

بررسی عددی اثر لوله زهکش زیر حوضچه آرامش سد انحرافی تبریز بر فشار برکنش

فرزین سلماسی*

دانشیار، دانشکده کشاورزی،
دانشگاه تبریز.

پست الکترونیک:

ferzin.salmasi@gmail.com

بهنام منصوری

دانشجوی کارشناسی ارشد
سازه‌های آبی، دانشکده
کشاورزی، دانشگاه تبریز.

پست الکترونیک:

behnam.mansuri@yahoo.com

نفوذ آب از زیر سازه‌هایی که بر روی خاک‌های نفوذپذیر بنا می‌شوند، یکی از عوامل ایجاد ناپایداری در زیر سد می‌باشد. این ناپایداری‌ها عمدتاً به علت توسعه زیرفشار (نیروی بالابرنده یا برکنش)، فرسایش تدریجی درونی مصالح پی (پایپینگ) و یا وقوع پدیده جوشش ماسه رخ می‌دهد. لذا محاسبه فشار وارده به سطح تماس سد و نیز گرادیان هیدرولیکی خروجی در پایین دست این گونه سازه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از جمله اقداماتی که برای جلوگیری از پدیده زیرشویی، کاهش گرادیان خروجی و همچنین کاهش دبی نشت از زیر سدهای انحرافی صورت می‌گیرد، احداث دیواره‌های آب‌بند و نیز زهکش می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیر شعاع، عمق و موقعیت احداث زهکش جمع‌کننده در کف حوضچه آرامش سد انحرافی بر میزان کاهش نیروی بالابرنده است که با استفاده از شبیه‌سازی مدل عددی سد انحرافی توسط $Seep/w$ از بسته نرم‌افزاری Geo-Studio انجام گردیده است. نتایج حاصل بیانگر این است که با افزایش قطر زهکش جمع‌کننده، نیروی زیرفشار کل وارده به کف سازه کاهش می‌یابد. قرار دادن زهکش جمع‌کننده در بالادست سازه (زیر حوضچه آرامش)، موجب کاهش زیرفشار کل وارده به کف سازه می‌گردد. همچنین نصب عمیق‌تر زهکش لوله‌ای باعث افزایش نیروی زیرفشار در کف سازه می‌شود.

واژگان کلیدی: لوله زهکش، نیروی بالابرنده، گرادیان هیدرولیکی، نشت، نرم‌افزار $Seep/w$.

۱- مقدمه

و یا نصب لوله‌های زهکش در زیر پی نفوذپذیر اشاره نمود. در دو مورد اخیر، آب نشت‌یافته در زیر پی سازه وارد سیستم فیلتر یا زهکش گردیده و از نیروی بالابرنده می‌کاهد. اجرای فیلتر مناسب، همچنین از پدیده پایپینگ یا آبشستگی زیر پی هم می‌کاهد.

در سال ۱۳۹۰، نصرالهی به بررسی ترکیب‌های مختلف عمق ترانشه و بلانکت رسی برای کاهش نشت از سد خاکی ستارخان اهر پرداخت و به این نتیجه رسید که ترکیب پتوی رسی و ترانشه آب‌بند میزان نشت از پی را بیشتر کاهش می‌دهد [۱]. موهبت‌زاده و همکاران در سال ۱۳۹۰، به بررسی شبیه‌سازی فیلتر و زهکش در برآورد نشت در سدهای خاکی پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش میزان گرادیان هیدرولیکی در نزدیکی دیواره

سازه‌های هیدرولیکی ساخته شده روی پی‌های نفوذپذیر در معرض نیروی بالابرنده (زیرفشار) ناشی از اختلاف بار آبی بین بالادست و پایین دست هستند. نیروی بالابرنده می‌تواند سازه را حول پنجه واژگون نموده و یا باعث ترک در سطح بتن کف‌بندها گردد. از راه‌های کاهش نیروی بالابرنده می‌توان به کاهش عرض پی سازه، احداث پرده آب‌بند زیر سازه، احداث پتوی غیرقابل نفوذ در بالادست سازه، قرار دادن فیلتر در محل تماس سازه با پی

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۱۳، بازنگری: ۱۳۹۵/۳/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۱۰.

تراوش پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با ساخت دیوار آببند چپ و راست مقدار تراوش به ترتیب ۶۰ و ۲۰ درصد کاهش می‌یابد [۹]. تروجانوسکی در سال ۲۰۰۴، پدیده فرسایش مصالح بستر در اثر جریان آب از داخل ترک‌ها و درزهای سرریز را به‌عنوان یک مشکل اساسی برای سرریزها بررسی و مطالعه کرده است [۱۰]. در سال ۱۹۹۷، گریفیتس و فنتون با ترکیب تکنیک‌های تولید میدان تصادفی و اجزای محدود به مدل کردن نشت سه‌بعدی ماندگار در حالتی که نفوذپذیری به‌طور تصادفی در فضای خاک توزیع شده است، پرداختند [۱۱].

بررسی‌ها نشان می‌دهند که تأثیر شعاع و عمق زهکش جمع‌کننده در کف سازه بر کاهش نیروی زیرفشار و گرادیان هیدرولیکی مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیر شعاع، عمق و موقعیت احداث زهکش جمع‌کننده در کف حوضچه آرامش سد انحرافی بر میزان کاهش نیروی بالابرنده است. برای نیل به این هدف با استفاده از شبیه‌سازی مدل عددی توسط نرم‌افزار Seep/w سد انحرافی دشت تبریز، میزان حداقل نیروی بالابرنده مشخص می‌شود. متغیرهای طراحی شامل شعاع، عمق و موقعیت زهکش جمع‌کننده می‌باشند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معادلات اساسی به‌کاررفته در تحلیل‌ها

حرکت آب درون خاک از قانون داریسی پیروی می‌کند:

$$q = -kA \left(\frac{\partial h}{\partial l} \right) \quad (1)$$

که در آن q دبی نشت (مترمکعب بر ثانیه)، k ضریب نفوذپذیری (متر در ثانیه)، A سطح مقطع جریان آب و خاک (مترمربع) و $\frac{\partial h}{\partial l}$ شیب هیدرولیکی جریان است. با ترکیب رابطه داریسی و قانون پیوستگی جریان معادله دیفرانسیلی حاکم بر جریان آب در محیط متخلخل به‌صورت رابطه ۲ به‌دست می‌آید که به معادله پواسون

آببند می‌تواند منجر به ایجاد رگاب شود و در این خصوص لازم است برای مهار آن تدابیر مقتضی اتخاذ گردد [۲]. کتابداری و سپیانی نیز در همین سال به بررسی برآورد فشار هیدرولیکی و تراوش در بستر چندلایه‌ای سدهای بتنی با استفاده از روش المان مرزی پرداختند. نتایج نشان داد که روش المان مرزی، ابزاری مناسب جهت محاسبه نیروی زیرفشار و تراوش در زیر سدهای بتنی می‌باشد [۳]. خلیلی شایان و همکاران نیز به بررسی ارزیابی روش‌های کاهش اثرات نشت و زیرشویی در سدهای خاکی پرداختند. ایشان بیان داشتند که بهترین روش جهت کنترل نشت و گرادیان خروجی به‌کارگیری دیواره آببند در موقعیت میانی پی همراه با پوشش کامل سنتتیک می‌باشد [۴]. در سال ۱۳۸۸، قبادیان و خدایی به بررسی تأثیرات دیواره آببند و زهکش بر نیروی زیرفشار و گرادیان خروجی زیر سازه‌های آبی با حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک به روش اجسام محدود پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با احداث یک دیواره آببند در هر وضعیت مکانی، مقدار گرادیان خروجی نسبت به گرادیان خروجی مبنا (بدون دیوار آببند) کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین نیروی زیرفشار و کمترین گرادیان خروجی در موقعیتی که دیواره‌ی آببند در پایین‌دست احداث شود، دیده می‌شود [۵]. برپی و والنت در سال ۲۰۰۸، به بررسی مدل‌سازی نفوذ آب در درزهای فونداسیون پرداختند [۶]. میشر و سینگ در سال ۲۰۰۵، به مطالعه روش‌های عددی برای تعیین مقدار تراوش و مکان هندسی خط فریاتیکی پرداختند. ایشان همچنین کاربرد یک فیلتر را مورد بررسی قرار دادند و موقعیت مناسبی را نیز برای آن پیشنهاد کردند [۷]. در سال ۲۰۰۴، باگو و چاهار به مطالعه تعیین طول زهکش افقی در سدهای خاکی همگن با لحاظ اثر مویبندی خاک پوسته پایین‌دست پرداختند [۸]. در سال ۲۰۰۹، پاکباز و همکاران با مدل 3D-SEEP به ارزیابی ساخت دیوار آببند بتن پلاستیک در تکیه‌گاه راست و چپ سد خاکی کرخه در کاهش مقدار

در مدل سازی انجام شده شرایط مرزی به صورت زیر اعمال شده است:



شکل ۱- سرریز و حوضچه آرامش سد انحرافی تبریز.



شکل ۲- شبکه زهکشی زیر حوضچه آرامش سد انحرافی تبریز.

ارتفاع آب بالادست ۴/۵ متر، ارتفاع آب پایین دست صفر (زمانی که اختلاف ارتفاع سطح آب بالادست و پایین دست بیشترین مقدار باشد بحرانی ترین حالت برای تعیین گرادیان هیدرولیکی خروجی و فشار بالابرنده می باشد)، دبی گذرنده از کف پی صفر وارد شده است تا از خروج آب از کف پی جلوگیری شود (سنگ بستر). به منظور اعمال شرایط مرزی در زهکش پی، هد آب (بار آبی) در محل زهکش جمع کننده برابر با هد آب در کف پایین دست از سطح مبنا یعنی ۴۶/۶ متر وارد شده است که بیانگر فشار صفر (فشار اتمسفر) در آن نقطه می باشد. با توجه به اینکه در منتهی الیه سمت راست و چپ سازه باید شرایط مرزی طوری اعمال شود که اثری روی دبی گذرنده از لایه های پی در بالادست و پایین دست سازه نداشته باشد (دبی نشستی به سمت صفر میل کند)، لذا باید مرز طول بالادست و پایین دست سازه را زیاد در نظر گرفت. در برخی از منابع این طول حداقل ۲/۵ برابر عرض

معروف بوده و شکل تعمیم یافته معادله معروف لاپلاس است:

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

که در آن k_x و k_y به ترتیب هدایت هیدرولیکی خاک در دو جهت افقی و قائم (متر در ثانیه)، h پتانسیل آب در خاک (متر) و q دبی جریان ورودی به توده خاک (مترمکعب بر ثانیه در واحد سطح) است. رابطه فوق برای جریان در شرایط دائمی و خاک همگن صادق است. حل معادله پواسون یکی از مسائل پیچیده ریاضی است و روش های عددی زمینه ای برای حل معادلات دیفرانسیل و تبدیل آنها به مجموعه ای از معادلات جبری است. از جمله نرم افزارهایی که برای حل معادله پواسون با استفاده از روش اجزا محدود مورد استفاده قرار می گیرد، نرم افزار Seep/w است.

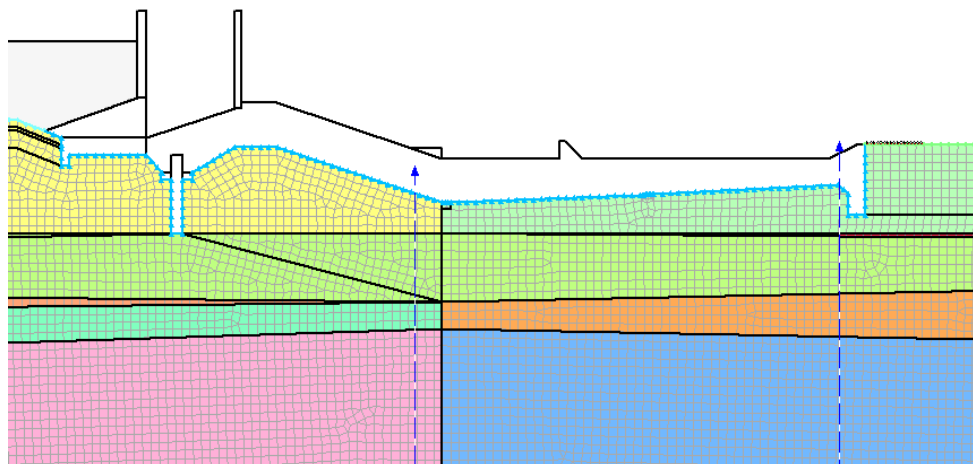
۲-۲- نحوه شبیه سازی عددی

محل سد انحرافی تبریز بر روی رودخانه آجی چای و به فاصله ۷۲۰ متر بالاتر از جاده سنتو و در موقعیت جغرافیایی ۲۸ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است. طول افقی بدنه سد و سرریز ۲۲ متر، طول حوضچه آرامش ۲۳ متر و طول افقی آستانه پایاب ۲/۵ متر می باشد. سرریز و حوضچه آرامش سد انحرافی تبریز و برخی از اجزای آن در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. با مدل سازی زهکش جمع کننده در کف حوضچه آرامش و تغییر موقعیت، قطر و عمق آن در کف حوضچه، تأثیر آن بر روی کاهش زیرفشار بررسی شده است. در مدل سازی هنگام تهیه نمودارها زیرفشار در کل طول سد به طول ۴۷/۵ متر و همچنین در زیر حوضچه آرامش محاسبه می شود. در نرم افزار Seep/w، پی به صورت المان های مربعی شکل، مش بندی گردید. طول و عرض متوسط مربع ها ۰/۵ متر بوده و تعداد المان های به کاررفته ۵۵۰۹۰ المان و تعداد گره های آن ۵۵۷۳۷ گره می باشد.

کف سازه پیشنهاد شده است تا با اعمال شرایط مرزی دبی گذرنده معادل صفر شود [۱۲]. در شکل ۳ موقعیت لایه‌های مختلف پی و در جدول ۱ مشخصات نفوذپذیری لایه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱- نفوذپذیری لایه‌های مختلف پی.

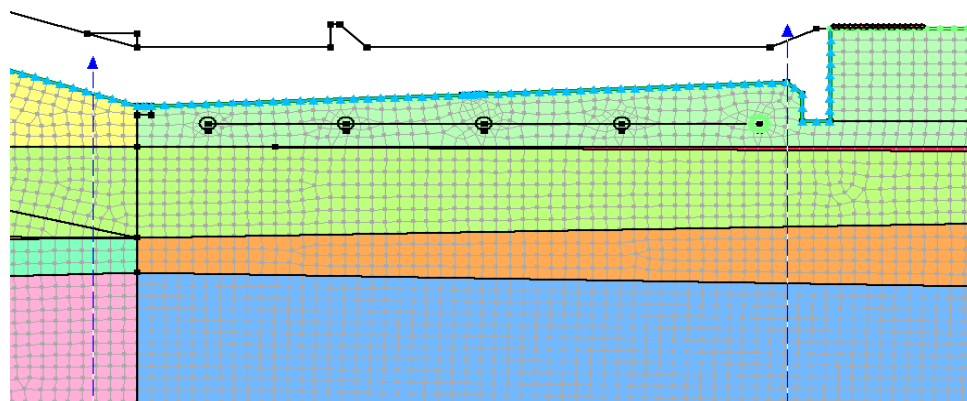
لایه‌های مختلف پی	ضریب نفوذپذیری اشباع خاک (cm/s)	ماسه	رس	ماسه و لای	رس و لای	ماسه و لای	ماسه	رس و لای	ماسه و لای	ماسه
	$1/45 \times 10^{-3}$	$2/57 \times 10^{-3}$	$1/83 \times 10^{-4}$	$6/57 \times 10^{-5}$	$7/57 \times 10^{-4}$	$3/51 \times 10^{-3}$	$2/91 \times 10^{-5}$	$1/75 \times 10^{-4}$	$2/99 \times 10^{-4}$	



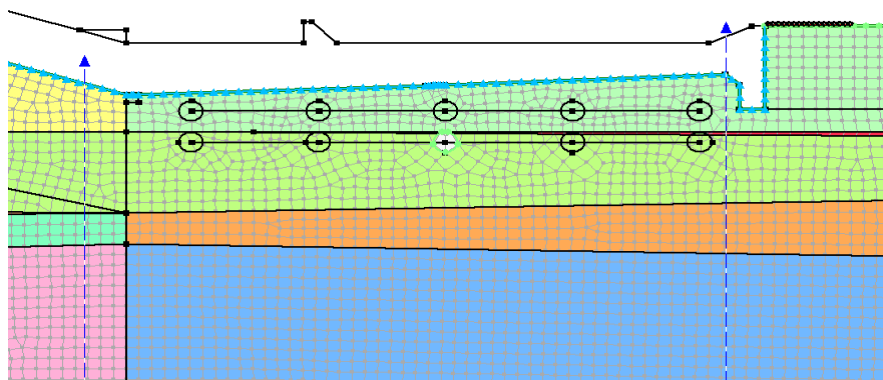
شکل ۳- موقعیت لایه‌های مختلف پی (مدل مبنا).

علاوه بر شبیه‌سازی عددی مدل مبنا، زهکش جمع‌کننده در زیر حوضچه آرامش در شعاع‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ متری که هرکدام از مدل‌ها در ۵ موقیعت مختلف نسبت به محور افقی به فاصله ۵ متر نسبت به هم و در ۳ عمق مختلف نسبت به محور قائم به فاصله ۱/۵ متر نسبت به هم در نظر گرفته شده است. برای نمونه زهکش جمع‌کننده با شعاع ۰/۳ متری و ۰/۵ متری، که نشانگر زهکش جمع‌کننده به ترتیب در آخرین،

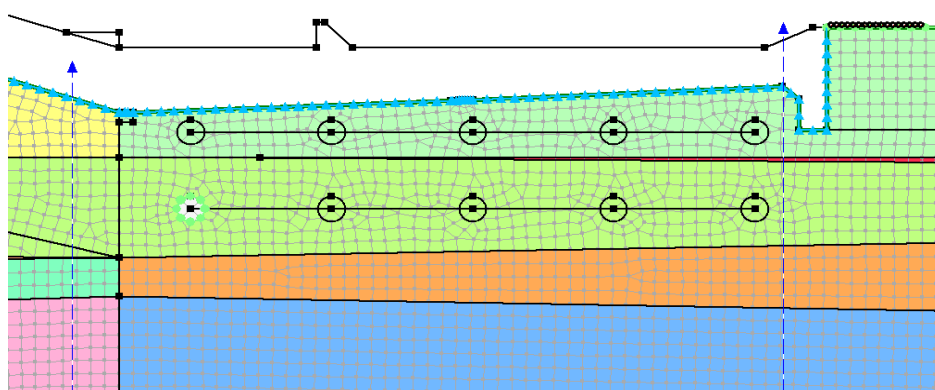
وسطی و اولین موقیعت نسبت به طول بالادست و به ترتیب در عمق تقریبی ۱ متری (به‌علت شیب‌دار بودن حوضچه آرامش به‌عنوان حالت اول در نظر گرفته شده است) ۱/۵ و ۳ متری نسبت به حالت اول در زیر حوضچه آرامش می‌باشد، در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، در نواحی که دقت بیشتری مدنظر بوده (اطراف زهکش جمع‌کننده) از المان‌های ریزتری استفاده شده است.



شکل ۴- مقطع سد انحرافی با زهکش جمع‌کننده به قطر ۰/۳ متر در انتهای حوضچه آرامش در عمق تقریبی ۱ متری از حوضچه (حالت اول).



شکل ۵- مقطع سد انحرافی با زهکش جمع‌کننده به قطر ۰/۵ متر در میانه حوضچه آرامش در عمق ۱/۵ متر پایین‌تر از حالت اول.



شکل ۶- مقطع سد انحرافی با زهکش جمع‌کننده به قطر ۰/۵ متر در ابتدای حوضچه آرامش در عمق ۳ متر پایین‌تر از حالت اول.

۳- نتایج و بحث

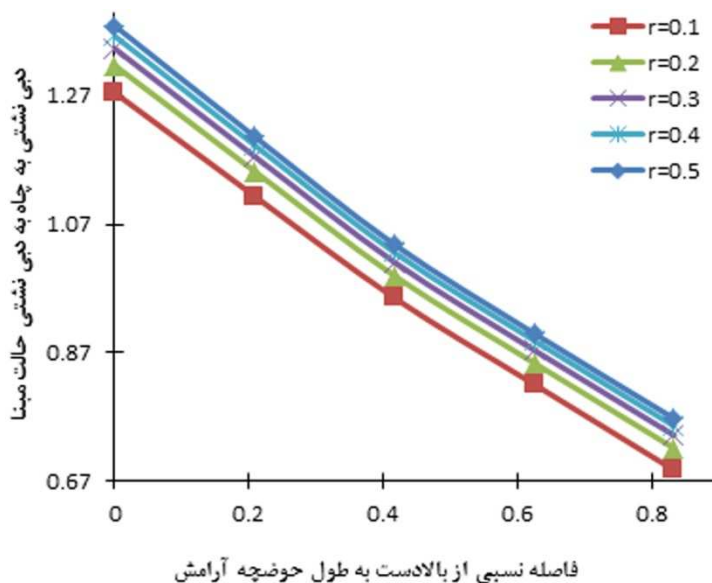
(پنج موقعیت مختلف از بالادست حوضچه آرامش نسبت به طول بالادست حوضچه آرامش) زهکش جمع‌کننده را نشان می‌دهد.

شکل ۷ نشان می‌دهد که مقدار دبی ناشی وارده به زهکش به ترتیب برای زهکش جمع‌کننده به شعاع ۰/۵ متر (بیشترین دبی ناشی وارده به چاه برای شعاع ۰/۵ می‌باشد) در موقعیت‌های مختلف ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰ متری از بالادست سد انحرافی نسبت به حالت بدون زهکش جمع‌کننده (مدل مبنا) برابر با ۱۳۷/۹۵٪، ۱۲۰/۷۰٪، ۱۰۳/۸۴٪، ۸۹/۹۷٪، ۷۶/۷۰٪ است. همچنین با افزایش قطر زهکش جمع‌کننده، دبی ناشی وارده به زهکش اندکی افزایش می‌یابد. شکل ۸ و ۹ سد انحرافی را در حالت مبنا و با زهکش جمع‌کننده به قطر ۰/۵ متر در موقعیت ۲۰ متری زهکش اول و در عمق تقریبی ۱ متری از حوضچه آرامش، پس از شبیه‌سازی عددی نشان می‌دهد. در شکل مذکور منحنی‌های هم‌پتانسیل بدنه سد

به‌منظور مطالعه تأثیر قطر زهکش جمع‌کننده بر تغییر مقادیر دبی نشت و نیروی زیرفشار، زهکش جمع‌کننده در عمق تقریبی ۱ متر پایین‌تر از حوضچه آرامش در شعاع‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ متری در نظر گرفته شده است. تحلیل مقادیر دبی نشت برای مقاطعی مورد مطالعه قرار می‌گیرد که موقعیت قرارگیری آنها در ۱۴۵/۸ (در پایین‌دست زهکش جمع‌کننده) و ۱۷۱ متری (در بالا دست زهکش جمع‌کننده) از بالادست سد در نظر گرفته شده است. در شکل ۷ نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی برای محاسبه دبی ناشی از پی سد انحرافی ارائه گردیده است. در ضمن محور عمودی شکل ۷ از دبی ناشی وارده به چاه نسبت به دبی ناشی حالت مبنا (بدون وجود زهکش جمع‌کننده در شکل ۳) استفاده شده است و همچنین محور افقی آن موقعیت‌های مختلف

شرایطی که عمق تقریبی زهکش‌های جمع‌کننده از کف حوضچه آرامش حدود ۱ متر می‌باشد، انجام گرفت.

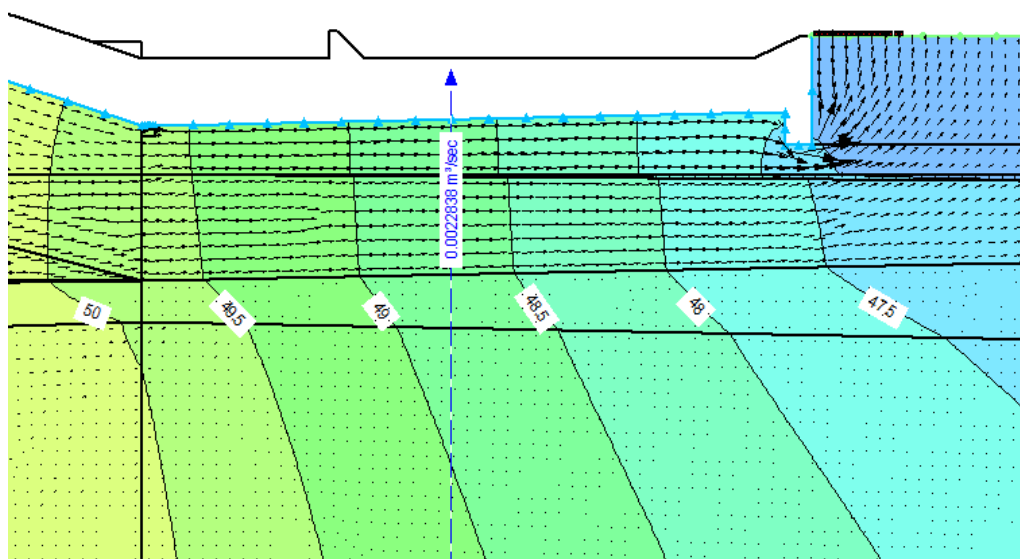
و پی آن، خط فریاتیک و نیز دبی نشتی از سازه دیده می‌شوند. لازم به ذکر است که این مقایسه‌ها فقط در



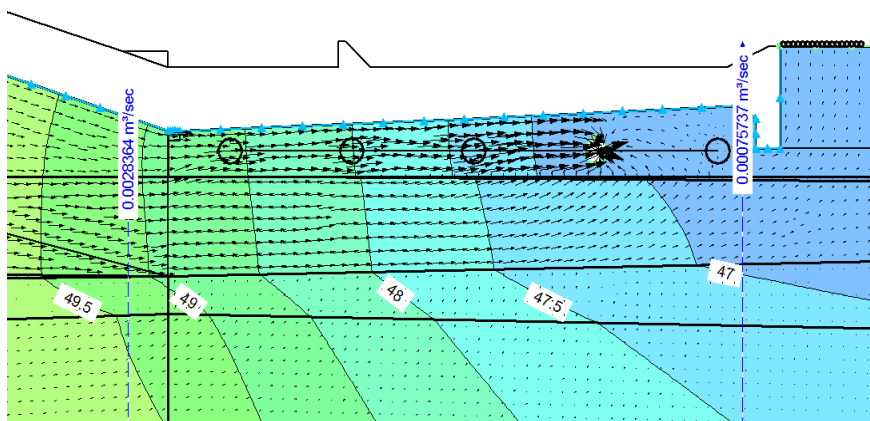
شکل ۷- دبی عبوری از سد در قطرهای مختلف زهکش‌های جمع‌کننده در موقعیت‌های متفاوت در عمق تقریبی ۱ متر از حوضچه آرامش.

می‌باشد که پایداری بیشتر حوضچه آرامش را تضمین می‌کند. نمودار زیر فشار کل در زیر حوضچه و همچنین در زیر کل سازه سد انحرافی در شکل ۱۰ و ۱۱ ارائه گردیده است. ضمناً فاکتور شدت نسبت مقادیر زیر فشار کل به زیر فشار کل حالت مبنا می‌باشد.

مطابق شکل‌های ۸ و ۹، ملاحظه می‌گردد که خطوط هم‌پتانسیل در سد انحرافی با زهکش جمع‌کننده نسبت به بدون زهکش جمع‌کننده روند کاهشی بیشتری را طی می‌کند (افت بیشتری رادر حالت زهکش‌دار دارد) که نشانگر کاهش نیروی زیر فشار نسبت به حالت مبنا



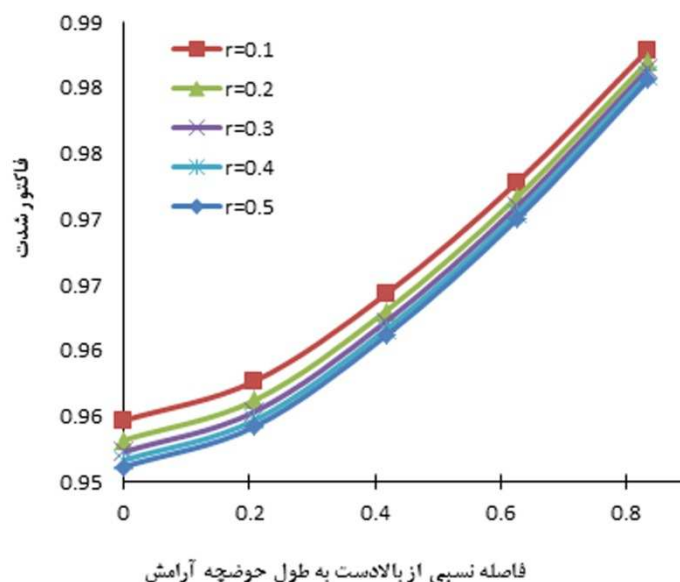
شکل ۸- مقطع سد انحرافی بدون زهکش جمع‌کننده (حالت مبنا).



شکل ۹- مقطع سد انحرافی با زهکش جمع‌کننده به قطر ۰/۵ متر در موقعیت ۲۰ متری زهکش اول و در عمق تقریبی ۱ متری از حوضچه آرامش.

آرامش به ترتیب برای زهکش جمع‌کننده به شعاع ۰/۱ متر (بیشترین نیروی زیرفشار کل وارده بر سازه برای شعاع ۰/۱ می‌باشد) در موقعیت‌های مختلف ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰ متری از بالادست سد انحرافی نسبت به حالت بدون زهکش جمع‌کننده (مدل مینا) برابر با ۹۵/۴۷٪، ۹۵/۷۷٪، ۹۶/۴۳٪، ۹۷/۲۸٪، ۹۸/۲۹٪ خواهد شد.

مطابق شکل ۱۰ ملاحظه می‌گردد که قرارگیری موقعیت زهکش لوله‌ای در بالادست حوضچه آرامش موجب کاهش بیشتری در نیروی زیرفشار کل می‌شود. به عبارت دیگر هرچقدر موقعیت زهکش جمع‌کننده به پایین دست حوضچه نزدیک‌تر باشد، نیروی زیرفشار کل بیشتری را بر سازه حوضچه آرامش وارد می‌کند. به طوری که مقدار نیروی زیرفشار کل وارده بر سازه حوضچه



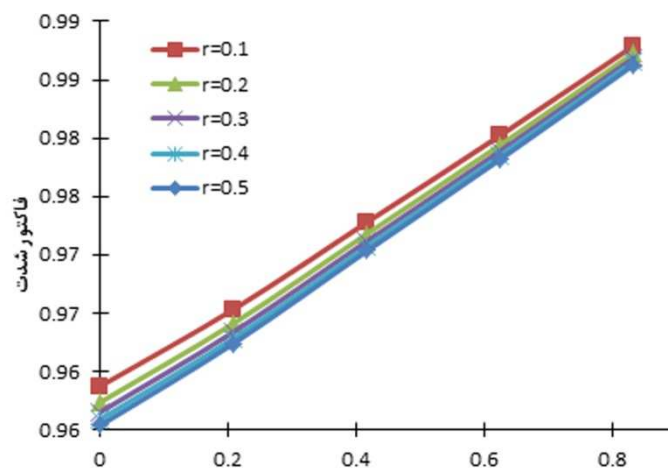
شکل ۱۰- اثر قطرهای مختلف زهکش‌های جمع‌کننده در موقعیت‌های متفاوت بر نیروی زیرفشار کل در عمق تقریبی ۱ متر در زیر حوضچه آرامش.

۷ استفاده کرد. مطابق شکل ۷ هرچایی که دبی نشتی وارده بر چاه بیشتر باشد باعث کاهش مقادیر زیرفشار در نقاط متناظر می‌باشد. لازم به ذکر است که عموماً نیروی

همچنین با کاهش قطر زهکش جمع‌کننده، نیروی زیرفشار کل وارده به زیر سازه افزایش می‌یابد. علاوه بر توضیحات مربوطه برای توجیه شکل ۱۰ می‌توان از شکل

زهکش‌های جمع‌کننده از حوضچه آرامش حدود ۱ متر می‌باشد، انجام می‌گیرد. برای درک بهتر، زیرفشار کل در زیر کل سازه در شکل ۱۱ ارائه شده است.

زیرفشار عامل خطرسازی در پایداری سدهای انحرافی (سدهای بتنی) خاکی به‌شمار می‌رود. لازم به ذکر است که این مقایسه‌ها فقط در شرایطی که عمق تقریبی



فاصله نسبی از بالادست به طول حوضچه آرامش

شکل ۱۱- اثر قطرهای مختلف زهکش‌های جمع‌کننده در موقعیت‌های متفاوت بر نیروی زیرفشار کل در عمق تقریبی ۱ متر در زیر کل سازه.

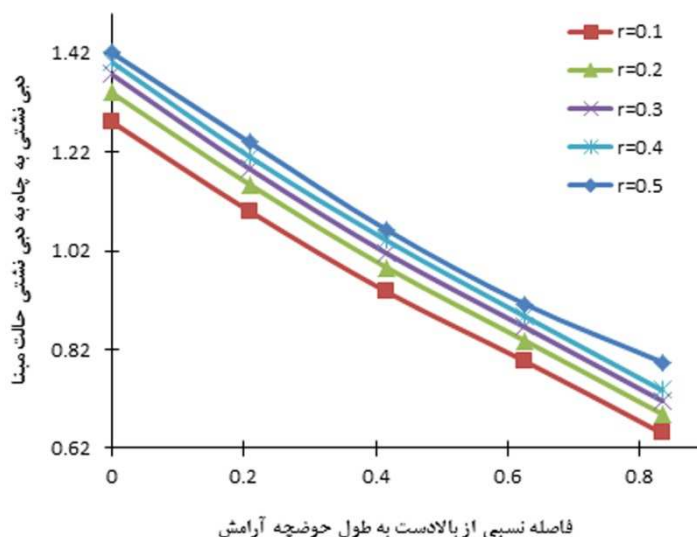
(پنج موقعیت مختلف از بالادست حوضچه آرامش نسبت به طول بالادست حوضچه‌ی آرامش) زهکش جمع‌کننده را نشان می‌دهد

مطابق شکل ۱۲ و ۱۳ ملاحظه می‌گردد که هرچقدر موقعیت زهکش جمع‌کننده به پایین‌دست حوضچه نزدیک‌تر باشد، دبی نشتی وارده به زهکش کاهش خطی را طی می‌کند. به‌طوری که مقدار دبی نشتی وارده به چاه به ترتیب برای زهکش جمع‌کننده که در ارتفاع ۱/۵ متر پایین‌تر از حالت اول در شعاع ۰/۵ متر (بیشترین دبی نشتی وارده به چاه برای شعاع ۰/۵ می‌باشد) در موقعیت‌های مختلف ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰ متری از بالادست سد انحرافی نسبت به حالت بدون زهکش جمع‌کننده (مدل مبنا) برابر با ۱۴۲/۱۶٪، ۱۲۴/۰۲٪، ۱۰۶/۲۲٪، ۹۱/۲۴٪، ۷۹/۴۴٪ خواهد شد. همچنین مقدار دبی نشتی وارده به چاه به ترتیب برای زهکش جمع‌کننده که در ارتفاع ۱/۵ متر پایین‌تر از حالت اول در شعاع ۰/۵ متر (بیشترین دبی نشتی وارده به چاه برای شعاع ۰/۵ می‌باشد) در موقعیت‌های مختلف ۱۵۰، ۱۵۵،

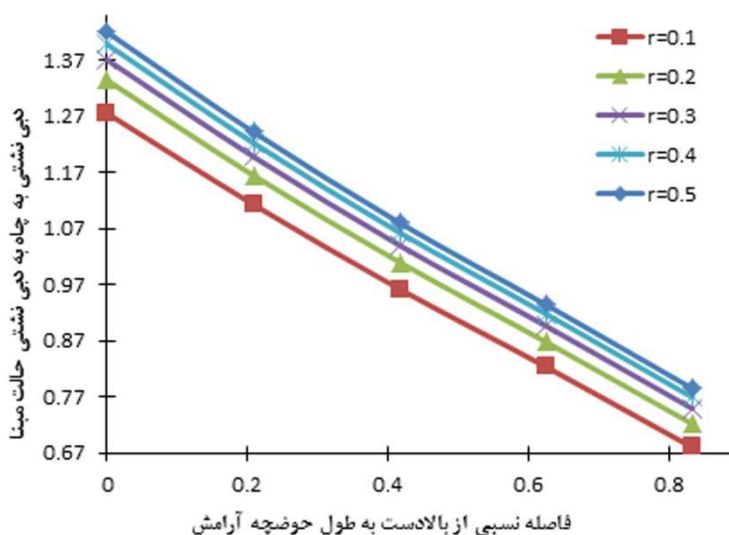
در مرحله بعد به منظور مطالعه تأثیر عمق زهکش جمع‌کننده بر تغییر مقادیر دبی نشت و نیروی زیرفشار، زهکش جمع‌کننده در عمق تقریبی ۱ متر (حالت اول) پایین‌تر از حوضچه آرامش و در حالت دوم و سوم به ترتیب در عمق ۱/۵ و ۳ متر پایین‌تر از حالت اول و در شعاع‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ متری و همچنین در موقعیت‌های مختلف در زیر حوضچه آرامش در نظر گرفته شده است. تحلیل مقادیر دبی نشت برای مقاطعی مورد مطالعه قرار می‌گیرد که موقعیت قرارگیری آنها در ۱۴۵/۸ (در پایین‌دست زهکش جمع‌کننده) و ۱۷۱ (در بالادست زهکش جمع‌کننده) متری از بالادست سد در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۲ و ۱۳ نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی برای محاسبه دبی نشتی از پی سد انحرافی در حالت‌های عمق ۱/۵ و ۳ متر پایین‌تر از حالت اول ارائه گردیده است. در ضمن محور عمودی شکل ۱۲ و ۱۳ از دبی نشتی به زهکش نسبت به دبی نشتی حالت مبنا (بدون وجود زهکش جمع‌کننده در شکل ۳) استفاده شده است و همچنین محور افقی آن موقعیت‌های مختلف

۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰ متری از بالادست سد انحرافی نسبت به حالت بدون زهکش جمع‌کننده (مدل مبنا) برابر با ۱۴۲/۰۵٪، ۱۲۴/۲۶٪، ۱۰۸/۰۶٪، ۹۳/۴۷٪، ۷۸/۵۵٪ خواهد شد. همچنین با افزایش قطر زهکش جمع‌کننده، دبی نشستی وارده به چاه افزایش می‌یابد. شکل ۱۴ و ۱۵ سد انحرافی را در حالت‌های عمق ۱/۵ (قطر ۰/۱ متر) و ۳

متر پایین‌تر از حالت اول که موقعیت قرارگیری زهکش جمع‌کننده به ترتیب در ۱۵۵ و ۱۶۵ متری از بالادست سد انحرافی ارائه گردیده است. در شکل‌های مذکور منحنی‌های هم‌پتانسیل بدنه سد و پی آن، خط فریاتیك و نیز دبی نشستی از سازه دیده می‌شوند.



شکل ۱۲- دبی عبوری از سد در قطرهای مختلف زهکش‌های جمع‌کننده در موقعیت‌های متفاوت در عمق ۱/۵ متر پایین‌تر از حالت اول.

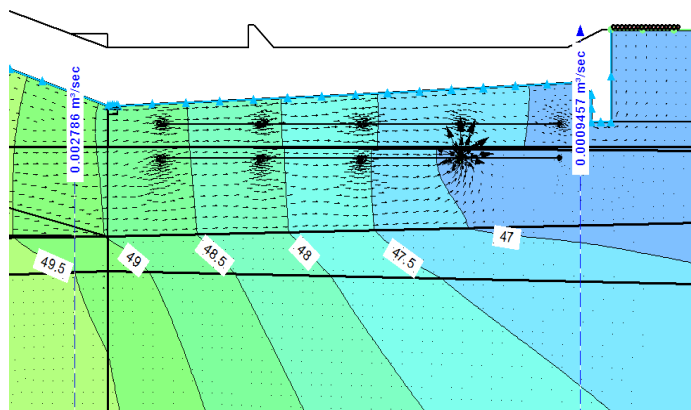


شکل ۱۳- دبی عبوری از سد در قطرهای مختلف زهکش‌های جمع‌کننده در موقعیت‌های متفاوت در عمق ۳ متر پایین‌تر از حالت اول.

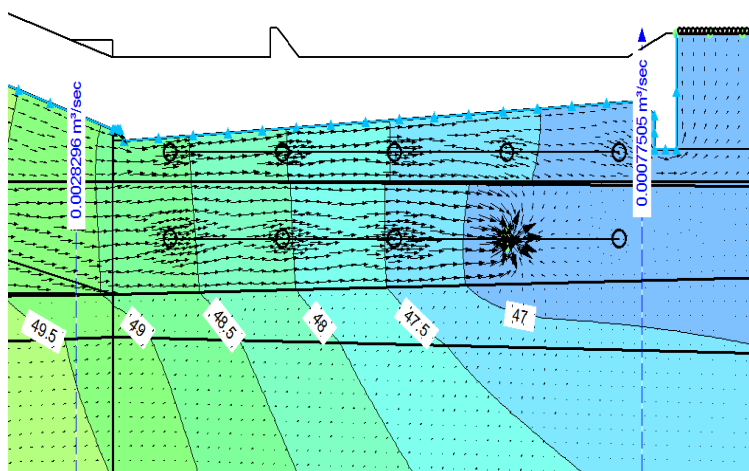
شعاع ۰/۱ (در حالت عمق ۱/۵ متر پایین‌تر از حالت اول)، نیروی زیرفشار کمتری وارد کف حوضچه آرامش می‌شود (افت بیشتری را در شکل ۱۵ نشان می‌دهد) که نشانگر کاهش نیروی زیرفشار است. نمودار زیرفشار کل در زیر

مطابق شکل‌های ۱۴ و ۱۵، ملاحظه می‌گردد که خطوط هم‌پتانسیل در هر دو سد انحرافی روند کاهشی را طی می‌کند، اما در حالت زهکش به شعاع ۰/۳ (در حالت عمق ۳ متر پایین‌تر از حالت اول) نسبت به زهکش به

حوضچه و همچنین در زیر کل سازه سد انحرافی در حالت عمق ۳ متر پایین تر از حالت اول در شکل ۱۶ و ۱۷. ارائه گردیده است. ضمناً فاکتور شدت نسبت مقادیر زیرفشار کل به زیرفشار کل حالت مبنا می باشد.



شکل ۱۴- مقطع سد انحرافی با زهکش جمع کننده به قطر ۰/۱ متر در موقعیت ۲۰ متری زهکش اول و در عمق ۱/۵ متری پایین تر از حالت اول.

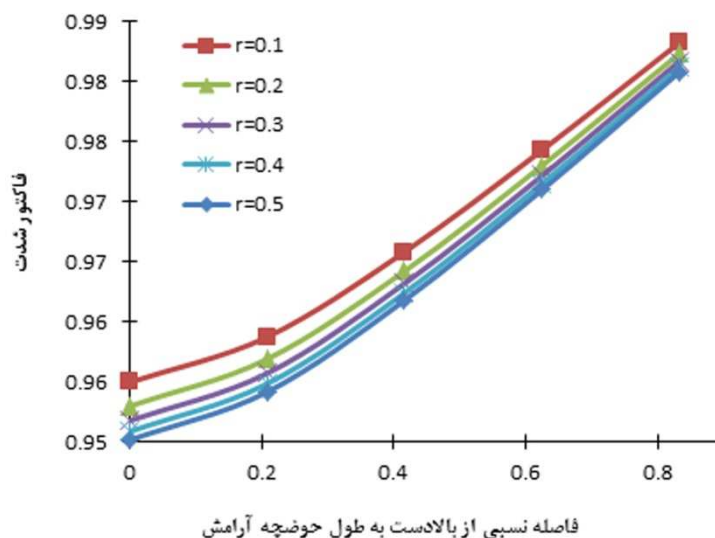


شکل ۱۵- مقطع سد انحرافی با زهکش جمع کننده به قطر ۰/۳ متر در موقعیت ۲۰ متری زهکش اول و در ۳ متری پایین تر از حالت اول.

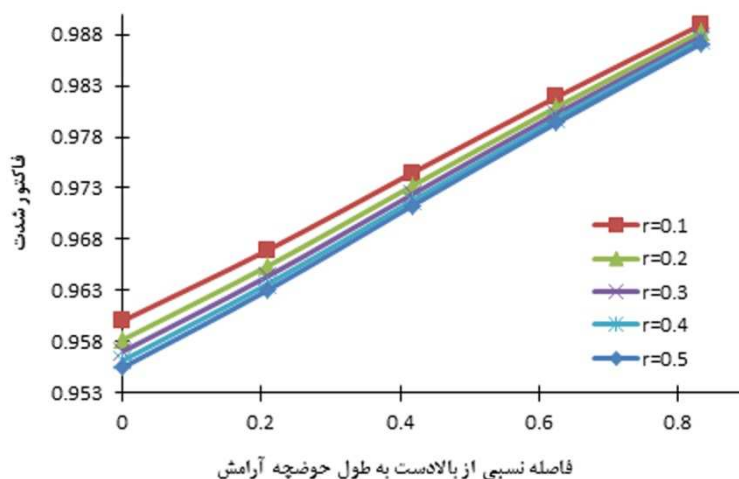
۹۸/۵۲٪ خواهد شد. همچنین با کاهش قطر زهکش جمع کننده، نیروی زیرفشار کل وارده به زیر سازه افزایش می یابد.

علاوه بر توضیحات مربوطه برای توجیه شکل ۱۶ می توان از نمودار ۱۳ استفاده کرد که چنین می توان بیان کرد که در هر جایی که دبی نشتی وارده بر چاه بیشتر باشد باعث کاهش مقادیر زیرفشار در نقاط متناظر می باشد. لازم به ذکر است که عموماً نیروی زیرفشار عامل خطر سازی در پایداری سدهای انحرافی (سد های بتنی) خاکی به شمار می روند.

مطابق شکل ۱۶ ملاحظه می گردد که قرارگیری موقعیت زهکش لوله ای در بالادست حوضچه آرامش نسبت به سایر موقعیت ها باعث کاهش بیشتر نیروی زیرفشار کل می گردد. به طوری که مقدار نیروی زیرفشار کل وارده بر سازه حوضچه آرامش به ترتیب برای زهکش جمع کننده به شعاع ۰/۱ متر در حالت عمق ۳ متر پایین تر از حالت اول (بیشترین نیروی زیرفشار کل وارده بر سازه برای شعاع ۰/۱ می باشد) در موقعیت های مختلف ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰ متری از بالادست سد انحرافی نسبت به حالت بدون زهکش جمع کننده (مدل مبنا) برابر با ۹۵/۶۹٪، ۹۶/۰۷٪، ۹۶/۷۸٪، ۹۷/۶۳٪ مطابق شکل ۱۶ ملاحظه می گردد که قرارگیری موقعیت زهکش لوله ای در بالادست حوضچه آرامش نسبت به سایر موقعیت ها باعث کاهش بیشتر نیروی زیرفشار کل می گردد. به طوری که مقدار نیروی زیرفشار کل وارده بر سازه حوضچه آرامش به ترتیب برای زهکش جمع کننده به شعاع ۰/۱ متر در حالت عمق ۳ متر پایین تر از حالت اول (بیشترین نیروی زیرفشار کل وارده بر سازه برای شعاع ۰/۱ می باشد) در موقعیت های مختلف ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰ متری از بالادست سد انحرافی نسبت به حالت بدون زهکش جمع کننده (مدل مبنا) برابر با ۹۵/۶۹٪، ۹۶/۰۷٪، ۹۶/۷۸٪، ۹۷/۶۳٪



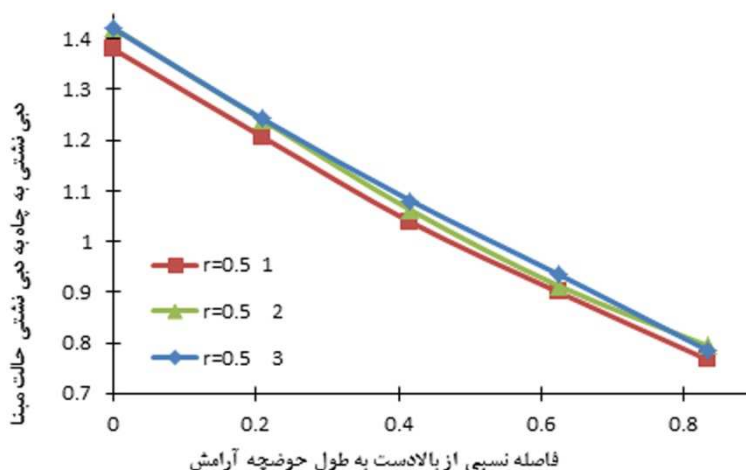
شکل ۱۶- اثر قطرهای مختلف زهکش‌های جمع‌کننده در موقعیت‌های متفاوت بر نیروی زیر فشار کل در حالت عمق ۳ متر پایین‌تر از حالت اول در زیر حوضچه آرامش.



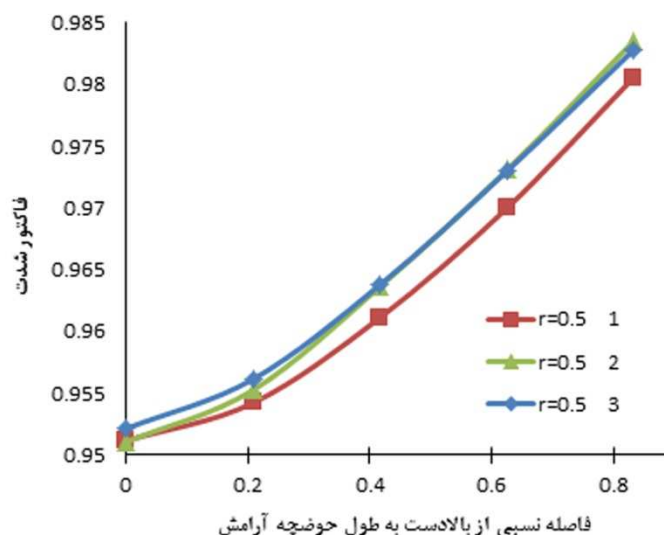
شکل ۱۷- اثر قطرهای مختلف زهکش‌های جمع‌کننده در موقعیت‌های متفاوت بر نیروی زیر فشار کل در حالت عمق ۳ متر پایین‌تر از حالت اول در زیر کل سازه.

شود منجر به افزایش دبی نشتی وارد به زهکش جمع‌کننده می‌شود. مطابق شکل ۱۹ ملاحظه می‌گردد که هرچقدر زهکش جمع‌کننده در عمق بیشتری از زمین کارگذاری شود باعث افزایش نیروی زیر فشار در کف سازه می‌باشد. باتوجه به اینکه کارگذاری زهکش جمع‌کننده در عمق زیاد، هزینه و مشکلات خاص خود را خواهد داشت که در بیشتر مواقع در عمق کمتری از سازه مدنظر کارگذاری می‌شود تا هم از لحاظ اقتصادی و کاربردی مقرون به صرفه باشد.

همچنین برای درک بهتر مقایسه‌هایی هم از لحاظ قطر، عمق و موقعیت زهکش جمع‌کننده از شکل‌های ۱۸ و ۱۹ استفاده به عمل آمده است. لازم به ذکر است که حالت اول مربوط به زهکش‌های جمع‌کننده در عمق تقریبی ۱ متر در زیر حوضچه آرامش می‌باشد. حالت دوم مربوط به زهکش‌های جمع‌کننده در عمق ۱/۵ متر پایین‌تر از حالت اول و حالت سوم مربوط به زهکش‌های جمع‌کننده در عمق ۳ متر پایین‌تر از حالت اول می‌باشد. مطابق شکل ۱۸ ملاحظه می‌گردد که هرچقدر زهکش جمع‌کننده در عمق بیشتری از زمین کارگذاری



شکل ۱۸- دبی عبوری از سد انحرافی در زهکش جمع‌کننده به قطر ۰/۵ در موقعیت‌های مختلف.



شکل ۱۹- نیروی بالابرنده در کف سازه برای زهکش جمع‌کننده به قطر ۰/۵ در موقعیت‌های مختلف.

۴- نتیجه‌گیری

کاهش بیشتری نشان می‌دهد، ولی دبی نشستی اندکی افزایش می‌یابد. خطوط هم‌پتانسیل در سد انحرافی با زهکش جمع‌کننده نسبت به حالت بدون زهکش افت بیشتری را نشان می‌دهد که بیانگر کاهش نیروی زیرفشار نسبت به حالت مینا می‌باشد که پایداری بیشتر حوضچه آرامش را تضمین می‌کند. نصب لوله زهکش در بالادست حوضچه آرامش موجب کاهش بیشتر نیروی زیرفشار کل می‌گردد. بیشترین نیروی زیرفشار کل وارده بر سازه برای شعاع ۰/۱ متر می‌باشد. هرچقدر زهکش جمع‌کننده در عمق بیشتری از سطح زمین کارگذاری شود، منجر به افزایش نیروی بالابرنده می‌شود. نشان داده شده که

در این تحقیق ۷۵ مدل مختلف از نصب زهکش لوله‌ای زیر حوضچه آرامش سد انحرافی تبریز برای بررسی اثر آن بر کاهش نیروی بالابرنده بررسی شد. شبیه‌سازی عددی توسط نرم‌افزار Seep/w انجام شد که خود، زیرمجموعه بسته نرم‌افزار Geo-Studio است. این نرم‌افزار بارها در طراحی‌های سازمان عمران امریکا (USBR) و سایر محققان مورد استفاده بوده و این سازمان آن را توصیه نموده است. نتایج نشان داد که با افزایش قطر زهکش لوله‌های جمع‌کننده، نیروی بالابرنده

هیدرولیک و جنس لایه‌های زیر شالوده سد داشته و برای هر سدی با سد دیگر متفاوت است. به همین دلیل امکان مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات دیگران وجود نداشت.

تغییرات قطر، موقعیت افقی و عمودی لوله زهکش در تغییرات نیروی بالابرنده مؤثر است و توصیه می‌شود تا مهندسين طراح این موارد را در پروژه‌های خود مورد توجه قرار دهند. نیروی بالابرنده بستگی به هندسه،

مراجع

- [۱] نصرالهی، م. (۱۳۹۰). "بررسی ترکیب‌های مختلف عمق ترانشه و بلانکت رسی برای کاهش نشت از سد خاکی (مطالعه سد ستارخان)", پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- [۲] موهبت زاده، آ.، مشعل، م.، هدایت، ن. (۱۳۹۰). "بررسی اثر شبیه‌سازی فیلتر و زهکش در برآورد نشت در سد های خاکی (مطالعه‌ی موردی سد خاکی کرخه خوزستان)", چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- [۳] کتابداری، م. ج.، سپیانی، ح. ع. (۱۳۹۰). "برآورد فشار هیدرولیکی و تراوش در بستر چند لایه سد های بتنی با استفاده از روش المان مرزی"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران.
- [۴] خلیلی، ش.، شیخ رضازاده، ح.، نیکو، ن.، امیری تکلدانی، ا. (۱۳۹۰). "ارزیابی روش‌های کاهش اثرات نشت و زیرشویی در سدهای خاکی"، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [۵] قبادیان، ر.، خدایی، ک. (۱۳۸۸). "تأثیرات دیواره آب‌بند و زهکش بر نیروی زیرفشار و گرادیان خروجی زیر سازه‌های آبی با حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک به روش احجام محدود"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۲۳، شماره ۴، صفحه های ۱۴۸-۱۶۰.
- [6] Barpi, F., & Valente, S. (2008). Modeling water penetration at dam-foundation joint. *Engineering Fracture Mechanics*, 75(3), 629-642.
- [7] Mishra, G. C., & Singh, A. K. (2005). Seepage through a levee. *International Journal of Geomechanics*, 5(1), 74-79.
- [8] Chahar, B. R. (2004). Determination of length of a horizontal drain in homogeneous earth dams. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 130(6), 530-536.
- [9] Pakbaz, M. S., Dardaei, A., & Salahshoor, J. (2009). Evaluation of performance of plastic concrete cutoff wall in Karkheh Dam using 3-D seepage analysis and actual measurement. *Journal of Applied Sciences*, 9(4), 724.
- [10] Trojanowski, J. (2004). Assessing Failure Potential of Spillways on Soil Foundation, Dam Safty, *Association of State Dam Safety Officials, Lexington, Ky. USA*.
- [11] Griffiths, D. V., & Fenton, G. A. (1997). Three-dimensional seepage through spatially random soil. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 123(2), 153-160.
- [12] Garg, N. K., Bhagat, S. K., & Asthana, B. N. (2002). Optimal barrage design based on subsurface flow considerations. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 128(4), 253-263.

F. Salmasi*

Associate Professor,
Faculty of Agriculture,
University of Tabriz.

e-mail: ferzin.salmasi@gmail.com

B. Mansuri

MSc Student, Faculty
of Agriculture,
University of Tabriz.

e-mail: behnam.mansuri@yahoo.com

Numerical Investigation of the Effect of Drain on Uplift Pressure Under the Stilling Basin of the Tabriz Diversion Dam

Seepage of water from beneath of built structures on permeable soils causes uplift force along the contact of structure with foundation. This uplift force reduces hydraulic structure stability. Typically, these instabilities occur due to under-pressure development (uplift force), gradual inner degradation of foundation material (piping) or sand boil phenomenon. Thus, it seems necessary to calculate the pressure applied to the contact surface of the dam. One method for preventing piping phenomenon, reduction in exit gradient as well as decrease of uplift force beneath diversion dams includes implementation of weep hole. This study aims to study the effect of radius, depth and location of pipe drains under stilling basin upon how much uplift force decreases. The benefit of this study in agricultural field for soil and water engineers is to have a safe design of lined canals, weirs or diversion dams. To do this, numerical simulation of Tabriz diversion dam with Geo-Studio software was carried out. Results showed that application of drain pipe under the structure reduced uplift force respect to without drain under the structure. Increasing of drain radius; caused reduction of uplift pressure more but increased of seepage flow slightly. Installation of drain in upper part of stilling basin had a tendency to decrease uplift pressure more. Existence of drain near the stilling basin bottom caused in more reducing of uplift pressure than of installation of it in deeper depth.

Keywords: Drain, Uplift pressure, Hydraulic gradient, Seepage, Seep/w

* Corresponding author