

کاربرد شبیه‌سازی عددی در تعیین موقعیت و ابعاد سوراخ آب (Weep Hole) کانال بتنی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی

قربان مهتابی^{۱*}، میترا ملازاده^۲ و فرزین سلماسی^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶	یکی از مهم‌ترین مشکلات شبکه‌های آبیاری و زهکشی، تخریب یا آسیب‌دیدگی پوشش بتنی کانال‌ها است که منشأ آن در بسیاری از مواقع، نیروی زیرفشار است. نیروی زیرفشار به دلیل عدم کنترل فشارهای هیدرواستاتیک آب زیرزمینی بر دیواره و کف کانال اتفاق می‌افتد. هدف از این تحقیق، بررسی موقعیت و ابعاد سوراخ آب در کف و دیواره کانال بتنی و تأثیر آن روی میزان دبی نشستی معکوس، زیرفشار و گرادیان هیدرولیکی در ترازهای مختلف آب زیرزمینی است. برای این منظور، کانال بتنی با پی نفوذپذیر با هندسه فرضی توسط نرم‌افزار Seep/W شبیه‌سازی شد. متغیرهای بررسی، شامل ابعاد (۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متر) و موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (در حالت تکی و ترکیب دوتایی) تحت سه تراز مختلف آب زیرزمینی (۱، ۱/۵ و ۲ متر) بود. نتایج تحقیق نشان داد که در تمامی ابعاد سوراخ آب‌ها، افزایش عمق آب زیرزمینی باعث افزایش خطی دبی نشستی معکوس به داخل کانال بتنی و گرادیان هیدرولیکی خروجی می‌شود. همچنین در تمامی سوراخ آب‌ها، افزایش قطر باعث کاهش نیروی زیرفشار می‌شود. در صورت استفاده از دو سوراخ آب، دبی نشستی معکوس به داخل کانال و نیروی زیرفشار، به ترتیب بیشتر و کمتر از یک سوراخ آب است. به عبارت دیگر، قرارگیری دو سوراخ آب در موقعیت $N=7$ از لحاظ نیروی زیرفشار و دبی نشستی معکوس، عملکرد مطلوبی را از خود نشان داد. در صورت قرارگیری دو سوراخ آب در موقعیت‌های $N=3$ و $N=2$ نیز بهترین عملکرد را از نظر حداقل گرادیان هیدرولیکی خروجی داشت.
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰	
واژگان کلیدی: دبی نشستی معکوس، سوراخ آب، گرادیان هیدرولیکی خروجی نیروی زیرفشار، Seep/W	

۱- مقدمه

ترک‌ها هنوز راهکار ترمیمی مناسب برای این پدیده به دست نیامده است. با این حال، دو دلیل عمده آن، مشکلات خاک بستر و نیروی زیرفشار شناخته شده است. نیروی زیرفشار، حاصل اختلاف بار هیدرولیکی بین سطح آب زیرزمینی تا کف کانال است. به طور کلی، در مناطقی که تراز آب زیرزمینی بالاتر از کف کانال قرار دارد، بحرانی‌ترین

در بسیاری از شبکه‌های آبیاری ساخته‌شده در ایران و جهان، بروز ترک، خردشدگی و گاه جابه‌جایی در پوشش بتنی کانال‌ها در مناطق با سطح آب زیرزمینی بالاتر از کف کانال، در دوره‌های مختلف ساخت کانال، آنگیری آزمایشی و بهره‌برداری مشاهده شده است. به علت ماهیت پیچیده

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: ghmahtabi@znu.ac.ir

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

مطالعات آزمایشگاهی نشت و مسائل مربوط به آن، استفاده از نرم‌افزارهای قدرتمند در شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرلیکی-ژئوتکنیکی افزایش چشمگیری یافته است. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به علت انعطاف‌پذیری و امکان بررسی متغیرها با شرایط هیدرولیکی مختلف در زمان کوتاه و با هزینه کم، بسیار مورد استقبال محققان و مهندسان قرار گرفته‌اند. Seep/W یکی از انواع نرم‌افزارهای مهندسی ژئوتکنیک است که در زمینه نشت و مسائل مربوط به آن ارائه شده و بر پایه معادلات اساسی جریان در محیط متخلخل، استوار است. مرور تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که در زمینه بررسی روش‌های کنترل نیروی زیرفشار و گرادیان هیدرولیکی خروجی زیر کانال‌های بتنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی خصوصاً تأثیر سوراخ آب یا بارباکان (Weep Hole)، مطالعات فیزیکی و یا عددی خیلی محدودی انجام شده است.

نجفی‌پور مشکلات کانال انتقال آب شهید چمران به طول ۱۸ کیلومتر را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت عوامل تورم، وجود خاک‌های نامناسب و فشار آب زیرزمینی موجب بروز خسارت در پوشش بتنی کانال شده است [۱]. رشت‌برزاده به بررسی ارزیابی کاربرد مواد ژئوسنتیک در شبکه آبیاری مغان پرداخت. نتایج نشان داد که میزان نشت از کانال عمدتاً مربوط به عدم اتصال مناسب پوشش ژئوممبران است. همچنین ملاحظه شد که رابطه تجربی مورتیز تطابق بیشتری با مقدار دبی نشتی مشاهده‌ای دارد [۲]. رستمیان و کویایی برای برآورد میزان نشت آب از کانال‌های خاکی شبکه آبیاری زاینده‌رود، از نرم‌افزار Seep/W بهره گرفته، ضمن برآورد میزان نشت با استفاده از مدل Seep/W و معادلات مختلف تجربی، به اندازه‌گیری نشت به روش ورودی-خروجی و نیز با استفاده از مولینه اقدام کردند. نتایج تحقیق، ضعف معادلات تجربی و توانایی بالای مدل Seep/W را نشان داد [۳]. قبادیان و همکاران به بررسی تعیین محل بهینه سوراخ آب برای کاهش نیروی زیرفشار و جلوگیری از تخریب پوشش بتنی کانال‌ها با استفاده از روش عددی، پرداختند. با قرار دادن سوراخ آب در نقاط مختلف کف و کناره‌های جانبی یک کانال با مقطع دوزنقه‌ای به‌ازای بیشترین گرادیان هیدرولیکی، مقدار زه آب نشتی و نیروی زیرفشار محاسبه شد. بر اساس نتایج، استفاده از سیستم زهکشی در کف و گوشه‌های تحتانی کانال، بیشترین تأثیر را در حفاظت از پوشش کانال دارد

شرایط در پایداری زمانی اتفاق می‌افتد که کانال خالی از آب است. در این حالت، نیروی زیرفشار به حداکثر می‌رسد و موجب آسیب‌دیدگی قطعات بتنی پوشش کانال می‌شود. برای جلوگیری از وارد شدن زیرفشار به پوشش کانال باید امکان زهکشی آزاد در محیط اطراف آن برقرار باشد. مطالعات نشان داده است که برای جلوگیری از ایجاد یا کاهش نیروی زیرفشار، تعبیه فیلتر، زهکش و همچنین سوراخ آب در اطراف پوشش کانال، یکی از بهترین روش‌های ممکن برای حفاظت کانال‌ها است. اجرای این سیستم‌ها در دیواره‌های جانبی و کف کانال با ایجاد اختلاف پتانسیل در توده خاک، امکان زهکشی آب موجود در خاک را فراهم می‌کند و موجب می‌شود آب در شیروانی‌های خاکی جدار کانال پایین بیفتد. این امر ضمن حذف فشارهای هیدرواستاتیکی، از ترک‌خوردگی و شکست پوشش بتنی کانال در حالت‌های بحرانی بهره‌برداری، جلوگیری خواهد کرد.

سوراخ آب عبارت است از یک مجرا یا لوله عمودی که از کف سازه بتنی عبور کرده و پی را به جو متصل می‌کند و اطراف آن با یک فیلتر پوشانده می‌شود. با تخلیه آب‌های زهکشی شده توسط سوراخ آب، زیرفشار در زیر کف سازه بتنی کاهش یافته، توزیع فشار و گرادیان هیدرولیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و شکست یا درز و ترک ایجادشده در سطح پوشش بتن کانال کاهش می‌یابد. اساساً تعبیه فیلتر یا زهکش در زیر پوشش کانال، چه از لحاظ تأمین مصالح و چه از نظر روش‌های اجرایی، همواره با مشکلاتی همراه است، به‌ویژه آنکه در اغلب مناطق، مصالح، باکیفیت مناسب و حجم قابل قبول وجود ندارد. از طرفی، استفاده از دریچه‌های یک‌طرفه (سوراخ آب) در مقاطع خاک‌برداری و جاهایی که تخلیه ثقلی آب نشتی جمع‌آوری شده توسط فیلتر میسر نیست، توصیه می‌شود. در چنین مقاطعی مکانیزم تخلیه زه‌آب از طریق دریچه‌های یک‌طرفه، تفاوت فشار هیدرولیکی در دو طرف دریچه است. با توجه به شرایط تخلیه آب زیرزمینی و پتانسیل آن در خاک، می‌توان شدت تخلیه جریان به کانال و تعداد سوراخ لازم در طول کانال را تعیین کرد. وجه مجهول این مسئله، تعیین موقعیت و ابعاد سوراخ آب در کانال با پوشش بتنی، تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی است که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. امروزه با گسترش علوم کامپیوتری و از طرفی، محدودیت

همگن و حالت پایدار، رابطه معروف لاپلاس بوده که از این قرار است:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

در رابطه بالا، h پتانسیل آب در خاک است. با حل عددی معادله لاپلاس توسط نرم افزار، مقادیر پتانسیل آب در خاک و در نتیجه، خطوط هم پتانسیل و جریان به دست می آید. مقدار دبی جریان نشت (q) از رابطه داری (رابطه ۱) و بر اساس سطح مقطع جریان (A) و گرادیان هیدرولیکی ($\frac{\partial h}{\partial x}$) محاسبه می شود. مقدار گرادیان هیدرولیکی در هر محل بر مبنای خطوط هم پتانسیل و جریان و مقدار فشار آب منفذی (u_w) در هر نقطه، از رابطه ۳ محاسبه می شود. با ترسیم منحنی فشار آب منفذی در زیر سازه، نیروی زیر فشار برابر با مساحت زیر منحنی مربوط است.

$$q = kA \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2)$$

$$u_w = (h - z) \gamma_w \quad (3)$$

در روابط بالا، k ضریب نفوذپذیری خاک، z ارتفاع نسبت به سطح مقایسه و γ_w وزن مخصوص آب است. شایان ذکر است برای کالیبراسیون مدل های عددی مسائل نشت، از داده های آزمایشگاهی دبی نشت و فشار پیزومتر (فشار آب منفذی) استفاده می شود و با محاسبه خطای مدل عددی، در صورت لزوم با اصلاح ضرایب مدل، مثل پارامترهای ون-گنوختن، مدل عددی، کالیبره می شود [۸].

۲-۲- مدل سازی عددی

در این مطالعه، کانال بتنی با ابعاد نشان داده شده در شکل (۱) فرض شده است. شیب دیواره کانال برابر ۱V:1.5H و عمق کلی کانال برابر با ۲/۵ متر و عرض کف کانال ۲ متر فرض گردیده است. برای درک بهتر شرایط مرزی، شکل (۲) ارائه شده است. در اولین شرط مرزی، عمق آب زیرزمینی به عنوان ارتفاع آب در نظر گرفته می شود (عمق آب زیرزمینی برابر است با فاصله سطح آب زیرزمینی تا خط HG). بنابراین، شرایط مرزی خطوط AH و FG به عنوان عمق آب زیرزمینی، پتانسیل ثابت در نظر گرفته شده است. همچنین کف کانال بتنی نفوذناپذیر (دبی برابر صفر) است (DE, CD, BC). در ضمن، گره های اطراف سوراخ آب نیز دارای فشار اتمسفر (فشار صفر) است. همچنین نفوذپذیری

[۴]. کاهلون و کمپر به بررسی تأثیر دیواره های کانال در میزان نشت از کانال پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در صورت بهبود دیواره، دبی نشت به اندازه ۲۵ درصد کاهش می یابد. همچنین ۸۰ درصد مقدار نشت از ۸ سانتی متری بالای خاکریز کانال های قدیمی اتفاق می افتد [۵]. علاوه بر موارد ذکر شده، شبیه سازی، در مسائل نشت و سایر مشکلات انواع سازه های هیدرولیکی از قبیل کانال، سدهای خاکی و بتنی استفاده شده است که می توان به منصوری و همکاران [۶]، بروداس [۷]، خلیلی شایان و امیری تکلدانی [۸]، سلماسی و همکاران [۹]، اژدری مقدم و همکاران [۱۰]، حاجی عزیز و همکاران [۱۱] و شاه مردان و همکاران [۱۲] اشاره کرد. سلماسی و همکاران [۹] با کمک نرم افزار Seep/W به بررسی موقعیت زهکش طولی در زیر کانالی بتنی پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از سیستم لوله زهکشی باعث کاهش نیروهای زیر فشار در زیر کف کانال می شود؛ به طوری که قرارگیری دو زهکش طولی با فاصله دو عرض کف کانال، بهینه ترین حالت را از لحاظ کارایی در کاهش نیروی زیر فشار به دست می دهد.

هدف این تحقیق، بررسی موقعیت و ابعاد سوراخ آب در کف کانال بتنی و تأثیر آن روی میزان نشت معکوس، کاهش زیر فشار و گرادیان هیدرولیکی در شرایط تغییر تراز آب زیرزمینی است. بدین منظور، در محیط نرم افزار Seep/W هندسه یک کانال بتنی همراه با سوراخ آب در سه قطر مختلف و موقعیت های قرارگیری متفاوت (تکی و دوتایی) تحت سه تراز آب زیرزمینی شبیه سازی شد. در ادامه، هندسه مدل عددی و شرایط مرزی آن و همچنین ابعاد و موقعیت های سوراخ آبها معرفی می شود. سپس با ارائه نتایج مدل های مورد بررسی، بحث روی آنها انجام می گیرد.

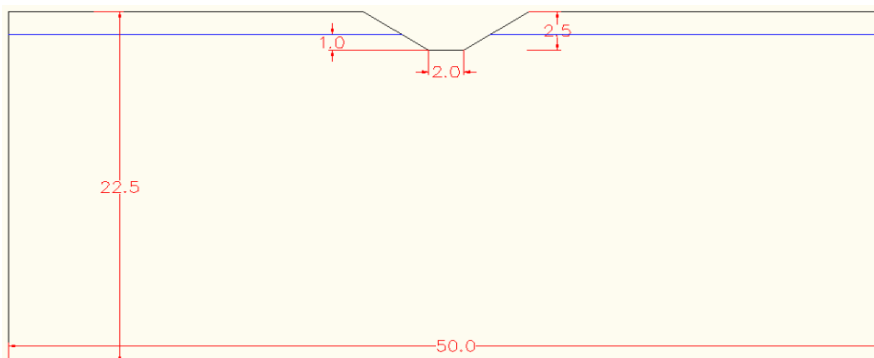
۲- مواد و روش ها

۲-۱- معرفی نرم افزار

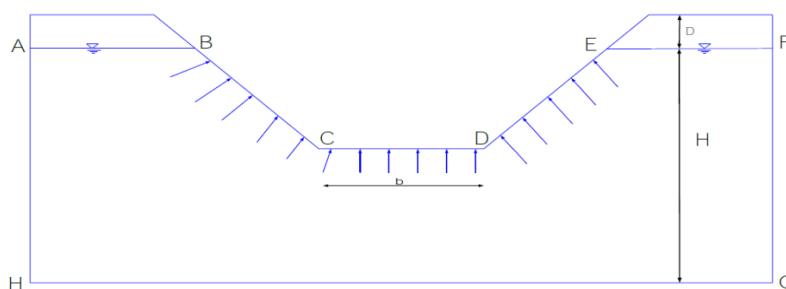
نرم افزار Seep/W از مجموعه نرم افزارهای Geo-studio، مبتنی بر روش المان محدود است و برای مدل سازی تراوش و توزیع فشار آب منفذی در محیط های متخلخل، مانند خاک و سنگ تهیه شده است. نرم افزار Seep/W توانایی حل معادلات حاکم بر جریان آب در خاک اشباع شده یا خاک غیر اشباع را برای شرایط دائمی و غیردائمی دارد. رابطه حاکم بر جریان آب در محیط های متخلخل در خاک

۱۰۵۹۱ بود، به‌عنوان تعداد المان بهینه در نظر گرفته شد. شایان ذکر است مدل کانال با سه عمق آب زیرزمینی مختلف (۱، ۱/۵، ۲ متر نسبت به کف کانال) بررسی شد. همچنین تمامی شبیه‌سازی مدل‌های مدنظر، با حالت پایدار انجام گرفته است.

پی کانال بتنی در جهت افقی و قائم، یکسان و برابر 1×10^{-5} متر بر ثانیه فرض شده است. برای رسیدن به یک مش بهینه، در یک مدل، تعداد المان‌ها در مراحل مختلف افزایش داده شد، تا جایی که تغییرات پتانسیل، از تعداد المان‌ها مستقل گردید. این تعداد المان که در حدود



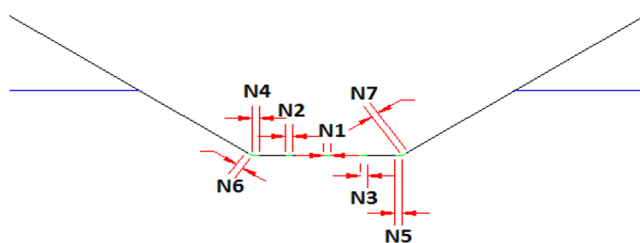
شکل ۱: ابعاد کانال بتنی



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه و شرایط مرزی مربوط به آن

۳، ۵ و ۷ بررسی شدند. در جدول‌های ۱ و ۲، به‌ترتیب، مدل‌های تکی و دوتایی سوراخ آب‌ها ارائه شده است. حالت‌های دوتایی سوراخ آب‌ها، به‌صورت متقارن در دو طرف خط مرکزی کانال در نظر گرفته شده است. در مجموع، تعداد کل مدل‌های مورد بررسی، به ۷۲ عدد رسید. در هر مدل، مقادیر نیروی زیر فشار، دبی نشستی معکوس و گرادیان هیدرولیکی خروجی در محل سوراخ آب‌ها استخراج و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

برای بررسی تأثیر ابعاد سوراخ آب یا قطر سوراخ آب، سه اندازه ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری در نظر گرفته شده است. همچنین برای بررسی موقعیت سوراخ آب، در زیر کانال بتنی از ۷ موقعیت قرارگیری با دو حالت سوراخ آب تکی و دوتایی استفاده شده است. برای رسیدن به درک بهتر از شرایط قرارگیری سوراخ آب در زیر کانال بتنی، شکل (۳) تهیه شده است. البته به دلیل تقارن موجود در کانال بتنی، در حالت تکی سوراخ آب‌ها، صرفاً سوراخ آب‌های شماره ۱،



شکل ۳: موقعیت قرارگیری سوراخ آب‌ها در زیر کانال بتنی

جدول ۱: متغیرهای طراحی در شبیه‌سازی عددی کانال بتنی به‌ازای قرارگیری یک سوراخ آب در زیر کانال

قطر سوراخ آب (سانتی متر)	موقعیت قرارگیری سوراخ آب	عمق آب زیرزمینی نسبت به کف کانال (متر)
۱۵، ۱۰، ۵	N1, N3, N5, N7	۲، ۱/۵، ۱

جدول ۲: متغیرهای طراحی در شبیه‌سازی عددی کانال بتنی به‌ازای قرارگیری دو سوراخ آب در زیر کانال

قطر سوراخ آب (سانتی متر)	موقعیت قرارگیری سوراخ آب	عمق آب زیرزمینی نسبت به کف کانال (متر)
۱۵، ۱۰، ۵	N2, N3	۲، ۱/۵، ۱
۱۵، ۱۰، ۵	N5, N4	۲، ۱/۵، ۱
۱۵، ۱۰، ۵	N6, N7	۲، ۱/۵، ۱

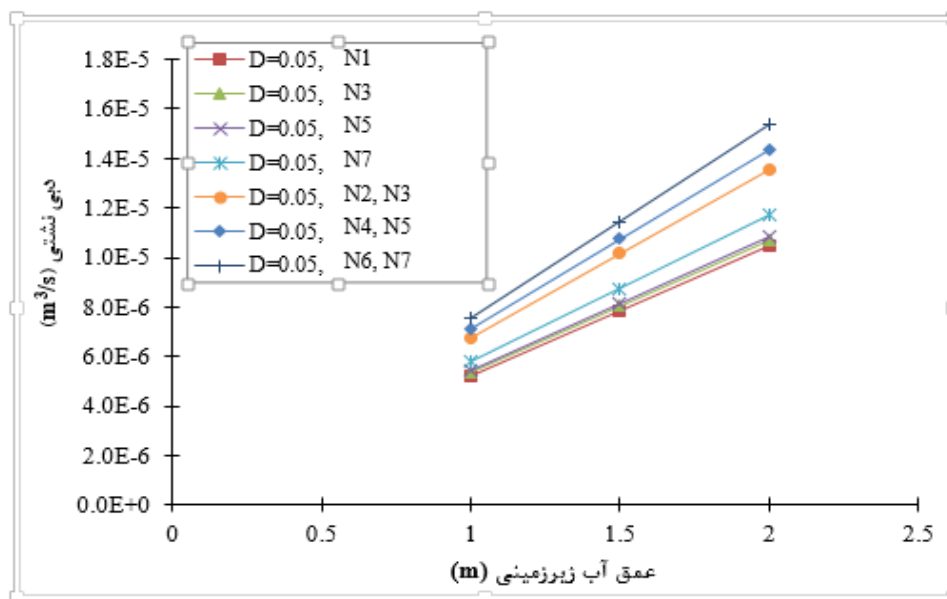
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر سوراخ آب‌ها با قطر ۵ سانتی‌متر

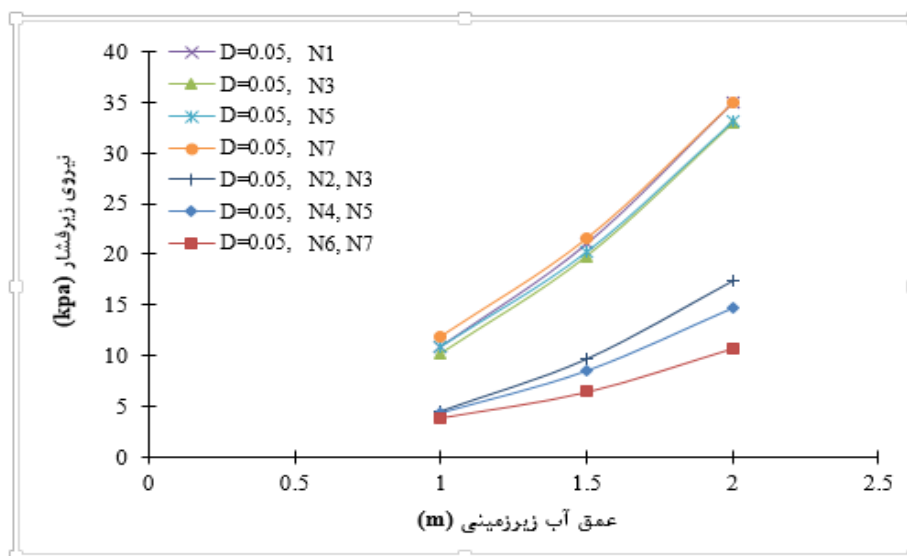
در شکل (۴)، تغییرات دبی ناشی معکوس از کانال بتنی به همراه سوراخ آب با قطر ۵ سانتی‌متری در موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب زیرزمینی متفاوت ارائه شده است. مطابق شکل، در تمام قطرهای سوراخ آب‌ها، با افزایش عمق آب زیرزمینی، دبی ناشی معکوس به‌صورت خطی بیشتر می‌شود. برای نمونه، با ثابت نگه داشتن موقعیت قرارگیری سوراخ آب‌ها در $N=7,6$ در زیر کانال بتنی، افزایش عمق آب زیرزمینی از ۱ متر به ۱/۵ متر، باعث افزایش ۵۱/۵۲ درصدی دبی ناشی معکوس می‌شود. با تغییر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها، دبی ناشی معکوس، روند مشخصی را طی می‌کند؛ از این قرار که در صورت استفاده از یک یا دو سوراخ آب در زیر کانال بتنی، هر قدر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها به دیواره کانال نزدیک‌تر باشد، دبی ناشی معکوس به داخل کانال، بیشتر می‌شود. البته دبی ناشی معکوس به داخل کانال، در صورت استفاده از دو سوراخ آب بیشتر از یک سوراخ آب است. به عبارت دیگر، حالت دوتایی سوراخ آب‌ها در موقعیت قرارگیری $N=7,6$ ، عملکرد مطلوبی از نظر بیشترین دبی ناشی، نشان می‌دهد.

شکل (۵)، تغییرات نیروی زیرفشار در زیر کانال بتنی به همراه سوراخ آب با قطر ۵ سانتی‌متری در موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب زیرزمینی متفاوت را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، مشخص می‌شود که نیروی زیرفشار کل، با عمق آب زیرزمینی رابطه‌ای مستقیم دارد؛ به طوری که با افزایش عمق آب زیرزمینی، نیروی زیرفشار تقریباً به‌صورت نمایی بیشتر می‌شود. البته شیب خط نیروی زیرفشار به‌ازای

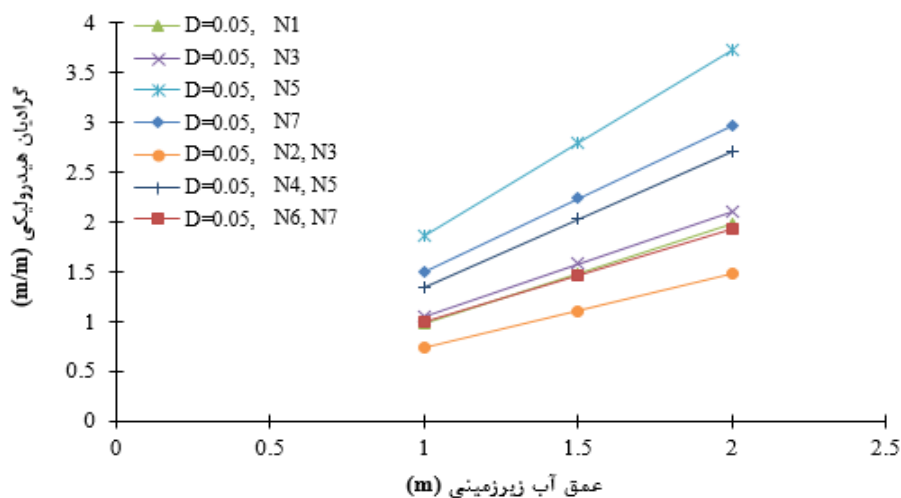
استفاده از دو سوراخ آب، کمتر از حالت یک سوراخ آب است. با توجه به شکل مذکور، می‌توان گفت در سوراخ آب‌های تکی، تغییر موقعیت‌های قرارگیری، تأثیر چندانی بر روی نیروی زیرفشار در زیر کانال بتنی ندارد. در صورت استفاده از دو سوراخ آب در زیر کانال بتنی، نیروی زیرفشار به‌مراتب کمتر از حالت یک سوراخ آب می‌شود؛ البته در موقعیت‌های مختلف دوتایی، عملکرد یکسانی ندارند. بر این اساس، در قطر ۵ سانتی‌متر، کمترین نیروی زیرفشار در حالت دوتایی، مربوط به سوراخ آب‌ها در موقعیت قرارگیری $N=7,6$ است؛ به طوری که نیروی زیرفشار این حالت نسبت به ترکیب دوتایی $N=3,2$ حدود ۱۷ درصد و نسبت به حالت‌های تکی، حدود ۶۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در شکل (۶)، تغییرات گرادیان هیدرولیکی خروجی در محل سوراخ آب با قطر ۵ سانتی‌متری با موقعیت‌های مختلف (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) در سه عمق آب زیرزمینی نشان داده شده است. نتایج، بیانگر این است که در هر موقعیت سوراخ آب، با افزایش عمق آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی خروجی به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین با تغییر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها، گرادیان هیدرولیکی خروجی، روند مشخصی را طی نمی‌کند. در صورت قرارگیری دو سوراخ آب در موقعیت‌های ۲ و ۳ ($N=3,2$)، بهترین عملکرد از لحاظ گرادیان هیدرولیکی خروجی وجود دارد. البته متذکر می‌شود که باید گرادیان خروجی، نسبت به مقدار گرادیان بحرانی (یک) کمتر باشد. بدترین حالت از لحاظ گرادیان هیدرولیکی خروجی، مربوط به قرارگیری یک سوراخ آب در موقعیت ۵ ($N=5$) است؛ به طوری که تغییر موقعیت قرارگیری از یک سوراخ آب در موقعیت $N=5$ به دو سوراخ آب در موقعیت‌های $N=3,2$ ، باعث کاهش ۶۰/۵۴ درصدی گرادیان هیدرولیکی خروجی می‌شود.



شکل ۴: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب‌ها با ۵ سانتی‌متر بر دبی نشتی به داخل کانال بتنی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی



شکل ۵: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با قطر ۵ سانتی‌متر بر نیروی زیر فشار در زیر کانال بتنی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی



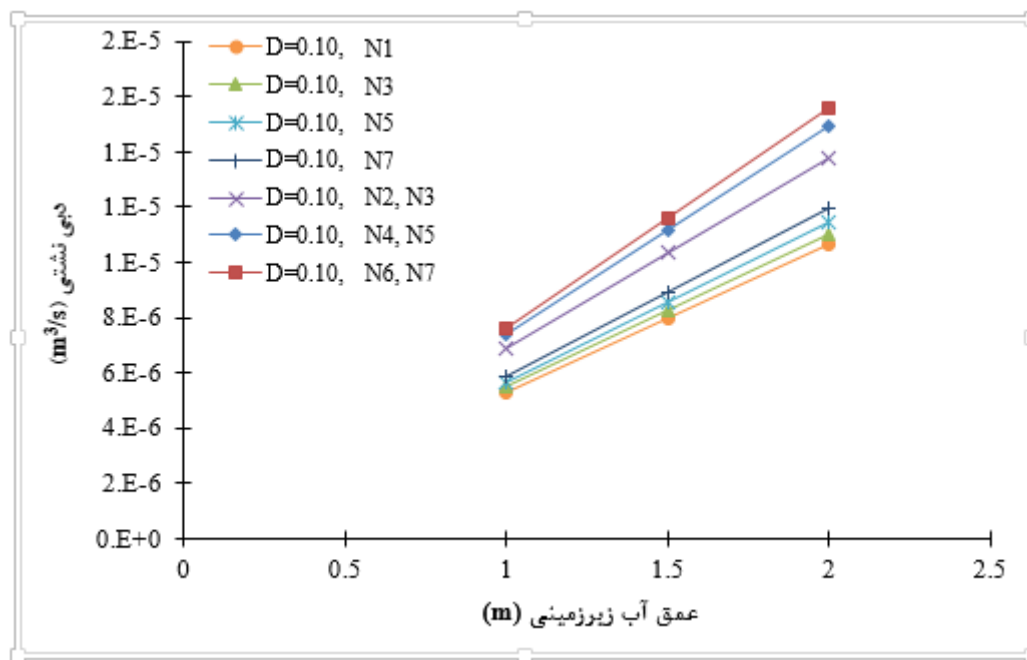
شکل ۶: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با ۵ سانتی‌متر بر گرادیان هیدرولیکی خروجی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی

۳-۲- تأثیر سوراخ آب‌ها با قطر ۱۰ سانتی‌متر

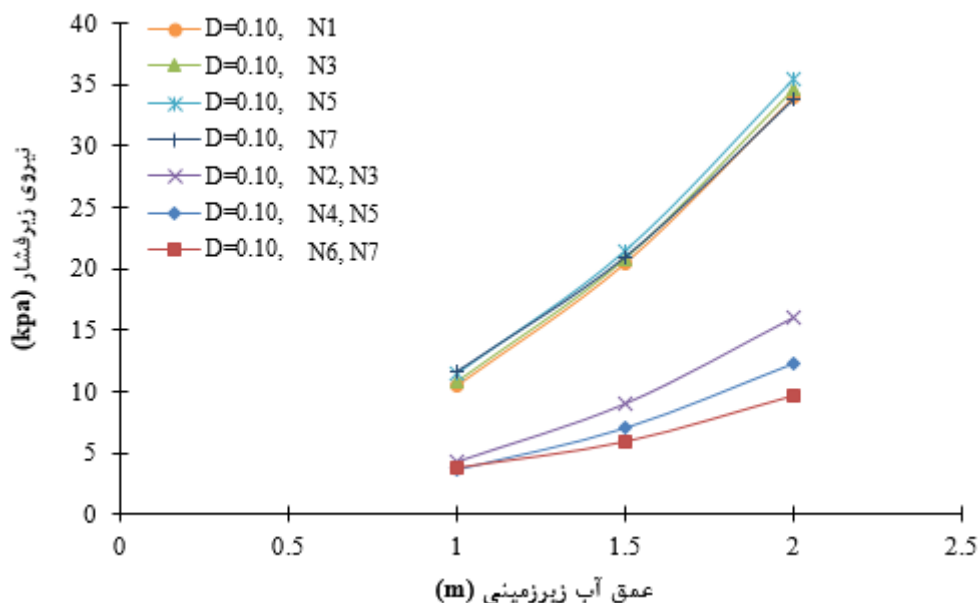
شکل (۷)، تغییرات دبی نشستی معکوس از کانال بتنی به همراه سوراخ آب با قطر ۱۰ سانتی‌متری در موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب زیرزمینی متفاوت را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، با افزایش عمق آب زیرزمینی، دبی معکوس نشستی به صورت خطی بیشتر می‌شود. مقایسه نتایج دبی نشستی سوراخ آب‌های این قطر با نتایج قطر ۵ سانتی‌متر (شکل ۴) نشان می‌دهد که روند مشابهی در تغییرات دبی نشستی موقعیت‌های مختلف سوراخ آب‌ها وجود دارد. با قرارگیری دو سوراخ آب در موقعیت‌های $N=۷,۶$ ، دبی نشستی معکوس به داخل کانال بتنی، حداکثر شده است. کمترین مقادیر دبی نشستی معکوس به داخل کانال بتنی، مربوط به قرارگیری سوراخ آب در موقعیت ۱ است. همچنین اثر افزایش قطر سوراخ آب در افزایش دبی نشستی معکوس خیلی محسوس نیست. در شکل (۸)، تغییرات نیروی زیرفشار در زیر کانال بتنی به همراه سوراخ آب با قطر ۱۰ سانتی‌متری در موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب زیرزمینی متفاوت ارائه شده است. مطابق شکل، در حالت قرارگیری یک سوراخ آب، تغییر موقعیت سوراخ آب، تأثیری محسوس بر نیروی زیرفشار ندارد. در مقابل، استفاده از دو

سوراخ آب، تأثیری بسزا در کاهش نیروی زیرفشار داشته است؛ به طوری که قرارگیری دو سوراخ آب در موقعیت‌های ۶ و ۷، کمترین مقدار نیروی زیرفشار را نشان می‌دهد. همچنین مقایسه نتایج دو قطر ۵ و ۱۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که افزایش قطر سوراخ آب‌ها باعث کاهش ناچیز نیروی زیرفشار شده است (کمتر از ۱۰ درصد).

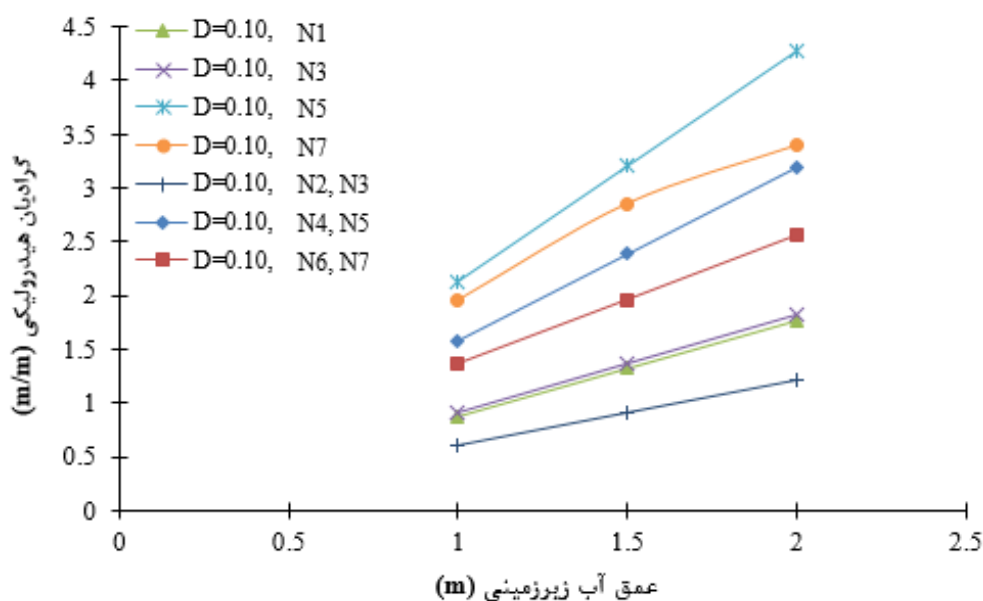
شکل (۹)، تغییرات گرادیان هیدرولیکی خروجی در محل سوراخ آب‌ها با قطر ۱۰ سانتی‌متری در موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب زیرزمینی متفاوت را نشان می‌دهد. مطابق این شکل ملاحظه می‌شود که با افزایش عمق آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی خروجی تقریباً به صورت خطی بیشتر شده است. مشابه نتایج قطر ۵ سانتی‌متر، با تغییر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها، گرادیان هیدرولیکی خروجی روند مشخصی را طی نمی‌کند؛ به طوری که قرارگیری دو سوراخ آب در موقعیت‌های ۲ و ۳ ($N=۳,۲$)، بهترین عملکرد را از لحاظ گرادیان هیدرولیکی خروجی دارد. تغییر موقعیت قرارگیری از یک سوراخ آب در موقعیت $N=۵$ (بدترین موقعیت از لحاظ گرادیان) به دو سوراخ آب در موقعیت‌های $N=۳,۲$ باعث کاهش ۷۱/۵۱ درصدی گرادیان هیدرولیکی خروجی می‌شود.



شکل ۷: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با قطر ۱۰ سانتی‌متر بردبی نشستی به داخل کانال بتنی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی



شکل ۸: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با قطر ۱۰ سانتی‌متر بر نیروی زیرفشار در زیر کانال بتنی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی



شکل ۹: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با قطر ۱۰ سانتی‌متر بر گرادیان هیدرولیکی خروجی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی

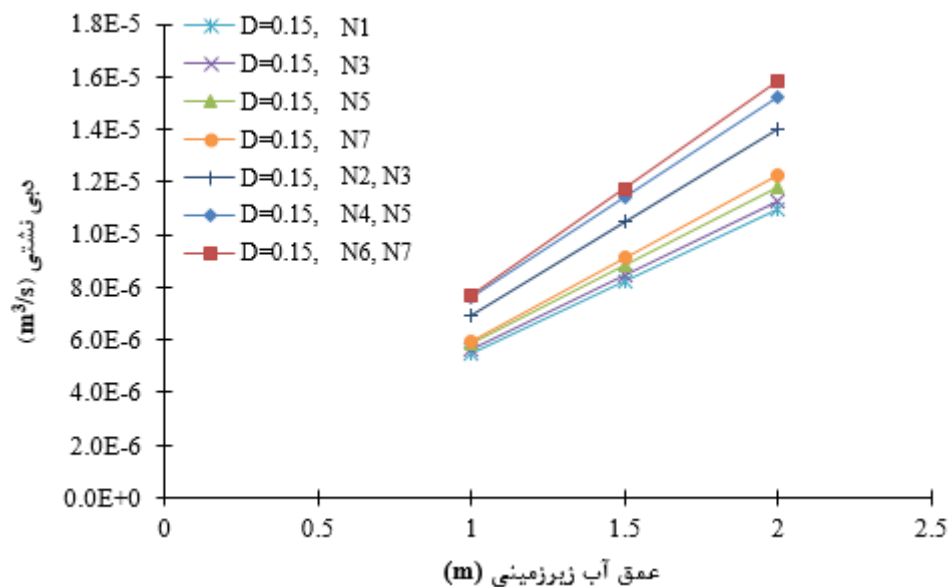
بیشتر از سایر موقعیت قرارگیری سوراخ آب‌ها است. بنابراین موقعیت قرارگیری دو سوراخ آب در $N=7,6$ عملکردی مطلوب از لحاظ دبی نشت معکوس به داخل کانال بتنی، از خود نشان می‌دهد. همچنین مقایسه نتایج قطر ۱۵ با دو قطر قبلی نشان می‌دهد که افزایش قطر سوراخ آب‌ها باعث افزایش ناچیز دبی نشتی شده است (کمتر از ۵ درصد).

شکل (۱۱)، تغییرات نیروی زیرفشار در زیر کانال بتنی به همراه سوراخ آب با قطر ۱۵ سانتی‌متری در موقعیت‌های

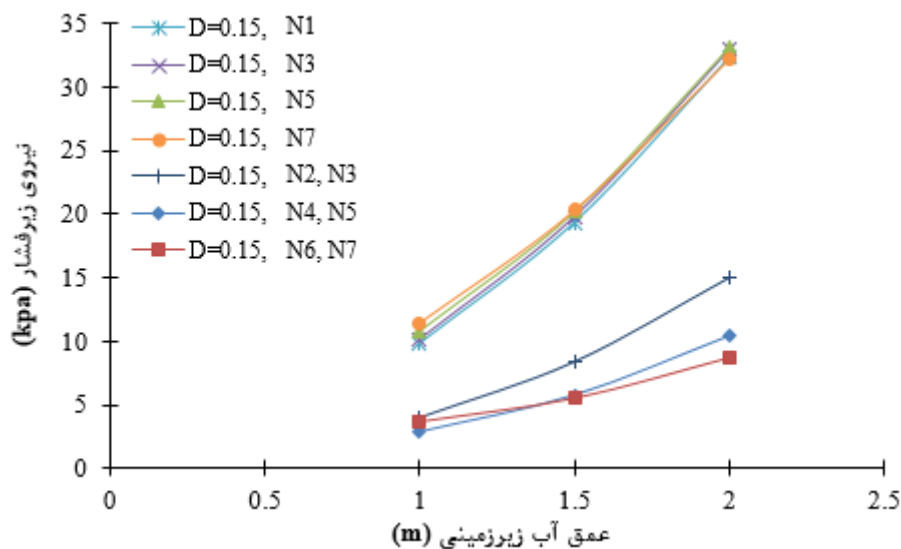
در شکل (۱۰)، تغییرات دبی نشتی معکوس از کانال بتنی به همراه سوراخ آب با قطر ۱۵ سانتی‌متری در موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب زیرزمینی متفاوت ارائه شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که رابطه عمق آب زیرزمینی با دبی معکوس نشتی، به صورت خطی مستقیم است؛ به طوری که با افزایش عمق آب زیرزمینی، دبی معکوس نشتی نیز افزایش می‌یابد. همچنین شیب خط دبی معکوس نشتی مربوط به موقعیت قرارگیری سوراخ آب‌ها در نقاط $N=7,6$

کانال بتنی، نیروی زیرفشار به مراتب کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد؛ به طوری که بیشترین کاهش مربوط به سوراخ‌های ترکیبی $N=۷,۶$ است. همچنین مقایسه نتایج قطر ۱۵ با دو قطر قبلی نشان می‌دهد که افزایش قطر سوراخ آب‌ها باعث کاهش ناچیز نیروی زیرفشار شده است (کمتر از ۲۰ درصد).

مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب زیرزمینی متفاوت را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، مشخص می‌شود که با افزایش عمق آب زیرزمینی، نیروی زیرفشار تقریباً به صورت نمایی بیشتر می‌شود. در صورت استفاده کردن از یک سوراخ آب در موقعیت‌های مختلف در زیر کانال بتنی، نیروی زیرفشار کل تغییر چندانی ندارد. با استفاده از دو سوراخ آب در موقعیت‌های مختلف در زیر



شکل ۱۰: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با قطر ۱۵ سانتی‌متر بر دبی نشت به داخل کانال بتنی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی



شکل ۱۱: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با قطر ۱۵ سانتی‌متر بر نیروی زیرفشار تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی

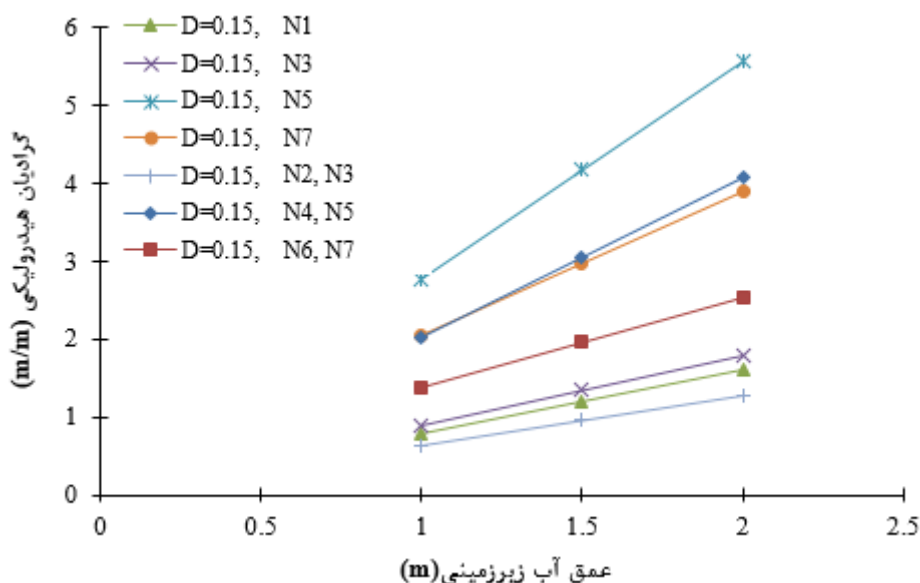
زیرزمینی متفاوت ارائه شده است. مشابه نتایج دو قطر قبلی، با افزایش عمق آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی خروجی در زیر کانال بتنی به صورت خطی افزایش می‌یابد.

در شکل (۱۲)، تغییرات گرادیان هیدرولیکی خروجی در محل سوراخ آب با قطر ۱۵ سانتی‌متری در موقعیت‌های مختلف سوراخ آب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷) و با عمق آب

بررسی محل بهینه سوراخ آب تکی برای کاهش نیروی زیر فشار و جلوگیری از تخریب پوشش بتنی کانال‌ها، نتایجی مشابه گزارش کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار جریان از طریق گوشه‌ها به درون کانال نفوذ می‌کند؛ بنابراین، قرار دادن سوراخ آب در گوشه‌های کانال بتنی تأثیر بیشتری در حفاظت کانال در برابر نیروی زیرفشار دارد [۴]. در تحقیق حاضر نیز بهترین عملکرد سوراخ آب از لحاظ کاهش نیروی زیرفشار در گوشه‌های کانال و البته در سوراخ آب‌های ترکیبی موقعیت ۶ و ۷ به دست آمد. استفاده از سوراخ آب در موقعیت‌های ترکیبی ۶ و ۷ در کانال‌هایی که احتمال رسوب‌گذاری زیادی در کف وجود دارد، توصیه می‌شود. البته در کانال‌هایی که مشکل رسوب نداشته باشند، سوراخ آب‌های ترکیبی ۲ و ۳ بهترین گزینه خواهد بود. عبید و همکاران نیز با بررسی عددی تأثیر سوراخ آب بر نیروی زیرفشار در حوضچه پایین‌دست بند بتنی نتیجه گرفتند که عملکرد دو سوراخ آب ترکیبی در کنترل نیروی زیرفشار، بهتر از سوراخ آب‌های تکی است [۱۴].

همچنین با تغییر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها، گرادیان هیدرولیکی خروجی، روند مشخصی را طی نمی‌کند؛ به طوری که قرارگیری دو سوراخ آب در موقعیت‌های ۲ و ۳ ($N=3,2$)، کمترین مقدار گرادیان هیدرولیکی خروجی در زیر کانال بتنی را دارد. تغییر موقعیت قرارگیری از یک سوراخ آب در موقعیت $N=5$ (بدترین موقعیت از لحاظ گرادیان) به دو سوراخ آب در موقعیت‌های $N=3,2$ ، باعث کاهش $77/05\%$ درصدی گرادیان هیدرولیکی خروجی می‌شود.

همان طور که در قسمت بررسی منابع بیان شد، مطالعات بسیار محدودی در زمینه کنترل نیروی زیرفشار و گرادیان هیدرولیکی خروجی در کانال‌های بتنی وجود دارد؛ اما سعی شد تا حد امکان، مقایسه نتایج انجام گیرد. ملک‌پور و همکاران با بررسی اثر سطح آب زیرزمینی و ضخامت لایه آب‌دار بر میزان جریان نشت معکوس به کانال، بیان کردند که به‌کارگیری سیستم زهکش در کف یا گوشه‌های پایینی کانال، برای زهکشی آب زیرزمینی و مستهلک کردن نیروی زیرفشار، مؤثر خواهد بود [۱۳]. قبادیان و همکاران نیز با



شکل ۱۲: اثر موقعیت‌های مختلف سوراخ آب با قطر ۱۵ سانتی‌متر بر گرادیان هیدرولیکی خروجی تحت ترازهای مختلف آب زیرزمینی

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

- نتایج شبیه‌سازی برای ابعاد سوراخ آب‌ها با مقادیر $(0/05, 0/1, 1/5)$ نشان می‌دهد که با افزایش قطر سوراخ آب‌ها، دبی معکوس نشتی به داخل کانال بتنی، افزایش ناچیزی پیدا می‌کند.
- در تمام ابعاد سوراخ آب‌ها، افزایش قطر سوراخ آب در زیر کانال بتنی، باعث کاهش نیروی زیرفشار

- در تمام ابعاد سوراخ آب‌ها، افزایش عمق آب زیرزمینی، باعث افزایش خطی دبی معکوس نشتی به داخل کانال بتنی می‌شود.

- می‌شود.
- در تمام ابعاد سوراخ آب‌ها، با افزایش عمق آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی خروجی به صورت خطی بیشتر می‌شود.
 - با تغییر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها، دبی نشتی معکوس روند مشخصی را طی می‌کند؛ به طوری که در صورت استفاده از یک یا دو سوراخ آب در زیر کانال بتنی، هر قدر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها به دیواره کانال نزدیک‌تر باشد، دبی معکوس نشتی به داخل کانال بیشتر می‌شود.
 - در صورت استفاده از یک سوراخ آب در موقعیت‌های مختلف در زیر کانال بتنی، نیروی زیرفشار تغییر محسوسی ندارد؛ ولی در صورت استفاده از دو سوراخ آب در موقعیت‌های مختلف در زیر کانال بتنی، نیروی زیرفشار به مراتب کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد.
- بهترین سوراخ آب ترکیبی از لحاظ کاهش زیر فشار، سوراخ آب دوتایی $N=7,6$ است.
- با تغییر موقعیت‌های قرارگیری سوراخ آب‌ها، گرادیان هیدرولیکی خروجی در زیر کانال بتنی، روند مشخصی را طی نمی‌کند. سوراخ آب ترکیبی موقعیت‌های ۲ و ۳ ($N=3,2$)، بهترین عملکرد را از لحاظ کاهش گرادیان هیدرولیکی خروجی نشان می‌دهد.
- با مقایسه عملکرد سوراخ آب ترکیبی ۶ و ۷ (بهترین عملکرد از لحاظ کاهش زیرفشار) و سوراخ آب ترکیبی ۲ و ۳ (بهترین عملکرد از لحاظ مقدار گرادیان خروجی)، می‌توان سوراخ ترکیبی ۲ و ۳ را با داشتن گرادیان خروجی کمتر از مقدار بحرانی و کاهش قابل قبول زیرفشار، به عنوان بهترین ترکیب انتخاب کرد.

مراجع

- [۱] ف. نجفی پور، «روش‌های پیشگیری از شکست لاینینگ حاصل از تورم خاک و فشار ناشی از آب‌های زیرزمینی»، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ۱۳۸۷.
- [۲] ا. رشت‌برزاده، «ارزیابی کاربرد مواد ژئوسنتیک در شبکه‌های آبیاری، مطالعه موردی شبکه آبیاری مغان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، ۱۳۹۰.
- [۳] ر. رستمیان، و ج. عابدی کوپایی، «ارزیابی مدل نرم‌افزاری Seep/W در برآورد میزان نشت از کانال‌های خاکی، مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده‌رود»، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره ۵۸، ۱۳۹۰، صفحه ۱۳-۲۲.
- [۴] ر. قبادیان، م. خلیج و س. گلزاری، «تعیین محل بهینه بارباکان جهت کاهش نیروی زیرفشار و جلوگیری از تخریب پوشش بتنی کانال‌ها با استفاده از روش عددی»، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۹۱.
- [5] A.M. Kahlown and W.D. Kemper, "Seepage losses as affected by condition and composition of channel banks", *Agricultural Water Management*, Vol. 65 No. 2, 2004, pp. 145-153.
- [6] B. Mansuri, F. Salmasi and B. Oghati, "Effect of Location and Angle of Cutoff Wall on Uplift Pressure in Diversion Dam", *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 32, No. 5, 2014, pp. 1165-1173.
- [7] M.R. Broaddus, "Performing a steady-state seepage analysis using SEEP/W", a primer for engineering students, M.Sc. Thesis, University of Louisville, Louisville, Kentucky, 2015.
- [8] H. KhaliliShayan and E. Amiri-Tokaldany "Effects of blanket, drains, and cutoff wall on reducing uplift pressure, seepage, and exit gradient under hydraulic structures", *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 13, No. 4, 2015, pp. 486-500.
- [9] F. Salmasi, K. Khatibi and B. Nourani, "Investigating reduction of uplift forces by longitudinal drains with underlined canals", *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 23, No. 3, 2017, pp. 2-11.
- [۱۰] م. اژدری مقدم و م. تاج نسایی، «مدل‌سازی عددی سلول‌های جریان ثانویه در کانال‌های دوزنقه‌ای با زبری یکنواخت»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۸، شماره ۲۰، بهار ۱۳۸۹، صفحه ۵۷-۷۰.

[۱۱] م. حاج عزیزی، م. رحمانی و ن. بیگلری، «تحلیل اجزای محدود سدهای زیرزمینی و نکات مهم در طراحی و اجرای آن‌ها- مطالعه موردی سد زیرزمینی آبخوری در استان سمنان»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، پاییز ۱۳۹۳، صفحه ۱۵۳-۱۶۵.

[۱۲] م.م. شاه مردان، م. نوروزی و ا. شهبانی ظهیری نسایی، «بررسی عددی تأثیر گردابه‌ها بر روی افت فشار و تلفات جریان در داخل کانال با انبساط تدریجی صفحه‌ای»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۴۸، بهار ۱۳۹۶، صفحه ۴۵-۶۰.

[۱۳] ا. ملک‌پور، ح. رحیمی و ح. احمدی، «بررسی اثر سطح آب زیرزمینی و ضخامت لایه آبدار بر میزان جریان نشت معکوس به کانال»، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اردیبهشت ۱۳۸۵.

[14] I.H. Obead, H.M. Al-Baghdadi and R. Hamad, "Reducing the impact of uplift pressures on the base of a concrete dam by configuration of drainage holes (hypothetical case study)", Civil and Environmental Research, Vol. 6, No. 1, 2014, pp. 120-131.