



مدل سازی نشت در بدنه و پی سد مخزنی روداب سبزوار به روش اجزاء محدود با استفاده از

نرم افزار Seep/W

حسین پارسا صدر^۱، حسین محمدزاده^۲، علی اخترپور^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران Hossein.parsasadra@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی و مدیر مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متآب)، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

Mohammadzadeh@um.ac.ir

۳- دکترای مهندسی عمران، مکانیک خاک و پی، شرکت مهندسین مشاور مهارآب، مشهد، ایران a_akhtarpur@yahoo.com

چکیده

یکی از مسائل مهم در طراحی و احداث سد های خاکی بررسی کنترل نشت آب از پی و بدنه سد به منظور تأمین پایداری و جلوگیری از پدیده رگاب و اتلاف آب می باشد. در این مقاله از روش اجزاء محدود که کاربرد وسیعی در مطالعات جریان سیال در محیط متخلخل دارد استفاده شده است. با توجه به آنگیری سد مخزنی روداب سبزوار در طول سال و بررسی تراز آب در ماه های مختلف، مدل نشت به صورت عددی متناسب با شرایط مختلف در حالت اشباع و غیر اشباع، با استفاده از نرم افزار Seep/W از بسته نرم افزاری GeoStudio 2007 شبیه سازی شده است. مقدار نشت سالانه از پی و بدنه سد روداب سبزوار برابر ۹۸۸۸۰ مترمکعب برآورد شد که بیشترین میزان نشت مربوط به ماه های فروردین و اردیبهشت می باشد.

کلمات کلیدی: سد خاکی روداب سبزوار، نرم افزار Seep/W، نشت

Simulation of seepage through the body and foundation of Sabzevar's Roudab dam with finite element method using Seep/W software

Abstract

One of the important issues in soil dams designing and construction is controlling the seepage from body and foundation of the dam for stability secure and prevention of piping and water lost. In this article, used the finite element method that is widely used in studies of fluid flow in porous media. Regard to the impounding Sabzevar's Roudab dam throughout the year and checking the water level in the different months, seepage numerical model proportionate various conditions in the saturated and unsaturated mode using Seep/W software from package GeoStudio 2007 is simulated. The amount of the annual leakage from foundation and body of Sabzevar's Roudab dam equal to 98880 cubic of meters estimated, that is the maximum amount of the leaks related to the april and may.

Keywords: Sabzevar's Roudab dam, Seep/W software, seepage

مقدمه

بررسی پدیده نشت و تهیه مدل تراوش آب در محیط متخلخل، که نزدیکترین شرایط را به واقعیت داشته باشد از مهمترین مسائل در طراحی و کنترل میزان زه آب در بدنه و پی سدهای خاکی می باشد. از اینرو استفاده از مدل های کامپیوتری به عنوان روشی ارزان و سریع و در عین حال با دقت مناسب در مطالعه و شبیه سازی جریان در محیط متخلخل مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و کارشناسان قرار گرفته است. در این مطالعه، پدیده نشت در پی و بدنه سد



روداب سبزوار واقع در ۶۵ کیلومتری جنوب غرب شهر سبزوار و ۲۰ کیلومتری جنوب شهر روداب با مختصات 57° E $28' 52.2''$ طول جغرافیایی شرقی و $35^{\circ} 48' 27.6''$ N عرض جغرافیایی شمالی، به روش اجزاء محدود (Finite Element) با استفاده از نرم افزار Seep/W در ترازهای متفاوت مخزن در طول سال مورد بررسی قرار گرفته است.

معادلات و فرضیات حاکم بر جریان در محیط متخلخل و شرایط مرزی

به طور کلی معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی در محیط متخلخل در آبخوان آزاد در شرایط دو بعدی (Two dimensional)، غیرمحبوس (Unconfined)، ناهمسان (Anisotrope)، ناهمگن (Non-Homogeneous)، ناپایدار (Non-Steady)، طبق رابطه غیر خطی بوزینسک (Boussinesq) برابر با رابطه شماره ۱ می باشد.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} - R \quad (1)$$

که در آن h بار هیدرولیکی (ضخامت منطقه اشباع)، S_y ؛ معرف آبدهی ویژه، K_x و K_y ؛ مولفه های هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل در جهات x و y و R ؛ بیانگر میزان تخلیه و تغذیه نقطه ای می باشد. همان طور که از معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی (Partial Differential Equation) فوق پیداست تابع مجهول در این رابطه میزان h می باشد که تابعی از مکان (x و y) و زمان (t) است.

با توجه به اینکه برای هر نوع شبیه سازی احتیاج به ساده انگاری برای رسیدن به جواب می باشد بنابراین برای حل معادله فوق در شبیه سازی سد روداب سبزوار شرایط را به صورت پایدار (Steady) و فاقد تغذیه و تخلیه نقطه ای فرض شده است. که با توجه به این فرضیات معادله جریان را می توان به صورت رابطه شماره ۲ نوشت که این رابطه اساس آنالیز نشت در کد Seep/W برای شرایط اشباع مدل سازی سد روداب می باشد.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0 \quad (2)$$

معادله جریان در محیط متخلخل را می توان به روش های مختلف عددی تحلیل و بررسی نمود. تحلیل تراوش و شبیه سازی جریان از پی و بدنه سد روداب سبزوار در شرایط اشباع و غیر اشباع محیط متخلخل در نرم افزار Seep/W از زیر مجموعه بسته نرم افزاری GeoStudio 2007 صورت پذیرفته است. روش عددی منتخب در این نرم افزار روش اجزاء محدود می باشد که از جمله مزیت های این روش می توان به امکان شبیه سازی هندسه پی و بدنه سد به صورت نامنظم و بی قاعده اشاره کرد که این امر باعث نزدیکتر شدن به شرایط واقعی و دقت بالاتر در آنالیز نشت می شود.

برای حل هر معادله دیفرانسیل احتیاج به شرایط مرزی و اولیه می باشد و انتخاب شرایط مرزی مهمترین گام در تهیه مدل مفهومی می باشد. به طوریکه انتخاب شرایط مرزی نامناسب ممکن است منجر به ایجاد خطا در مدل و تفاوت بین پاسخ مدل و سیستم واقعی، نسبت به تنش های وارده به آن شود (Frank & Collins 1987). شرایط مرزی در معادلات

دیفرانسیل نمایانگر یک متغیر وابسته (بار) با مشتق متغیر وابسته (فلاکس) در مرز مدل می‌باشد بر همین اساس سه نوع شرایط مرزی برای جریان آب زیرزمینی مفروض است.

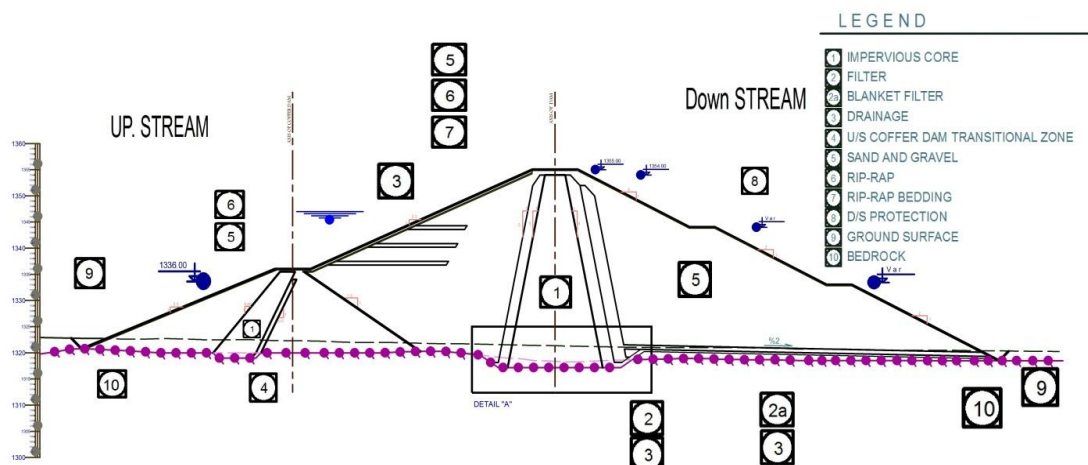
الف) شرایط مرزی نوع اول یا دریکله (Dirichlet Boundary Condition): مرز با بار هیدرولیکی ثابت به عبارتی تابع مجهول روی مرز مشخص می‌باشد مانند بارهای هیدرولیکی موجود در مخزن سد.

ب) شرایط مرزی نوع دوم یا نیومن (Neumann Boundary Condition): مرز با جریان مشخص به عبارتی مشتق تابع مجهول (فلاکس) بر روی مرز مشخص می‌باشد مانند سنگ بستر در شبیه سازی سد روداب سبزوار که نفوذ ناپذیر فرض شده است و میزان فلاکس در حد مرز برابر صفر می‌باشد به عبارتی در این شرایط مرزی می‌توان گفت $\frac{\partial h}{\partial x}$ برابر یک مقدار ثابت می‌باشد.

ج) شرایط مرزی نوع سوم یا مرکب (Mixed Boundary Condition): مرزهای وابسته به بار که در آن جریان در سراسر مرز از مقدار بار داده شده محاسبه می‌شود (Anderson & Woessner 1992).

سد خاکی روداب سبزوار

سد مخزنی روداب سبزوار در شمال شرق ایران، در ۶۵ کیلومتری جنوب شهر سبزوار و ۲۰ کیلومتری جنوب شهر روداب در استان خراسان رضوی، واقع شده است. به طور کلی هدف از احداث سد روداب سبزوار استفاده بهینه از پتانسیل آبهای سطحی محدوده مورد مطالعه جهت تأمین نیازهای پایین دست می‌باشد که از جمله اثرات آن می‌توان به بهبود وضعیت کشاورزی پایین دست، مهار سیلاب‌ها و جلوگیری از خسارات، مهار رسوبات و جلوگیری از تخریب خاک اشاره نمود. سد روداب سبزوار از نوع خاکی با هسته رسی به ارتفاع ۳۵ متر از بستر رودخانه و طول تاج ۲۷۰ متر و سطح تراز نرمال ۱۳۵۵ متر از سطح دریا می‌باشد به طوریکه حجم دریاچه سد در تراز نرمال سطح آب برابر ۸۷۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. مقطع سد در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



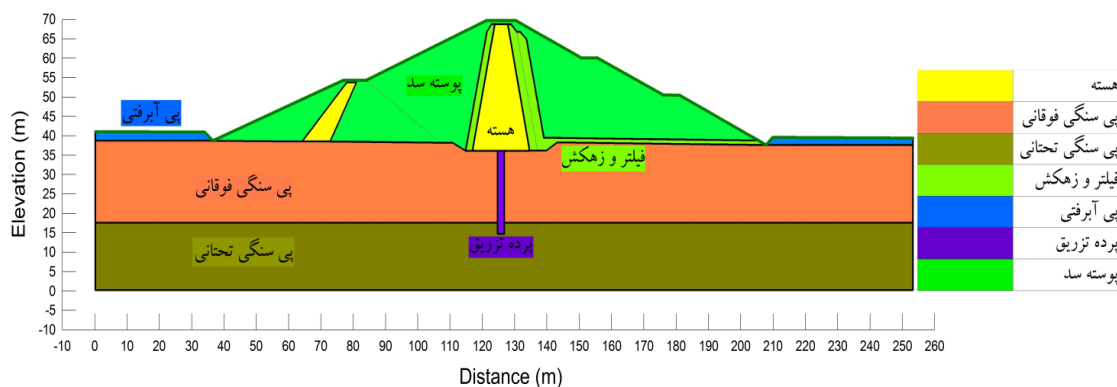
شکل ۱- مقطع سد روداب سبزوار

تهیه مدل مفهومی و اعمال ضرایب نفوذپذیری

بر اساس پلان موجود با توجه به مقیاس، مدل مفهومی (Conceptual model) بدنه و پی تهیه گردیده است (شکل شماره ۲). سپس مقادیر ضرایب نفوذپذیری مصالح سد بر اساس نتایج آزمایشگاهی نفوذ پذیری بر روی مصالح و محدوده تغییرات ضریب نفوذ پذیری پی سد بر اساس آزمایش های نفوذ پذیری صحرایی تعیین شده است (مهارآب ۱۳۹۰) که نتایج آزمایشات به شرح جدول شماره ۱ می باشد.

جدول ۱- مشخصات نفوذپذیری مصالح بدنه و پی سد روداب سبزوار

شماره	جنس مصالح	ضریب نفوذپذیری افقی (m/s)	ضریب نفوذپذیری قائم (m/s)
۱	هسته	10^{-9}	10^{-9}
۲	پی سنگی فوقانی	10×10^{-7}	10×10^{-7}
۳	پی سنگی تحتانی	5×10^{-7}	5×10^{-7}
۴	فیلتر و زهکش	10^{-4}	10^{-4}
۵	پی آبرفتی	10^{-5}	10^{-5}
۶	پرده تزریق	3×10^{-7}	3×10^{-7}

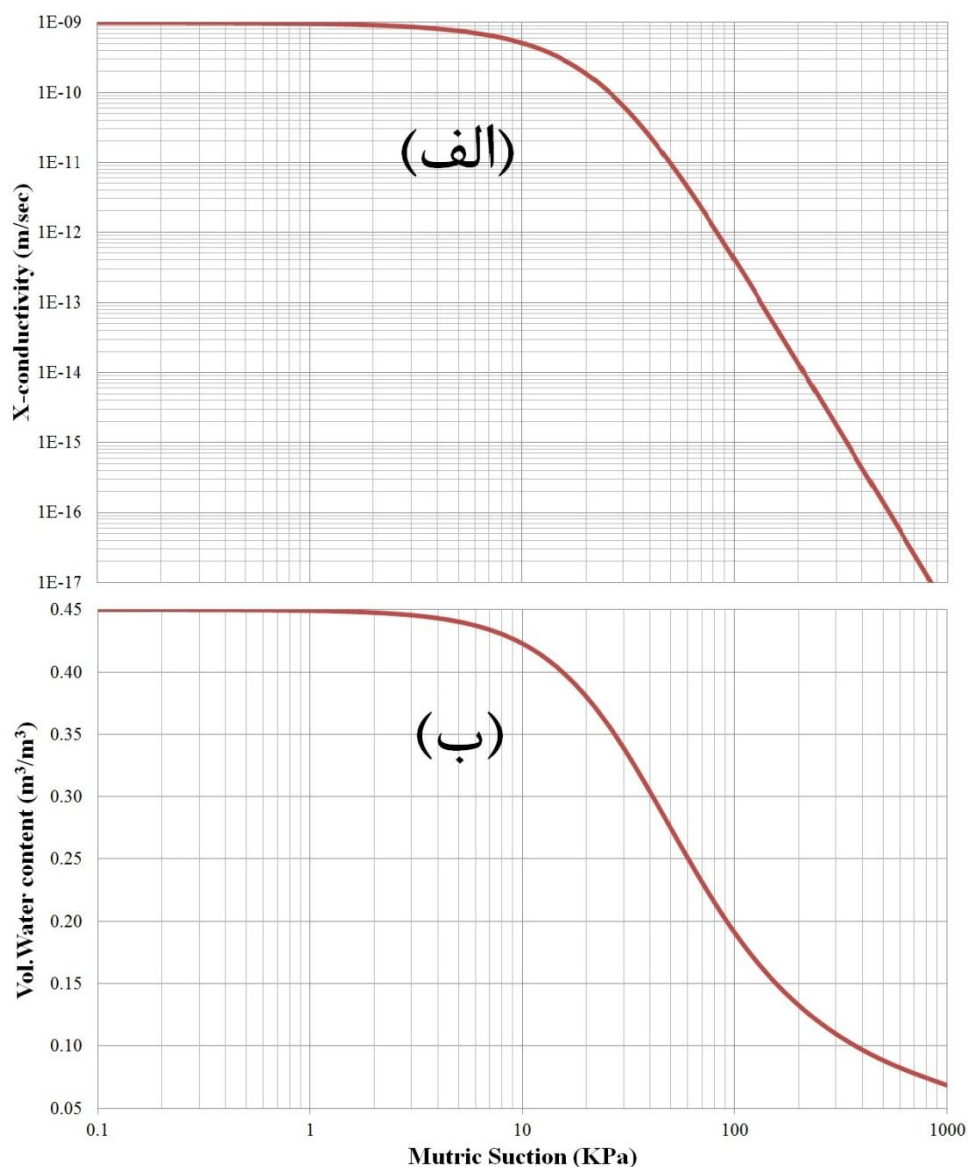


شکل ۲- مدل مفهومی بدنه سد روداب

بررسی نفوذپذیری در مناطق غیر اشباع سد روداب سبزوار

به طور کلی نفوذپذیری در محیط غیر اشباع متفاوت با شرایط اشباع می باشد. از جمله عوامل مؤثر در نفوذپذیری منطقه غیر اشباع می توان به نحوه قرار گیری یا پیچ و خم (Tortuosity) حفرات و ارتباط فضاهای خالی با سایز های مختلف، درجه اشباع، رطوبت باقی مانده، مقدار رطوبت اشباع، هدایت هیدرولیکی نسبی و هدایت هیدرولیکی منطقه اشباع اشاره نمود. در مجموع می توان گفت بر خلاف جریان اشباع، که جریان آب تابعی از شیب هیدرولیکی می باشد،

در محیط غیر اشباع عامل جریان آب، نیروی مکش منفی است که به طبیعت محیط متخلخل بستگی دارد (موهبت‌زاده ۱۳۸۹). به عبارتی هدایت هیدرولیکی در منطقه غیر اشباع غیر خطی و تابعی از رطوبت و مکش ماتریک خاک می‌باشد. با توجه به فرضیات فوق در قسمت‌های مختلف؛ از جمله هسته، پوسته و فیلتر سد با استفاده از توابع موجود میزان هدایت هیدرولیکی محاسبه شده است، که به عنوان نمونه همانطور که در شکل ۳ مرتبط با هسته سد روداب مشاهده می‌شود افزایش مکش ماتریک خاک باعث کاهش محتوای رطوبتی خاک و همچنین کاهش در میزان هدایت هیدرولیکی می‌شود.



شکل ۳- تابع نفوذپذیری (الف) و تابع درصد حجمی رطوبت (ب) مصالح هسته در محدوده غیر اشباع

نتایج بدست آمده از مدل عددی تراوش

با توجه به نتایج مطالعات هیدرولوژی منطقه، کل آورد سالانه رودخانه روداب ۹/۴۸ میلیون متر مکعب می‌باشد که از این مقدار ۲/۰۸ میلیون متر مکعب مربوط به دبی پایه و ۷/۴ میلیون متر مکعب مربوط به آوردهای سیلابی در منطقه می‌باشد (مهار آب ۱۳۹۰). با توجه به اینکه قسمت عمده آورد رودخانه مربوط به سیلاب‌ها می‌باشد. حجم آب ورودی به مخزن سد در طول سال تغییرات زیادی دارد. از اینرو با توجه به بار هیدرولیکی ناشی از متوسط تراز آب در پشت سد در ماه‌های مختلف سال که از روی داده‌های حجم مخزن تخمین زده شده است، میزان دبی نشت در هر ماه محاسبه گردیده است (جدول ۲).

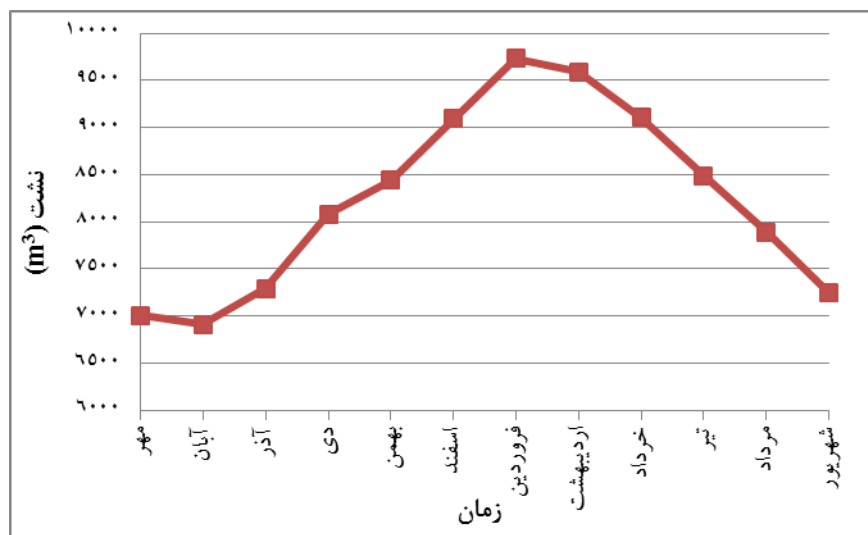
جدول ۲- نتایج آنالیز نشت از پی و بدنه سد روداب با توجه به ترازهای ماهانه ارتفاع آب پشت سد

ماه	ارتفاع آب پشت سد (m)	میزان نشت از پی و بدنه سد (m ³)
مهر	۱۳۴۴.۵	۷۰۱۰
آبان	۱۳۴۴.۳	۶۹۱۰
آذر	۱۳۴۵.۱	۷۲۹۰
دی	۱۳۴۶.۷	۸۰۸۰
بهمن	۱۳۴۷.۵	۸۴۴۰
اسفند	۱۳۴۸.۸	۹۰۹۰
فروردین	۱۳۵۰.۱	۹۷۳۰
اردیبهشت	۱۳۴۹.۸	۹۵۹۰
خرداد	۱۳۴۸.۹	۹۱۱۰
تیر	۱۳۴۷.۶	۸۴۹۰
مرداد	۱۳۴۶.۳	۷۸۹۰
شهریور	۱۳۴۵.۰	۷۲۵۰

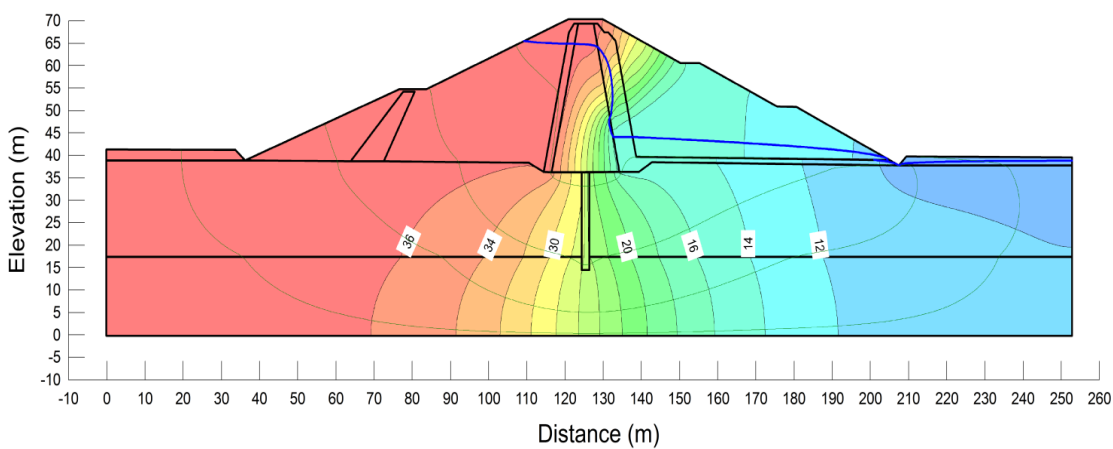
نتیجه گیری

از مقایسه دبی نشت از پی و بدنه سد در ماه‌های مختلف (شکل ۴) می‌توان دریافت که بیشترین میزان نشت در طول سال مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت می‌باشد و متوسط نشت سالانه از پی و بدنه سد روداب برابر ۹۸۸۸۰ مترمکعب می‌باشد. شکل ۵ مدل نشت از پی و بدنه سد و خط فریاتیك (Phreatic Line)، خطی که فشار آب منفذی در امتداد

آن صفر است، و همچنین خطوط هم‌پتانسیل و خطوط جریان در تراز نرمال ۱۳۵۵ متر را که توسط نرم افزار Seep/W تهیه شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات میزان نشت از پی و بدنه سد روداب در ماه‌های مختلف سال



شکل ۵- نتایج مدل واسنجی شده برای تراز نرمال مخزن سد



سواری، م. و موسوی جهرمی، س. (۱۳۸۸). ارزیابی و بررسی روشهای کنترل و کاهش نشست از بدنه سدهای خاکی بوسیله نرم افزار Seep/W) مطالعه موردی سد خاکی گدارلندر). دومین همایش ملی سد سازی. زنجان: دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.

شهربانوزاد، م.، حسامی کرمانی، م. و بارانی، غ. (۱۳۸۹). مدل سازی جریان نشست از پی سد با استفاده از نرم افزار Seep3D مطالعه موردی سد شهید عباسپور. اولین کنفرانس بینالمللی مدل سازی گیاه، آب، خاک و هوا. کرمان: دانشگاه شهید باهنر کرمان.

موهبت زاده، آ.، مشعل، م. و هدایت، ن. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر شبیه سازی خاک نیمه اشباع در برآورد نشست در سدهای خاکی مطالعه موردی سد خاکی کرخه خوزستان. سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز: دانشکده مهندسی علوم آب.

نوری محمدیه، م.، سهرابی، ت. و رحیمی، ح. (۱۳۸۹). شبیه سازی جریان نشست از کانالهای خاکی به سمت آبخوان آب زیرزمینی با مدل Seep3D. نخستین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی کرمانشاه: وزارت نیرو.

Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (1992). Applied groundwater modeling Simulation of flow and advective transport. San Diego, California.

lu, N., & likos, W. J. (2004). UNSATURATED SOIL MECHANICS. New Jersey: JOHN WILEY & SONS.