

بررسی تأثیر متقابل پارامترهای مختلف بر دبی نشت عبوری از پی سد خاکی با استفاده از مدل Seep/W (مطالعه موردی: سد درودزن)

پگاه زابلی^۱ و محمدمهدی جباری^{۲*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۳، تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۹

چکیده

کنترل نشت از پی سد خاکی و محاسبه جریان نشت از پی به منظور کنترل پایداری و رفتارنگاری سد خاکی اهمیت بالایی دارد. سد درودزن از نوع خاکی سنگریزه‌ای روی رودخانه کر در شمال غرب شیراز قرار دارد. در این تحقیق با استفاده از نتایج رفتارنگاری و دبی نشت، مدل عددی سد درودزن در Seep/W واسنجی و صحت‌سنجی انجام شد. تحت گزینه‌های مختلف کنترل نشت از پی (شامل روش‌های استفاده از پتوی رسی و پرده آب‌بند) با تغییر پارامترهای مختلف (فاصله و ارتفاع پرده آب‌بند و طول پتوی رسی) و پارامترهای ژئوتکنیکی، هیدرولیکی و هندسی (مانند نفوذپذیری پی، ارتفاع لایه نفوذپذیر و رقوم آب مخزن) تغییرات دبی نشت از پی مدل بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاهش بار آبی مخزن، افزایش طول پتوی رسی و استفاده از دیوار آب‌بند در میانه و ابتدای سد سبب کاهش دبی نشت از پی خواهد شد. همچنین، استفاده هم‌زمان از دیوار آب‌بند (به‌خصوص در میانه و ابتدای پی سد) و پتوی رسی تأثیر بیشتری در کاهش دبی نشت از پی دارد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS رابطه رگرسیونی بر اساس مؤثرترین اعداد بی‌بعد ارائه گردید. مقایسه مقادیر تخمینی دبی نشت از پی با روابط قبلی نشان می‌دهد که دقت تخمین این رابطه بسیار بیشتر از دقت تخمین سایر روش‌هاست.

واژه‌های کلیدی

پتوی رسی، پرده آب‌بند، کنترل نشت، نرم‌افزار Seep/W

مقدمه

چشمگیرترین پیشرفت در زمینه رفتار سدها، موضوع تراوش در سد خاکی و تأثیر آن بر پایداری سد است. این پیشرفت از سال ۱۸۵۶ با ارائه رابطه داری مربوط به تحلیل و آنالیز جریان آب در خاک شروع شد. پس از آن، قانون داری پایه مطالعات نشت آب را در محیط متخلخل را تشکیل می‌دهد. خرابی‌هایی که در پی سدها بر اثر تراوش و به دلیل رگاب اتفاق می‌افتد، برای اولین بار ترزاقی به‌درستی توضیح داده است. از سال ۱۹۳۰ به بعد پیشرفت‌های عمده‌ای در حل مسئله نشت و جریان آب در خاک به‌دست آمده است.

در تمام سدهای خاکی، وجود نشت از بدنه و پی به‌علت اختلاف بار آبی موجود در دو طرف سد، امری اجتناب‌ناپذیر است و اگر شرایطی مناسب برای فرسایش خاک فراهم شود موجب شسته شدن آن می‌شود. اثر تراوش در سدهای خاکی را می‌توان در سه بخش طبقه‌بندی کرد: نیروی زیر فشار (در نتیجه کاهش پایداری سد)، دبی نشت (آبشستگی و فرسایش داخلی یا رگاب و همچنین کاهش حجم آب ذخیره شده در مخزن سد) و گرادیان خروجی (شامل آبشستگی و جوشش در پایین‌دست).

سد (برخلاف بدنه سد خاکی که چنین روابطی ارائه شده است)، بر اساس پارامترهای مؤثر مختلف، هنوز ارائه نشده است.

در این تحقیق برای مدل‌سازی سد خاکی درودزن از مدل Seep/W، از زیربرنامه‌های مدل Geo-Studio، بر اساس نتایج ارائه شده در گزارش رفتارنگاری سد استفاده شد. این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی را در شرایط اشباع و غیراشباع و قابلیت تحلیل تراوش از محیط متخلخل را در حالت‌های پایدار و غیرماندگار دارد. همچنین، یک رابطه رگرسیونی بر اساس پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر دبی نشت از پی برای تخمین مقدار نشت از پی سد خاکی درودزن ارائه و با نتایج روابطی مقایسه گردیده است که برخی محققان ارائه داده‌اند.

مواد و روش‌ها

سد درودزن (نام پیشین: سد داریوش)، از نوع خاکی سنگریزه‌ای با ارتفاع ۵۷ متر از پی می‌باشد که روی رودخانه کر در شمال غرب شیراز واقع شده است (شکل ۱). مشخصات ساختمانی و تأسیساتی و نفوذپذیری مصالح سد درودزن در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. این سد در حال حاضر دارای ۱۴ دستگاه پیزومتر لوله قائم، ۱۱ دستگاه دبی‌سنج، شبکه میکروژئودزی، دو دستگاه شتاب‌نگار و یک دستگاه ترازیب مخزن است که رفتارسنجی سد پیگیری می‌شود. حوزه آبریز سد درودزن دارای مساحت ۴۵۶۲/۵ کیلومترمربع، ارتفاع متوسط ۲۳۷۵ متر از سطح دریا و حداکثر ارتفاع ۳۷۱۸ متر از سطح دریاست. مقطع عرضی سد درودزن (بر اساس گزارش رفتارنگاری سد درودزن، ۱۳۹۱) در شکل ۲ نشان داده شده است. تراوش و نشت آب‌های بدنه و پی سد از طریق چاهک‌های کاهنده فشار نصب شده در پایین دست سد اندازه‌گیری می‌شود که به صورت کنترل شده به سرریزهای مثلثی و پارشال فلوم منتقل می‌گردد. در

با توجه به هزینه‌های بالای ساخت مدل فیزیکی، نیاز به مدل‌های تجربی و عددی کارآمد و مبسوط و با دقت بالا جهت تعیین دبی نشت از پی در سدهای خاکی بسیار بالاست. محققان بسیاری تاکنون با استفاده از مدل‌سازی عددی به رفتارسنجی پدیده تراوش در بدنه و پی سد خاکی پرداخته و برای کنترل مقدار نشت راهکارهای مختلف را بررسی کرده‌اند (Barzegari & Orumieyi, 2007; Khalili-Shayan *et al.*, 2012; Muhebatzadeh *et al.*, 2010; Moghaddas & Raeesi-Estabragh, 2012; Abdulkareem *et al.*, 2014; Abdelkader *et al.*, 2014; Arshad & Babar, 2014; Fakhari & Ghanbari, 2013; Kirra *et al.*, 2015).

از روش‌های پرکاربرد در کاهش مقدار دبی نشت از پی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Rahimi, 2003):

- استفاده از رویه آب‌بند در سطح شیب بالادست سد
- استفاده از ترانشه و پرده آب‌بند در پی
- استفاده از پرده تزریق در پی
- استفاده از رویه با نفوذپذیری بسیار کم در کف مخزن
- استفاده از دیوارهای آب‌بند نازک (دیافراگم) فلزی، بتنی و غیره در پی سد

یادآوری این نکته مهم است که محققان مختلف به منظور تخمین دبی نشت از بدنه سد خاکی بر اساس پارامترهای مؤثر بر دبی نشت (نفوذپذیری، ضخامت زهکش، سطح آب بالادست و ضخامت هسته) روابطی ارائه داده‌اند (Karampoor & Riazi, 2015; Riazi *et al.*, 2013; Mirzayi *et al.*, 2013).

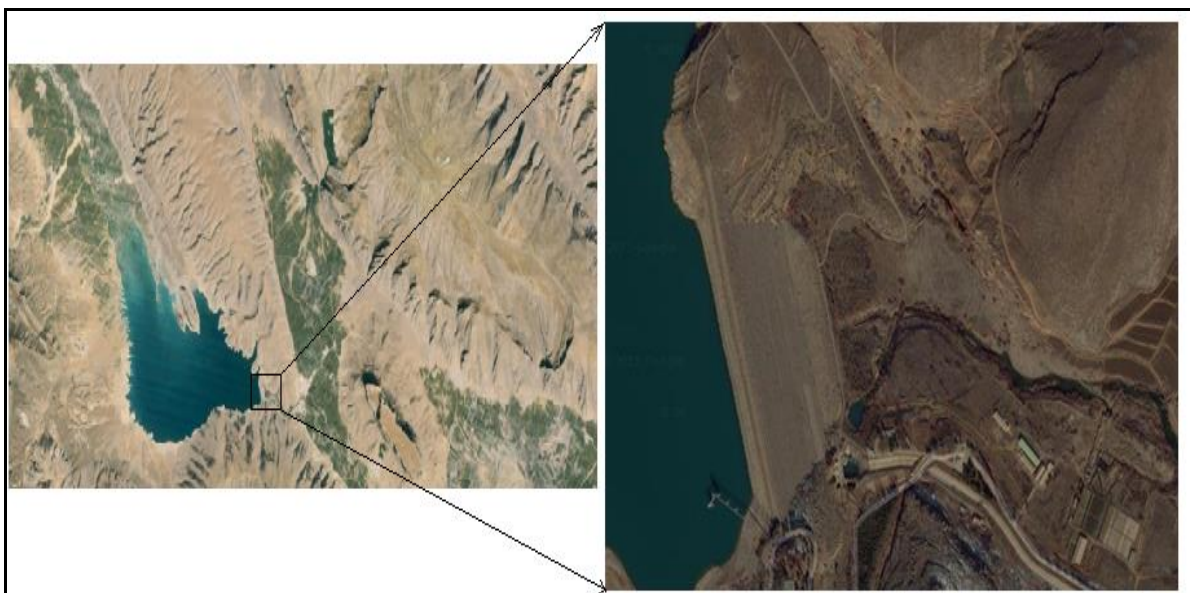
مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که محققان بیشتر به بررسی تأثیر استفاده از یک روش با تغییر پارامترهای مختلف آن روش بر کنترل نشت از پی سد خاکی پرداخته‌اند، اما مقایسه روش‌های پرکاربرد پرده آب‌بند و پتوی رسی در کنترل نشت پی و ارائه یک رابطه تجربی رگرسیونی به منظور تعیین دبی نشت عبوری از پی

بررسی تأثیر متقابل پارامترهای مختلف بر دبی...

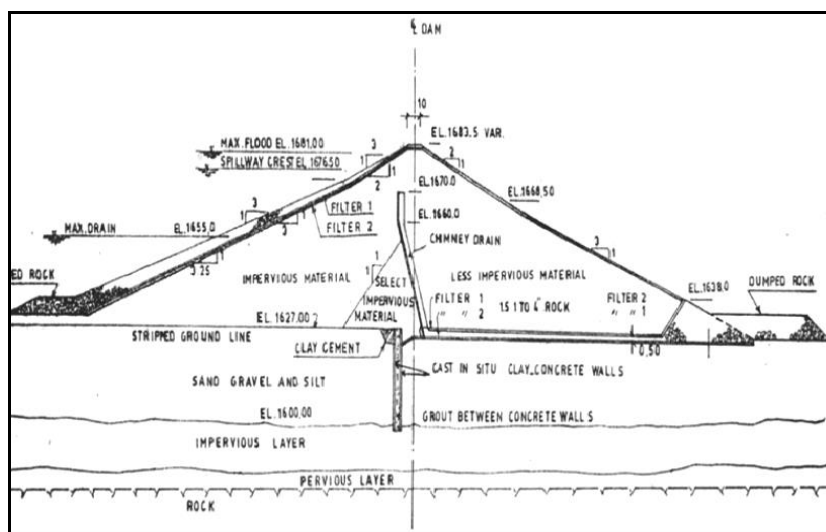
عرض دهانه ۶۱ سانتی متر اندازه گیری می شود. آب های خروجی از چاهک های فشارشکن و چشمه ها وارد این پارشال فلوم بزرگ می گردد. چاهک های فشارشکن دبی سنج دارند و با کسر دبی کل اندازه گیری شده با پارشال فلوم بزرگ از دبی مجموع چاهک ها، دبی چشمه ها مشخص می شود.

تکیه گاه چپ سد درودزن، چشمه های پرآبی وجود دارد که دبی مجموع آنها در سال های پرآبی (نظیر سال ۱۳۷۶)، به ۳۹۰ لیتر بر ثانیه نیز رسیده است.

بر اساس اطلاعات موجود، نشت از تکیه گاه چپ سد درودزن به صورت چشمه، بعد از آگیری سد آغاز شده است. دبی این چشمه ها از طریق یک پارشال فلوم بزرگ با



شکل ۱- پلان موقعیت مخزن سد درودزن و اراضی پایین دست آن در تصویر ماهواره ای Google Earth



شکل ۲- مقطع عرضی سد درودزن (Anon, 2012)

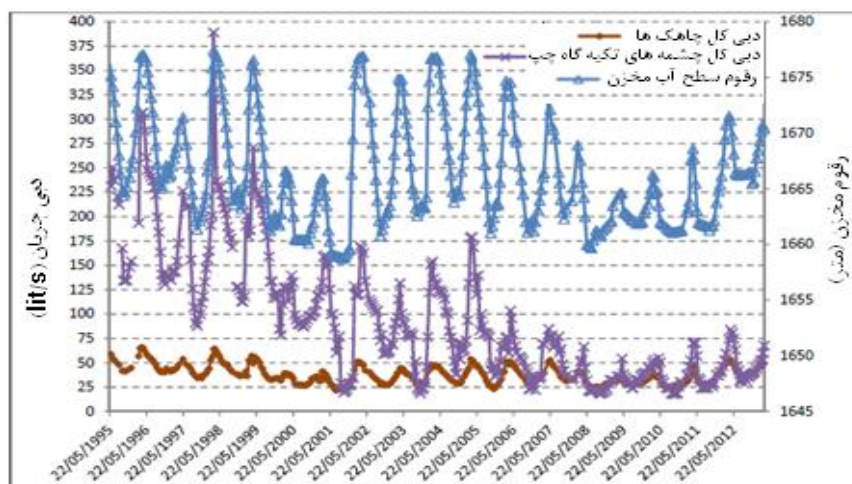
جدول ۱- مشخصات ساختمانی و تأسیساتی سد درودزن (Anon, 2012)

عنوان	مقدار / مشخصات	عنوان	مقدار / مشخصات
نوع	خاکی همگن با زهکش مرکزی مایل	رقوم حداکثر تراز آب	۱۶۸۱
ارتفاع از پی	۵۷ متر	رقوم آب در تراز نرمال	۱۶۷۶/۵
ارتفاع از بستر	۸۴ متر	ارتفاع آزاد	۷ متر
طول تاج	۷۱۰ متر	وسعت دریاچه در تراز نرمال	۵۵ کیلومترمربع
نسبت طول به ارتفاع	۱۲	حجم مخزن در تراز نرمال	۹۹۳ میلیون مترمکعب
عرض تاج سد	۷ متر	حجم مرده	۱۳۰ میلیون مترمکعب
تراز تاج سد	۱۶۸۳/۵	حداقل تراز بهره‌برداری	۱۶۶۱
نوع سرریز	بتنی آزاد	حداقل تراز ایمنی	۱۶۶۰
ظرفیت سرریز	۳۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه	دوره بازگشت سیلاب طراحی	۱۰۰۰۰ ساله
تراز بستر	۱۶۲۶/۵ متر		

جدول ۲- نفوذپذیری اشباع مصالح مختلف سد درودزن (Anon, 2012)

مصالح	مقدار (متر بر ثانیه)	مصالح	مقدار (متر بر ثانیه)
پوسته بالادست	۷-۱۰	پرده آب‌بند	۱۰-۱۰
هسته و پتوی رسی	۸-۱۰	فیلتر	۰/۵
پوسته پایین دست	۶-۱۰	پی نفوذپذیر	۰/۰۰۰۸۳
زهکش	۱۰	پی نفوذناپذیر	۷-۱۰×۱/۵

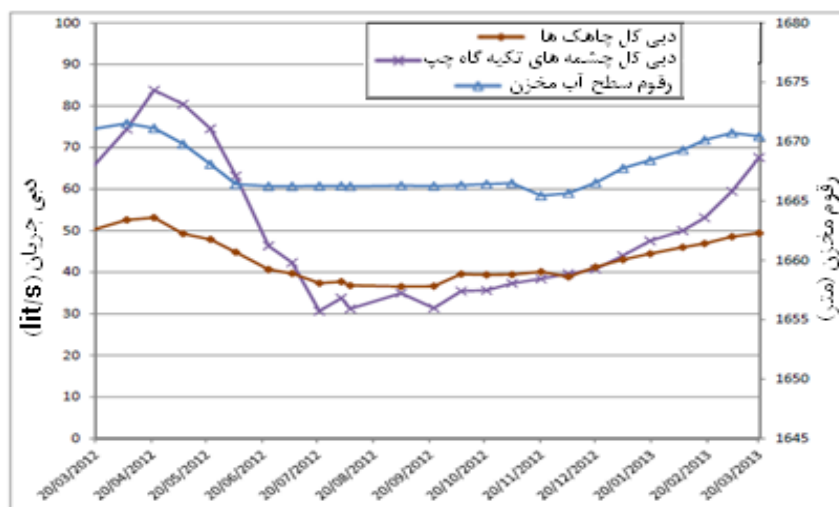
شکل ۳ نمودار تغییرات دبی چشمه‌های تکیه‌گاه چپ سد درودزن و دبی کل چاهک‌ها در طولانی‌مدت و شکل ۴ نمودار تغییرات دبی چشمه‌های تکیه‌گاه چپ سد درودزن و دبی کل چاهک‌ها را در سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار تغییرات دبی چشمه‌های تکیه‌گاه چپ سد و دبی کل چاهک‌ها در طولانی‌مدت

(Anon, 2012)

بررسی تأثیر متقابل پارامترهای مختلف بر دبی...

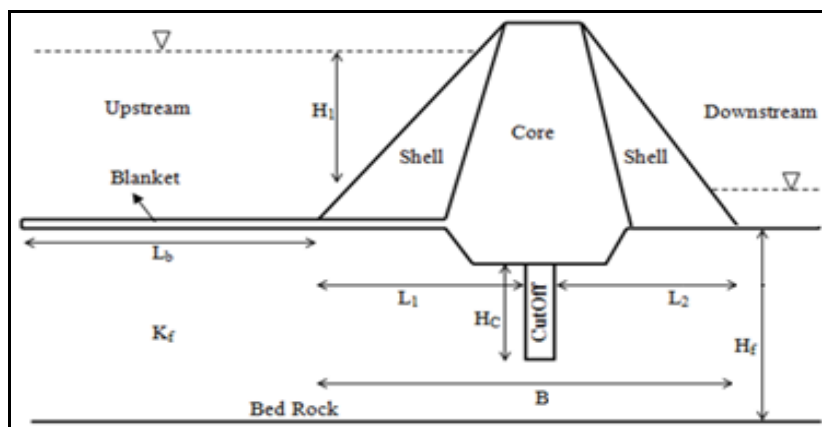


شکل ۴- نمودار تغییرات دبی چشمه‌های تکیه‌گاه چپ سد و دبی کل چاهک‌ها در سال ۱۳۹۱ (Anon, 2012)

نشت از پی سد خاکی به ازای تغییر پارامترهای بی‌بعد مختلف تعیین شده است. در انتها، با اجرای آزمون معناداری P-Value (پذیرفتن خطای معناداری پارامتر مؤثر کمتر از ۰/۰۵، یا به عبارت دیگر، احتمال معناداری ارتباط بین پارامترهای مورد قبول تأثیرگذار در تعیین دبی نشت از پی بیشتر از ۰/۹۵)، اعداد بی‌بعد مؤثر بر شرایط مسئله تعیین و یک رابطه رگرسیونی با دقت بالا برای تخمین دبی نشت از پی سد خاکی بر اساس اعداد بی‌بعد مؤثر ارائه شده است.

در این تحقیق، نخست هندسه و وضعیت موجود سد درودزن در مدل Seep/W مدل‌سازی و پس از آن نتایج مدل بر اساس نتایج دبی نشت تا سال ۲۰۱۲ (شکل ۳) در گزارش رفتارنگاری سد درودزن، واسنجی و با نتایج دبی نشت در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۲ (شکل ۴) در گزارش رفتارنگاری سد درودزن صحت‌سنجی شد.

پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، با تغییر پارامترهای مختلف معرفی شده در شکل ۵ و رابطه ۱ و به‌کارگیری روش‌های مختلف کنترل نشت از پی، مقادیر



شکل ۵- متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق برای تعیین دبی نشت عبوری از پی سد خاکی

$$f(H_1, L_1, L_2, L_b, H_c, H_f, US, K_f, \rho, V, \mu, g, q) = 0 \quad (1)$$

که در آن،
 H_1 = اختلاف تراز آب بالادست و پایین دست؛ q = دبی جریان نشتی از پی سد در یک متر طول؛ ρ = دانسیته سیال؛ μ = لزوجت دینامیکی؛ g = شتاب ثقل؛ US = شیب وجه بالادست سداکی؛ V = سرعت سیال عبوری از پی؛ B = عرض مقطع سد در عریض‌ترین قسمت و K_f = نفوذپذیری مصالح پی سد. سایر پارامترها در شکل ۵

نشان داده شده است. بر اساس پارامترهای معرفی شده در رابطه ۱، با استفاده از تحلیل ابعادی به روش پای باکینگهام (تعیین پارامترهای بی بعد حاکم بر مسئله بر اساس کمیت‌های تأثیرگذار رابطه ۱ و تعیین کمیت‌های مرجع) در نهایت ۲۰ پارامتر بی بعد حاکم بر مسئله (غیر از پارامترهای بی بعد به دست آمده که در این تحقیق ثابت در نظر گرفته شده‌اند) مطابق با رابطه ۲ معرفی می‌شوند:

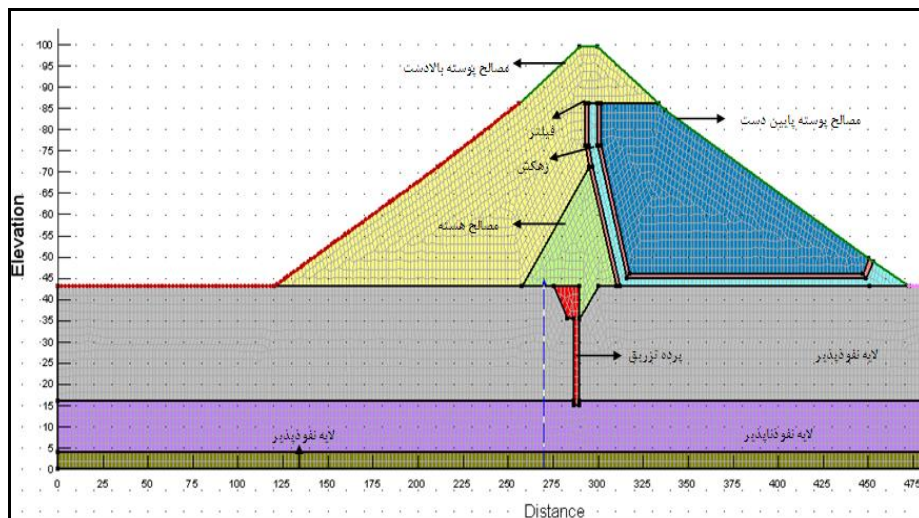
$$\frac{q}{\sqrt{g.H_1^{2.5}}} = f\left(\frac{L_b}{H_1}, \frac{L_1}{H_1}, \frac{L_2}{H_1}, \frac{H_c}{H_1}, \frac{H_f}{H_1}, \frac{K_f}{\sqrt{g.H_1}}, US, Fr, Re, \frac{H_c}{L_1}, \frac{H_f}{L_1}, \frac{L_1}{L_b}, \frac{L_2}{L_b}, \frac{H_c}{L_b}, \frac{H_f}{L_b}, \frac{L_1}{L_2}, \frac{H_c}{L_2}, \frac{H_f}{L_2}, \frac{H_f}{H_c}\right) \quad (2)$$

گفتنی است که در ادامه تحقیق پارامترهای بی بعدی با بیشترین تأثیر بر مقدار دبی نشت پی، با توجه به نتایج آزمون معناداری P-Value، تعیین و سایر پارامترهای بی بعد از روند تخمین معادله رگرسیونی حذف می‌شوند.

واسنجی مدل، ابتدا با توجه به داده‌های رقوم سطح آب در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۱ به آموزش و شبیه‌سازی مدل پرداخته شد. پس از آن مقادیر نفوذپذیری، تخلخل و نحوه مش‌بندی آنقدر تغییر داده شد تا بیشترین همبستگی بین مقادیر دبی نشت موجود با مقادیر مدل شده برقرار شود.

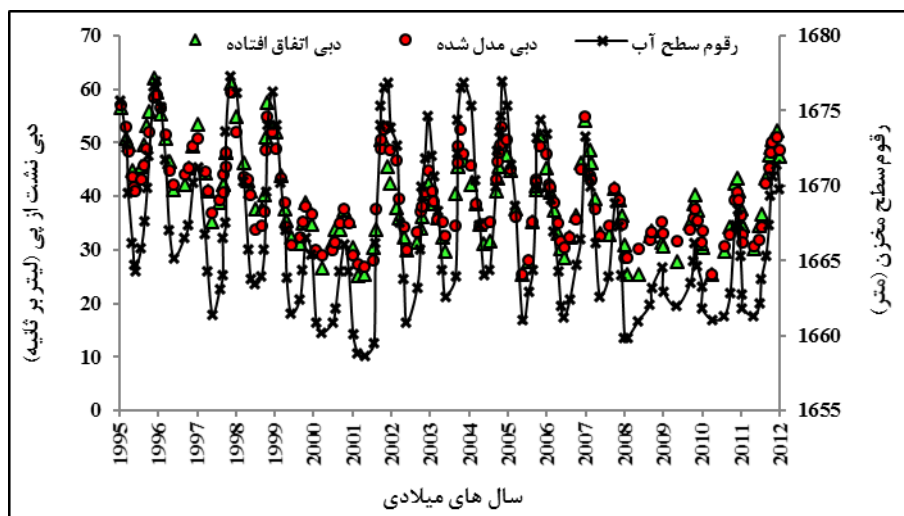
شکل ۷ مقادیر دبی نشت موجود و مدل شده را در رقوم مختلف مخزن نشان می‌دهد. همچنین شکل ۸ رگرسیون، همبستگی و خطای مقادیر دبی نشت پی موجود و مدل شده را ارائه می‌کند که مشخص گردیده همبستگی بین این دو مقدار $R^2=0.92$ و مناسب است.

نتایج و بحث
 مدل هندسی سد درودزن با نرم‌افزار Seep/W شبیه‌سازی شد که نمایی از مدل هندسی ساخته شده با شبکه مش‌بندی و نواحی مختلف سد در شکل ۶ ارائه شده است. پس از شبیه‌سازی مدل سداکی و به‌منظور

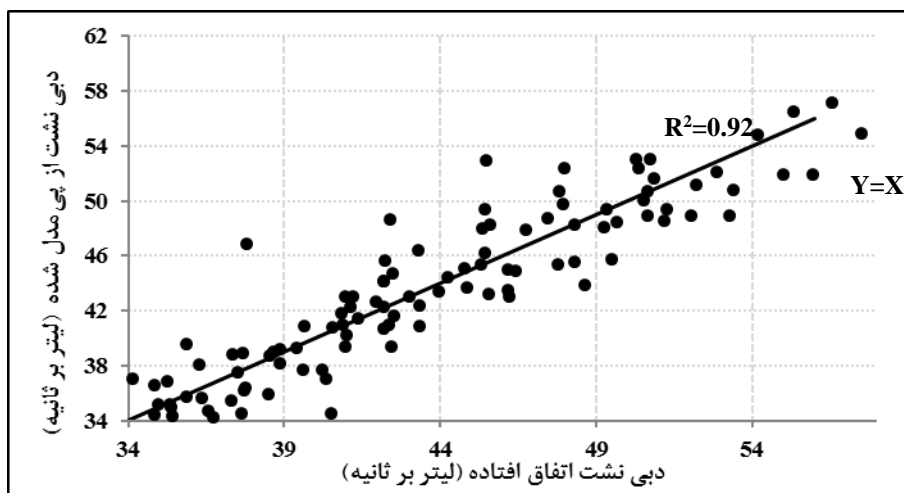


شکل ۶- نمایی از مدل هندسی ساخته شده سد درودزن با شبکه مش‌بندی و نواحی مختلف آن

بررسی تأثیر متقابل پارامترهای مختلف بر دبی...



شکل ۷- مقادیر دبی نشت موجود و مدل شده در رقوم مختلف مخزن در سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۱ در مرحله واسنجی نرم افزار Seep/W



شکل ۸- رگرسیون، همبستگی و خطای مقادیر دبی نشت پی موجود و مدل شده در سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۱ در مرحله واسنجی نرم افزار Seep/W

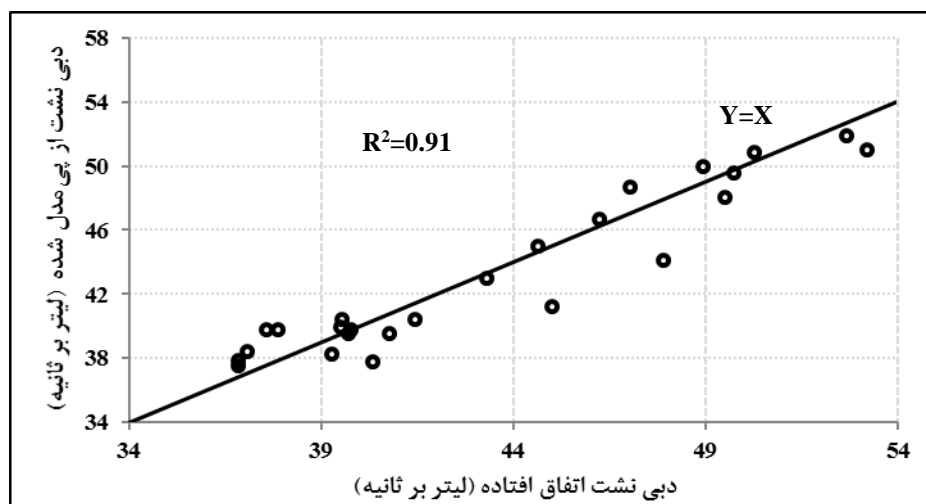
پارامترهای مختلف و استفاده از روش‌های مختلف کنترل نشت پی، مقادیر دبی نشت پی را در شرایط مختلف به دست آورد. برای بررسی تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر دبی نشت عبوری از پی سد خاکی، با تغییر هر یک از این پارامترها در مدل واسنجی شده، مقدار دبی نشت مدل تعیین شد.

جدول ۳ پارامترهای تغییر کرده و مقادیر آنها را نشان می‌دهد. بنابراین با تغییر چهار مرتبه‌ای هر پارامتر،

پس از واسنجی نرم‌افزار و تدقیق مقادیر نفوذپذیری و تخلخل و نحوه مش‌بندی، به منظور صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده از مقادیر دبی نشت پی موجود در سال ۲۰۱۲ (۱۳۹۱) استفاده گردید. رگرسیون، همبستگی و خطای مقادیر دبی نشت پی موجود و مدل شده در مرحله صحت‌سنجی در شکل ۹ ارائه شده است.

حال با توجه به دقت مناسب نتایج مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی می‌توان با تغییر

مدل‌های شبیه‌سازی شده اجرا و مقادیر دبی نشت پی هر مدل تعیین شده است. گفتنی است که پس از حذف دیوار آب‌بند از مدل واسنجی شده، مدل شاهد به دست می‌آید که پس از آن با تغییر یا اضافه کردن پارامترهای آن (مانند پتو یا دیوار آب‌بند) حالت‌های دیگر مدل ایجاد می‌شود. شکل ۱۰ نمونه مدل هندسی شبیه‌سازی شده و اجرا شده با وجود پتوی رسی و دیوار آب‌بند را نشان می‌دهد.



شکل ۹- رگرسیون، همبستگی و خطای مقادیر دبی نشت پی موجود و مدل شده در سال ۲۰۱۲ در مرحله صحت‌سنجی نرم‌افزار Seep/W

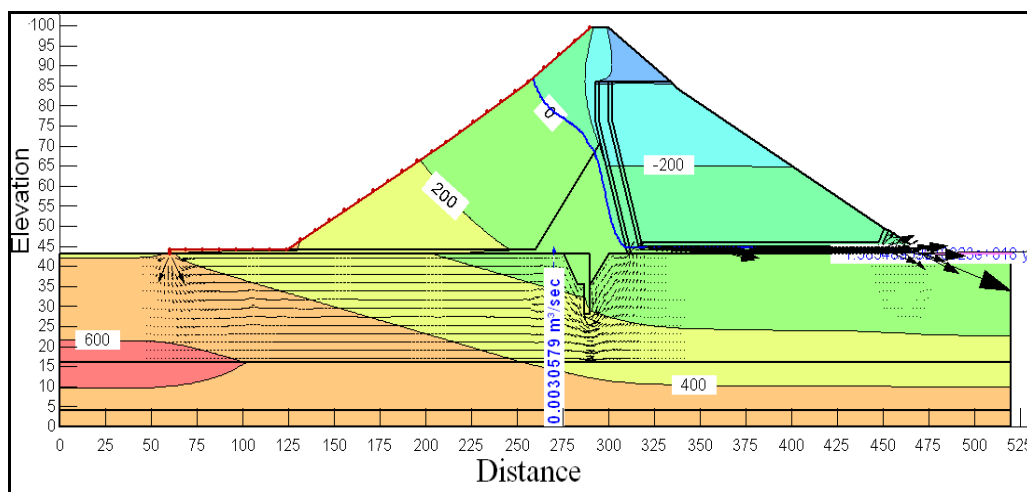
جدول ۳- مقادیر تغییر یافته پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر دبی نشت پی سد خاکی در تحقیق

پارامترهای تغییر یافته	بار آبی مخزن سد HI (متر)	نفوذپذیری پی سد (متر بر ثانیه)	فاصله دیوار آب‌بند از پاشنه سد (متر)	عمق دیوار آب‌بند (متر)	طول پتوی رسی (متر)
	۲۰	۰/۰۰۰۸۳	حالت شاهد (بدون دیوار آب‌بند)	۰	۰
مقادیر پارامترها	۳۵	۰/۰۰۰۱	(ابتدای سد)	۷/۵	۳۰
	۵۰	۰/۰۰۰۵	۱۶۶/۷۵ (میانه سد)	۱۵	۶۰
	-	۰/۰۰۱	۳۵۰ (انتهای سد)	۲۲	۹۰

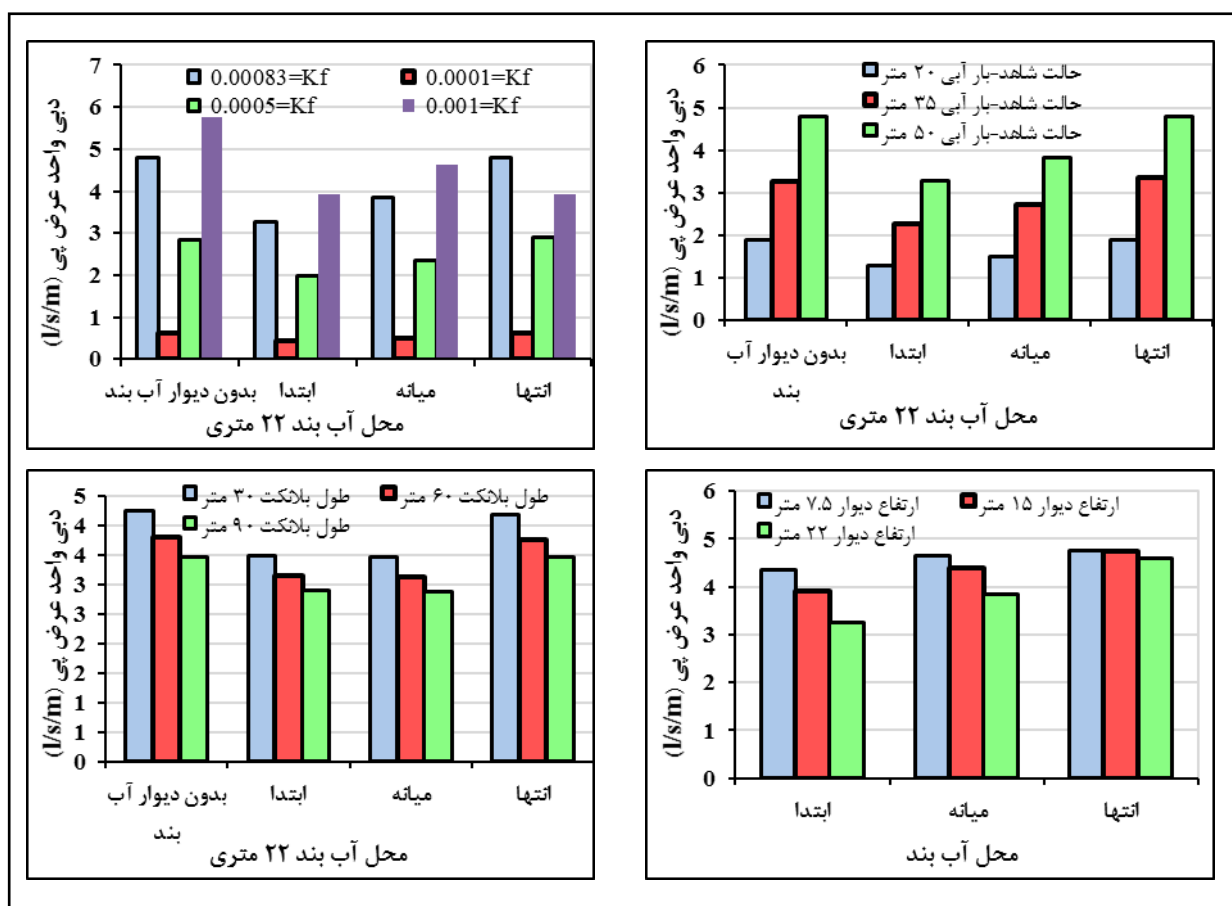
عبور جریان است. افزایش طول پتوی رسی در هر شرایطی منجر به کاهش دبی نشت از پی می‌گردد، دلیل آن گرازیان هیدرولیکی و در نتیجه کاهش سرعت عبور جریان است (شکل ۱۱).

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش بار آبی مخزن و نفوذپذیری پی در هر شرایطی به افزایش دبی نشت از پی می‌انجامد که با توجه به قانون دارسی دلیل آنها به ترتیب افزایش گرایان هیدرولیکی و افزایش سرعت

بررسی تأثیر متقابل پارامترهای مختلف بر دبی...



شکل ۱۰- نمونه مدل هندسی شبیه‌سازی و اجرا شده شده سد خاکی در حالت استفاده از بتوی رسی و دیوار آب‌بند (H1=35 و Kf=0.00083 و Hc=15 و Lb=60) و کانتور پیزومتریک جهت تعیین تأثیر تغییر طول بتوی رسی



شکل ۱۱- تأثیر تغییر پارامترهای مختلف روی دبی نشت از پی سد خاکی در حالت‌های مختلف

دبی نشت عبوری از پی افزایش می‌یابد. گفتنی است که با حرکت دیوار آب‌بند از پایین دست پی به سمت بالادست،

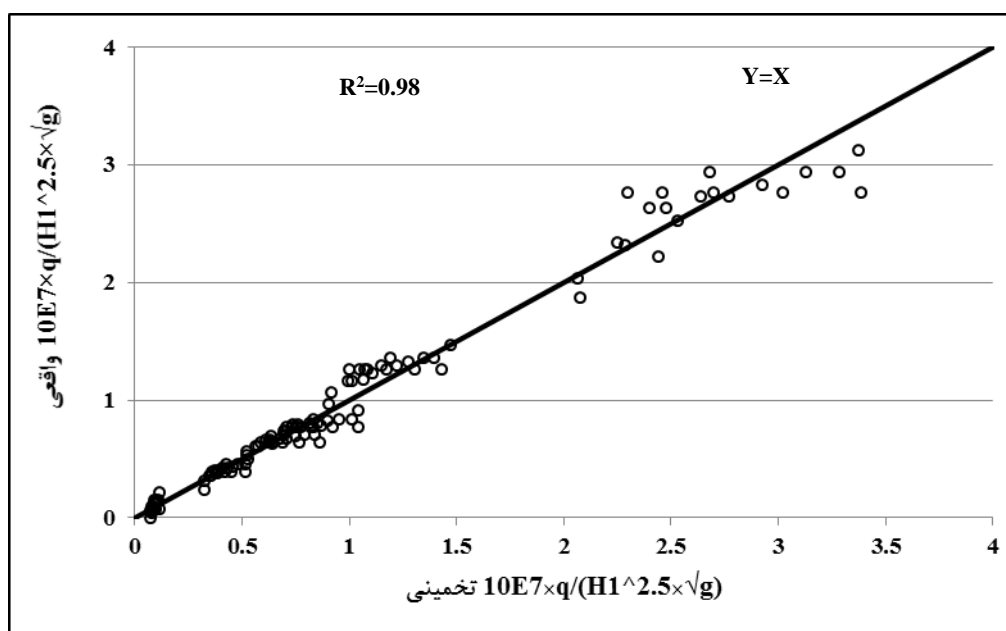
در طول بتوی رسی ثابت، با افزایش بار آبی مخزن، افزایش نفوذپذیری پی و کاهش عمق دیوار آب‌بند، میزان

میزان دبی نشت نیز کاهش بیشتری خواهد داشت. استفاده هم‌زمان از دیوار آب‌بند و پتوی‌رسی، نسبت به زمان استفاده از پتوی رسی، تأثیر بیشتری در کاهش دبی نشت از پی دارد که علت آن افزایش بیشتر طول خزش جریان و در نتیجه کاهش بیشتر گرادیان هیدرولیکی است. با توجه به شکل ۱۱ می‌توان دریافت که استفاده از دیوار آب‌بند در میانه و ابتدای سد همواره کاهش دبی بیشتری را نسبت به دیوار انتهای سد ایجاد می‌کند که می‌تواند ناشی از افزایش بیشتر طول خزش و کاهش فشار و افزایش نفوذ جمعی در ابتدای پی باشد. با توجه به شکل ۵، اعداد بی‌بعد حاکم بر صورت مسئله و تعیین دبی نشت از پی به‌صورت رابطه ۲ ارائه شده‌اند. برای تعیین اعداد بی‌بعد مهم و تأثیرگذار در شرایط تحقیق، از نرم‌افزار SPSS و Excel-Solver استفاده شد. رابطه ۳ استخراج شده از این دو نرم‌افزار با دقت $R^2=0.98$ ، برآورد مناسبی از مقادیر دبی نشت مدل شده ارائه می‌کند.

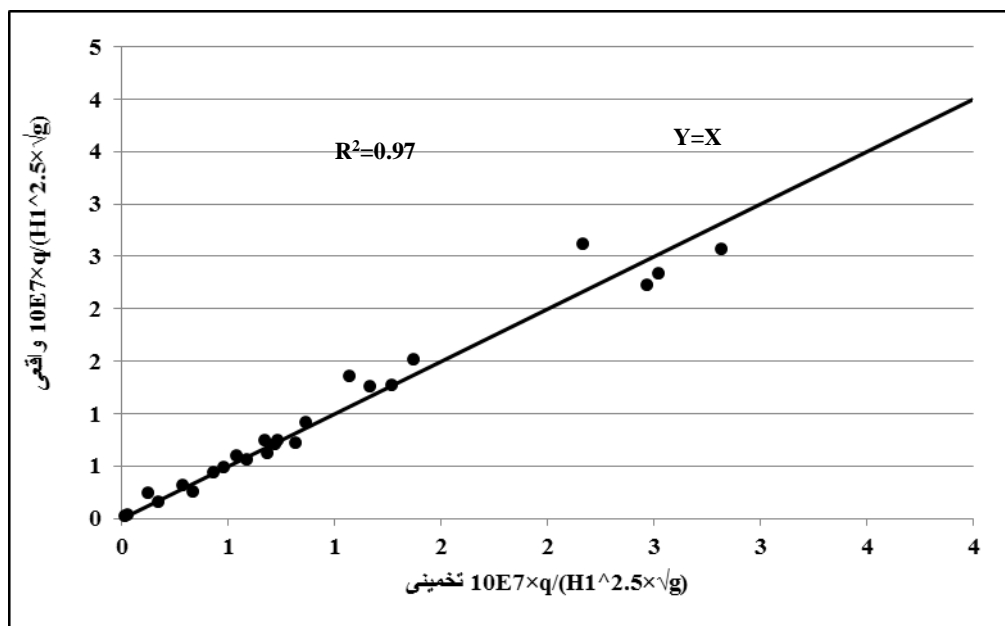
$$\frac{q}{\sqrt{g.H_1^{2.5}}} = 2.0194E-09 \cdot \frac{L_1}{H_1} + 1.657E-08 \cdot \frac{B}{H_1} - 1.819E-08 \cdot \frac{L_b.H_c}{H_1^2} + 0.0017 \cdot \frac{K_f}{\sqrt{g.H_1}} - 1.1676E-07 \quad (3)$$

اساس محاسبه شده است و ۲۰ درصد از نتایج به‌منظور صحت‌سنجی رابطه استفاده شده است. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ دقت تخمین رابطه ۳ را به‌ترتیب در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهند.

تمامی پارامترهای ارائه شده در رابطه ۳ در شکل ۵ نشان داده شده است. یادآوری می‌شود که رابطه ۳ از برآزش ۸۰ درصد از نتایج مدل‌ها به‌دست‌آمده و دقت آن ($R^2=0.98$) بر همین



شکل ۱۲- دقت تخمین رابطه برآورد دبی نشت پی تحقیق در مرحله واسنجی



شکل ۱۳- دقت تخمین رابطه برآورد دبی نشت از پی (رابطه ۳)، در مرحله صحت سنجی

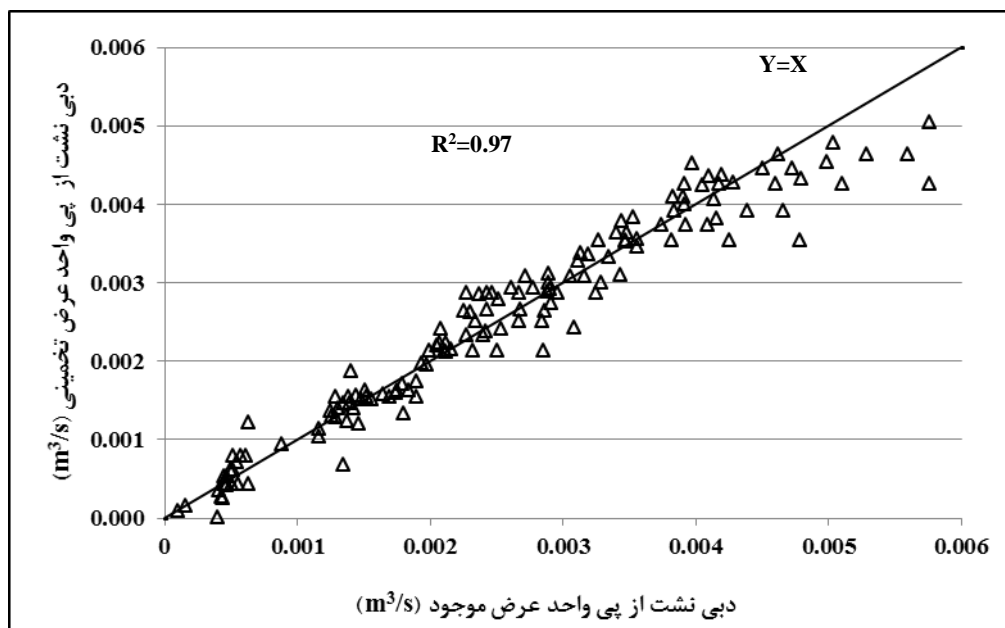
جدول ۴ نیز دقت و خطای تخمین رابطه ۳ را در مرحله واسنجی و صحت سنجی نشان می دهد. در جدول ۵ داده های آماری نرم افزار SPSS مربوط به پارامترهای رابطه ۳ به منظور تخمین دبی نشت ارائه شده است. مقادیر Sig (سطح معناداری) برای تمامی پارامترهای کمتر از ۰/۰۵، به مفهوم معنادار بودن همبستگی بین هر یک از این پارامترها با عدد بی بعد دبی نشت است. در نتیجه می توان از دقت بالای انتخاب اعداد بی بعد مؤثر در رابطه تخمین اطمینان پیدا کرد. دبی نشت واحد عرض واقعی و تخمینی از رابطه ۳ برای کل داده ها در شکل ۱۴ ارائه شده است.

جدول ۴- دقت و خطای تخمین رابطه برآورد دبی نشت از پی (رابطه ۳)، در مرحله واسنجی و صحت سنجی

R ²	MAE	RMSE	SEE	درصد از کل داده ها	
۰/۹۷۷	۱۱/۹۳۷	۰/۰۱۱۸۲	۱/۲۹×۱۰ ^{-۸}	۸۰	داده های واسنجی
۰/۹۶۶	۱۰/۵۶۲	۰/۰۲۹۹۸	۱/۴۸×۱۰ ^{-۸}	۲۰	داده های صحت سنجی

جدول ۵- داده های آماری نرم افزار SPSS مربوط به پارامترهای رابطه تخمین دبی نشت ارائه شده در تحقیق

معنی داری	t	ضرایب استاندارد نشده		مدل
		Beta	Std. Error	
.002	-34.859		.000	(Constant)
.001	4.770	.079	.000	L1/H1
.005	35.014	.760	.006	B/H1
.002	-11.715	.199	.000	Lb.Hc/H1 ²
.001	18.357	.356	.000	Kf/(√g.H1)



شکل ۱۴- مقایسه دبی نشت واحد عرض واقعی و تخمینی از رابطه ۳ برای کل داده‌ها

خاکی است) کمترین دقت و بیشترین خطا در رابطه ایجاد می‌شود که نشان دهنده حساسیت یا وابستگی بیشتر عدد دبی نشت در رابطه ۳ به این پارامتر است. یادآوری می‌شود که پارامترهای $Kf/(\sqrt{g.H1})$ ، $Lb.Hc/H1^2$ و $L1/H1$ از این حیث به ترتیب در رتبه‌های بعدی هستند.

در این تحقیق آنالیز حساسیت از روش حذف تک پارامتر و مقایسه دقت و خطای رابطه تولید شده نسبت به رابطه ۳ تخمین دبی نشت پی، استفاده شد. نتایج ارائه شده مربوط به آنالیز حساسیت رابطه ۳ (جدول ۶) نشان می‌دهد که با حذف پارامتر $B/H1$ (B، عرض کف سد

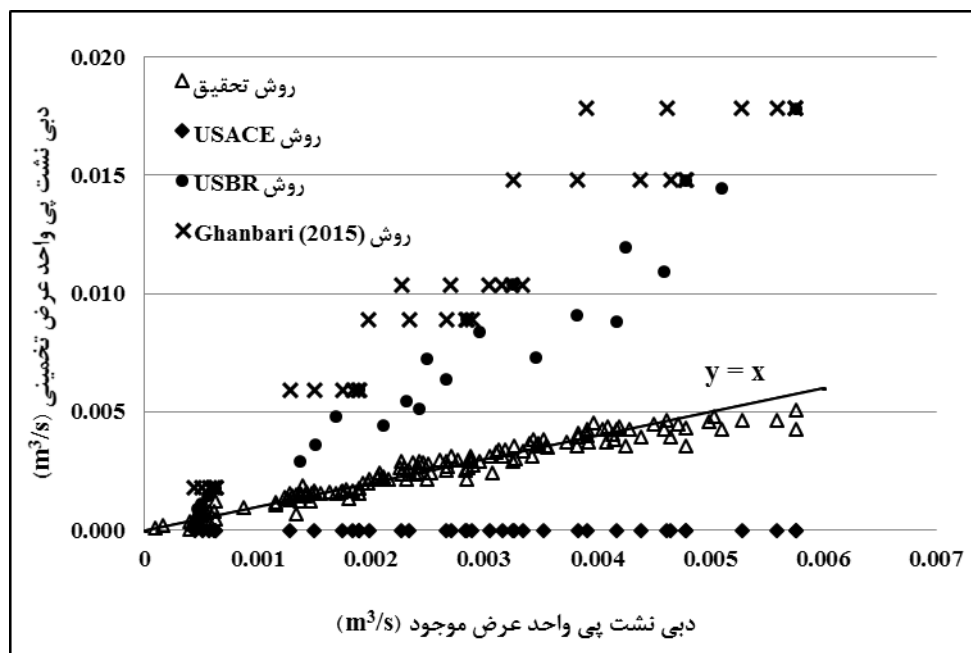
جدول ۶- نتایج مربوط به آنالیز حساسیت پارامترهای رابطه تخمین دبی نشت (رابطه ۳)

R ²	MAE	RMSE	SEE	پارامتر حذف شده
۰/۹۲	۱۵/۵۱۱۴	۰/۰۱۴۷	$۱/۶۱ \times 10^{-۸}$	L1/H1
۰/۵۱	۲۴۱/۷۱۰۹	۰/۱۰۴۸	$۱/۱۴۸ \times 10^{-۷}$	B/H1
۰/۹۰	۲۲/۸۹۵۴	۰/۰۲۱۱	$۲/۳۱۲ \times 10^{-۸}$	Lb.Hc/H1 ²
۰/۸۵	۷۳/۸۴۵۴	۰/۰۶۲۱	$۶/۸ \times 10^{-۸}$	Kf/($\sqrt{g.H1}$)

مطابق با مرجع (Ghanbari & Zaryabi, 2015). بدیهی است که کاربرد رابطه ۳ توسعه یافته در این تحقیق مربوط به دامنه تغییرات همین تحقیق است و زمانی کاربرد عمومی آن تأیید خواهد شد که استفاده از آن برای سدهای خاکی متعدد با مقادیر و ابعاد متفاوت، مفید باشد.

در نمودار شکل ۱۵، مقادیر دبی نشت پی واحد عرض سد موجود و تخمین زده شده ارائه شده است.

این نمودار نشان می‌دهد که دقت تخمین مقادیر دبی نشت از پی با استفاده از رابطه ۳ ارائه شده در این تحقیق، بسیار بیشتر بوده است تا در سایر روش‌ها (مانند روش‌های USBR (1987)، USACE (2004) و Ghanbari (2015)



شکل ۱۵- مقایسه روابط ارائه شده در تحقیقات مختلف برای تخمین دبی نشت از پی با رابطه ارائه شده در این تحقیق

نتیجه گیری

- افزایش طول پتوی رسی در هر شرایطی به علت کاهش گرایان هیدرولیکی و در نتیجه کاهش سرعت عبور جریان منجر به کاهش دبی نشت از پی می شود.

- در طول پتوی رسی ثابت، با افزایش بار آبی مخزن، افزایش نفوذپذیری پی و کاهش عمق دیوار آببند میزان دبی نشت عبوری از پی افزایش می یابد. یادآوری می شود که با حرکت دیوار آببند از پایین دست پی به سمت بالادست، میزان دبی نشت نیز کاهش بیشتری خواهد داشت.

- استفاده همزمان از دیوار آببند و پتوی رسی، در مقایسه با استفاده از پتوی رسی، تأثیر بیشتری در کاهش دبی نشت از پی دارد.

- استفاده از دیوار آببند در میانه و ابتدای سد، نسبت به استفاده از دیوار آببند در انتهای سد، همواره کاهش دبی بیشتری ایجاد می کند. نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای رابطه ارائه شده در تحقیق نشان می دهد که با حذف

در این تحقیق با استفاده از نتایج رفتارنگاری و دبی نشت سد درودزن، واسنجی و صحت سنجی مدل عددی این سد در Seep/W انجام گردید. پس از آن با تحت گزینه های مختلف کنترل نشت از پی سد خاکی (شامل روش های استفاده از پتوی رسی و پرده آببند)، با تغییر پارامترهای مختلف هر روش (فاصله پرده آببند و طول پتوی رسی) و پارامترهای هیدرولیکی و هندسی (مانند نفوذپذیری پی و رقوم آب مخزن) به بررسی تغییرات دبی نشت از پی مدل واسنجی سد خاکی درودزن پرداخته شد. به طور کلی از نتایج این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش بار آبی مخزن و نفوذپذیری پی در هر شرایطی منجر به افزایش دبی نشت از پی می گردد که با توجه به قانون دارسی به ترتیب به علت افزایش گرایان هیدرولیکی و افزایش سرعت عبور جریان می باشد.

پارامتر B/H1 (B، عرض کف سد خاکی است) کمترین دبی نشت از پی با رابطه‌های قبلی نشان می‌دهد که دقت و بیشترین خطا در رابطه ایجاد می‌شود که نشان‌دهنده حساسیت یا وابستگی بیشتر عدد دبی نشت در این رابطه به این پارامتر است. مقایسه مقادیر تخمینی از رابطه ارائه شده در روش‌های به کار برده شده قبلی است. تخمین این مقادیر با استفاده از رابطه ارائه شده در این تحقیق، بسیار بیشتر از دقت تخمین این مقادیر با استفاده از رابطه ارائه شده در روش‌های به کار برده شده قبلی است.

مراجع

- Abdelkader, D., Reikia, A. and Mostafa, G. 2014. The seepage through earth dams with a vertical drain: an experimental study. *J. Environ. Res. Develop.* 8(3): 471-476.
- Abdulkareem, S. H., Mohamed-Ahmed, T. and Ghazali, A. 2014. Management of risk through seepage reduction for two earth dams in Kurdistan region, Iraq. *ARPJ. Eng. Appl. Sci.* 9(11): 2241-2249.
- Anon. 2012. Droodzan dam monitoring report. Iran Resources Management Co. Fars Regional Water Company. Ministry of Energy, Iran. (in Persian)
- Arshad, I. and Babar, M. M. 2014. Comparison of Seep/W simulations with field observations for seepage analysis through an earthen dam (case study: Hub dam - Pakistan). *Int. J. Res.* 1(7): 57-70.
- Barzegari, Gh. and Orumiyei, A. 2007. Investigating the geological properties of the underground engineering construction of Chaprabad reservoir dam with special attitude to the sealing problem. *J. Eng. Geol.* 2(1): 281-300. (in Persian)
- Fakhari, A. and Ghanbari, A. 2013. A simple method for calculating the seepage from earth dams with clay core. *J. GeoEng.* 8(1): 27-32.
- Karampoor, F. and Riazi, R. 2015. Investigation the effect of clay core in seepage from non-homogenous earth dams using Seep/W Model. *J. Sci. Res. Develop.* 2 (5): 280-285.
- Khalili-Shayan, H., Sheikh-Rezazade, N. and Amiri-Takledani, E. 2012. Evaluation of methods for reducing seepage and subsoil effects in earth dams. Proceedings of the 11th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction. Feb. 7. Kerman, Iran. (in Persian)
- Kirra, M. S., Zeidan, B. A. and Shahein, M. 2015. Seepage Analysis of Walter F. George Dam, USA: A case Study. International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering. Apr. 6-9. Hurghada, Egypt.
- Mirzayi, Z., Akbarpoor, A., Khasheyi sivaki, A. and Khatibi nia, M. 2013. Estimation of seepage rate from the body of earth dams with finite element Seep/W software. Proceedings of the First National Conference on Sustainable Agricultural Development and Healthy Environment. Feb. 26. Hamedan, Iran. (in Persian)
- Moghaddas, M. and Raeesi-Estabragh, A. 2012. Evaluation of different methods for reducing seepage from earth dams (case study: Nahrin dam). Proceedings of the Second National Conference on Earthquake Engineering – Geotechnics. Nov. 23. Mazandaran, Iran. (in Persian)

- Muhebatzadeh, A., Mashal, M. and Khayat, N. 2010. Analysis of Karkheh earth dam seepage with Seep/W software and verification of it. Proceedings of the First National Conference on Land Resources Management. Dec. 8-9. Sari, Iran. (in Persian)
- Rahimi, H. 2003. Earth Dams. Tehran University Press. Second Ed. (in Persian)
- Riazi, R., Choramin, M., Shfiemotlaq, Kh. and Nasr-Esfahani, M. J. 2013. Survey of body slope in seepage from homogeneous earth dams with upstream riprap. Int. J. Basic Sci. Appl. Res. 2 (12): 101-103.



Investigation the Effect of Different Parameters in Earth Dam Foundation Seepage using Seep/W Model (Case Study: Doroodzan Dam)

P. Zaboli and M. M. Jabbari*

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shiraz Unit, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: mmjabbari@yahoo.com

Received: 14 July 2017, Accepted: 20 November 2017

Abstract

Controlling seepage from earth dams foundation and calculation of its value is so important for monitoring and stability control of earth dam. Doroodzan is an earth-rock dam which is located on North-west of Kor River. In this study simulating, calibrating and validation of numerical model of Doroodzan dam were conducted in Seep/W software using result of monitoring report. Then changes of foundation seepage flow of Doroodzan calibrated earth dam model were studied changing Foundation seepage control method (consisted in using clayey blanket and cut off wall) and parameters of each method (such as blanket length and cut off height and location) and changing the geometry and hydraulic parameters (such as foundation permeability and reservoir water level). Results showed that increase in blanket length and using cut off wall at the first and middle of dam, decreases foundation seepage flow. In addition simulate using blanket and cut off wall had the most effect on decrease in foundation seepage flow. Finally a regression equation due to determine earth dam foundation seepage was developed using Spss software. Comparison of the accuracy of the proposed equation results with previously presented equations showed that estimated foundation seepage discharge using proposed equation has higher accuracy.

Keyword: Clayey Blanket, Cut Off Wall, Seep/W Software, Seepage Control