بررسی عددی اثر زهکش طولی در زیر کانال پوشش‌دار برای کاهش نیروی بالابرنده

فرزین سلماسی*[۱]، بهرام نورانی و بهروز اوقاتی[۲]

چکیده

اجرای سیستم زهکش زیر پوشش بتنی کانال‌ها جهت کاهش زیرفشار و جلوگیری از شکست، بالا آمدگی یا بروز درز و ترک در پوشش به خصوص در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا می‌باشد، امری ضروری است. زهکش‌ها باعث کاهش زیرفشار در زیر سازه و افزایش پایداری پوشش کانال می‌شوند. موقعیت این زهکش‌ها می‌تواند نقش به سزایی در کاهش نیروی بالابرنده داشته باشد. هدف اصلی از این تحقیق، بررسی کمی تاثیر زهکش لوله‌ای در زیر کانال پوشش شده جهت کاهش زیرفشار است که نهایتاً به پایداری پوشش کانال و دوام بیشتر آن کمک می‌کند. برای نیل به این هدف از نرم افزار SEEP/W که متعلق به بسته نرم افزاری Geo-Studio می‌باشد، استفاده شده است. نتایج نشان داد که استفاده از زهکش به عنوان عامل کارساز در حذف و تقلیل آثار سوء آب‌های زیرزمینی می‌تواند مطرح گردد. هم‌چنین هرچه زهکش‌ها در گوشه‌های تحتانی و عمق‌های پایین کف کانال قرار گیرد، سطح ایستابی در موقعیت پایین‌تری نسبت به کف کانال قرار می‌گیرد و به تبع آن نیروی بالابرنده وارده شده کمتر می‌گردد. عمق کارگذاری زهکش‌ها ثابت نبوده بلکه با بالا رفتن سطح ایستابی و کاهش قطر زهکش‌ها به تراز پایین‌تر منتقل می‌گردد و بالعکس. معادلات رگرسیون خطی و غیر خطی برای محاسبه نیروی بالابرنده زیر کانال بدست آمد که طراحان می‌توانند از آنها استفاده نمایند. مقایسه روش عددی تحقیق حاضر با روش آزمایشگاهی نیز انجام گرفت و تطابق نسبتا خوبی بین نتایج را نشان داد.

***واژه‌های کلیدی:** زهکش لوله‌ای، سطح آب زیرزمینی، کانال‌های پوشش‌دار، نیروی زیرفشار، SEEP/W.*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۱۸

۱- عضو هیات علمی دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب.
۲- دانش آموخته های کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب.
*_ نویسنده مسئول

Numerical Investigation of Longitudinal Drain Effect Under Lined Canal on Uplift Reduction

Farzin Salmasi*[1], Bahram Nourani and Behrouz Oghati[2]

Abstract

Construction of drainage system under concrete lined canals for uplift reduction, prevention of failure, heaving or creation of crack in lining is necessary when groundwater level is high. Drains can reduce the uplift and improve the canal stability. Proper location of these drains can have significant effect on uplift reduction. The purpose of this study is the numerical investigation of drains for uplift reduction, which can help canal durability and stability of its lining. For this purpose, the SEEP/W software as a subgroup of Geo-studio software was implemented. Results showed that application of drains under the canal bed could decrease/omit improper effect of groundwater level. Installation of drains under the edges of canal bed or in deep depth causes higher decreasing in groundwater depth, and more reduction in uplift pressure. Drains depths are not constant and increase with increasing groundwater level or reduction in drains diameters and vice versa. Linear and nonlinear regression equations, useful for designers, were obtained for estimation of uplift pressure. Comparison between numerical results and experimental observations were carried out and showed good agreement.

***Keywords:** Drain pipe, Groundwater level, Lined canals, SEEP/W, Uplift pressure.*

Received: 2016/01/26
Accepted: 2016/07/08

1- *Department of water engineering, Agriculture faculty, University of Tabriz.* E-*mail:* Salmasi@tabrizu.ac.ir
2- *Graduate students of hydraulic structures, Department of water engineering, Agriculture faculty, Tabriz University*.
*- Corresponding Author

مقدمه

در مناطقی که نوسانات آب زیرزمینی در فصول مختلف قابل توجه می‌باشد، احتمال دارد که در فصول پر باران (یا در اثر آبیاری زیاد) کف کانال پایین تر از سطح آب زیرزمینی و در فصول خشک بالای آن قرار گیرد. هم‌چنین توسعه عملیات کشاورزی در اطراف کانال‌ها پس از ساخت می-تواند تراز آب زیرزمینی را افزایش داده و به حد بحرانی نزدیک کند. بحرانی‌ترین شرایط در این کانال‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که کانال کاملاً خالی از آب باشد و چنین وضعیتی در دوره ساخت حادث می‌گردد. در دوره بهره‌برداری نیز چنانچه آبگیری کانال به دلیل پایان فصل زراعی و یا انجام عملیات تعمیر، مرمت و لایروبی متوقف شود، شرایط کانال به وضعیت بحرانی از نظر فشار بالابرنده نزدیک خواهد شد. بنابراین پیش‌بینی این شرایط در تصمیم‌گیری برای استفاده یا عدم استفاده از کانال‌های مجهز به سامانه‌های زهکشی موثر خواهد بود.

زهکش کردن آب اطراف کانال و پایین انداختن تراز آب زیرزمینی ساده‌ترین و اجرایی‌ترین روش برای کنترل فشار بالابرنده وارد بر پوشش بتنی به شمار می‌آید. برای این منظور می‌توان از زهکش‌های زیرزمینی استفاده کرد. از جمله زهکش-های زیرزمینی قابل احداث می‌توان به احداث زهکش لوله‌ای در اطراف و زیر کف کانال‌ها اشاره کرد. در این روش، جریان آب زیرزمینی توسط لوله‌های زهکش طولی سوراخ‌دار که در تمام طول کانال ادامه یافته‌اند، جمع‌آوری شده و به صورت ثقلی یا پمپاژ به زهکش‌های طبیعی موجود در منطقه تخلیه می‌شود. نجفی‌پور (۱۳۸۷) کانال انتقال آب شهید چمران شبکه آبیاری دشت آزادگان در استان خوزستان به طول ۱۸ کیلومتر را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت عوامل تورم، وجود خاک‌های نامناسب و فشار آب زیرزمینی باعث خسارت در پوشش بتنی کانال شده است. چانگ و نیه[1] در سال ۱۹۹۶ عملکرد زهکش‌های ژئوکمپوزیت استفاده شده در زیر پی سازه-ها با سطح آب زیرزمینی بالا را بعد از سه سال مورد مطالعه قرار دادند. در این بررسی، داده‌های برداشت شده از پیزومترها نشان داد که زهکش‌ها فشار آب منفذی را تا حدود ۵۰ درصد مقدار اولیه کاهش داده و هیچ گونه تغییری در عملکرد این زهکش‌ها بعد از این مدت ایجاد نشده است. خسروی و رحیمی (۱۳۹۱) عملکرد فیلتر- زهکش ژئوکمپوزیت در زیر پوشش کانال در شرایط آزمایشگاهی و با اعمال وزن پوشش را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که یک لایه ژئوکمپوزیت با ضخامت کافی، می‌تواند فشار بالابرنده وارد بر پوشش بتنی را به طور موثر کاهش دهد. به دلیل اینکه وزن پوشش بتنی ممکن است باعث تغییر شکل و کاهش ضخامت لایه ژئوکمپوزیت شود، اثر این عامل نیز بر عملکرد مجموعه بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که وزن پوشش بتنی ضخامت لایه زهکش را کاهش داده و ظرفیت زهکشی سیستم را ۲ تا ۸ درصد کاهش داده است. پس می‌توان نتیجه گرفت در موارد استفاده از لایه‌های زهکش مصنوعی، اثر بار وارده از طرف پوشش بتنی نیز باید مدنظر قرارگیرد.

بختیاری و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی آزمایشگاهی و عددی عملکرد فیلترهای مصنوعی در کف و جداره مدل فیزیکی کانال انتقال آب پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از فیلتر زهکش می‌تواند در کاهش یا از بین بردن نیروی حاصل از فشار هیدرواستاتیک در زیر پوشش کانال های آبیاری بسیار موثر باشد. مطالعات آن‌ها هم‌چنین نشان داد که قرارگیری فیلتر زهکشی در دیواره‌های جانبی کانال تاثیری بر افزایش راندمان زهکش سیستم نداشته و لزوم استفاده از آن در شیب-های جانبی منتفی می‌باشد. قبادیان و همکاران (۱۳۹۱) به تعیین محل بهینه لوله بارباکان[2] جهت کاهش زیرفشار و جلوگیری از تخریب پوشش بتنی کانال با استفاده از روش عددی Seep/w پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد افزایش شعاع تاثیر باعث کاهش نیروی زیرفشار شده و افزایش ضخامت لایه آب‌دار باعث افزایش نیروی زیرفشار می‌شود. هم‌چنین در این شرایط نشان داده شد که استفاده از سیستم زهکشی در کف کانال و گوشه‌های تحتانی کانال بیشترین تاثیر را در حفاظت از پوشش کانال دارد. از طرفی استفاده از بارباکان در دیواره‌های جانبی کانال‌های پوششی ضمن افزایش هزینه و عملیات اجرایی تاثیر زیادی در کاهش زیرفشار نخواهد داشت.

نصر و همکاران[3] (۲۰۰۳) به بررسی اثر زهکش در پایین آوردن سطح آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش نیروی هیدرواستاتیک پرداختند. برای این منظور از مدل Hele-Shaw

1 - Chang and Nieh

2 - Weep hole

3 - Nasr et al.

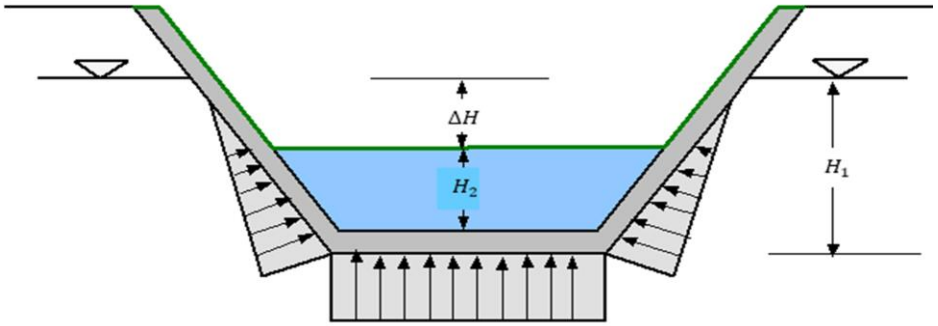
برای شبیه‌سازی این مساله و بررسی موقعیت بهینه زهکش در حداقل کردن نیروی بالابرنده در زیر کانال پوشش‌دار استفاده شد. هم‌چنین برای بررسی آن یک روش عددی نیز با استفاده از روش المان محدود[1] به کار برده شد که تطابق خوبی در مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و عددی بدست آمد. حداکثر اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و عددی کمتر از ۱۰ درصد بود. هم‌چنین براساس نتایج آن‌ها حداکثر فشار بالابرنده در مرکز کف کانال پوشش‌دار و بهترین موقعیت زهکش در نزدیک‌ترین محل ممکن به کانال بدست آمد.

اکثر مطالعات قبلی، در مورد نشت آب زیر پی سدها و نیروی بالابرنده ناشی از آن بوده است. به عنوان مثال می‌توان به مطالعات منصوری و همکاران (۲۰۱۴)، احمد و همکاران (۲۰۱۴)، اکوزو (۲۰۱۲) و جین و ردی (۲۰۱۱) اشاره نمود.

هدف از این تحقیق دستیابی به رفتار و موقعیت بهینه زهکش‌های لوله‌ای افقی که در زیر و کناره کانال‌های پوشش‌دار اجرا می‌گردند، در راستای به حداقل رساندن نیروی بالابرنده که در اثر بالا بودن تراز آب زیرزمینی ممکن است اتفاق بیافتد، می‌باشد. مطالعات نشان داده است در صورت استفاده از این زهکش‌ها، نیروی وارد بر کف کانال به عواملی هم‌چون قطر، فاصله افقی زهکش‌ها از محور مرکزی کانال، موقعیت قرارگیری زهکش‌ها نسبت به تراز کف کانال (فاصله عمودی) و هم‌چنین میزان بالا بودن تراز آب زیرزمینی نسبت به تراز کف کانال بستگی خواهد داشت. چنانچه خواسته شود مقدار فشار بالابرنده در زیر کف کانال با توجه به عوامل موثر ذکرشده و به صورت دقیق محاسبه شود، لازم است تا معادله جریان آب در محیط های متخلخل (معادله حاکم) به وسیله روش‌های عددی نظیر روش المان محدود (FEM) حل‌گردد.

مواد و روش‌ها

نحوه توزیع فشار هیدرواستاتیک آب زیرزمینی که بر کف و جداره‌های یک کانال پوشش‌دار وارد می‌شود در شکل ۱ ارائه گردیده است. در این شرایط بیشترین فشار بالابرنده معادل $\gamma_1 \Delta H$ است که بر کف کانال وارد می‌شود و در مقابل این فشار، فشار حاصل از وزن پوشش بتنی قرار دارد که به عنوان نیروی مقاوم عمل می‌کند و برابر $\gamma_2 h$ می‌باشد، که γ_1 و γ_2 به ترتیب وزن مخصوص آب و بتن و h ضخامت پوشش بتنی است. از نظر تئوری، چنان‌چه $\gamma_1 = ۱۰۰۰ \text{kg/m}^3$ و $\gamma_2 = ۲۶۰۰ \text{kg/m}^3$ و m h= ۰/۱ در نظر گرفته شود، به ازای $\Delta H > ۲۶\text{cm}$ مقدار نیروی بالابرنده بر نیروی مقاوم غلبه می‌کند. در چنین شرایطی انتظار می‌رود که پوشش بتنی کانال ترک خورده و در صورت افزایش بیشتر ΔH، تخریب شود.



شکل۱- نحوه توزیع زیر فشار در کف و جداره کانال.

1 - Finite element method (FEM)

در یک روش دیگر فشار بالابرنده بحرانی را می‌توان بوسیله ارزیابی ممان خمشی وارد بر پانل‌های کف کانال محاسبه کرد. در این روش هر کدام از پانل‌ها هم‌چون تیرهایی ساده با ابعاد و ضخامت معین در نظر گرفته شده و برای حالتی که ابعاد پانل ۳×۳ متر، ضخامت بتن حدود ۰/۱ متر و مقاومت نهایی فشاری بتن حدود ۲۵۰ تن بر متر مربع می‌باشد، فشار اعمال شده از طرف پانل به کف حدود ۱/۱ تن بر متر مربع محاسبه شده که معادل ۱/۱ متر ارتفاع آب است (منصوری‌کیا و همکاران، ۱۳۸۲). در مجموع می‌توان پذیرفت چنانچه تراز آب زیرزمینی اطراف کانال به حدود ۰/۵ متر از کف کانال افزایش یابد، احتمال آسیب پذیری و تخریب پوشش بتنی، به خصوص در جداره‌ها افزایش می‌یابد و وقوع ترازهای حدود ۱ متر و بیشتر به تخریب کف و جداره منجر خواهد شد.

معادلات حاکم

معادله عمومی جریان در محیط‌های متخلخل همان معادله پیوستگی است که در تلفیق با رابطه دارسی برای دبی عبوری از یک محیط متخلخل به شکل زیر تبدیل می‌شود (SEEP/W, 2007).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \rho\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_y\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_z\frac{\partial h}{\partial z}\right)\right]1) \quad [1]$$

که درآن ρ چگالی سیال، M جرم عبوری، h پتانسیل هیدرولیکی و k ضریب هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل در جهت محورX، Y، Z می‌باشد. در محیط‌های اشباع و در حالت تراوش دائم، میزان تغییرات آب موجود در واحد حجم نسبت به زمان صفر است. به عبارت ساده‌تر و در محیط‌های همگن و دارای خواص یکنواخت ضریب نفوذپذیری در همه جهت‌ها یکسان بوده (خاک ایزوتروپ) و در این صورت رابطه بالا به شکل زیر تبدیل می‌شود که به معادله لاپلاس مشهور می‌باشد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=0 \quad [2]$$

معادله فوق با شرایط مرزی و اولیه مختلف به روش المان محدود توسط نرم افزار SEEP/W قابل حل است. در این تحقیق این نرم افزار بکار گرفته شده است.

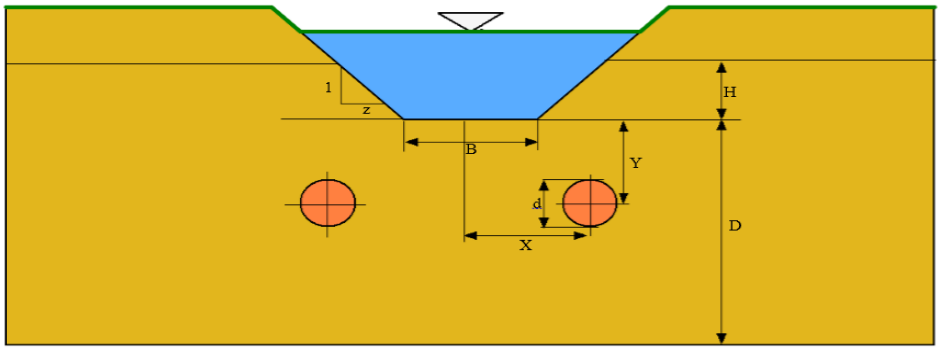
هندسه و ابعاد مدل

به منظور بررسی اثر زهکش بر توزیع زیرفشار، موقعیت خط فریاتیک[1] و مقدار نیروی بالابرنده در زیر کف کانال پوشش‌دار، مدل عددی به ازای ۳ قطر زهکش ۵ ، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر و هم‌چنین ۱۵ موقعیت (X ،Y) و ۴ حالت بار آبی نسبت به تراز کف کانال (موقعیت سطح ایستابی) ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵ و ۱/۵ متر توسط نرم‌افزارSEEP/W شبیه‌سازی شده است تا نیروی بالابرنده برای عوامل مندرج در جدول (۱) به دست آید. برای این منظور یک کانال با مقطع ذوزنقه‌ای با عرض کف (B) ۲ متر، شیب جانبی ۱ قائم به ۱/۵ افقی در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ موقعیت زهکش‌ها و پارامترهای مورد مطالعه، نشان داده شده است.

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق.

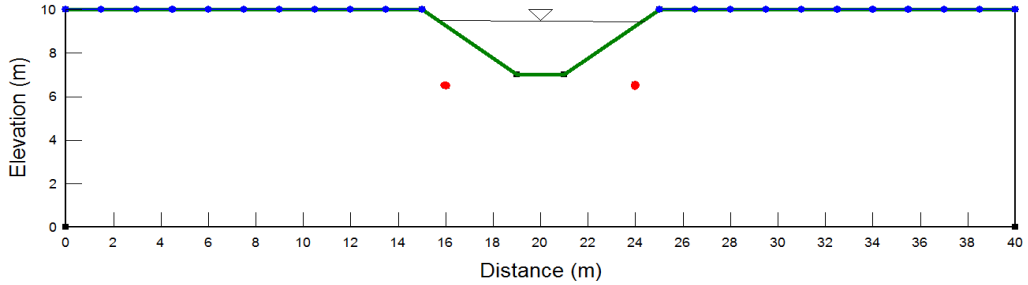
پارامترهای مورد بررسی	مقادیر پارامترهای مورد بررسی در مدل عددی (m)				
فاصله افقی از محور مرکزی کانال (X)	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴
فاصله عمودی نسبت به کف کانال (Y)	-۰/۵	۰	۰/۵		
تراز آب زیرزمینی نسبت به کف کانال (H)	۰/۷۵	۱	۱/۲۵	۱/۵	
قطر لوله زهکش (d)	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵		

1 - Phreatic line



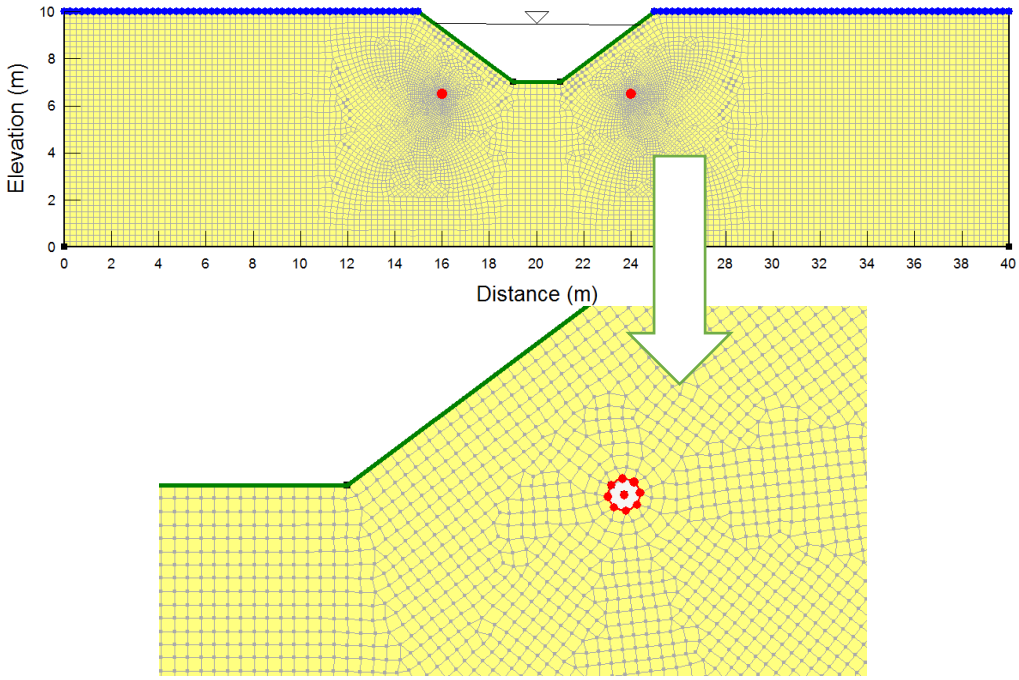
شکل۲- نحوه قرارگیری زهکش لوله‌ای در زیر کانال پوشش‌دار به همراه پارامترهای مورد بررسی.

شکل ۳ نمایی از کانال پوشش‌دار در شرایطی که قطر زهکش ۱۰ سانتی‌متر، بار آبی ۱۲۵ سانتی‌متر و زهکش‌ها در موقعیت (X=۴،Y= -۰/۵) متر قرار دارند را در محیط نرم افزار SEEP/W نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمایی از کانال پوشش‌دار به همراه بار آبی و نحوه قرار گیری زهکش‌ها در اطراف کانال پوشش‌دار (H/B=۰/۶۲۵ ، Y/B= -۰/۲۵، X/B=۲ ، d/B=۰/۰۵).

هدایت هیدرولیکی و اعمال شرایط مرزی: برای مساله مورد نظر خصوصیات مصالح محیط متخلخل جهت انجام مدل-سازی، محیط متخلخل همگن و ایزوتروپ با ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع ۱×۱۰^{-۴} متر در ثانیه در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی مربوط به تراز آب زیرزمینی (سطح ایستابی) به صورت بار آبی ثابت (Pressure Head) و معین در حالت‌های مختلف به ترتیب ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ سانتی‌متر و مرزهای مربوط به کف و دیواره کانال و هم‌چنین کف و دیواره محیط متخلخل زیر کانال به صورت جسم صلب (غیر قابل نفوذ) در نظر گرفته شده است. به منظور اعمال شرایط مرزی در زهکش‌ها، شرایط مرزی در محل زهکش به صورت فشار صفر در نظر گرفته شده که بیانگر فشار اتمسفر در نواحی مربوطه است. شکل ۴ شرایط مرزی و شبکه‌بندی در اطراف زهکش‌های کف کانال در حالت قطر زهکش‌ها ۱۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.



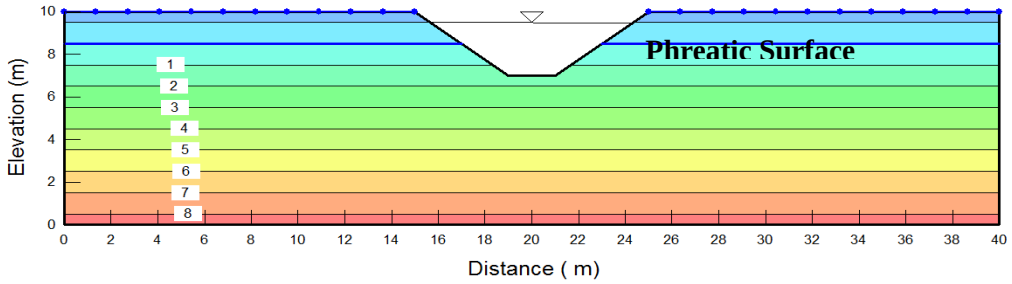
شکل ۴- اختصاص هدایت هیدرولیکی به محیط متخلخل زیر کانال به همراه زهکش‌ها در کف کانال. در قسمت بالا شبکه‌بندی در اطراف زهکش‌ها با قطر ۱۰ سانتی‌متر و در قسمت پایین بزرگ‌نمایی شبکه‌های اطراف زهکش دیده می‌شود.

(H/B=۰/۶۲۵ ، Y/B= -۰/۲۵، X/B=۲ ، d/B=۰/۰۵).

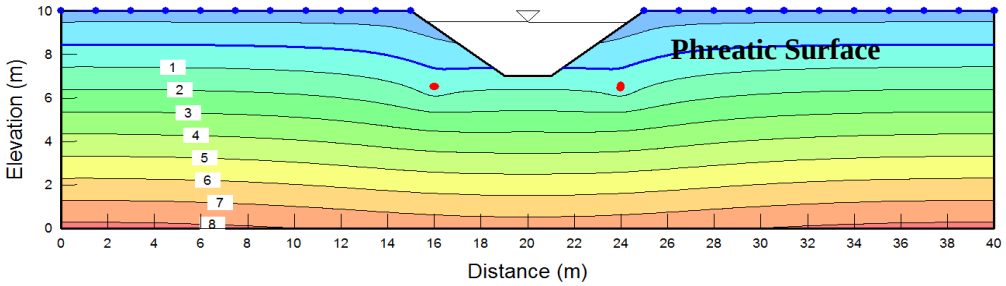
شبیه‌سازی فشار بالابرنده

اثر موقعیت افقی و قائم زهکش بر افت خط فریاتیک

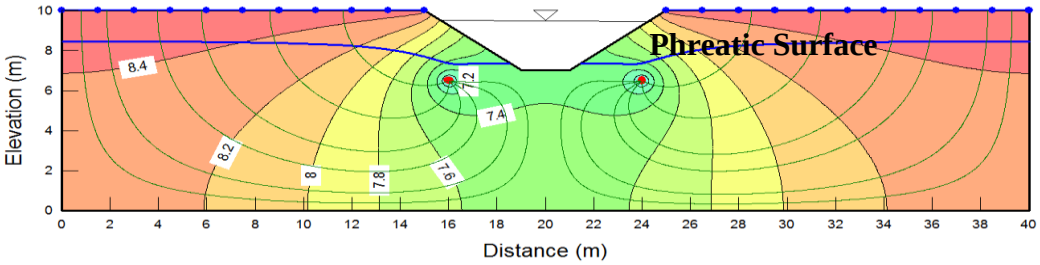
شکل ۵ نمایش کنتورهای فشار در زیر بستر یک کانال با پوشش بتنی را در حالت بدون هیچ گونه سیستم زهکشی در محیط متخلخل و شکل ۶ همان کانال را برای شرایطی که نسبت بار آبی H/B=۰/۷۵۰ و زهکش‌ها نیز در موقعیت (X/B=±۲،Y/B= -۰/۲۵) باشد، نشان می‌دهد. شکل ۷ نیز خطوط هم‌پتانسیل، خطوط جریان و سطح ایستابی را در حالت نمای دوبعدی در زیر بستر کانال پوشش‌دار همراه با زهکش طولی در موقعیت (X/B=±۲،Y/B= -۰/۵) نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد با کارگذاری زهکش، سطح ایستابی در موقعیت پایین‌تری قرار می‌گیرد و این نشان دهنده نقش زهکش در پایین‌تر بردن خط فریاتیک و به تبع آن کاهش میزان نیروی بالابرنده وارد بر کف کانال می‌باشد.



شکل ۵- کنتورهای فشار (بر حسب متر) در زیر بستر یک کانال بدون هیچ گونه سیستم زهکشی در محیط متخلخل (H/B=۰/۷۵۰).

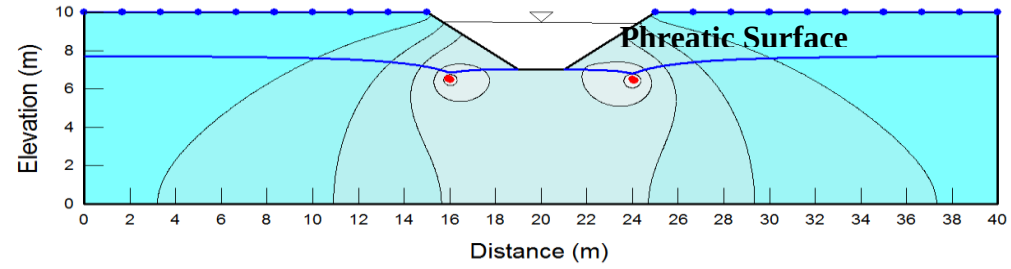


شکل ۶- کنتورهای فشار (بر حسب متر) در زیر بستر کانال برای شرایطی که نسبت بار آبی H/B=۰/۷۵۰ و موقعیت دو زهکش (X/B=±۲،Y/B= -۰/۲۵).

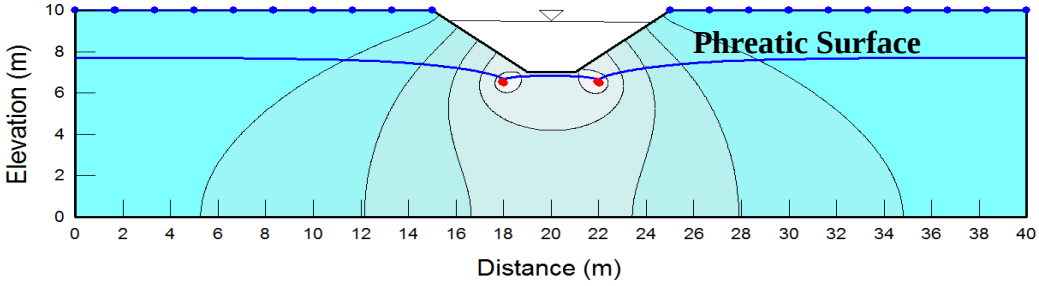


شکل ۷- خطوط هم‌پتانسیل و جریان در زیر بستر کانال برای شرایط نسبت بار آبی H/B=۰/۷۵۰ و موقعیت دو زهکش (X/B=±۲،Y/B= -۰/۲۵) .

در شکل ۸ اثر موقعیت افقی نسبی زهکش بر موقعیت سطح ایستابی نشان داده شده است، با مقایسه دو شکل ۸ (الف و ب) مشاهده می‌گردد که نزدیک بودن زهکش به محور مرکزی کانال اثر زیادی در پایین آوردن سطح ایستابی داشته است.



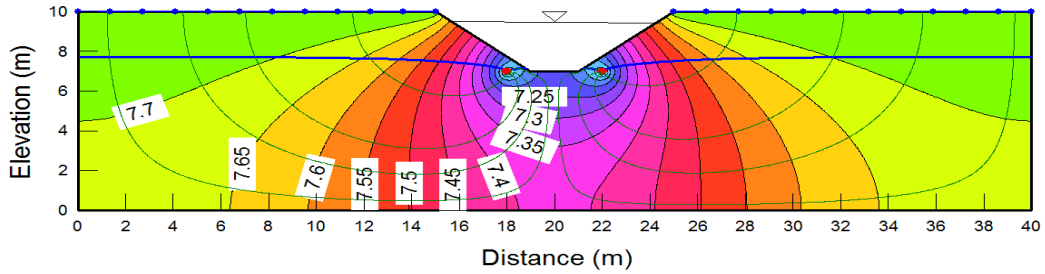
الف- (H/B=۰/۳۲۵، X/B=۲ ، Y/B= -۰/۲۵ ، d/B=۰/۰۵).



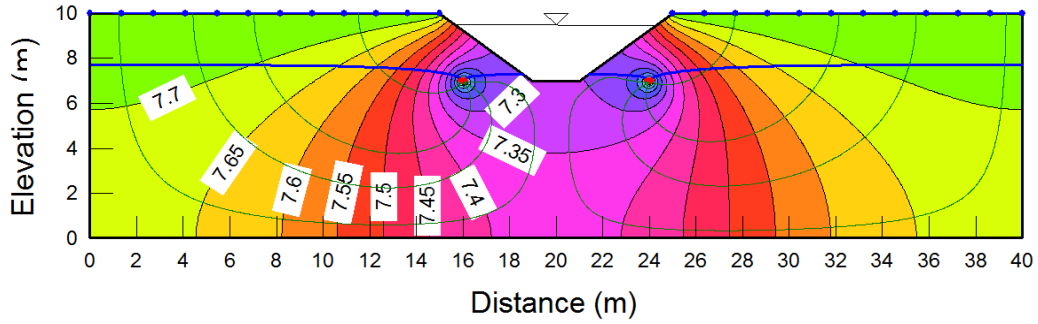
ب- (H/B=۰/۳۲۵، X/B=۱ ، Y/B= -۰/۲۵ ، d/B=۰/۰۵).

شکل ۸- (الف وب)- تاثیر موقعیت افقی نسبی زهکش (X/B) بر پروفیل خط فریاتیک برای شرایط معین.

در شکل ۹ (الف، ب) منحنی‌های هم‌پتانسیل برای قطر زهکش ۱۰ سانتی‌متری و برای حالتی که زهکش‌ها در فاصله ۳ و ۴ متری از مرکز کف کانال و موقعیت قائم آن‌ها در تراز کف کانال و بار آبی ۷۵ سانتی‌متر باشد، نشان داده شده است.



الف- (H/B=۰/۳۷۵ ، Y/B= ۰، X/B=۱ ، d/B=۰/۰۷۵).

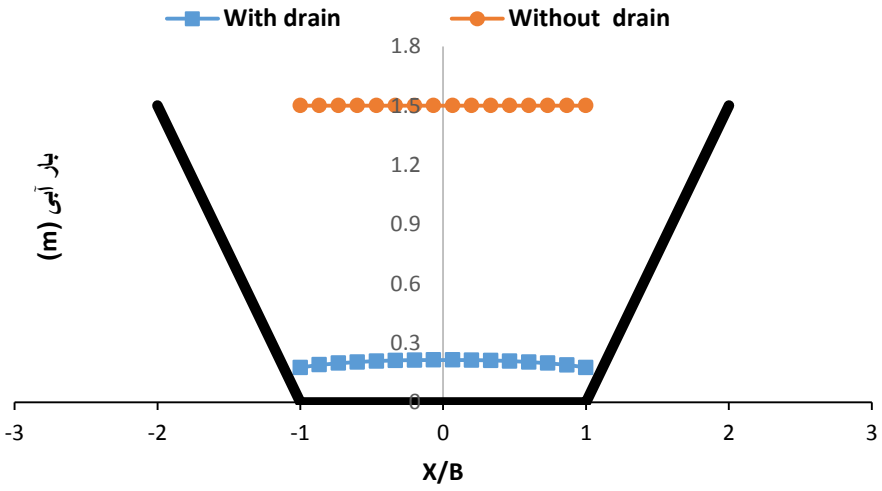


ب- (H/B=۰/۳۷۵ ، Y/B= ۰، X/B=۲ ، d/B=۰/۰۷۵).

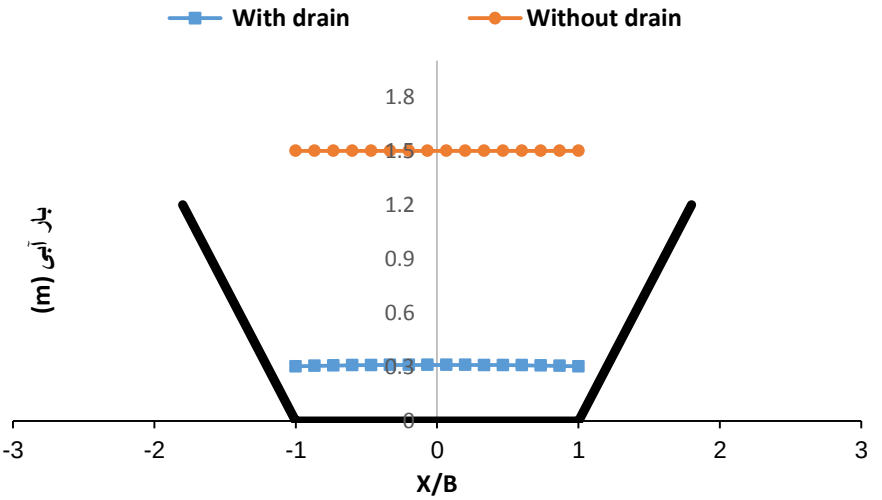
شکل ۹ (الف و ب)- خطوط هم‌پتانسیل و خطوط جریان درحالت دو بعدی در محدوده کانال پوشش‌دار با وجود زهکش در موقعیت و شرایط معین.

مطابق شکل ۹- ب ملاحظه می‌شود، در شرایطی که فاصله افقی زهکش‌ها از مرکز کف کانال ۴ متر باشد، سطح ایستابی در زیر کف کانال در موقعیت بالاتری از کف نسبت به حالتی که زهکش‌ها در فاصله ۲ متری از مرکز قرار داشته (شکل ۹- الف) قرار گرفته است. این عامل نشانگر افزایش نیروی بالابرنده می‌باشد.

شکل ۱۰ (الف و ب) نشان دهنده توزیع فشار بالابرنده زیر کف کانال با زهکش‌ها به قطر ۱۵ سانتی‌متری است. عمق زهکش‌ها نسبت به تراز کف کانال ۰/۵ متر (پایین‌تر از کف کانال) و بار آبی ۷۵ سانتی‌متر (سطح ایستابی به اندازه ۷۵ سانتی‌متر بالاتر از کف کانال) است. همچنین فاصله زهکش ها از مرکز کف کانال به ترتیب ۲ و ۴ متر فرض شده است. برای سهولت، فشار بالابرنده به جای زیر کانال در بالای آن آورده شده است. ضمنا با محاسبه مساحت زیر نمودار منحنی توزیع فشار بالابرنده، برآیند نیروی بالابرنده به دست می‌آید. برآیند نیروی بالابرنده در شکل ۱۰ (الف و ب) به ترتیب برابر۳۹۹۸/۰۷ و۶۰۷۱/۲۱ نیوتن بر متر می‌باشد که تحت این شرایط به ترتیب ۴۲ و۱۷ درصد نسبت به حالت مبنا (بدون هیچ گونه زهکشی در زیر کف کانال پوشش‌دار) در میزان نیروی بالابرنده کاهش را نشان می‌دهند.



الف- (H/B= ۰/۳۷۵ ، d/B=۰/۰۷۵ ، X/B= ۲، Y/B= ۰).

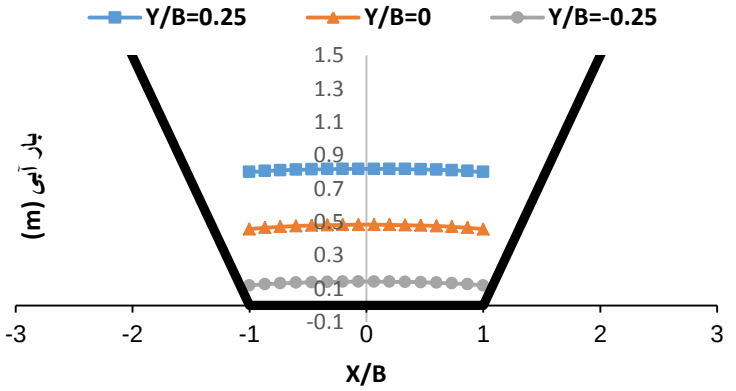


ب- (H/B= ۰/۳۷۵ ، d/B=۰/۰۷۵ ، X/B= ۱، Y/B=۰).

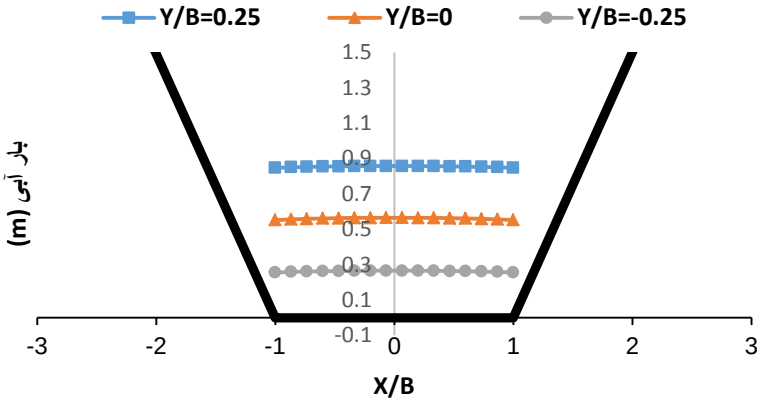
شکل۱۰- توزیع زیرفشار در زیر کف کانال در حالت با و بدون زهکش به ازای شرایط و موقعیت معین.

اثر موقعیت قائم زهکش (Y/B) بر فشار بالابرنده

در شکل ۱۱ تاثیر موقعیت قائم نسبی زهکش (Y/B) در کنترل نیروی بالابرنده نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد به ازای یک شرایط معین قطر، بار آبی و موقعیت افقی، هر چه زهکش در موقعیت بالاتری قرار می‌گیرد، زیرفشار وارد بر کف کانال بیشتر شده است. بنابراین قرار دادن زهکش‌ها در عمق بیشتر از کف کانال باعث اثر مثبت زیادتری در کاهش نیروی بالابرنده دارد.



الف- (H/B= ۰/۶۲۵ ، d/B=۰/۰۵، X/B=۱/۵).

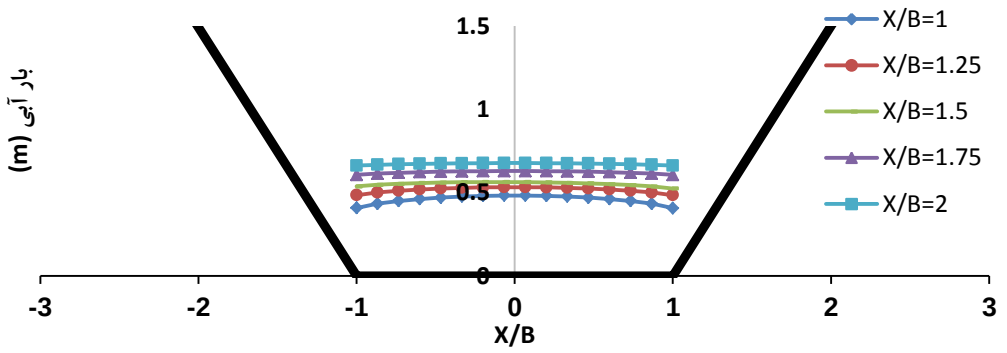


ب- (H/B= ۰/۶۲۵ ، d/B=۰/۰۵، X/B=۲).

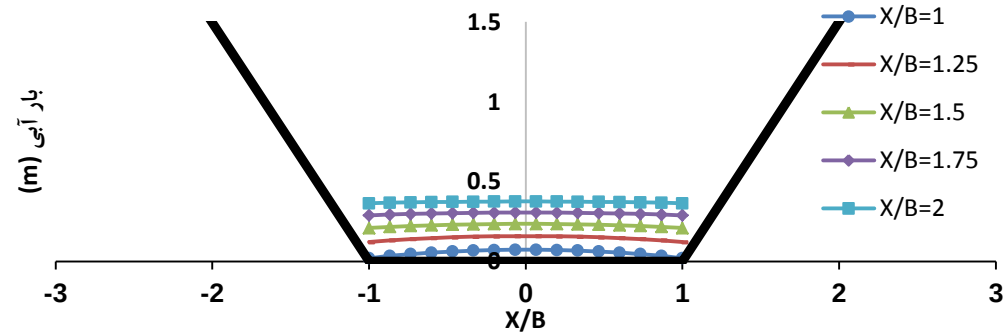
شکل۱۱- تاثیر موقعیت قائم زهکش (Y/B) بر توزیع فشار بالابرنده در زیر کانال پوشش‌دار .

اثر موقعیت افقی زهکش (X/B) بر فشار بالابرنده

در شکل ۱۲ تاثیر موقعیت افقی نسبی زهکش به ازای شرایط (H/B= ۰/۷۵۰ ، d/B=۰/۰۵) و موقعیت‌های قائم (Y/B) مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می گردد هر چه زهکش‌ها از گوشه‌های تحتانی کف کانال دور گردد، سطح ایستابی در موقعیت بالاتری قرار می‌گیرد و بالاتر بودن آن باعث بوجود آمدن نیروی بالابرنده از طرف سطح ایستابی بر کف کانال خواهد شد. هم‌چنین هر چه زهکش‌ها در فاصله دورتری قرار می‌گیرند نحوه توزیع زیرفشار در کف کانال به حالت خطی تبدیل می‌گردد و نشانگر آن است که میزان فشار در سرتاسر کف کانال یکسان و یکنواخت می‌گردد.



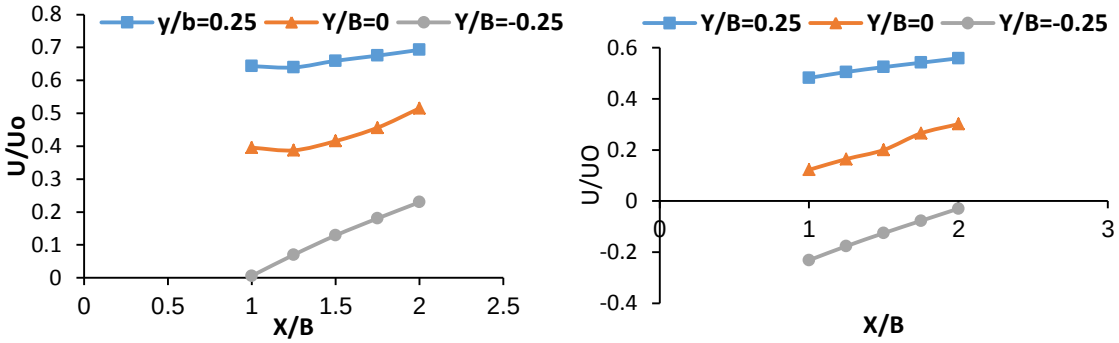
الف- (H/B= ۰/۷۵۰ ، d/B=۰/۰۵ ، Y/B= ۰).



ب- (H/B= ۰/۷۵۰ ، d/B=۰/۰۵ ، Y/B= -۰/۲۵).

شکل ۱۲- تاثیر موقعیت افقی زهکش (X/B) بر توزیع فشار بالابرنده در زیر کانال پوشش‌دار برای موقعیت‌های قائم مختلف (Y/B) و (H/B= ۰/۷۵۰ ، d/B=۰/۰۵).

شکل ۱۳ تاثیر موقعیت قائم زهکش بر میزان نیروی بالابرنده کل را نشان می‌دهد. ضمناً منظور از U/U_o نسبت برآیند نیروی بالابرنده به مقدار نظیر آن بدون زهکش می‌باشد. ملاحظه می‌گردد هر چه زهکش در فاصله افقی کم و قائم پایین‌تری نسبت به مرکز کانال قرار گیرد، نیروی بالابرنده وارد بر کف کانال حداقل مقدار را خواهد داشت. لذا بهترین موقعیت زهکش به ازای نزدیک‌ترین محل ممکن نسبت به مرکز کف کانال (نزدیک به گوشه‌های تحتانی کف) به دست می‌آید. با مقایسه شکل‌های ۱۳ (الف و ب) مشاهده می‌شود که در شکل (الف) به ازای شرایطی که زهکش در موقعیت Y/B= -۰/۲۵ قرار دارد، منحنی مربوطه زیر محور افقی قرار گرفته و این به مفهوم قرار گرفتن سطح آب زیرزمینی تحت این شرایط زیر کف کانال می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت نیروی بالابرنده که در اثر بالا بودن سطح ایستابی و در حالت بدون زهکش بر پوشش بتنی وارد می‌شد، در اثر کارگذاری زهکش‌ها از بین رفته است. همچنین مشاهده می‌شود که حتی زمانی زهکش در فاصله ۴ متری از مرکز کف کانال (X/B=۲) نیز قرار می‌گیرد، هیچ گونه نیروی بر کف کانال وارد نمی‌شود ولی افزایش بیش از این مقدار باعث افزایش زیرفشار بالابرنده خواهد شد.



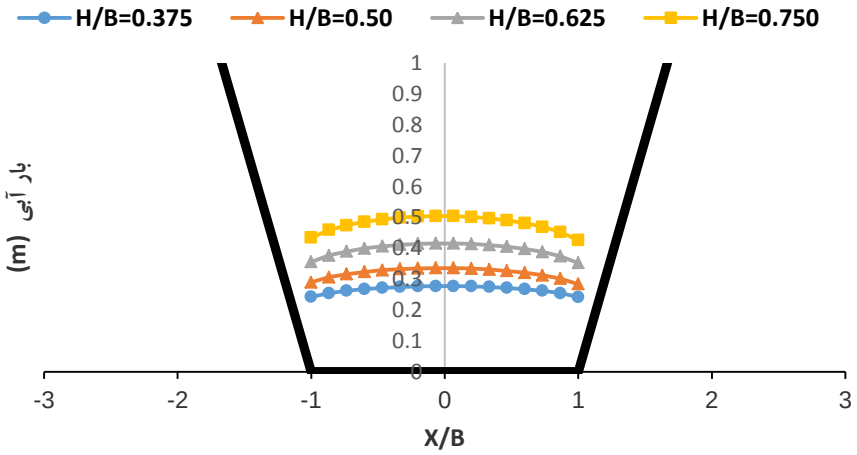
الف- (H/B= ۰/۶۲۵ ، d/B=۰/۰۲۵).

ب- (H/B= ۰/۶۲۵ ، d/B=۰/۰۷۵).

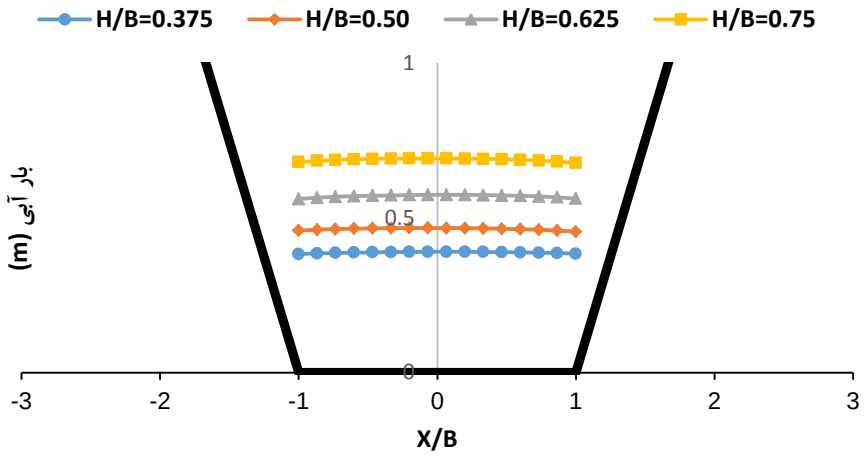
شکل ۱۳- تاثیر موقعیت قائم نسبی زهکش (Y/B) بر نیروی بالابرنده کل (U/U_o) در زیر کانال پوشش‌دار برای قطرهای مختلف زهکش (d/B) و (H/B= ۰/۶۲۵).

اثر موقعیت سطح آب زیرزمینی (H/B) بر فشار بالابرنده

در شکل ۱۴ تاثیر بار آبی نسبی زهکش به ازای قطر و موقعیت‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد هر چه بار آبی بیشتر می‌شود (سطح آب زیرزمینی در تراز بالاتری نسبت به کف کانال قرار می‌گیرد)، زیرفشار وارد بر کف کانال بیشتر خواهد شد و شایان ذکر است که بیشترین زیرفشار در فواصل نزدیک به کانال در مرکز کانال اتفاق می‌افتد. این در حالی است که در فواصل دورتر توزیع فشار یکنواخت شده و بر کف کانال فشار یکسانی وارد می‌شود (مقایسه شکل ۱۴- الف و ب). در شکل ۱۵ نیز اثر بار آبی بر نیروی بالابرنده کل نسبی نشان داده شده است. مطابق شکل ۱۵، هر چه بار آبی نسبی بیشتر می‌شود، میزان نیروی بالابرنده وارد بر سازه بیشتر شده و این نشان‌دهنده این است که در مناطقی که سطح ایستابی بالاست، تدابیر خاصی برای پایین آوردن آن بایستی اندیشید. برای نیل به این هدف می‌توان زهکش‌ها را در مکان نزدیکتری نسبت به مرکز کف کانال احداث کرد. هم‌چنین می‌توان با افزایش قطر زهکش به کاهش بیشتر نیروی بالابرنده دست یافت.

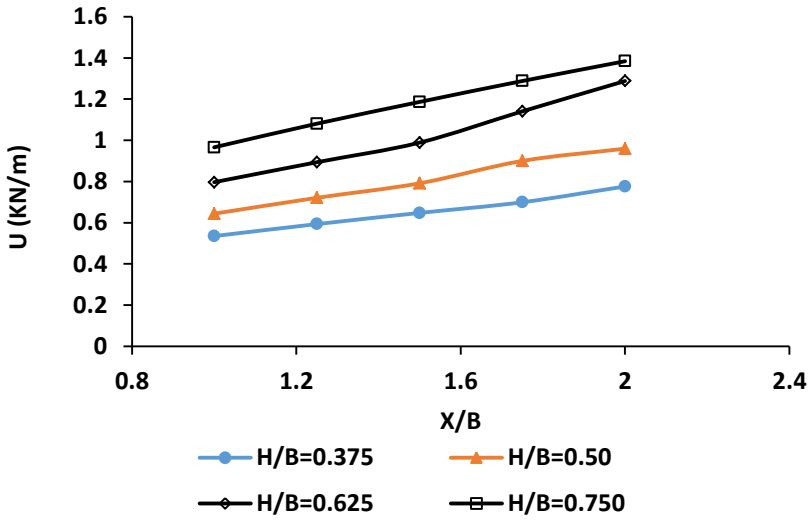


الف- (Y/B= ۰ ، d/B=۰/۰۲۵ ، X/B= ۱).



ب – (X/B= ۱/۵ ، d/B=۰/۰۲۵ ، Y/B= ۰).

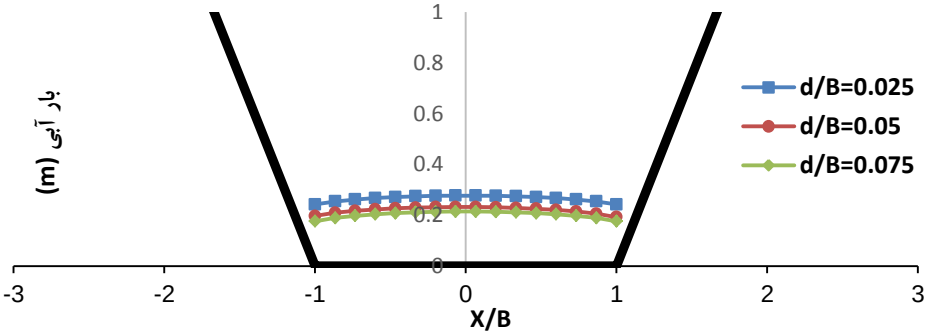
شکل۱۴ (الف، ب) – تاثیر بار آبی نسبی (H/B) بر توزیع فشار بالابرنده در زیر کانال پوشش‌دار برای شرایط معین.



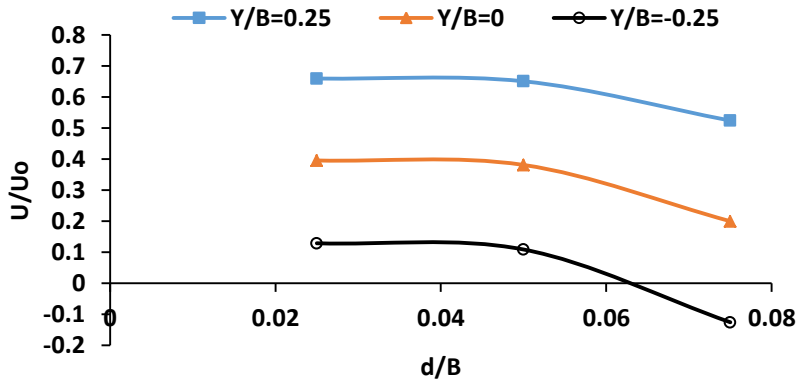
شکل ۱۵– تاثیر بار آبی نسبی (H/B) بر نیروی بالابرنده کل (U) برای مقادیر مختلف موقعیت افقی زهکش (X/B)، (Y/B= ۰ ، d/B=۰/۰۵).

اثر قطر زهکش (d) بر فشار بالابرنده

تاثیر قطرنسبی زهکش (d/B): در شکل ۱۶ اثر قطر زهکش نسبی بر نحوه توزیع فشار بالابرنده نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که نمودار توزیع فشار بالابرنده به ازای d/B= ۰/۰۷۵ نسبت به d/B= ۰/۰۵ و d/B= ۰/۰۲۵ در موقعیت پایین‌تری قرار گرفته و این بدین معناست که با افزایش قطر زهکش سطح ایستابی در موقعیت پایین‌تری قرار می‌گیرد و به ازای شرایط معین نیروی کمتری بر سازه وارد می‌گردد. شکل ۱۷ نشان می‌دهد که هر چه قطر زهکش‌ها بیشتر می‌گردد نیروی بالابرنده نسبی وارد بر کف کانال کمتر خواهد شد.



شکل ۱۶- تاثیر قطر نسبی (d/B) بر توزیع فشار بالابرنده در زیر کانال پوشش‌دار برای (Y/B= -۰/۲۵ ، H/B=۰/۶۲۵ ، X/B= ۱).



شکل ۱۷- تاثیر قطر نسبی زهکش (d/B) بر نیروی بالابرنده کل نسبی (U/U_o) برای مقادیر مختلف موقعیت قائم زهکش (Y/B) و (X/B= ۱/۵ ، H/B=۰/۳۷۵).

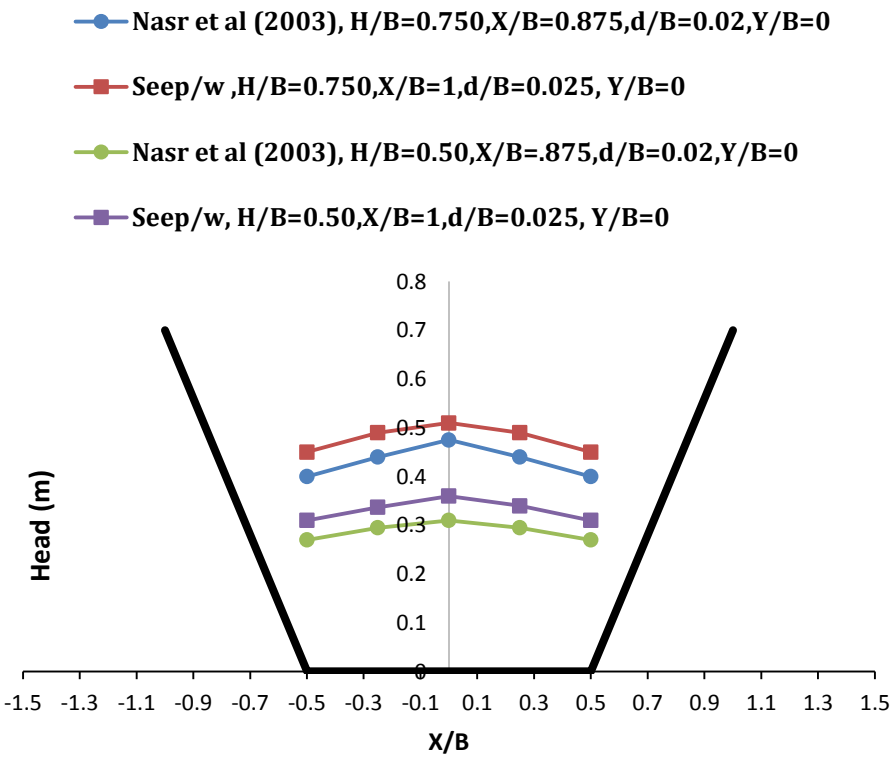
محاسبات رگرسیونی

به منظور برآورد نیروی بالابرنده، معادلات رگرسیونی خطی و غیرخطی با استفاده از نرم افزار SPSS به دست آمده است. در این محاسبات پارامتر $\frac{U_d}{U_o}$ (نسبت نیروی بالابرنده در حالت با زهکش به حالت بدون زهکش) به عنوان پارامتر وابسته و $\frac{Y}{B}$ ، $\frac{X}{B}$ ، $\frac{H}{B}$ و $\frac{d}{B}$ به عنوان پارامتر مستقل در نظر گرفته شده‌اند. نتایج این محاسبات در جدول (۲) نشان داده شده است. لازم به ذکر است این معادلات برای محدوده شبیه‌سازی شده، یعنی به ازای ۰/۰۷۵ > $\frac{d}{B}$ >۰/۰۲۵ ، ۰/۷۵۰ > $\frac{H}{B}$ >۰/۳۷۵ ، ۲ > $\frac{X}{B}$ >۱ و ۰/۲۵ > $\frac{Y}{B}$ >-۰/۲۵ به دست آمده است. برای ارزیابی، توانایی و دقت فرمول رگرسیونی در تعیین نیروی بالابرنده از شاخص‌های آماری استفاده شده است. معیارهای ارزیابی صحت تخمین مورد استفاده در این تحقیق شامل ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، می‌باشد. با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که معادله رگرسیونی خطی در تخمین از دقت بالاتری نسبت به معادله غیرخطی برخوردار است.

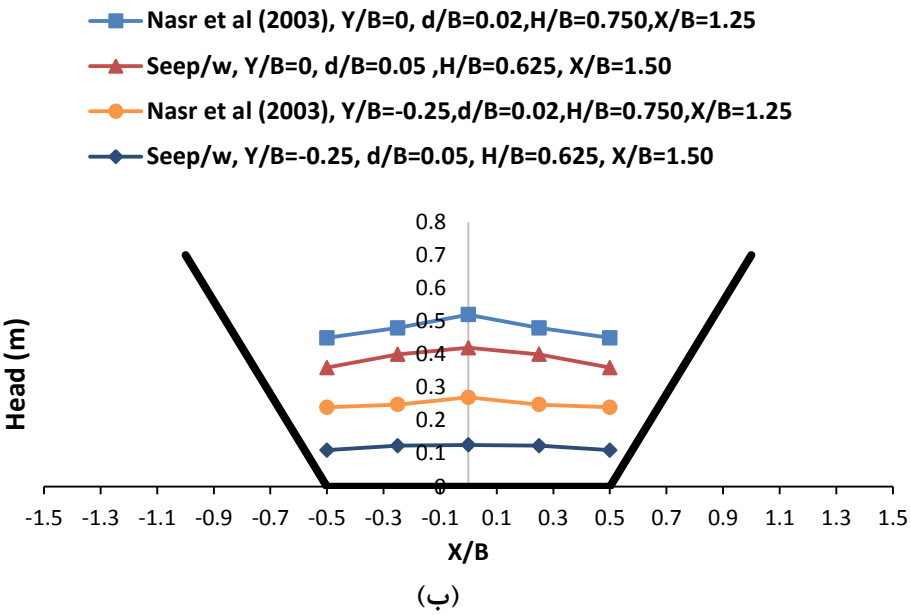
جدول ۲- معادله رگرسیونی خطی و غیرخطی برای به دست آوردن نیروی بالابرنده.

معادله	R^2	RMSE
$\frac{Ud}{Uo} = 0.364 - 3.654 * \left(\frac{d}{B}\right)$-0.114* $\left(\frac{H}{B}\right)$-1.298*$\left(\frac{Y}{B}\right)$+0.149*$\left(\frac{X}{B}\right)$	0.91	0.0911
$\frac{Ud}{Uo} = -1.7748 * \left(\frac{Y}{X}\right) + 0.165 * \left(\frac{H}{d}\right)^{0.288}$	0.81	0.1207

مقایسه روش عددی تحقیق حاضر با روش آزمایشگاهی نصر و همکاران (۲۰۰۳) در شکل ۱۸ (الف و ب) ارائه گردیده است. تفاوت دو شکل الف و ب در موقعیت افقی زهکش زیر کانال (X/B) است. ملاحظه می‌گردد که تطابق خوبی بین نتایج محاسبات عددی با داده‌های حاصل از آزمایش برای X/B=0.875 وجود دارد. متوسط خطا در شکل الف- ۱۸ برابر ۷ درصد است. همچنین مطابق شکل ب- ۱۸ ملاحظه می‌شود که با فاصله گرفتن زهکش از خط مرکزی کانال (X/B=1.25)، بر مقدار خطا افزوده شده است. لیکن در این حالت نیز متوسط خطا حدود ۱۵ درصد است که نسبتا قابل قبول است. البته همانطوری که دیده می‌شود، دو نتیجه روش عددی و آزمایشگاهی اندکی در عوامل بی بعد تفاوت دارند که مقداری از خطا نیز مربوط به آن می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل۱۸- مقایسه مقادیر نیروی بالابرنده در روش عددی با تحقیقات نصر و همکاران (۲۰۰۳)

مثال عددی

در این قسمت برای نشان دادن کاربرد رابطه خطی بدست آمده از رگرسیون (جدول ۲)، مثال عددی ارائه می‌شود. فرض شده که دو زهکش لوله‌ای درست هم تراز کف کانال بوده (Y=0) و قطر لوله و عمق آب زیرزمینی به ترتیب ۰/۱ و ۱/۵ متر فرض شده است. فاصله زهکش‌ها تا مرکز کف کانال از ۲ تا ۴ متر متغیر لحاظ گردیده است. مطابق جدول ۳ دیده می‌شود که با فاصله گرفتن زهکش از مرکز کف کانال ار ۲ تا ۴ متر، درصد کاهش نیروی بالابرنده از ۷۵/۵ تا ۶۰/۶ تغییر می‌کند. به همین ترتیب می‌توان با تغییر قطر، عمق آب زیرزمینی یا فاصله عمودی زهکش از کف کانال، مقادیر متناظر U_d/U_0 را بدست آورد.

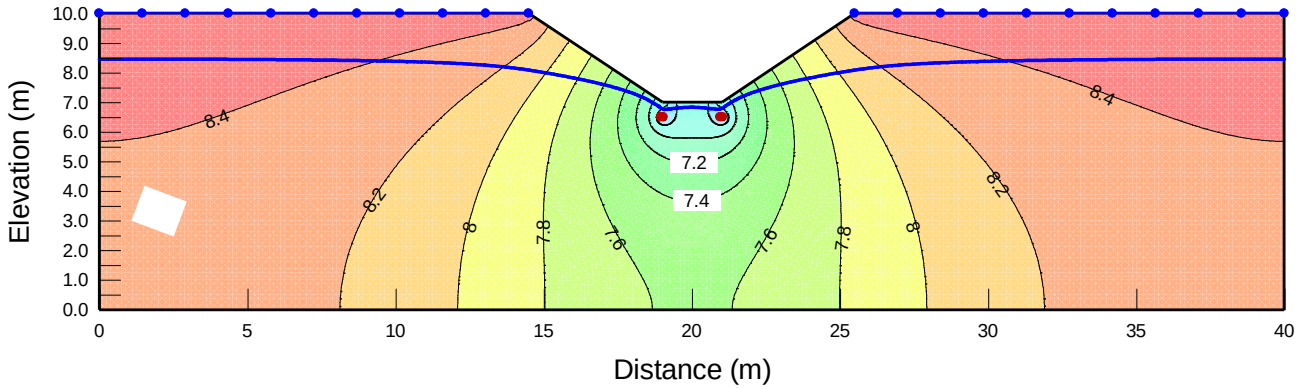
جدول ۳- کاربرد رابطه خطی بدست آمده از رگرسیون درجدول ۲ برای محسبه نسبت نیروی بالابرنده کل با زهکش به نیروی بالابرنده کل بدون زهکش (U_d/U_0)

X (m)	Y (m)	d (m)	H (m)	X/B	Y/B	d/B	H/B	U_d/U_0	$1-U_d/U_0$
2	0	0.1	1.5	1	0	0.05	0.75	0.2448	0.7552
2.5	0	0.1	1.5	1.25	0	0.05	0.75	0.28205	0.71795
3	0	0.1	1.5	1.5	0	0.05	0.75	0.3193	0.6807
3.5	0	0.1	1.5	1.75	0	0.05	0.75	0.35655	0.64345
4	0	0.1	1.5	2	0	0.05	0.75	0.3938	0.6062

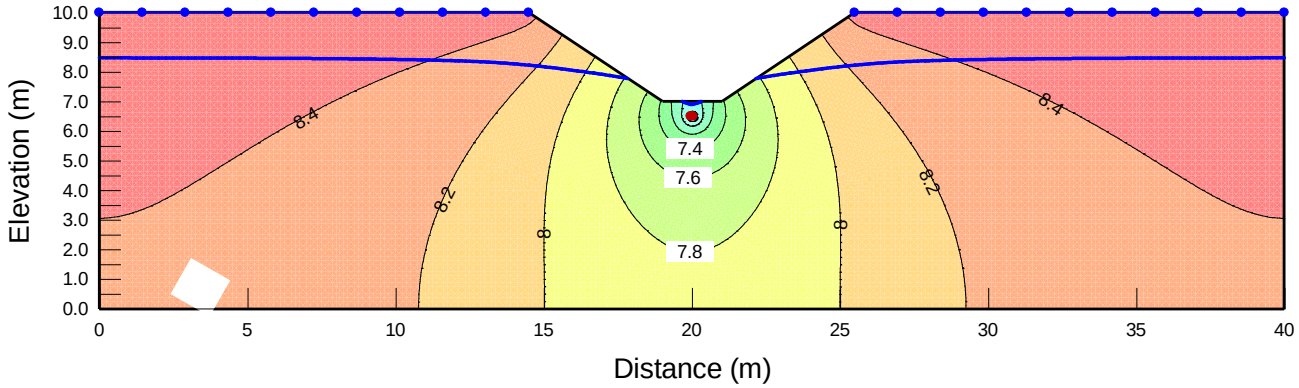
استفاده از یک لوله زهکش زیر کف کانال

در قسمت‌های قبل کاربرد دو زهکش زیر کف کانال جهت کاهش نیروی بالابرنده ارائه گردید. در این قسمت استفاده از یک لوله زهکش زیر کف کانال و مقایسه آن با نتایج دو زهکش ارائه می‌گردد. شکل ۱۹ (الف و ب) خطوط هم پتانسیل را درحالت ۲ زهکش و ۱ زهکش بعد از شبیه‌سازی عددی را نشان می دهد. هر دوی شکل‌ها برای شرایط X/B=0.5, Y/B= - 0.25, d/B=0.05, H/B=0.75 می‌باشند. مقایسه بین دو طرح مذکور نشان می‌دهد که درحالت استفاده از ۲ زهکش، سطح آب زیرزمینی افت بیشتری نسبت به حالت استفاده از ۱ زهکش زیر کف کانال داشته و لذا اثر مثبت آن در کاهش نیروی بالابرنده آن نیز مورد انتظار است. برای این

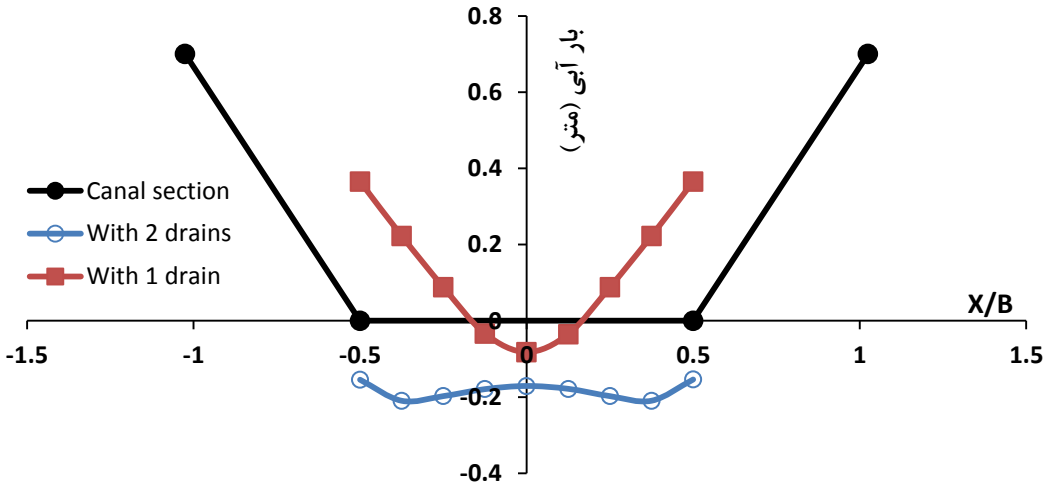
منظور شکل ۲۰ ارائه می‌گردد که در آن توزیع نیروی بالابرنده برای دو حالت تک زهکشی و ۲ زهکشی ارائه شده است.



شکل ۱۹ (الف)- خطوط هم‌پتانسیل و سطح آب زیرزمینی درحالت ۲ زهکش زیر کف کانال



شکل ۱۹ (ب)- خطوط هم‌پتانسیل و سطح آب زیرزمینی درحالت ۱ زهکش زیر کف کانال



شکل ۲۰- تاثیر تعداد زهکش لوله‌ای بر توزیع فشار بالابرنده در زیر کانال پوشش‌دار برای شرایط X/B=0.5, Y/B=-0.25, d/B=0.05, H/B=0.75

شکل ۲۰ نشان می‌دهد که در حالت وجود ۲ زهکش زیر کف کانال، مقادیر نیروی بالابرنده در سرتاسر کف کانال منفی بوده، بدین معنی که هیچ گونه اثر مخربی روی پوشش بتنی کانال ندارد. البته این مسئله قبلا هم در شکل ۱۹ (الف)

که در آن سطح آب زیرزمینی زیر که کانال واقع شده نیز مشهود بود. همچنین مطابق شکل ۲۰ در حالت وجود ۱ زهکش زیر کف کانال دیده می‌شود که فقط قسمت اندکی از نیروی بالابرنده منفی است و در بقیه عرض کف کانال مقدار آن مثبت است. لذا در این حالت اثر نیروی بالابرنده می‌تواند مخرب پوشش بتنی کانال واقع گردد. این مسئله با سطح آب زیرزمینی در شکل ۱۹ (ب) نیز تایید می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل‌های عددی متنوعی برای بررسی نیروی بالابرنده زیر کانال‌ها شبیه سازی گردید. متغیرهای وابسته عبارت بودند از قطر لوله زهکش، سطح آب زیرزمینی، فاصله افقی و عمودی زهکش از مرکز کانال. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فشار بالابرنده در زیر کف کانال پوشش‌دار و در مرکز کف کانال اتفاق می‌افتد. موقعیت سیستم زهکشی، توزیع فشار بالابرنده بر کف کانال را تغییر می‌دهد. زهکش نزدیک خط مرکزی کانال و عمیق شرایط بهتری را برای کانال به لحاظ افت سطح آب زیرزمینی مهیا می‌سازد. در این حالت زیرفشار به کمترین مقدار خود می‌رسد. دو معادله رگرسیون خطی و غیر خطی برای محاسبه نیروی بالابرنده زیر کانال بدست آمد که طراحان می‌توانند از آنها استفاده نمایند. مقایسه روش عددی تحقیق حاضر با روش آزمایشگاهی نصر و همکاران (۲۰۰۳) درصد خطایی حدود ۷ تا ۱۵ درصد را نشان داد که تطابق نسبتا خوبی بین نتایج محاسبات عددی با داده‌های حاصل از آزمایش را نشان می‌دهد. مقایسه بین استفاده از ۱ و ۲ لوله زهکش زیر کف کانال حاکی از آن بود که تاثیر استفاده از ۲ زهکش در کاهش نیروی بالابرنده به مراتب بیشتر از ۱ زهکش است. تصمیم‌گیری در مورد استفاده از یک یا چند زهکش لوله-ای بستگی به شرایط هندسی و هیدرولیکی طرح و نیز اقتصاد آن دارد.

منابع

بختیاری، ز.، لیاقت، ع.، و رحیمی، ح.، ۱۳۸۹. ارزیابی آزمایشگاهی و عددی عملکرد فیترهای مصنوعی در کف و جداره‌های مدل فیزیکی کانال انتقال آب، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳، جلد ۴، ۳۵۰-۳۵۸.

خسروی، ع. ا.، و رحیمی، ح.، ۱۳۹۱. بررسی عملکرد فیلتر-زهکش‌های ژئوکمپوزیت در زیر پوشش کانال در شرایط آزمایشگاهی با اعمال وزن پوشش، مجله پژوهش آب ایران، سال ۶، شماره ۱۰، ۱۲۱- ۱۱۱.

قبادیان، ر.، خلج، م.، و گلزاری، س.، ۱۳۹۱. تعیین محل بهینه باربا‌کان جهت کاهش نیروی زیرفشار و جلوگیری از تخریب پوشش بتنی کانال‌ها با استفاده از روش عددی، نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۱-۱۹ شهریور.

منصوری کیا، م.، میشانی، ب.، و اولی پور، م.، ۱۳۸۲. ایرادهای موجود در طرح و اجرای ویپ هول و فیلتر، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳-۱۰ بهمن.

نجفی‌پور، ف.، ۱۳۸۷. روش‌های پیشگیری از شکست لاینینگ حاصل از تورم خاک و فشار ناشی از آب های زیرزمینی، دومین همایش ملی مدیریت شبکه-های آبیاری زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۸- ۵ خرداد.

Ahmed, A., McLoughlin, S., Johnston, H., 2014. 3D Analysis of seepage under hydraulic structures with intermediate filters. Journal of Hydraulic Engineering, Technical Note, 141(1), 06014019, 1-6 .

Akkuzu, E., 2012. Usefulness of empirical equations in assessing canal losses through seepage in concrete-lined canal. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(5), 455-460.

Chang, D., Nieh, Y.C., 1996. Use of geosynthetics in the uplift pressure relief system for a raft foundation. Recent developments in geotextile filters and prefabricated drainage, Geocomposites, ASTM. Special Technical Publication, 128, 196-221.

Mansuri, B., Salmasi, F., Oghati, B., 2014. Effect of location and angle of cutoff wall on uplift pressure in diversion dam. Geotechnical and Geological Engineering, 32, 1165–1173.

Nasr, R.I., Zeydan, B.A., Bakhry, M.F., Saloom, M.S., 2003. Uplift pressure relief on lined canals using tile drains. Alexandria Engineering Journal, 42(4), 497-507.

Jain, A., and Reddi, L., 2011. Finite-depth seepage below flat aprons with equal end cutoffs, Journal of Hydraulic Engineering, 137(12), 1659-1667.

SEEP/W, 2007, [Computer software], Seepage modeling with SEEP/W, An engineering methodology, Third edition, March 2008 , GEOSLOPE, International Ltd, Calgary, AB, Canada. Printed in Canada, 317 p.