

Underseepage Analysis of Levees on Three- Layer Foundations

Torabi, S.O., Ph.D. Student, Dep. Of Civil Eng., Sharif University of Technology
Tajrishy, M, Asst. Prof., Dep. Of Civil Eng., Sharif University of Technology

Abstract :

In this article a computer model (LEVEEWRC) of underseepage analysis through levees on hree-layer foundations is presented. To test and verify this model, field data from the piezometer reading of the Mississippi River levees during flood events were used. This result showed that the model can be used to predict the potential of piping or sand boils. At the end of this article, applications of the proposed models were shown for the Sistan River levees. The results show the potential of sands boils and / or piping problems being present in the Sistan River at some cross – sections, however further field investigation is recommended.



شکل ۱- نمونه‌هایی از پدیده غلیان ماسه (Sand boils) از فروکش کردن سیلاب سال ۱۹۹۷ رودخانه می‌سی‌سی‌پی.

ورودی و نتایج خروجی برای کمک در کنترل بهتر روی ورود اطلاعات و تفسیر نتایج بهره‌مند است. هم‌چنین، برنامه می‌تواند برای تحلیل و طراحی آبراهه‌ها^۱ چاله‌های برداشت^۲ و غیره بکار رود.

برخی مزایای برنامه LEVEEWRC نسبت به نسخه قبلی و دیگر نسخه‌ها عبارت‌است از توانایی مدل کردن پی سه لایه‌ای شامل لایه پوشش فوقانی نفوذناپذیر رسی، لایه میانی نیمه‌نفوذپذیر و زیر لایه نفوذپذیر ماسه‌ای؛ ورود داده‌ها در سیستمی ساده‌تر و مختصرتر از برنامه‌های المان محدود چند منظوره؛ بالا بودن سرعت دستیابی به جواب، نیاز به حافظه کمتر و سیستم‌های سخت‌افزاری کم هزینه‌تر؛ و هم‌چنین تنظیم خروجی در قالبی معنی‌دار و سهل‌تر برای استفاده کاربر.

تراوش از زیرگوره - در این مطالعه، شرایط زیر سطحی گوره در دره‌های آبرفتی در حالت سه لایه‌ای مدل شده است. در حالت فوق‌الذکر، به ازای شرایط معین هندسه و خواص خاک، امکان وقوع گرادیان رو به بالای بیش از حد در ساحل خشک گوره کنترل شده و ایمنی در مقابل وقوع غلیان ماسه بررسی می‌شود. تحلیل زیرتراوش برای پیش‌بینی مقادیر هد پیزومتر در امتداد وجه مشترک بین پوشش فوقانی با لایه میانی و لایه میانی با زیر لایه نفوذپذیر (حداقل در پنجه ساحلی گوره) و گرادیان جریان از بین لایه میانی و پوشش فوقانی به صورت تابعی از تراز آب سمت رودخانه و ساحل خشک گوره انجام می‌گیرد. بعلاوه، تحلیل مذکور را می‌توان برای تشخیص اثرات ابزار دقیق پیشنهادی و یا موجود به کار برد.

سه‌لایه‌ای منظم و LEVEECOR برای مدل کردن گوره‌های واقع در قوس رودخانه منتهی شد. در حقیقت، بسط و گسترش این برنامه‌ها مقدمه‌ای است بر اثبات کارایی و امکان‌پذیری روش‌های عددی در حل مسائل مربوط به زیرتراوش [۲۲، ۲۴، ۳۱ و ۳۲]. نتیجه فعالیت‌های ولف، جابر و همکاران [۳۳، ۳۴] در سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۴ در قالب نرم‌افزار LEVEEMSU ارائه گردید. این نرم‌افزار، نسخه‌ای ثانویه از LEVEEIRR به همراه برخی اضافات می‌باشد. این برنامه از روش عددی تفاضل محدود برای تحلیل یک‌بعدی زیرتراوش در مقاطع عرضی دو بعدی گوره با هندسه و خواص نامنظم استفاده می‌کند. مشخصه نرم‌افزار LEVEEMSU این است که پی زیر گوره را در دو لایه مدل می‌کند. این دو لایه شامل لایه پوشش فوقانی نفوذناپذیر یا نیمه‌نفوذپذیر رسی همراه با زیر لایه نفوذپذیر شنی می‌باشند.

در مقاله حاضر، نحوه استفاده از یک برنامه کامپیوتری جدید به نام LEVEEWRC، برای تحلیل زیرتراوش گوره ارائه می‌گردد. برنامه LEVEEWRC نسخه تکمیل شده LEVEEMSU می‌باشد. این برنامه، روش عددی تفاضل محدود را برای تحلیل یک‌بعدی زیرتراوش در مقاطع عرضی دو بعدی گوره با هندسه و خواص نامنظم، استفاده می‌کند. در این برنامه ضخامت و تراز لایه‌های خاک، سطح زمین و تالاب (انباشته شده در پشت گوره)، همگی می‌توانند در جهت افق تغییر یابند. نفوذپذیری پوشش فوقانی دو سمت گوره را می‌توان به صورت تابعی از ضخامت پتو به صورت یک متغیر در نظر گرفت و یا مقداری ثابت بر آن اختصاص داد. هم‌چنین در این برنامه هدها و گرادیان‌ها به صورت تابعی از فاصله افقی محاسبه می‌شوند. برنامه از یک نمایش گرافیکی از فایل

تحلیل زیرتراوش خاکریزهای سیل‌بند (گوره‌ها) واقع بر روی پی‌های سه لایه‌ای

مسعود تجریشی *

سید اویس ترابی *

چکیده

در این مقاله مدل عددی ساده‌ای برای تحلیل زیرتراوش گوره به همراه نمایش حوزه جریان به صورت پی سه لایه‌ای به دست آمده‌است. برای ارزیابی اعتبار مدل سه لایه‌ای، داده‌های پیزومتری مربوط به گوره جزیره اسنی (واقع در کوئینسی از ایالت ایلینویز آمریکا) در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته و نتایج سازگاری قابل قبولی را نشان می‌دهد. در انتهای مقاله به عنوان مطالعه موردی، وضعیت گوره‌های رودخانه سیستان (واقع در استان سیستان و بلوچستان ایران) از لحاظ مسأله زیرتراوش با استفاده از این مدل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و مقطع بحرانی در این رودخانه از لحاظ پدیده زیرتراوش که می‌تواند باعث شکست گوره و سیل‌گرفتنی دشت گردد، تعیین شده‌است.

مقدمه

مقطع گوره را براساس ضعیف‌ترین مصالح مورد استفاده انتخاب می‌کنند.

در مراجع، موارد خرابی گوره شامل ترکیبی از زیر تراوش^۲، رگاب از پی^۳، سرریزی^۴ و ایجاد رخنه و شکاف^۵ ذکر شده‌است. در جاهایی که گوره‌ها بر روی پی نفوذپذیر همراه با یک پوشش فوقانی^۶ از مصالح با نفوذپذیری ناچیز ساخته شده باشند، در جریان تراوش به سمت بالای پوشش فوقانی ساحلی^۷ امکان ایجاد گرادیان هیدرولیکی بیش از حد وجود دارد. گرادیان‌های بیش از حد، باعث غلیان ماسه^۸، رگاب^۹ و فرسایش زیرسطحی^{۱۰} می‌شوند. شکل ۱ نمونه‌هایی از عوارض ناشی از غلیان ماسه را که حاصل زیر تراوش همراه با گرادیان‌های بیش از حد بوده، نشان می‌دهد.

در سال ۱۹۸۹، تلاش‌های ولف و همکاران به تهیه نرم‌افزارهایی همچون LEVEEIRR برای مدل کردن هندسه نامنظم؛ LEVEE3L برای مدل کردن پی‌های

گوره^۱ خاکریزی است که هدف اولیه آن حفاظت زمین‌های مجاور رودخانه (اعم از زمین‌های کشاورزی، تأسیسات صنعتی، تجاری و مسکونی) در برابر ترازهای بالای رودخانه، ناشی از سیلاب‌های فصلی می‌باشد. بنابراین گوره یا سیل‌بند، سازه خاکی است که برای دوره‌های کوتاه چندروزه، یا چند هفته‌ای و یا یک دوره یک‌ساله تحت بارگذاری آب واقع می‌شود. اگرچه گوره‌ها مشابه سدهای خاکی کوچک هستند، اما در موارد زیر با سدها فرق دارند:

الف- گوره ممکن است تنها در یک دوره کوتاه

زمانی بیش از حد موثنتگی اشباع شود.

ب- درجه اهمیت گوره را عمدتاً نیازمندی‌های حفاظت در برابر سیل دیکته می‌کند، به طوری که غالباً گوره‌ها را بر روی پی‌های ضعیف می‌سازند.

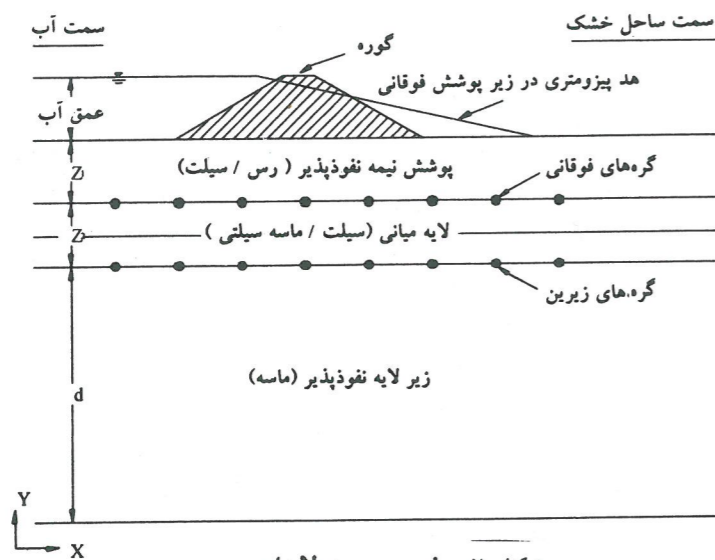
ج- گوره‌ها معمولاً از برداشت چاله‌های سطحی و یا از حفر کانال‌های مجاور گوره به دست می‌آیند، به طوری که عموماً انباشته‌ای از مصالح ناهمگن و دور از ایده‌آل مهیا می‌شود. به همین جهت، به منظور مقاصد طراحی،

1- Levee

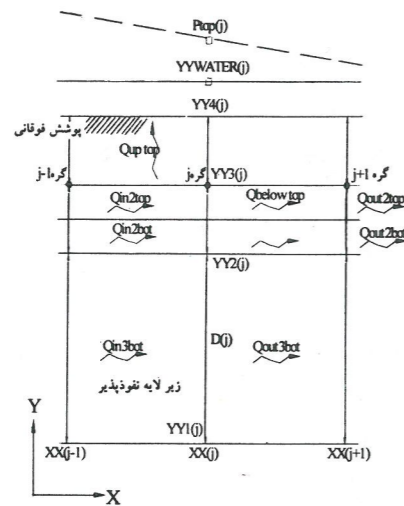
- 2- Underseepage
- 3- Piping
- 4- Overtopping
- 5- Breaching
- 6- Top blanket
- 7- Landside
- 8- Sand boils
- 9- Piping
- 10- Subsurface erosion

* دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف
** استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

- 1- Ditches
- 2- Borrow Pits



شکل ۲- طرح پی سه لایه‌ای



شکل ۳- گسسته‌سازی پی سه لایه‌ای برای مدل سازی تفاضل محدود.

روش حل - برای مدل سه لایه‌ای، معادلات پیوستگی سیستم روی دامنه جریان به کار می‌روند. بدین منظور دو معادله جریان غیر کوپله به دست آمده برای گروه‌های فوقانی و تحتانی در نظر گرفته می‌شوند. با استفاده از روش تفاضل محدود، هد پیزومتریک در گروه فوقانی J با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_i(J) = \frac{C_{1t} P_i(J-1) + C_{2t} P_b(J) + C_{3t} YYwater(J) + C_{4t} P_i(J+1)}{C_{1t} + C_{2t} + C_{3t} + C_{4t}} \quad (3)$$

- $K_{mx}(J)$ = نفوذپذیری افقی لایه میانی در گروه J
- $K_{my}(J)$ = نفوذپذیری قائم لایه میانی در گروه J
- $K_{by}(J)$ = نفوذپذیری قائم پوشش فوقانی در گروه J
- $Z_1(J)$ = ضخامت پوشش فوقانی در گروه J
- $Z_2(J)$ = ضخامت لایه میانی در گروه J
- $XX(J)$ = مختصات افقی گروه J
- $P_i(J)$ = هد پیزومتریک گروه J در بخش فوقانی لایه میانی
- $P_b(J)$ = هد پیزومتریک گروه J در بخش تحتانی لایه میانی

تحلیل زیرتراوش گوره‌ها - مدل سه لایه‌ای

در بسیاری از حالات کاربردی، بهتر است شرایط زیرسطحی پی گوره، با استفاده از ارائه مشخصات سه لایه‌ای به جای دو لایه مدل شود. چنین جالاتی در مجموعه‌های زمین‌شناسی دیده می‌شود که پوشش فوقانی، شامل میان لایه‌های سیلتی، ماسه‌ای و رسی باشد. در این حالت‌ها، لایه زیرین پوشش فوقانی را می‌توان به شکل یک ناحیه انتقالی از تمام سیلت به ماسه سیلتی در نظر گرفت. معمولاً چنین نواحی دارای مقدار نفوذپذیری نقصانی ما بین نفوذپذیری نسبتاً کم پوشش فوقانی و نفوذپذیری زیاد پی می‌باشند. مدل سه لایه‌ای، شامل یک پوشش فوقانی نیمه نفوذپذیر، یک حد واسط یا لایه میانی سیلتی یا ماسه سیلتی، و یک زیر لایه نفوذپذیر ماسه‌ای می‌باشد. شکل ۲ به صورت شماتیک، این مدل سه لایه‌ای را نشان می‌دهد.

با استفاده از طرح مدل سه‌لایه‌ای، در این نرم‌افزار جریان داخل پی طوری مدل شده است که در هنگام شرایط سیلابی رودخانه، یک جریان تراوشی به سمت پایین از میان پوشش فوقانی سمت زیرآب گوره ایجاد شود. سپس زیرتراوش در لایه میانی، در دو راستای افقی و قائم جریان یافته و در ادامه از داخل پی نفوذپذیر، در راستای افقی جریان می‌یابد. برای سمت ساحل خشک گوره نیز بردارهای جریان مشابه حالت فوق فرض شده است با این تفاوت که جریان قائم از داخل پوشش فوقانی و لایه میانی در جهت رو به بالا انجام گیرد. با در نظر گرفتن دو خط گرهی در امتداد وجه میانی بین پی و لایه میانی، و متناظراً لایه میانی و پوشش فوقانی، یک حل عددی مناسبی به دست می‌آید. الگوریتم حل مسئله بر این فرض استوار است که لایه میانی را می‌توان به دو بخش مساوی تقسیم کرد به نحوی که در نیمه فوقانی لایه مذکور، جریان در گره‌های فوقانی متمرکز شده است، و در نیمه پایینی نیز جریان در گره‌های تحتانی متمرکز شده باشد. شکل ۳، شرایط مدل مذکور را در گره‌ها نشان می‌دهد. در این مدل، معادلات پیوستگی برای گره‌های فوقانی و تحتانی به صورت زیر بسط داده می‌شوند:

الف - گره‌های فوقانی

براساس قوانین بقای جرم و پیوستگی، جریان ورودی و خروجی در هر گره بایستی متعادل باشد. در سمت

ساحل خشک گوره، معادله پیوستگی را می‌توان به این صورت نوشت:

$$Q_{in2top} + Q_{belowtop} - Q_{out2top} - Q_{uptop} = 0 \quad (1)$$

به صورتی که،

- Q_{in2top} = جریان افقی در نیمه فوقانی لایه میانی از گره مجاور سمت چپ،
- $Q_{belowtop}$ = جریان قائم در لایه میانی از گره پایینی مجاور،
- $Q_{out2top}$ = جریان افقی در نیمه فوقانی لایه میانی به سمت گره مجاور سمت راست و
- Q_{uptop} = جریان قائم در داخل پوشش فوقانی می‌باشد. در ساحل سمت آب گوره نیز معادله مشابهی استفاده می‌شود منتها Q_{uptop} و $Q_{belowtop}$ منفی فرض می‌شوند. در زیر خود گوره، مقدار Q_{uptop} برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

ب- گره‌های تحتانی

با استفاده از قانون بقای جرم متمرکز در گره‌های تحتانی ساحل خشک گوره، معادله پیوستگی را به صورت زیر می‌توان نوشت:

(۲)

$$Q_{in2bot} + Q_{in3bot} - Q_{out2bot} - Q_{out3bot} - Q_{up2bot} = 0$$

که در آن:

- Q_{in2bot} = جریان افقی در نیمه پایینی لایه میانی از گره مجاور سمت چپ،
- Q_{in3bot} = جریان از داخل پی نفوذپذیر از جانب گره پایینی مجاور سمت چپ،
- $Q_{out2bot}$ = جریان افقی در نیمه پایینی لایه میانی به سمت گره مجاور سمت راست،
- $Q_{out3bot}$ = جریان افقی از میان پی نفوذپذیر به سمت گره مجاور سمت راست و
- Q_{up2bot} = جریان قائم در گره پایینی لایه میانی می‌باشند. در سمت ساحل زیرآب گوره، معادله مشابهی استفاده می‌شود، منتها با فرض یک مقدار منفی برای Q_{up2bot} . متغیرها در معادلات فوق، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

که در آن :

$$C_{1t}(J) = \frac{K_{mx}(J)}{4} \left| \frac{Z_2(J) + Z_2(J-1)}{XX(J) - XX(J-1)} \right|$$

$$C_{2t}(J) = \frac{K_{my}(J)}{2} \left| \frac{XX(J+1) - XX(J-1)}{Z_2(J)} \right|$$

$$C_{3t}(J) = \frac{K_{by}(J)}{2} \left| \frac{XX(J+1) - XX(J-1)}{Z_1(J)} \right|$$

$$C_{4t}(J) = \frac{K_{mx}(J)}{4} \left| \frac{Z_2(J+1) + Z_2(J)}{XX(J+1) - XX(J)} \right|$$

و $YYwater(J) =$ تراز آب انباشته شده (یا تراز سطح زمین) در گره J می باشد.

به طور مشابه، هد پیزومتریک در هر گره تحتانی J ، $P_b(J)$ را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$P_b(J) = \frac{(C_1b + C_2b)P_b(J-1) + C_3bP_t(J) + (C_4b + C_5b)P_b(J+1)}{C_1b + C_2b + C_3b + C_4b + C_5b} \quad (4)$$

که در آن :

$$C_{1b}(J) = \frac{K_{mx}(J)}{4} \left| \frac{Z_2(J) + Z_2(J-1)}{XX(J) - XX(J-1)} \right|$$

$$C_{2b}(J) = \frac{K_{fx}(J)}{2} \left| \frac{d(J) - d(J-1)}{XX(J) - XX(J-1)} \right|$$

$$C_{3b}(J) = \frac{K_{my}(J)}{2} \left| \frac{XX(J+1) - XX(J-1)}{Z_2(J)} \right|$$

$$C_{4b}(J) = \frac{K_{mx}(J)}{4} \left| \frac{Z_2(J+1) + Z_2(J)}{XX(J+1) - XX(J)} \right|$$

$$C_{5b}(J) = \frac{K_{fx}(J)}{2} \left| \frac{d(J+1) + d(J)}{XX(J+1) - XX(J)} \right|$$

پاسخ مسأله برای مقادیر $P_t(J)$ و $P_b(J)$ با اعمال شرایط مرزی مسأله در مرزهای ورود و خروج جریان و کاربرد همزمان روش های سعی و خطای پیشرو و پس رو به دست می آید. روند تکرار سعی و خطا تا جایی ادامه می یابد که یک همگرایی از پیش تعیین شده برای $P_t(J)$ و $P_b(J)$ در طی دو تکرار متوالی حاصل شود. با حل مسأله، به ترتیب هدهای پیزومتریک در زیر پوشش فوقانی و در وجه مشترک بین لایه میانی و پی به دست می آید.

ارزیابی اعتبار مدل سه لایه ای

در این بخش، اعتبار مدل سه لایه ای تحلیل زیرتراوش گوره ها با استفاده از اطلاعات پیزومتری گوره های جزیره اسنی^۱ از رودخانه می سی سی پی، مورد ارزیابی قرار می گیرد [۳۵ و ۱]. جزیره اسنی در ساحل غربی پایین دست رودخانه می سی سی پی واقع در بخش کویبنسی^۲ از ایالت ایلینویز^۳ آمریکا واقع شده است. تراز تاج گوره در این ناحیه برابر ۱۴۴/۱ متر و تراز متوسط سطح زمین در پنجه گوره، تقریباً برابر ۱۳۹/۸ متر می باشد.

شرایط تراوش - در ناحیه فوق الذکر، شش محدوده پیزومتری A, B, F, G, H و I به کار رفته است. داده های استفاده شده در این مطالعه از محدوده پیزومتری F به دست آمده است. محدوده F در ۳۰۰ مایلی رودخانه واقع شده و در ماه نوامبر ۱۹۵۴ قرائت شده است. داده ها از چهار لوله پیزومتری باز (F-1 تا F-4) و در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۵ پایش شده اند (جدول ۱).

گزارش هایی مبنی بر وجود مسأله تراوش در محل مذکور ارائه شده است [۲۱]. این گزارش ها، بیان می کنند که وقتی در سال ۱۹۶۰ میلادی سطح رودخانه به تراز ۱۴۲/۹ متری رسیده، پدیده های تراوش در پنجه، غلیان ماسه و Pin boils رؤیت شده است. پدیده آشکار تراوش به ویژه در تراز سطح آب ۱۴۴/۵ متری رودخانه، در پنجه مشاهده شده است.

شرایط خاک - جزییات پروفیل خاک در محل مورد نظر، طی گزارش های مربوطه بیان شده است [۱۸ و ۲۹].

1- Sny
2- Quincy
3- Illinois

جدول ۱- شماره پیزومتر، مکان و ترازهای اندازه گیری شده پیزومتری - جزیره اسنی (F).

تاریخ	تراز رودخانه (m)	F-1 واقع در ۳ متری سمت رودخانه نسبت به محور گوره (m)	F-2 واقع در ۹ متری ساحل خشک نسبت به محور گوره (m)	F-3 واقع در ۵۵ متری ساحل خشک نسبت به محور گوره (m)	F-4 واقع در ۱۰۰ متری ساحل خشک نسبت به محور گوره (m)
۱ آوریل ۱۹۶۰	۱۴۱/۳۵	۱۴۰/۵	۱۴۰/۲۳	۱۳۹/۷۳	۱۳۹/۰۰
۵ آوریل ۱۹۶۰	۱۴۱/۸۴	۱۴۰/۷۳	۱۴۰/۴۰	۱۳۹/۸۷	۱۳۹/۰۸
۸ آوریل ۱۹۶۰	۱۴۲/۳۶	۱۴۱/۰۰	۱۴۰/۵۳	۱۴۰/۰۰	۱۳۹/۱۰
۶ آوریل ۱۹۶۱	۱۴۱/۱۴	۱۴۰/۳۶	۱۴۰/۱۳	۱۳۹/۶۸	۱۳۸/۹۷
۲۲ مارس ۱۹۶۲	۱۴۰/۸۵	۱۴۰/۲۲	۱۴۰/۰۰	۱۳۹/۶۰	۱۳۹/۰۰
۲ مارس ۱۹۶۵	۱۴۲/۵۸	۱۴۱/۲۵	۱۴۰/۷۲	۱۴۰/۰۲	۱۳۹/۱۰

شرایط خاک - جزییات پروفیل خاک در محل مورد نظر، طی گزارش های مربوطه بیان شده است [۱۸ و ۲۹]. محدوده تغییرات ضخامت لایه فوقانی از ۱/۴۶ تا ۳/۰۵ متر بوده و عموماً شامل Lean clay به ضخامت ۱/۲۲-۰/۶۱ متر، یک ناحیه تبدیلی از جنس سیلت و یک زیر لایه ماسه سیلنتی می باشد. سنگ بستر از جنس Ordovician بوده و تراز سنگ بستر در این محل به مقدار قابل توجهی نسبت به ترازهای منطقه بالاتر است. به این ترتیب، در مقایسه با ضخامت ۳۰/۵ متری جاهای دیگر، ضخامت لایه نفوذپذیر در این مکان به طور تقریبی برابر ۱۰/۴ متر می باشد.

مقطع عرضی تعمیم یافته برای تحلیل در این مکان از گوره در شکل ۴ نشان داده شده است. بی نظمی های موجود در پروفیل، شامل یک آبراهه به عمق تقریبی ۰/۶۱ متر در سمت رودخانه نسبت به خط محوری گوره و یک پوشش فوقانی با ضخامت های متغیر است. خواص خاک و هندسه بکار رفته در تحلیل، در جدول ۲ نشان داده شده اند.

طول خروجی $L_3 = 121/9$ m براساس زمین شناسی محل و عکس العمل های آهسته پیزومتر F-4 (در فاصله ۱۰۰ متری خط محوری گوره) نسبت به تغییرات سطح آب رودخانه انتخاب شده است. داده های اندازه گیری شده برای پیزومتر F-4 (به صورت تابعی از تراز رودخانه) نشان دهنده تغییرات ناچیز تراز پیزومتری در مقایسه با داده های حاصل از پیزومترهای F-1، F-2 و F-3 می باشد (جدول ۱).

بنابراین فرض شده است که مکان خروجی تراوش غالب، متناسب با مکان F-4 است. همچنین طول نشان داده شده برای پوشش فوقانی تقریباً $121/9$ m فرض شده است [۲۱]. در ضمن فرض شده که نفوذپذیری های پوشش فوقانی در دو سمت گوره با ضخامت پوشش فوقانی تغییر نکنند و تراز آب ساحلی منطبق بر سطح زمین است.

تحلیل انجام شده توسط مدل پیشنهادی LEVEEWRC با توجه به توضیحات پیشین و شکل ۴، مدل یک بعدی سه لایه ای پروفیل ذکر شده تهیه شده است. در ضمن، در این مطالعه نسبت k_{fx}/k_{by} برابر ۱۰۰۰ و نسبت k_{mx}/k_{my} (در لایه میانی) برابر ۴ فرض شده است. ترازهای پیزومتری پیش بینی شده توسط LEVEEWRC و مقادیر اندازه گیری شده پیزومترها در شکل های ۵ و ۶ ترسیم شده اند. همان طوری که مشاهده می شود، ترازهای پیزومتری اندازه گیری شده به نحو قابل قبولی توسط مدل LEVEEWRC پیش بینی شده است.

L_1 : فاصله از رودخانه تا پنجه سمت زیر آب گوره

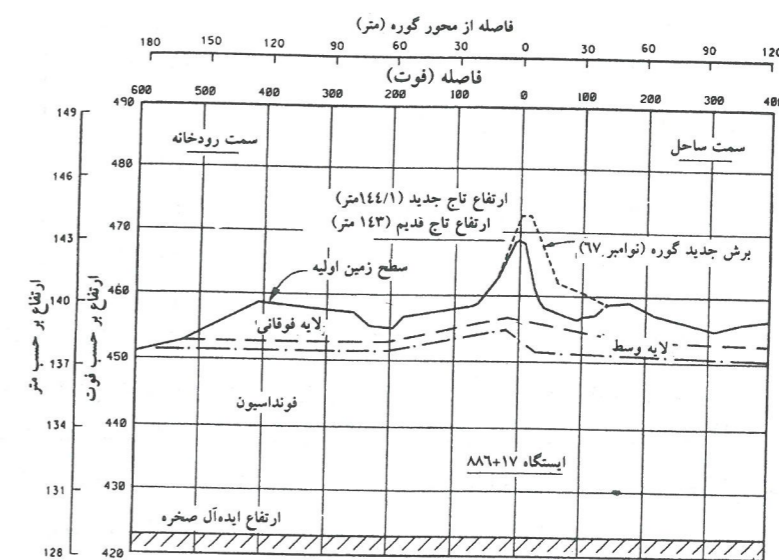
L_2 : عرض پایه گوره و Berm

L_3 : طول پی و لایه فوقانی در آن سوی پنجه ساحلی گوره

بیشترین ناسازگاری به میزان ۰/۳۷ درصد در پیزومتر F-2 و برای سیل سال ۱۹۶۵ می باشد. تراز پیزومتری اندازه گیری شده در محل پیزومتر F-4، عملاً برای

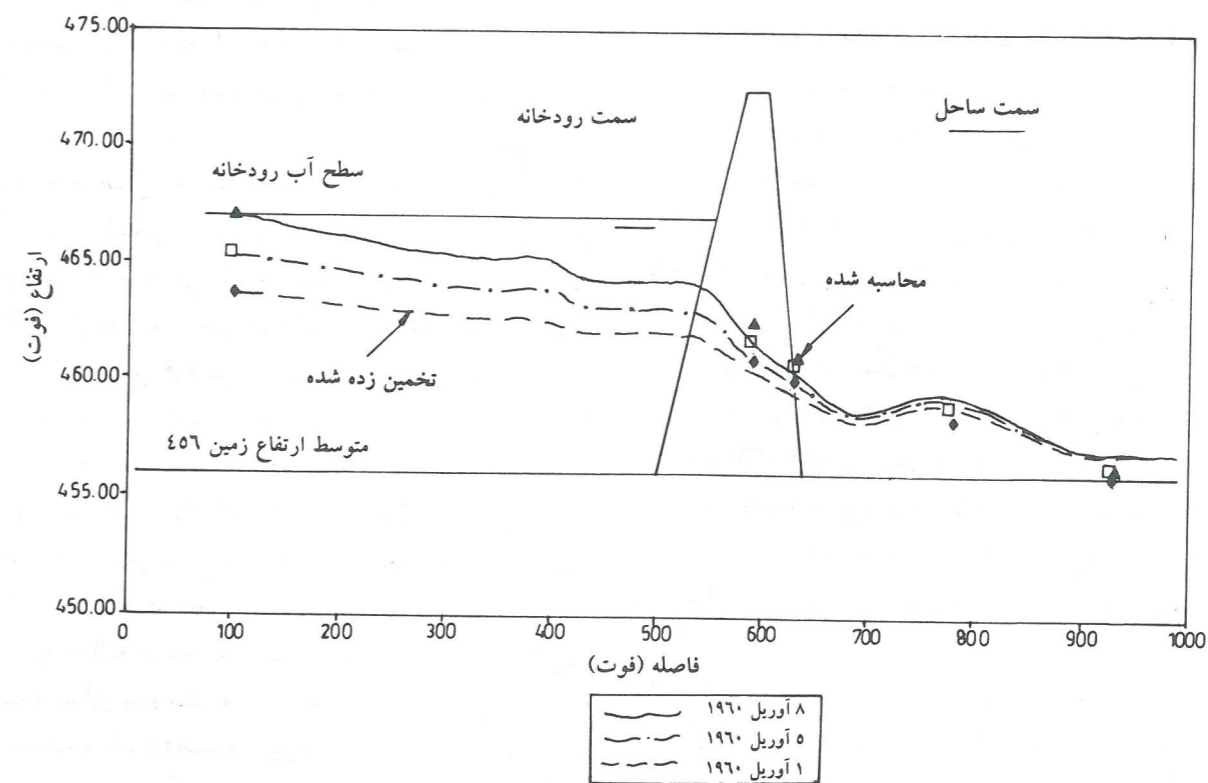
جدول ۲- پارامترهای تعمیم یافته برای تحلیل - جزیره اسنی (پیزومتر F).

کمیت	L_1	L_2	L_3	K_{fy}	K_{my}	K_{mx}
مقدار	۱۵۵/۵ m	۳۰/۵ m	۱۲۲ m	1×10^{-4} cm/s	5×10^{-3} cm/s	2×10^{-2} cm/s

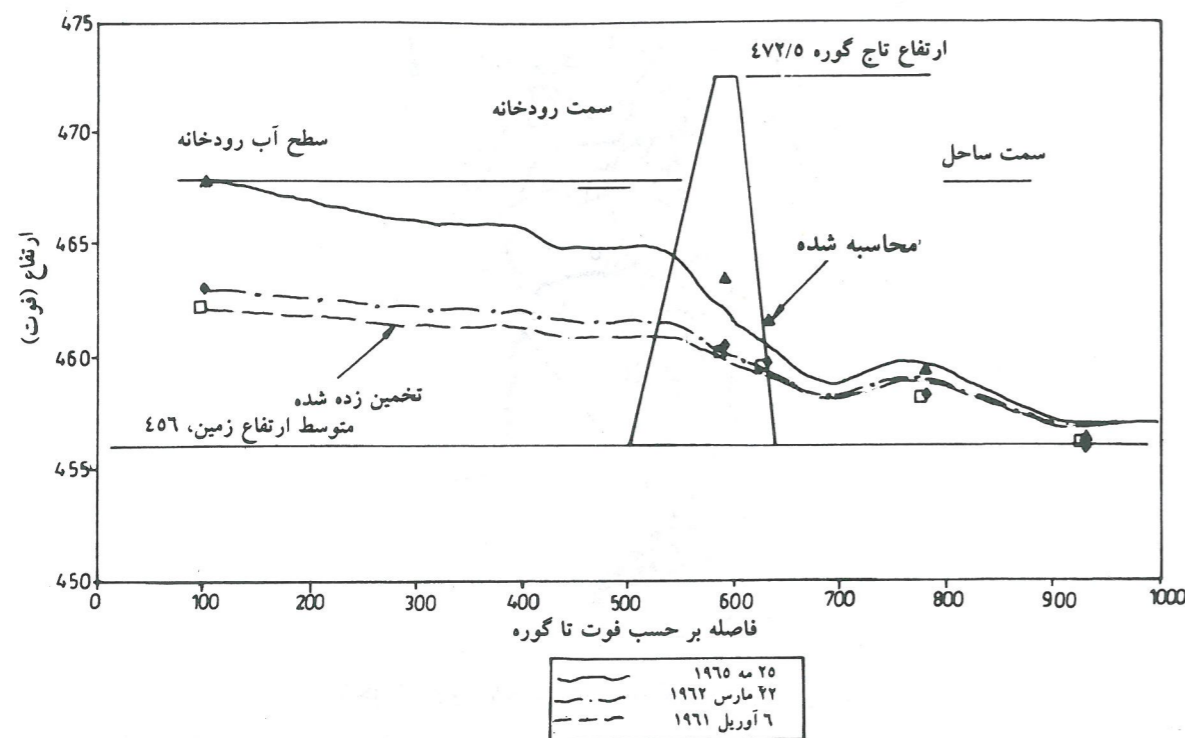


شکل ۴- مقطع عرضی و پروفیل زیرسطحی زمین در محلی که محدوده پیزومتری F در آن واقع شده است: گوره جزیره اسنی

شکل ۴- مقطع عرضی و پروفیل زیر سطحی زمین در محلی که محدوده پیزومتری "F" در آن واقع شده است: گوره جزیره اسنی.



شکل ۵- مقادیر پیش‌بینی شده هد پیزومتری توسط مدل، در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده برای رویداد سیل سال ۱۹۶۰ گوره جزیره اسنی.



شکل ۶- مقادیر پیش‌بینی شده هد پیزومتری توسط مدل، در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده برای رویداد سیلاب سال‌های ۱۹۶۱، ۱۹۶۲ و ۱۹۶۵ گوره جزیره اسنی.

جدول ۳- گرادین‌های خروجی در پنجه گوره - جزیره اسنی (پیزومتر F).

گرادین (خروجی)	Apr-60-1	Apr-60-4	Apr-60-4	Apr-61-4	Mar-62-3	Mar-65-3
تراز رودخانه	۱۴۱/۳۵ m	۱۴۱/۸۴ m	۱۴۲/۰۶ m	۱۴۱/۱۴ m	۱۴۰/۸۵ m	۱۴۲/۵۸ m
i	۰/۴۲	۰/۶۳	۰/۸۳	۰/۳۲	۰/۲	۰/۳

جدول ۴- گرادین‌های خروجی ماکزیمم در سطح گودی موجود در ساحل گوره.

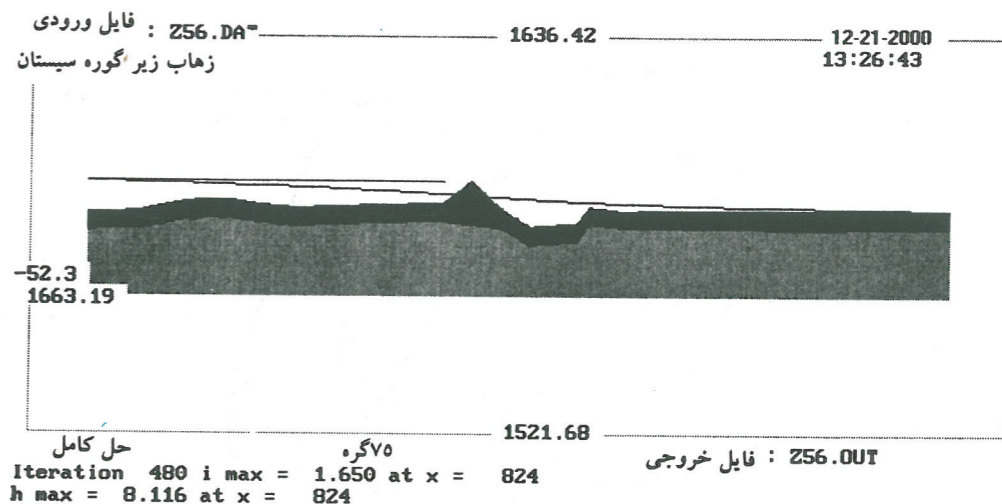
گرادین خروجی حداکثر	Apr-60-1	Apr-60-4	Apr-60-4	Apr-61-4	Mar-62-3	Mar-65-3
تراز رودخانه	۱۴۱/۳۵ m	۱۴۱/۸۴ m	۱۴۲/۰۶ m	۱۴۱/۱۴ m	۱۴۰/۸۵ m	۱۴۲/۵۸ m
i_{max}	۱/۱	۱/۲۵	۱/۴	۱/۰۳	۰/۹۱	۱/۵

نسبت به پنجه گوره) واقع در سطح گودی نشان داده شده در شکل ۴ ظاهر شده‌اند. مقادیر حداکثر گرادین پیش‌بینی شده در حدود ۰/۹ الی ۱/۵ متغیر است (جدول ۴). این مقادیر، از گرادین بحرانی تجاوز کرده و بنابراین دلالت بر احتمال وجود نیروی تراوش بلندکننده^۱ و غلیان ماسه در محل سطح گودی موردنظر دارند.

ترازهای متفاوت رودخانه در ترازهای مشابه و تقریباً هم سطح زمین باقی‌مانده است. گرادین‌های خروجی در پنجه ساحلی گوره در ترازهای متفاوت رودخانه، کمتر از واحد پیش‌بینی شده‌اند. جدول ۳، مقادیر گرادین‌های خروجی در پنجه گوره را براساس شرایط تحلیل نشان می‌دهد.

قابل ذکر است که در این منطقه، حداکثر گرادین‌های خروجی در پنجه گوره رخ نداده، بلکه در فاصله ۲۷ متری از خط محوری گوره (تقریباً در فاصله ۱۵ متری

1- Heavy seepage



شکل ۱۰- خروجی گرافیکی تحلیل زیرتراوش گوره ساحل سمت راست مقطع Z56.

عرضی گوره‌ها، از اطلاعات نقشه‌برداری که توسط مهندسین مشاور فرازمین و در سال ۱۳۷۸ برداشت و تنظیم شده‌اند، استفاده شد.

تنظیم اطلاعات برای تحلیل - با توجه به لوگ‌های انتخاب شده، ملاحظه شد که در این لوگ‌ها تنها وضعیت لایه‌بندی خاک در طبقات فوقانی مشخص شده‌اند و برای پارامترهای زه‌کشی خاک نظیر ضریب نفوذپذیری اطلاعاتی به دست نمی‌دهند. به همین جهت، به منظور تعیین ضرایب نفوذپذیری لایه‌های خاک مشخص شده در لوگ‌ها از جداول نفوذپذیری USBR استفاده گردید [۲۹].

حال با در دست داشتن جداول فوق‌الذکر، ضرایب نفوذپذیری خاک در لایه‌های مختلفی که در لوگ‌های گمانه‌ای SBH-1 الی SBH-10 مشخص شده‌است تعیین می‌شود [۶]. سپس با انطباق دو نقشه پلان مقاطع رودخانه سیستم [۷] و پلان لوگ‌های گمانه‌های مشاهده‌ای [۶]، مقطعی را که لوگ چاه مشاهده‌ای در کنار آن حفر شده، مشخص و برای ادامه کار در نظر گرفته می‌شوند. بدین ترتیب سه لوگ گمانه مشاهده‌ای SBH-4، SBH-6 و SBH-9 به ترتیب متناظر با مقاطع Z33، Z39 و Z56 انتخاب می‌شوند.

حال با فرض یکنواخت بودن ضخامت لایه‌ها در کل مقطع، تحلیل زیرتراوش گوره‌ها انجام گردید. مشاهده

بررسی مجموعه اطلاعات موجود - بررسی مسأله زیرتراوش، نیازمند داشتن اطلاعاتی در رابطه با وضعیت نفوذپذیری خاک منطقه، وضعیت لایه‌بندی خاک و توپوگرافی منطقه می‌باشد. طی پی‌گیری‌هایی که انجام شد، یک‌سری اطلاعات مربوط به لوگ چاه‌های مشاهده‌ای حفر شده توسط شرکت کاژه - سانیوی^۱ ژاپنی مربوط به سال ۱۹۷۰ میلادی به دست آمد. این لوگ‌ها از محل سد سیستم فعلی تهیه شده‌اند. در ادامه، سری دیگری از لوگ‌های چاه‌های مشاهده‌ای حفر شده توسط مهندسین مشاور تهران سحاب در دسترس قرار گرفت. این لوگ‌ها در سال ۱۳۷۲ شمسی و به منظور بررسی وضعیت پی گوره‌های رودخانه سیستم تهیه شده است. این مجموعه اطلاعاتی موجود، به منظور پوشش بانک اطلاعاتی داده‌های مطالعات زه‌کشی منطقه، کافی نبوده و نمی‌تواند بررسی کاملی را حمایت کند.

حال، با کمی اغماض و انجام فرضیات محافظه‌کارانه برای تعمیم اطلاعات موجود، می‌توان یک مطالعه و بررسی مقدماتی انجام داد. به همین جهت و با توجه به وضعیت مناسب‌تر لوگ‌های تهیه شده توسط مهندسین مشاور تهران سحاب، این سری اطلاعات لوگ‌های چاه‌های مشاهده‌ای جهت انجام مطالعات، انتخاب شدند. از طرفی جهت تعیین پروفیل سطح زمین در مقاطع

1- Kage-Sanyu

می‌شود که در مقاطع Z33 و Z39، مقادیر گرادیان هیدرولیکی خروجی مسأله‌ساز نمی‌باشد، ولی در مقطع Z56 (شکل ۱۰)، مقدار گرادیان هیدرولیکی ماکزیمم در کف آبراهه پای پنجه ساحلی گوره، مسأله‌ساز می‌نماید ($i_{max} = 1/65$). هر چند که اطلاعات موجود برای تحلیل انجام شده بسیار اندک بوده و تحلیل مورد نظر تقریبی است، ولی با توجه به وضعیت این مقطع و فرض انجام شده برای یکنواختی ضخامت لایه‌های آن حتی در محل آبراهه، تحلیل انجام شده تا حدی محافظه‌کارانه است. به همین دلیل، گرادیان هیدرولیکی بحرانی پیش‌بینی شده برای آن درخور توجه است. بنابراین توصیه می‌شود که در امر کنترل طرح و اجرای این مقطع دقت بیشتری شود. همان‌طور که مشاهده گردید، مجموعه اطلاعات پایه موجود در این زمینه بسیار ناچیز بوده و داده‌های مورد نیاز مدل LEVEEWRC برای انجام تحلیل زیر تراوش با اغماض زیادی (در جهت محافظه‌کارانه) مواجه شد. ولی با وجود برخورد دست‌بالایی که با مسأله مذکور انجام گرفت، نکات قابل تأملی در زمینه تحلیل زیرتراوش گوره‌های رودخانه سیستم مشاهده گشت که به معنی احساس نیاز مسأله به بررسی بیشتر می‌باشد. بنابراین پیشنهادهایی جهت انجام مطالعات دقیق‌تر عنوان می‌گردد:

- بررسی تاریخچه سیلاب‌های منطقه، مرور گزارش‌های رسیده و ثبت مشاهدات و تجربیات محلی ساکنین دشت سیستم در رابطه با احتمال وقوع عوارض ناشی از پدیده زیرتراوش گوره‌های رودخانه سیستم.

- برداشت پلان و پروفیل دقیق گوره‌های رودخانه سیستم، و مشخص کردن مقاطع مشکوک گوره‌ها نسبت به پدیده زیرتراوش و یک‌سری مقاطع دلخواه برای انجام مطالعات صحرایی. گفتنی است که این کار به هماهنگی توأمان داده‌های برداشت شده، بازدیدهای صحرایی با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از بند قبلی و قضاوت مهندسی متناسب نیازمند است.

- انجام یک‌سری مطالعات میدانی شامل حفر چاه‌های مشاهده‌ای و تهیه لوگ چاه‌ها. پیشنهاد می‌گردد که سیستم تهیه این لوگ‌ها به گونه‌ای باشد که طرح کاملی از پروفیل خاک در مقاطع خاصی از گوره‌های سواحل سمت چپ و راست رودخانه سیستم را ارائه دهد.

- نصب و تنظیم سیستم ابزار دقیق لازم مانند لوله‌های پیزومتری در چند مقطع انتخابی از گوره‌ها به منظور واسنجی مدل LEVEEWRC با شرایط محلی رودخانه سیستم.

و در نهایت با جمع‌آوری اطلاعات فوق‌الذکر، می‌توان پیش‌بینی مناسبی از وضعیت گوره‌های سرتاسر رودخانه سیستم از جهت تحلیل زیرتراوش گوره‌ها ارائه نمود.

نتیجه‌گیری

اگرچه توانایی‌های LEVEEWRC قابل مقایسه با برنامه المان محدود چند منظوره نیست، ولی گسترش و استفاده این برنامه تک منظوره برای تحلیل و طراحی گوره‌ها مزایایی دربر خواهد داشت که عبارتند از [۱]:

الف- برنامه نسبتاً کوچک بوده و به راحتی قابل اجرا بر روی میکرو کامپیوترهای شخصی تحت سیستم عامل MS DOS و توانایی گرافیکی EGA می‌باشد.

ب- ورودی و خروجی برنامه مخصوصاً مطابق شرایط گوره می‌باشد. به طور مثال، برای به دست آوردن اطلاعات مربوط به گرادیان جریان از میان پوشش فوقانی توسط برنامه چند منظوره بایستی عملیات دستی نیز روی خروجی انجام گیرد.

ج- فرضیات انجام گرفته در تحلیل، مشابه فرضیات مربوط به تحلیل‌های مرسوم می‌باشد. بنابراین، پاسخ‌های برنامه به کاربر اجازه خواهد داد تا بتواند خود را با تحلیل مرسوم انجام شده منطبق ساخته و سپس آن را به شرایط واقعی پیچیده بسط دهد.

د- براساس آزمایش‌های گسترده و مطالعات پارامتری انجام گرفته بر روی برنامه، نتایج زیر را می‌توان به دست آورد:

مطالعات پارامتری نشان می‌دهند که برنامه سازگاری و رفتار معقولی نسبت به تغییرات در نفوذپذیری، شیب سطحی زمین، مکان آبراهه، و دیگر متغیرها از خود نشان می‌دهد.

نتایج مطالعه شیب سطحی زمین بیان می‌کند که بسیاری از اختلافات مشاهده شده میان گرادیان‌های جریان واقعی و اندازه‌گیری شده، می‌تواند تنها به اثرات شیب زمین مرتبط باشد.

18. Cedergren, H. R. (1977). " *Seepage, Drainage, and Flow Nets* ", John Wiley & Sons.
19. Desai, C. S. and Christian, J. T. (1977). " *Numerical Methods in Geotechnical Engineering* ", McGraw-Hill.
20. Bear, J. (1979). " *Hydraulics of Groundwater* ", McGraw-Hill.
21. Cunny, R.W. (1980). " *Documentation and Analysis of Rock Island Underseepage Data, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station* ", Technical Report GL-80-3, Vicksburg, MS.
22. Pakrefke, T.J. and Franco J.J. (1981). " *Investigation of Proposed Dike Systems on the Mississippi River* ", Miscellaneous Paper H-70-1, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
23. Marino, M. A. and Luthin, J. N. (1982). " *Seepage and Groundwater* ", Elsevier Scientific Publishing Company.
24. Barron, R.A. (1984). " *Mathematical Analysis of Landside Seepage Berms* ", Technical Report REMR-GT-1, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Washington, DC.
25. Daniel, D.E. (1985). " *Review of Piezometric Data for Various Ranges in the Rock Island District* ", Report to U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
26. Office, Chief of Engineers. (1986). " *Design and Construction of Levees* ", EM 1110-2-1913, Washington, DC.
27. Office, Chief of Engineers. (1986). " *Seepage Analysis and Control for Dams* ", EM 1110-2-1901, Washington, DC.
28. Wolff, T.F. (1986). " *Design and Performance of Underseepage Controls* ": A Critical Review, Research Report Prepared for the U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Michigan State University, East Lansing, MI.
29. SEEP. (1987). " *A Finite Element Program for Seepage Analysis* ", Geo-Slope Programming Ltd, Calgray, Alberta, Canada.
30. Design Standard Embankment Dams. (1987). USBR, No 13.
31. Cunny, R.W., Agostinelli, V.M. Jr., and Taylor, H. M. (1989). " *Levee Underseepage Software User Manual and Validation* ", Technical Report REMR-GT-13, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Washington, DC.
32. Wolff, T.F. (1989). " *Levee Underseepage Analysis for Special Foundation Conditions* ", Technical Report REME-GT-11, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
33. Wolff, T.F. (1989). " *LEVEEMSU* ": A Software Package Designed for Levee Underseepage Analysis, Technical Report GL-89-13, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Washington, DC.
34. Gabr, M.A., Wolff, T., Taylor, H. and Brizendine, A. (1994). " *LEVEEMSU* ", Numerical Analysis Software for Levee Underseepage and Rehabilitation, Technical Report GL-92, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
35. Gabr, M.A., Wolff, T., Brizendine, A.L. and Taylor, H.M. (1996). " *Underseepage Analysis of Levees on Two - layer and Three - layer Foundation* ", Computers and Geotechnics, Vol. 18, No.2, 85-107.

شرایط واقعی را دقیق تر مدل کنند. این کار می تواند به پیش بینی های دقیق تری بیانجامد.

حفاظت در برابر سیل، سیستم پیچیده ای است شامل طراحی، ساخت، نگهداری، و ارزیابی کارایی گوره ها. یک برنامه تحلیلی نظیر LEVEEWRC می تواند حلقه ای از این سیستم باشد. اگر تجربه ثابت کند که برنامه می تواند قابلیت ارزیابی صحت و پیش بینی شرایط زیر تراوش را فراهم کند، بدین معنا خواهد بود که می توان شرایط طراحی را از نقطه نظر کاهش هزینه و بهبود ضریب ایمنی مورد ارزیابی قرار داد.

نتایج تحلیل انجام شده در مطالعه موردی نشان می دهد که نرخ های نفوذ پذیری صحرائی را می توان با تغییر سیستماتیک ورودی برنامه تا زمانی که انطباق قابل قبولی بر شرایط مشاهده ای به دست آید، تخمین زد. استفاده از برنامه، می تواند تحلیل عینی تری نسبت به تحلیل های مرسوم ارائه دهد، به طوری که تحلیلگر نیازی به ثابت در نظر گرفتن مقادیر طراحی برای پارامترها و ابعادی که در حقیقت متغیرند، ندارد.

LEVEEWRC ابزار تحلیل و طراحی سودمند و مناسبی را فراهم می کند به نحوی که اجازه می دهد تا طراحان،

منابع و مراجع

۱. ترابی، س.ا.، ۱۳۷۹، " بررسی عددی زیر تراوش در خاکریزها "، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی شریف.
۲. فکور، ح.، ۱۳۷۲، " بررسی تراوش دوبعدی با سطح آزاد در محیط همسان و غیرهمسان به روش اجزاء محدود "، پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش سازه های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی شریف.
۳. پالیزیان، پ.، ۱۳۷۵، " بررسی سیستم های اندازه گیری و کنترل تراوش در سدهای خاکی "، مطالعه موردی سدهای گلپایگان، گرگان و قشلاق، پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش سازه های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی شریف.
۴. شمسایی، ا.، ۱۳۷۶، " هیدرولیک جریان آب در محیط متخلخل "، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۵. بنی احمدی، ش.، ۱۳۷۷، " حل عددی دبی عبوری از بدنه سدهای خاکی "، پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش سازه های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی شریف.
۶. شرکت مهندسين مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۲.
۷. شرکت مهندسين مشاور فرازمين، ۱۳۷۸.
۸. شهرکی، ا.، ۱۳۷۹، کارشناس دفتر امور مهندسی آب منطقه ای زابل.
9. Bennett, P.T. (1946). " *The Effect of Blankets on the Seepage through Pervious Foundation* ", Trans. ASCE, 11, 215.
10. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. (1956). " *Investigation of Underseepage and its Control, Lower Mississippi River Levees* ", Technical Memorandum 3-424, Vicksburg, MS.
11. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, (1956). " *Investigation of Underseepage and its Control, Mississippi River Levees, St. Louis District* ", Alton to Gale, IL. Technical Memorandum 3-430, Vicksburg, MS.
12. Turnbull, W.J., and Mansur, C.I. (1961). " *Investigation of Underseepage in Mississippi River Levees* ", Trans. ASCE, 126, 1486-1539.
13. Turnbull, W.J., and Mansur, C.I. (1961). " *Design of Control Measures for Dams and Levees* ", Trans. ASCE, 126, 1540-1568.
14. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, (1964). " *Investigation of Underseepage and its Control, Lower Mississippi River Levees* ", Appendix E: Analysis of 1961 Piezometric Data, Technical Memorandum 3-424, Vicksburg, MS.
15. Uginchus, A. A. (1970). " *Seepage through Earth Dams* ", Jerusalem, Israel Program for Scientific Translation.
16. Tracy, F.T. (1973). " *A Plane and Axisymmetric Finite Element Program for Steady State and Transient Problem* ", Miscellaneous Paper K-73-4, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
17. Wolff, T.F. (1974). " *Performance of Underseepage Control Measures During the 1973 Mississippi River Flood, Columbia Levee District, Illinois* ", M.Sc. Thesis, Oklahoma State University.