنجاکه هدف از انجام این تحقیق، طرح مطمئن هیدرولیکی ابعاد اجزای آب بندی کننده می باشد بطوریکه تقویت و نمون سازی جنبه های مهندسی، موجبات ارزشمندی یافته ها را سبب می شود.

#### ۳-۱- اثر طول بلانکت

اثر طول بلانکت بر میزان نشست در حالت  $d/D = 0.2$  به ازای ترازهای مختلف بالادست در شکل ۴ نشان داده شده است. با بررسی دقیق شکل ۴ می توان دریافت که کاربرد بلانکت سبب کاهش ۶۰ درصدی دبی نشست شده است (انتهای نمودارها در

چسبندگی و فوق العاده حساس به پدیده فرسایش درونی (Piping) و جوشش (Boiling) است، بعنوان مصالح پی استفاده گردید. با استفاده از آزمایش بار افتان، نفوذپذیری ماسه ساحلی مورد استفاده برابر با  $2/7 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  تعیین شد و به کمک روش الک  $d_{50} = 0.2 \text{ mm}$  برای ماسه به دست آمد. برای جلوگیری از شسته شدن مصالح به مخزن پایین دست، یک شبکه توری شماره ۱۵۰ در حد فاصل مخزن تنظیم کننده یاد شده و پی نصب گردید. شکل ۳ منحنی دانه بندی ماسه ریز ساحلی بکار رفته در پی دایک را نشان می دهد.



شکل ۳: منحنی دانه بندی ماسه ریز ساحلی مورد استفاده در پی مدل

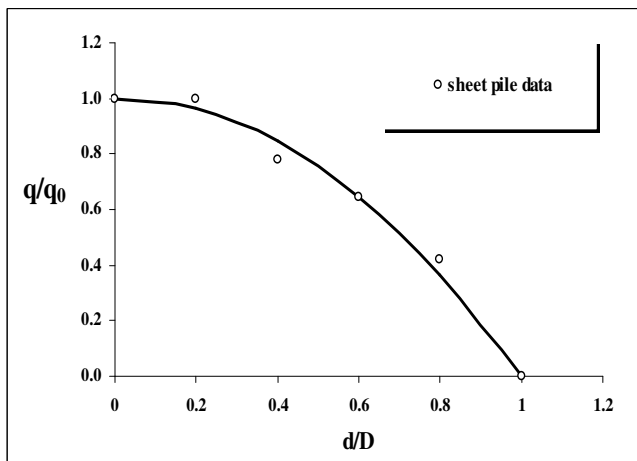
چگونگی انجام آزمایشها بدین ترتیب بود که پس از نصب اجزای آب بندی کننده، شیر مخزن بالادست باز گذاشته شد تا پی بتدریج از آب اشباع شود که این عمل در شرایط آزمایشگاهی موجود حدود ۸ ساعت بطول انجامید. بعد از اشباع شدن مصالح پی و بالا آمدن تراز آب در پشت دایک و تنظیم آن در تراز ۲۵ سانتی متری، پیزومترها به کمک پمپ خلا هواگیری شدند و پس از برقراری حالت آرام و ماندگاری جریان، مقادیر آب در پیزومترها قرائت و دبی نشست با روش اندازه گیری حجمی تعیین گردید. مدت انجام هر آزمایش در ترازهای مورد نظر برای هریک از گزینه ها نزدیک به ۲۴ ساعت بوده است.

#### ۲-۴- آنالیز ابعادی

برای شبیه سازی پدیده های فیزیکی در قالب مدل های فیزیکی و یا آزمایشگاهی از تشابه ابعادی استفاده می گردد (استریتر و وایلی ۱۹۷۹). بر اساس تئوری باکینگام پارامترهای های مساله نشست استخراج شدند. بنابراین اعداد بدون بعد موثر تعیین و

مختلف پی نشان می‌دهد. با افزایش عمق پرده آب‌بند دبی نشت کاهش یافته است. در مجموع کاربرد پرده آب‌بند بتنهایی سبب کاهش ۶۰ درصدی دبی نشت شده است اما مطابق شکل ۵ افزایش عمق پرده آب‌بند یک نسبت مناسب برای کنترل نشت را ارائه نمی‌کند و این درست همان نتیجه‌ای می‌باشد که کاربرد بلانکت بصورت مجزا در بند ۱-۳ ارائه کرده بود. از آنجاکه نسبت  $q/q_0$  به لحاظ تئوری به ازای  $\left(\frac{d}{D}=1\right)$  صفر بوده و به ازای نسبت  $\left(\frac{d}{D}=0\right)$  برابر با ۱ می‌باشد، لذا این دو نقطه بعنوان نقاط حدی با داده های آزمایشگاهی تلفیق و در قالب شکل ۵ ارائه شده اند. براساس شکل یادشده، بین عمق پرده آب‌بند و دبی نشت یک سهمی برقرار شده است.

$$\frac{q}{q_0} = -\left(\frac{d}{D}\right)^2 + 1 \quad R^2 = 0.98 \quad (9)$$

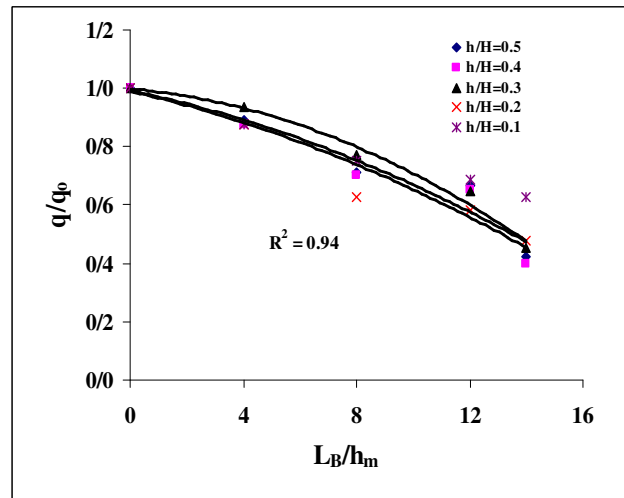


شکل ۵: اثر پرده آب‌بند بر کاهش نشت

### ۳-۳ - اثر تلفیقی بلانکت و پرده آب‌بند

در مسائل عملی کاربرد تلفیقی پرده آب‌بند و بلانکت برای کاهش نشت و کنترل فرسایش درونی پیشنهاد می‌شود، زیرا هریک از دو عامل آب‌بندی کننده سهم خاصی از کاهش نشت را به عهده می‌گیرند، و در عین حال اجرای هریک دارای محدودیت های خاص خود می‌باشد. درحالتی که طول بلانکت و عمق پرده آب‌بند به عنوان متغیرهای مستقل مساله نشت در نظر گرفته شوند، بسته به شرایط ممکن است سهم هریک در کاهش نشت بیشتر یا کمتر باشد. اثرات تلفیقی بلانکت و پرده آب‌بند بر دبی نشت در شکل ۶ ارائه شده است.

نسبت ۰/۴ بهم متقارب شده‌اند). شکل یادشده یک نسبت مناسب را برای کاهش نشت ارائه نمی‌کند. از آنجا که تنها استفاده از بلانکت نمی‌تواند در کاهش نشت مفید باشد، لذا بایستی از عوامل دیگر آب‌بندی، همچون پرده آب‌بند نیز استفاده کرد.



شکل ۴: اثر طول بلانکت بر میزان نشت بازای  $d/D = 0.2$

با رگرسیون گیری از داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده (شکل

۴)، رابطه ۸ بدست می‌آید:

$$\frac{q}{q_0} = -0.0015 \left(\frac{L_B}{h_m}\right)^2 - 0.0427 \left(\frac{L_B}{h_m}\right) + 0.584 \quad (8)$$

درحالتی که عمق پرده آب‌بند ۲۰ درصد ضخامت پی باشد، می‌توان از رابطه ۶ برای بیان اثر بلانکت بر دبی نشت دایک‌های ساحلی مستقر بر پی‌های آبرفتی ریز دانه، استفاده کرد. بی تردید با افزایش طول بلانکت میزان دبی نشت کاهش می‌یابد که این مهم در شکل ۶ به تفصیل تشریح می‌گردد. در شکل ۶ از بررسی تاثیر سایر ترازهای بالادست چشم پوشی شده و تنها به بررسی حداکثر تراز آب پرداخته می‌شود.

### ۳-۲ - اثر عمق پرده آب‌بند

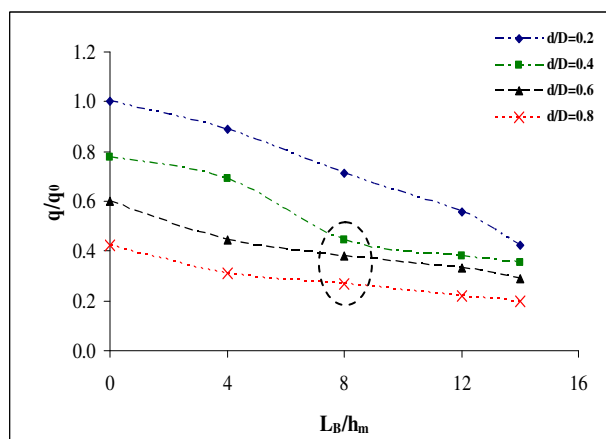
انتظار می‌رود با افزایش عمق پرده آب‌بند، دبی نشت نیز کاهش یابد. شایان گفتن است که در این تحقیق دیده شد برای حالتی که عمق پرده آب‌بند صفر بود، به علت اتفاق افتادن پدیده جوشش و در پایان فرسایش درونی، جریان از حالت ماندگاری (Steady State) خارج شد، بنابراین از داده برداری در این حالت خاص صرف‌نظر گردید، لذا برای شروع کار عمق ۱۰ سانتیمتر بعنوان حداقل عمق پرده آب‌بند  $\left(\frac{d}{D} = 0.2\right)$  انتخاب شده است. شکل ۵ اثر عمق پرده آب‌بند بر دبی نشت را به ازای اعماق



قاطعیت پیشنهاد کرد. آنچه مسلم است در یک نسبت خاص روند نزولی نشت متوقف نشده است و تا آخرین نسبت مورد استفاده یعنی  $\frac{d}{D} = .18$  میزان نشت کاهش یافته است. این مطالعه از دیدگاه تئوریک مساله نشت، صورت گرفته است و در موارد عملی ممکن شرایط اقتصادی و تجهیزاتی حفاری، اجرای این نسبت را محقق نسازد. در شکل ۶ نسبت بهینه تلفیقی با یک بیضی خطچین مشخص شده است.

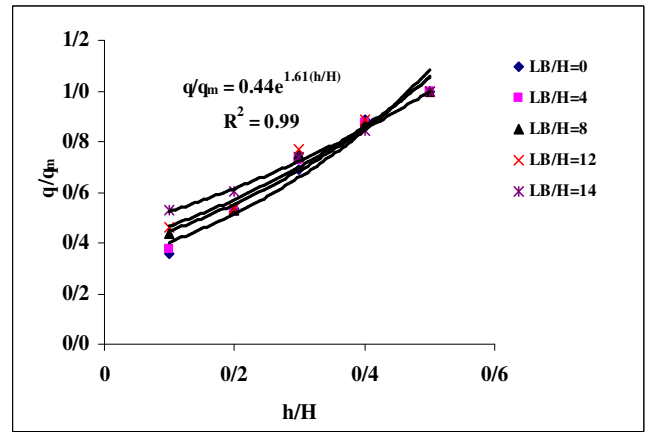
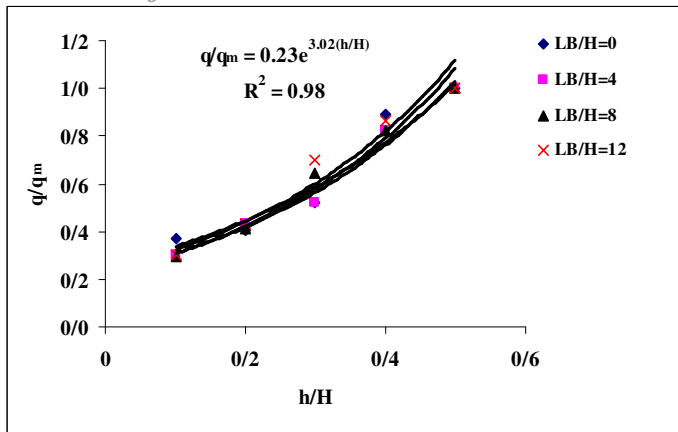
### ۳-۴- اثر تراز آب بالادست بر میزان دبی نشت

شکل ۷ الی ۱۰ اثر تراز آب بالادست را بر میزان دبی نشت عبوری از پی دایک در عمق پرده آببند و طول بلانکت متفاوت، نشان می‌دهند. بدیهی است که با کاهش تراز آب مخزن، دبی نشت عبوری از پی کاهش می‌یابد، اما کمیت و کیفیت کاهش از قبل معلوم نبوده و در اینجا روابطی برای مدیریت تراز آب مخزن دایک در شرایط مختلف و برای اهداف کاربردی خاص ارائه شده است. بعلاوه به کمک این نمودارها می‌توان تنها با داشتن تراز آب و ارتفاع خاکریز میزان کاهش نشت را محاسبه کرد. این بحث از آن جهت حائز اهمیت می‌باشد که یکی از اهداف سازه‌های ساحلی و دایک‌ها از تداخل آب شور دریا به سفره‌های ساحلی و اراضی کشاورزی می‌باشد. ضمن آنکه به لحاظ زیست‌محیطی و همچنین توسعه پایدار کشاورزی و آمایش سرزمین، ساخت این گونه سازه‌ها اساساً چند هدفه می‌باشد و می‌تواند در امر جذب تورسیم و توسعه اکوسیستم‌های ساحلی مورد توجه ویژه قرار گیرد. این مهم در اراضی ساحلی کشور هلند بخوبی مورد توجه واقع شده است و برای این کار از ورق‌های فولادی قابل اتصال بهم (سپرها) استفاده می‌کنند. برای روشنتر شدن بحث می‌توان بیان داشت که بسیاری از اراضی ساحلی که تحت کشت محصولات زراعی می‌باشند ممکن است به دلیل شیب کم زمین با روشهای مرسوم و سنتی قابل آبیاری نباشند و در آنها آبیاری زیر زمینی که همانا مدیریت تراز آب زیرسطحی است به کمک یک دایک و دو دریچه در بالا دست و پائین دست قابل کنترل و بهره برداری می‌باشد.

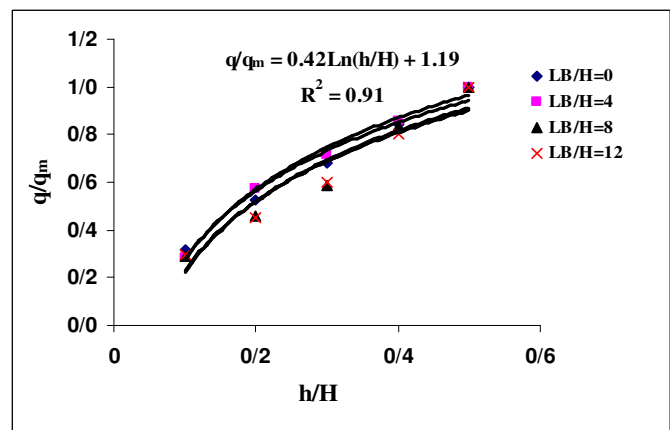
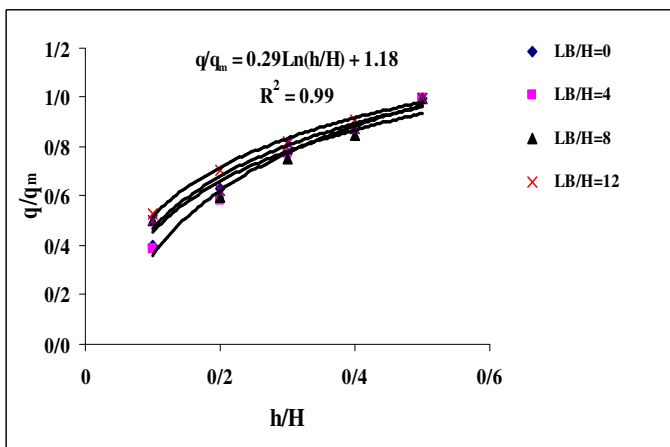


شکل شماره ۶: اثر تلفیقی بلانکت و پرده آببند بر کاهش نشت در شرایط  $h/H = 0.5$

شکل شماره ۶ راهنمای مناسبی برای طراحی بهینه ابعاد عوامل آببندی کننده نشت براساس نتایج تحقیق انجام شده می‌باشد. در شکل مذکور نتایج بازای  $\frac{h}{H} = 0.5$  ارائه شده‌اند و از آنجا که در تحقیق حاضر این نسبت نشان دهنده بیشترین مقدار تراز آب می‌باشد، لذا از ارائه نتایج برای ترازهای کمتر سطح آب خودداری شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش طول بلانکت و عمق پرده آببند، انتهای نمودارها نسبت بهم متقارب شده و به حالت بهینه نزدیک می‌گردد. بدلیل اینکه میزان کاهش نشت در نسبت یاد شده (خط چین بیضی شکل) به یک مقدار ثابت رسیده است و در نسبت‌های بالاتر (۱۲ یا ۱۴) کاهش زیادی دیده نمی‌شود، لذا مقدار  $\frac{L_B}{h_m} = 8$  بعنوان نسبت بهینه پیشنهاد گردید. به بیانی دیگر شیب خطوط عبوری از داده‌ها برای مقادیر بی بعد طول بلانکت بزرگتر از ۸ تقریباً ثابت می‌باشد. سازمان عمران آمریکا (USBR) نسبت  $\frac{L_B}{h_m} = 10$  را برای بلانکت، نسبتی مناسب برای کنترل بهینه نشت توصیه نموده است (رحیمی ۱۳۸۱). همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج این تحقیق برازندگی خوبی را با پیشنهاد سازمان عمران آمریکا نشان می‌دهد، اما از آنجا که نسبت بدست‌آمده در این تحقیق دارای مبنای آزمایشگاهی و نه تنها تحلیلی می‌باشد، لذا از دقت بیشتری نسبت به رقم توصیه شده توسط سازمان یادشده برخوردار می‌باشد. در مورد عمق پرده آببند، نمی‌توان یک نسبت بهینه را با



شکل ۷: اثر تراز آب بالادست بر میزان نشست برای نسبت  $d/D = 0.2$  / شکل ۹: اثر تراز آب بالادست بر میزان نشست برای نسبت  $d/D = 0.6$



شکل ۸: اثر تراز آب بالادست بر میزان نشست برای نسبت  $d/D = 0.4$  / شکل ۱۰: اثر تراز آب بالادست بر میزان نشست برای نسبت  $d/D = 0.8$

شکل ۱۰: اثر تراز آب بالادست بر میزان نشست برای نسبت  $d/D = 0.8$

ای رفتار جدید و نامتعارفی از خود بروز می‌دهد. نتایج آزمایشگاهی حاکی آن است که با بالا رفتن گرادیان هیدرولیکی، منشور انتهایی زیر دایک در آستانه جوشش قرار می‌گیرد. با افزایش طول بلانکت و عمق پرده آب‌بند این پتانسیل جوشش کم گاهش یافته و از حالت بحرانی خارج می‌گردد. در شکل ۱۱ تراز آب  $\frac{h}{H} = 0.5$  را نشان می‌دهد. گرادیانهای افقی مندرج در شکل ۱۱ با تفریق فشارهای بالابر ثبت شده توسط پیزومتر در دو نقطه افقی متوالی در منشور انتهایی دایک (اختلاف فشار پیزومتریک) و تقسیم آن بر فاصله افقی دو نقطه (۱۰ سانتی متر) مطابق رابطه زیر بدست آمده اند.

$$i = \frac{\Delta p}{X} = \frac{P_n - P_{n-1}}{0.1} = \frac{P_{11} - P_{10}}{0.1} \quad (10)$$

بدیهی است که در شرایط آزمایشگاهی انتخاب شده در تحقیق

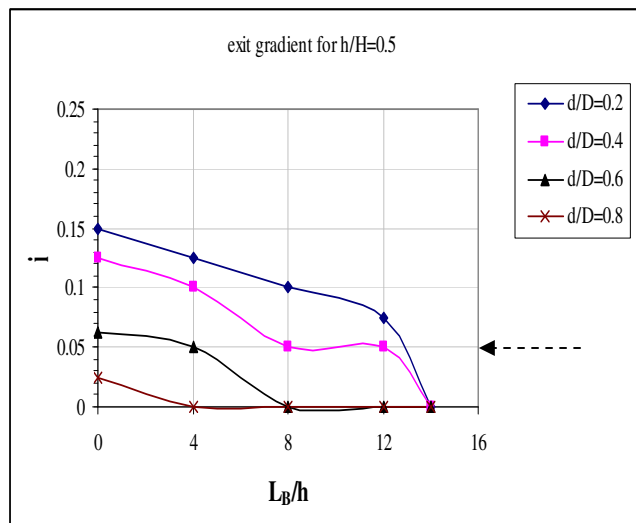
بعنوان مثال در بحث مدیریت تراز آب دریا برای کنترل شوری و همچنین در شرایط جزر و مدی کاربرد این روابط می‌تواند مفید واقع شود.

### ۵-۳ - بررسی پدیده جوشش و فرسایش درونی

برای بررسی دقیق‌تر اثر عوامل آب‌بندی کننده بر پدیده فرسایش درونی و جوشش در هر حالت آزمایش، شیب هیدرولیکی افقی محاسبه گردیدند و نتایج در قالب شکل شماره ۱۱ ارائه شده است. در تمامی مراحل این تحقیق، جوشش پی ماسه‌ای به دقت مورد بررسی قرارگرفت و محدوده مناسب برای کنترل این پدیده، در جدول ۱ ارائه گردیده است. همانطور که پیشتر بیان شد، در تحقیق حاضر از ماسه تمیز ساحلی بعنوان مصالح پی استفاده شد. این خاک یکی از بدترین نوع مصالح برای پی سازه های آبی محسوب می‌گردد، زیرا بر اثر بالارفتن نیروی نشست، و برابر شدن نیروی نشست با وزن مستغرق ذرات، پی ماسه



گردد.



شکل ۱۱: پتانسیل ایجاد جوشش برحسب شیب هیدرولیکی برای  $h/H = .5$

حاضر نسبت تراز آب حداکثر ( $\frac{h}{H} = 0.5$ ) دارای بیشترین پتانسیل در مقایسه با بقیه حالت ها، می باشد. مطابق شکل مذکور با افزایش طول بلانکت گرادیان هیدرولیکی در منشور انتهایی دایک، کاهش می یابد. با مقایسه نتایج جدول ۱ با شکل ۱۱ مشاهده می شود برای جلوگیری از جوشش ذرات ماسه که گرادیان هیدرولیکی نباید بیشتر از ۰/۰۵ باشد. این نسبت (۰/۰۵) از تطابق محاسبات با نتایج آزمایشگاهی مندرج در جدول ۱ بدست آمده اند. در گرادیانهای کوچکتر از ۰/۰۵ هیچ گونه جوششی دیده نشد، لذا این نسبت تجربی که فقط برای پی های ماسه ای همگن می تواند قابل کاربرد می باشد بعنوان آستانه آزمایشگاهی پدیده جوشش پیشنهاد گردید. خاطر نشان می شود که مهندسین طراح برای کنترل مناسب جوشش و فرسایش درونی نصب یک پرده آب بند با عمق کم در منشور انتهایی را توصیه می کنند. در این تحقیق فقط از یک پرده آب بند در وسط قاعده دایک، استفاده گردید. مطابق شکل ۱۱ عمق پرده آب بند حداقل باید برابر ۰/۶ ضخامت پی ( $\frac{d}{D} = 0.6$ ) بوده و طول بلانکت هم باید حداقل ۸ برابر تراز آب پشت دایک باشد. تنها استفاده از بلانکت یا پرده آب بند بتنهایی نمی تواند مانع از وقوع پدیده جوشش و فرسایش درونی

جدول ۱: ضرایب وزنی لین و مشاهدات آزمایشگاهی برای تعیین محدوده حساس به جوشش و فرسایش درونی

روش		$d/D = .12$	$d/D = .14$	$d/D = .16$	$d/D = .18$	شرایط آب بالادست
لین (۱۹۱۲)	$L_B/h_m = 0$	۳/۶	۴/۴	۵/۲	۶/۰	$h/H = 0.5$
	$L_B/h_m = 4$	۴/۹	۵/۷	۶/۵	۷/۳	
	$L_B/h_m = 8$	۶/۲	۷/۰	۷/۸	۸/۶	
	$L_B/h_m = 12$	۷/۵	۸/۳	۹/۱	۹/۹	
	$L_B/h_m = 14$	۸/۲	۹/۰	۹/۸	۱۰/۶	
مشاهدات آزمایشگاهی (تحقیق حاضر)	$L_B/h_m = 0$	× جوشش عمومی	× جوشش عمومی	× جوشش عمومی	-	$h/H = 0.5$
	$L_B/h_m = 4$	×× جوشش موضعی	-	-	-	
	$L_B/h_m = 8$	-	-	-	-	
	$L_B/h_m = 12$	-	-	-	-	
	$L_B/h_m = 14$	-	-	-	-	

\* منظور از جوشش عمومی، بوجود آمدن جوشش در تمام طول پایین دست دایک است.

\*\* منظور از جوشش موضعی، اتفاق افتادن جوشش بصورت نقطه ای در پایین دست دایک است. در سایر موارد جوشش اتفاق نیفتاده است.

چیزی ذکر نشده، جوشش اتفاق نیفتاده است. با توجه به اینکه پی مورد استفاده در این تحقیق، ماسه ای ریز بوده لذا ضریب وزنی نشن براساس پیشنهاد لین ۷ تعیین گردید. بر اساس نظر لین

همانگونه که در جدول شماره ۱ مشاهده می شود در سه حالت، جوشش به صورت عمومی و در یک حالت دیگر نیز به صورت موضعی اتفاق افتاده است. در سایر حالات که در جدول

استفاده قرارگیرند.

- نتایج ارائه شده در این تحقیق برای سازه‌های ساحلی، بندهای انحرافی، سپرها و خاکریزهای مستقر بر روی پی‌های آبرفتی قابل کاربرد می‌باشد.

- روش لین که یک روش تجربی پرترفدار در طراحی مطمئن هیدرولیکی بندهای انحرافی در مقابل پدیده های جوشش و فرسایش درونی می‌باشد در این تحقیق که مختص پی آبرفتی بود ارزیابی گردید و عملکرد قابل قبولی را ارائه نمود.

- کاربرد مجزای هریک از اجزای آب‌بندی کننده در بهترین حالت منجر به کاهش ۶۰ درصدی جریان نشتی از پی سازه گردید.

- برای نشان دادن اینکه خطر فرسایش درونی و جوشش کاهش یافته است با استفاده از مشاهدات آزمایشگاهی و مفهوم گرادیان هیدرولیکی چگونگی وقوع پدیده جوشش و فرسایش درونی مورد بررسی قرار گرفت. برای عملکرد بهتر اجزای آب‌بندی کننده دایکها در برابر جوشش و فرسایش درونی مصالح پی بهتر است از کاربرد تلفیقی بلانکت و پرده آب‌بند استفاده گردد.

## ۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از معاونت‌های محترم پژوهشی دانشگاه تهران و پردیس کشاورزی و منابع طبیعی به خاطر حمایت‌های مالی و تجهیزاتی از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

برای حالت‌هایی که ضریب وزنی نشت کوچکتر از ۷ می باشد سازه درمقابل جوشش و فرسایش درونی مقاوم نیست و و برای اهداف طراحی پیشنهاد نمی‌گردد. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌گردد که روش لین در مقایسه با مشاهدات آزمایشگاهی، تمامی موارد بروز جوشش را پوشش داده است که از این حیث، روش مذکور عملکرد قابل قبولی را ارائه می‌دهد. خاطرنشان می‌سازد که در مقایسه با مشاهدات آزمایشگاهی این تحقیق، نتایج حاصل از روش لین کمی محافظه کارانه‌تر می‌باشد و این هم بدلیل کاربرد ضریب کاهشده یک-سوم در محاسبه ضریب وزنی نشت می‌باشد.

## ۴- نتیجه گیری

براساس آزمایشهای انجام شده می‌توان موارد زیر را نتیجه‌گیری نمود:

- نتایج مطالعات آزمایشگاهی نشان دادند که نسبت‌های  $L_B/h_m = 8$  و  $d/D = 0.8$  مقادیر بهینه طول بلانکت و عمق پرده آب‌بند (بصورت مجزا)، برای کنترل نشت می‌باشند و نسبت‌های بزرگتر از این مقادیر اثر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش کمیت نشت ندارند.

- نتایج بدست آمده فقط برای طراحی خاکریزها، دایک‌های ساحلی و سدهای خاکی مستقر بر پی‌های آبرفتی با هدف کنترل جوشش و کاهش نشت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

- نتایج بدست آمده در مورد رابطه بین تراز آب بالادست و دبی نشت در حالات مختلف، می‌تواند در مدیریت تراز آب مخزن در شرایط بحرانی و تداخل جبهه‌های آب شور و شیرین مورد

## ۶- مراجع

,Wollongong, august, A.A Balkema. 1993.

Koo, M.H., and Leap, D.I., "Modeling three-Dimensional Ground Water Flows by the Body-Fitted coordinate (BFC) method: I. Stationary Boundary Problems", *Transport in Porous Media* 30:217-339. 1998. [۶]

Koo, M.H., and Leap, D.I., "Modeling Three-Dimensional Ground Water flows by the Body-Fitted Coordinate (BFC) method: II. Free and Moving Boundary Problems", *Transport in Porous Media* 30:345-362. 1998. [۷]

Leliavsky, S. *Design Text Book in Civil Engineering: Design of Dams For percolation and Erosion*: Chapman and Hall press. 1965. [۸]

McNamee, J., "Seepage into a Sheeted Excavation", *Geotechnique*, the Institution of Civil Engineers, London; 4(1):229-41. 1949. [۹]

[۱] رحیمی، حسن، سدهای خاکی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول ۱۳۸۱.

[۲] Lee KK, Leap DI., "Simulation of a Free-Surface and Seepage Face using Boundary-fitted Coordinate System Method", *J. Hydrology*; 196:297-309. 1997.

[۳] Benmebarek, N, S. Benmebarek, and R. Kastner., "Numerical Studies of Seepage Failure of Sand within a Cofferdam", *Computers and Geotechnics* 32: 264-273. 2005.

[۴] Bennet, P, T., "The Effect of Blankets on Seepage Through Previous Foundation", *Trans., ASCE*, Vol. 111 . 1946.

[۵] Javan, M. Farjood, M.R., "Evaluation of Foundation Seepage at Doroodzan Earth Dam", *Proceeding of the international conference on environmental management, Geo-Water and Engineering Aspects*. Feb. 8-11

## *Archive of SID*

Streeter V.L and Wylie, E.B. "Fluid Mechanics" [۱۲]  
McGraw-Hill . 1979.

Terzaghi, K., "Theoretical Soil Mechanics", John [۱۳]  
Wiley and Sons, New York. 1943.

Neuman, S. P., and Witherspoon, P. A. "Finite Element [۱۰]  
Method for Analyzing Steady Seepage with a Free  
Surface", Water Resources Research .6: 889–897. 1970.

Sedghi-asl, M.. "Optimization of Seepage Control [۱۱]  
Measures in Coastal Dikes using Laboratory and  
Numerical Models", M.Sc Thesis, Department of  
Irrigation and Reclamation Engineering, University of  
Tehran, Iran(in Farsi) 2005.