Water Resources Engineering Journal

Spring 2021. Vol 14. Issue 48

Research Paper

2D and 3D Modeling of Transient Seepage from Earth Dams Thorough Finite Element Model (Case Study: Kordaliya Dam)

Mandana Bayat[1]. Saeid Eslamian[1, 3]*. Gholamreza Shams[2]. Alborz Hajiannia[1]
[1] Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
[2] Department of Civil Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
[3]Department of water Engineering, Isfahan University technology, Isfahan, Iran.

Received: 2020.9.14
Revised: 2021.1.2
Accepted: 2021.2.1

Use your device to scan and read the article online

DOI:10.30495/wej.2021.4591

Keywords:
Earth dam,
Transient Seepage,
SEEP/W Software,
SEEP 3D Software.

Abstract

Introduction: Considering Iran's place in arid and semi-arid regions, inappropriate distribution of barley rainfall, water storage and dam construction are necessary. One of the important issues in the preservation and stability of earth dams is the seepage problem, which, considering that the water head in the upstream reservoir of dam is changing in different seasons of the year, the amount of seepage of the dam changes continuous.

Materials and Methods: In this study, transient seepage for 2D and 3D modes was investigated using SEEP/W and SEEP 3D software based on finite element in upstream and downstream reservoirs for saturation and semi-saturation modes.

Findings: Considering this modeling, by increasing the water level in the upstream reservoir, the amount of seepage of dam increases and vice versa, which indicates a direct relationship between them. The accuracy of the calculated seepage thorough SEEP 3D software is higher than SEEP/W software in two-dimensional mode for saturation mode, which its determination coefficient thorough SPSS software is equal to 0.92, in comparing to the actual seepage at that point, which indicates the high compatibility of this software with reality. For the semi saturated mode at the downstream of the dam when the water level decreases upstream, the calculated seepage accuracy in seep/W software is higher than seep 3D software and its determination coefficient is 0.72, which indicates the superiority of SEEP/W software for two-dimensional modeling of transient seepage in semi-saturation mode.

Conclusion: In general, SEEP/W software is more accurate than SEEP 3D software for calculating transient seepage in semi-saturated soils.

Citation: Bayat, M., Eslamian, S., Shams, GH., Hajiannia, A. 2D and 3D Modeling of Transient Seepage From Earth Dams Thorough Finite eEement Model (Case Study: Kordaliya Dam). Water Resources Engineering Journal. 2021; 14 (48): 87- 97.

***Corresponding author:** Saeid Eslamian
Address: [1] Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
Tell: 00989131157554
Email: eslamiansaeid@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

One of the important issues in the preservation and stability of earth dams is the seepage problem, which, considering that the water head in the upstream reservoir of dam is changing in different seasons of the year, the amount of seepage of the dam changes continuous. Seepage of earth dams lead to their instability; water lose and finally environment and human life loss. Darcy equation is applied for water movement in soil (seepage of earth dams). There are several methods to solve the general flow equation like Laboratory, graphical, experimental, mathematical and numerical methods which are adopted in solving the general flow equation. Based on studies, FEM is more appropriate for solving the transient seepage because of its compatibility with the problem conditions. The SEEP 3D and SEEP/W software are the best options in finding seepage loss in earth dams with high accuracy which are based on the finite elements methods. The method adopted in this study is of case study. The subject earth dam is referred to as a large dam in accordance with ICOLD.

Materials and Methods

Earth dam of Kord-Oliya in Iran is constructed for storing excess water and groundwater recharge. The earth dam is modelled through SEEP/W and SEEP 3D software in 2D and 3D mode and the outputs obtained from SEEP 3D and SEEP/W are extracted in downstream for every 15-day intervals for one year. The head in upstream is transient.

Findings

The outputs of both software and real seepage data from the instruments are extracted in the downstream of the subject earth dam within 15-day intervals for one year. Considering this modeling, by increasing the water level in the upstream reservoir, the amount of seepage of dam increases and vice versa, which indicates a direct relationship between them. The accuracy of the calculated seepage thorough SEEP 3D software is higher than seep/W software in two-dimensional mode for saturation mode, which its determination coefficient thorough SPSS software is equal to 0.92, in comparing to the actual seepage at that point. In this study, the seepage of earth dam is assessed in upstream and downstream, these results are compared.

Discussion

In this study, seepage of earth dam is assessed in upstream and downstream for saturated and unsaturated mode (Because in part of the downstream of the dam, the soil is semi-saturated for a period of time). For the semi saturated mode at the downstream of the dam when the water level decreases upstream, the calculated seepage accuracy in SEEP/W software is higher than SEEP 3D software and its determination coefficient is 0.72, which indicates the superiority of SEEP/W software for two-dimensional modeling of transient seepage in semi-saturation mode. For the saturated mode at the upstream and the downstream of the dam when the water level increases upstream, the calculated seepage accuracy in SEEP 3D software is higher than SEEP/W software but this software have good relation with each other, but SEEP 3D software for three-dimensional modeling of transient seepage has more Accuracy.

Conclusion

Considering this modeling in two-dimensional and three-dimensional mode and the direct relationship of seepage with the reservoir water level, it indicates that the accuracy of calculations in three-dimensional mode with SEEP 3D software is higher than two-dimensional SEEP / W software in soil saturation mode. But this advantage does not apply to semi-saturated soils. This software has less accuracy for modeling three-dimensional transient seepage in semi-saturated state. On the other hand, two-dimensional modeling in SEEP / W software in semi-saturated mode is more compatible with real data.

Ethical Considerations
Compliance with ethical guidelines
All subjects full fill the informed consent.

Funding
All funding were the responsibility of the first author.

Authors' contributions
Design, conceptualization, Methodology, data analysis and final writing: Mandana bayat; Supervision: Saeid Eslamian, Gholamreza Shams, Alborz Hajiannia.

Conflicts of interest
The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مدل سازی دو بعدی و سه بعدی تراوش ناپایدار از سدهای خاکی با استفاده از مدل المان محدود (مطالعه موردی: سد کردعلیا)

ماندانا بیات[۱]، سعید اسلامیان[۱و۳*]، غلامرضا شمس[۲]، البرز حاجیان نیا[۱]
۱. گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد،دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
۲. گروه مهندسی عمران، واحد شهرکرد،دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران.
۳. گروه مهندسی آب، واحد اصفهان،دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۴
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:10.30495/wej.2021.4591

واژه‌های کلیدی:
سد خاکی، تراوش ناپایدار، نرم افزارSEEP/W ، نرم افزار SEEP 3D;

چکیده

مقدمه و هدف: با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک ونیمه خشک، توزیع نامناسب بارش های جوی، نیاز به ذخیره آب و احداث سد ضروری می گردد. یکی از مسایل مهم در حفظ و پایداری سدهای خاکی، مساله تراوش است که با توجه به اینکه ارتفاع آب در مخزن بالادست سد در فصول مختلف سال در حال تغییر می باشد، میزان تراوش از سد هم پیوسته تغییر می کند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، تراوش ناپایدار برای حالت دوبعدی و سه بعدی با استفاده از نرم افزارهای SEEP/W و SEEP 3D بر پایه المان محدود، در مخزن بالادست و پایین دست برای حالت اشباع و نیمه اشباع بررسی شده است.

یافته‌ها: با در نظر گرفتن این مدلسازی، با افزایش سطح آب در مخزن بالادست میزان تراوش سد افزایش می یابد و بالعکس، که بیانگر رابطه مستقیم بین آنها می باشد. دقت تراوش محاسبه شده با نرم افزار SEEP 3D در حالت سه بعدی از نرم افزار SEEP/W درحالت دو بعدی برای حالت اشباع، در بالا دست سد بیشتر است که ضریب تعیین آن با استفاده از نرم افزار SPSS در مقایسه با تراوش واقعی در آن نقطه، برابر با ۰.۹۲ است که نشان دهنده تطابق بالای این نرم افزار با واقعیت می باشد. برای حالت نیمه اشباع در پایین دست سد زمانیکه سطح آب در بالادست کاهش می یابد، دقت تراوش محاسبه شده در نرم افزار SEEP/W بیشتر از نرم افزار SEEP 3D می باشد و ضریب تعیین آن معادل ۰.۷۲ است که بیانگر برتری نرم افزار SEEP/W برای مدل سازی دوبعدی تراوش ناپایدار، در حالت نیمه اشباع است.

بحث و نتیجه‌گیری: درحالت کلی، نرم افزار SEEP/W از نرم افزار SEEP 3D برای محاسبه تراوش ناپایدار در خاکهای نیمه اشباع از دقت بالاتری برخوردار می باشد.

* **نویسنده مسئول:** سعید اسلامیان
نشانی: گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد،دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
تلفن: 00989131157554
پست الکترونیکی: eslamiansaeid@yahoo.com

مقدمه

در ایران سدهای خاکی به دلیل صرفه ی اقتصادی، ساختگاه های نامناسب، دسترسی راحت تر به تکنولوژی ساخت و قرار گرفتن قسمت زیادی از ایران روی خط زلزله مورد توجه قرار گرفته اند. سد خاکی غیرهمگن از معمول ترین نوع سدهای خاکی است که از دو قسمت هسته و پوسته تشکیل شده است که اغلب سدهای خاکی اجرا شده در کل دنیا از نوع غیرهمگن می باشند و یکی از مسایل مهم در حفظ و پایداری سدهای خاکی، مساله تراوش می باشد (۲).

در سدهای خاکی، هسته سد گرچه نقش آب بند اصلی سازه سد را ایفا می کند و دارای نفوذپذیری بسیار کمی می باشد، ولیکن نفوذپذیری آن صفر نیست و جریان زه پس از عبور از پوسته سد، با سرعت کمی در هسته ادامه می یابد و سپس ازسد خارج می گردد که باید میزان دبی خروجی آن تعیین شود. از طرفی نظر به اینکه با افزایش گرادیان هیدرولیکی به نیروی تراوش افزوده می گردد و در صورت غلبه کردن بر نیروی مقاوم دانه‌های خاک ، پدیده فرسایش داخلی و آب شستگی ایجاد می شود، لازم است با طراحی فیلترهای مناسب و کنترل گرادیان از این پدیده جلوگیری شود.

هسته یکی ازمهم ترین اجزای سدهای خاکی است که برای آب بندی و کنترل نشت از بدنه استفاده می شود و از روش های آب بندی در هسته می توان به تغییر در بافت و ساختمان هسته و اجرای رویه نفوذ ناپذیر از بتن، سنگ و آسفالت روی پوسته بالادست (مصالح با نفوذ پذیری کم) اشاره کرد. از طرف دیگر، برای جلوگیری از مشکلاتی که بر اثر نشت آب به داخل پی سدها ایجاد می شود، می توان از روشهای تزریق در پی، احداث دیوار آب بند نازک فلزی، بتنی و بتن پلاستیک و ایجاد رویه ای با نفوذ پذیری کم در کف مخزن استفاده کرد (۲).

نرم افزار SEEP/W یک نرم افزار مدل ساز برای مسائل تراوش و جریان آب در خاک است که نسخه ی تجاری آن برای اولین بار در سال ۱۹۹۸ توسط شرکت GEO-SLOP، تهیه کننده نرم افزارهای تخصصی مهندسی ژئوتکنیک، به بازار عرضه گردید (6).

نرم افزار SEEP 3D نیز یک نرم افزار برای مدل سازی سه بعدی مسائل تراوش می‌باشد که اولین نسخه آن در سال ۲۰۰۰، توسط شرکت GEO-SLOP به بازار عرضه گردید. این نرم افزارها، قابلیت حل معادله ی تراوش در حالات پایدار، ناپایدار، محیطهای اشباع و غیر اشباع را دارا می‌باشندو این نرم افزارها از روش اجزاء محدود[1] برای تحلیل مسائل استفاده می کنند. مدل های عددی قادر هستند تصویر ذهنی را نسبت به مسئله، تعدیل نموده و کاربر را در درک هرچه بیشتر یاری نمایند و از قابلیت های این برنامه ترسیم تراز عبوری از درون خاک، بردارهای سرعت، خطوط جریان، خطوط هم پتانسیل و محاسبه دبی عبوری برای مقطع مشخصی از خاک است(7).

برای تحلیل تراوش در سدهای خاکی درحالت دو بعدی و سه بعدی از نرم افزار SEEP/W و SEEP 3D استفاده می شود که نتایج بدست آمده از حالت سه بعدی، در صورتی دقیق تر است که اطلاعات کاملی از خاک و شرایط حاکم بر مساله در دسترس باشد، در غیر اینصورت مدل سازی دو بعدی، دارای توجیه منطقی تری، از نظر زمانی می باشد (۱۳). در یک مطالعه، از نرم افزار SEEP/W به منظور بررسی تراوش، اثرات تراوش و کنترل آن با استفاده از جانمایی دیوار آب بند بتنی با ارتفاع متغیر در سد خاکی کمندان پرداخته شد، که در نتیجه آن، این نرم افزار قابلیت بالایی درمدل سازی تراوش دارد و با اجرای یک دیوار آب بند در جانمایی منتخب، می تواند باعث کاهش ۷۶ درصدی تراوش در این سد می شود (۳). درمطالعه ای دیگر، با مدلسازی تراوش در پی و بدنه ی سد خاکی کمال صالح در حالت سه بعدی و دو بعدی در نرم افزار SEEP دریافتند که نتایج داری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد با هم نیستند و برای مدل سازی سه بعدی به اطلاعات اولیه بیشتری نیاز دارد و از طرفی مقادیر بدست آمده برای تراوش دقیق تر می باشند، در این پروژه با اجرای پرده تزریق سرعت نشت به میزان قابل توجهی معادل ۳۱٪ در مقایسه با استانداردها کاهش یافت و با توجه به آنالیز حساسیتی که برای ضریب نفوذ پذیری دراین پروژه صورت گرفت افزایش ضریب نفوذ پذیری مصالح، افزایش سرعت تراوش را نیز بدنبال دارد (۵). در یک مقاله، با استفاده از نرم افزار SEEP 3D به بررسی کنترل تراوش و روش های کاهش آن مانند ترانشه رسی، دیوار سپری و زهکش پرداخته شد و بعد از کنترل نتایج و بررسی اثرات آنها، ایجاد دیوار سپری در نزدیکی پنجه سد بهترین روش برای کاهش تراوش و پایداری سد انتخاب گردید (۱۱). با استفاده از نرم افزار SEEP 3D، وضعیت تراوش و پایداری سد سیلوه را با اجرای دیوار آب بند از جنس بتن پلاستیک در تراز نرمال آب بررسی شد، که در نتیجه آن، وجود دیوار آب بند منجر به کاهش ۱۳ درصدی تراوش و افزایش پایداری در بدنه می گردد (۸). دریک پژوهش، با استفاده از نرم افزار SEEP/W تراوش در سد برای دو حالت هسته (مایل و قائم) بررسی شد و نتیجه آن اینست که گرادیان تراوش، در حالت هسته شیب دار بیشتر از هسته قائم است و با کاهش شیب هسته در هسته شیب دار، گرادیان تراوش تا ۲۶ درصد افزایش می یابد و رابطه بین ارتفاع آب در مخزن سد، افزایش میزان نفوذپذیری هسته و پی با میزان تراوش مستقیم است (۱۳). در پژوهشی دیگر، با استفاده از نرم افزار SEEP/W ، تراوش از سد در منطقه خشک در دوره های ترسالی و خشکسالی بررسی شد که به هنگام افت سریع آب در دوره خشکسالی، پایداری شیروانی ها کاهش یافته و بازتاب معکوس را برای اثر تراوش داشته و فرسایش داخلی را تا حدود ۶٪ افزایش می دهد به همین سبب، ثبات و پایداری سد را به مخاطره می اندازد (۱۰). در یک تحقیق، برای بررسی اثر دیوار سپری روی سدهای خاکی از نرم افزار SEEP/W استفاده شدو نتایج نشان داد که قرار دادن دیوار سپری در زیر هسته رسی، بیشترین اثر را روی کاهش تراوش در سد خاکی معادل ۱۲٪ خواهد داشت و باعث کاهش نیروی برکنش (Up lift) در سدهای خاکی می شود (۱۲). در پژوهشی دیگر، با ارزیابی اثر دیوار سپری روی تراوش در سدهای خاکی با نرم افزار SEEP/W و مقایسه آن با مقادیر میدانی، بیانگر اینست که هیچ تغییر عمده ای بین

[1]. Finite element method

مقادیر تراوش مشاهده شده و شبیه سازی شده وجود ندارد و این اختلاف زیر ۱٪ می باشد (۱۲).

باتوجه به توضیحات داده شده درباره سابقه پیشین تراوش در سد های خاکی و نرم افزار SEEP 3D و SEEP/W، مطالعات انجام شده بر روی روشهای کاهش تراوش مانند ایجاد دیوار آب بند در پی، استفاده از زهکش افقی، قرار دادن فیلتر و تغییرات در شیب بالادست و پایین دست بیشتر در حالت جریان پایدار در بالادست یا نهایتا برای دو حالت ارتفاع آب پشت مخزن انجام شده است. شرایط حاکم بر مساله تراوش از سدها در حالت واقعی، جریان آب در بالادست مخزن، به صورت ناپایدار و وابسته به زمان می باشد و از طرف دیگر در مدلسازی های انجام شده بحث نیمه اشباع بودن خاک در پایین دست سد با کاهش سطح آب در مخزن بالادست مطرح نشده است. در این تحقیق، سد خاکی کردعلیا به صورت ناپایدار در حالت دو بعدی و سه بعدی مدلسازی شده و تراوش در مخزن بالا دست برای خاک کاملا اشباع و در مخزن پایین دست سد برای خاک به صورت نیمه اشباع واشباع بررسی شده است ونتایج آن ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه

محل انتخاب شده برای احداث سد کرد علیا در مختصات ' ۴۱, ۰ ۵۰ درجه طول شرقی و ' ۵۶, ۳۲۰ عرض شمالی واقع شده است. سد کرد علیا با هدف ذخیره سازی دبی مازاد بر مصرف چشمه شاهی در دستور کار اداره کل امور آب استان اصفهان قرار گرفت است. گزینه ساختگاه سد کردعلیا در فاصله حدود ۶۰ کیلومتری باختر تیران قرار دارد. پی و تکیه گاه های آنرا آبرفت های عهد حاضر به ضخامت متوسط ۱۳ متر تشکیل می دهند که در زیر آن نیز شیل های خاکستری ژوراسیک قرار گرفته، این شیل ها در بالادست بوسیله آهک کرتاسه پوشیده می شود. سد ناهمگن ذخیره ای – تغذیه ای کرد علیا با ارتفاع ۱۸ متر از پی، طول تاج ۱۰۳۰ متر، عرض تاج ۶ متر و حجم مخزن ۱/۲ میلیون متر مکعب می باشد که مشخصات آن در جداول۱ و۲ آورده شده است (۱).

معادلات حاکم بر تراوش از سدهای خاکی

تحلیل تراوش برای حالت تعادل پایدار (Steady State) انجام می شود معادله ریاضی حرکت آرام آب در محیط نفوذ پذیر براساس رابطه ۱ دارسی بصورت زیر بیان می شود :

$$V = ki \quad \text{یا} \quad V = -k\,(dh/dl) \qquad (۱)$$

که در این رابطه V سرعت جریان در محیط متخلخل بر حسب متر بر ثانیه، i گرادیان هیدرولیکی بدون واحد،A مساحت بر حسب مترمربع و k ضریب نفوذ پذیری محیط بر حسب متر بر ثانیه است که به خصوصیات خاک و سیال بستگی دارد. با استفاده از رابطه ۱، قانون پیوستگی و قانون دارسی ، معادله عمومی جریان (درحالت سه بعدی) به شکل زیر بدست می آید.

$$\frac{\partial}{\partial x}(-k_x\frac{\partial h}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(-k_y\frac{\partial h}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(-k_z\frac{\partial h}{\partial z})=Q \qquad (۲)$$

که در این رابطه K_X, K_Y و K_Z ضرایب نفوذ پذیری در جهت های x ، y و Z بر حسب متر برثانیه، h هد هیدرولیکی در نقطه مورد نظر برحسب متر و Q دبی در طول شرایط مرزی یا منابع داخلی بر حسب متر مکعب بر ثانیه می باشد. روابط فوق (رابطه های ۱و۲) فرم معادله لاپلاس است و حل آن با در نظر گرفتن شرایط حدی هر مسأله خاص به طرق مختلف بدست می آید حل این معادله در صفحه (حالت دوبعدی) x و y به دو سری منحنی منتهی میگردد. که یک سری منحنی افقی نشان دهنده مسیرهای جریان و سری دیگر عمودی نشان دهنده خطوط هم پتانسیل می باشد و شکل حاصل از رسم خطوط جریان و هم پتانسیل شبکه جریان نامیده میشود(۱).

جدول۱- مشخصات سد کردعلیا.

عرض تاج سد	ارتفاع سد	شیب بالادست وپایین دست	حجم مخزن	شیب هسته	ارتفاع آزاد
۶ متر	۱۸ متر	۱:۳	۱۲۰۰۰۰۰ مترمکعب	۱ : ۰/۶	۲ متر

جدول۲- مشخصات سدکردعلیا.

موقعیت	نفوذپذیری در جهت X (m/s)	نفوذپذیری در جهت Y (m/s)	نفوذپذیری در جهت Z (m/s)
پی	۴۳۲ × ۱۰ $^{-۴}$	۸۶ × ۱۰ $^{-۴}$	۸۶ × ۱۰ $^{-۴}$
زهکش	۸/۶۲	۸/۶۲	۸/۶۲
پوسته سد	۱ × ۱۰$^{-۳}$	۱ × ۱۰$^{-۴}$	۱ × ۱۰$^{-۴}$
تکیه گاه راست	۴/۳ × ۱۰$^{-۳}$	۸/۵ × ۱۰$^{-۸}$	۸/۵ × ۱۰$^{-۸}$
هسته سد	۲ / ۵ × ۱۰$^{-۵}$	۵ × ۱۰$^{-۶}$	۵ × ۱۰$^{-۶}$
فیلتر	۲ × ۱۰ $^{-۱}$	۱ × ۱۰$^{-۲}$	۱ × ۱۰$^{-۲}$
تکیه گاه چپ	۵/۶۸ × ۱۰$^{-۶}$	۵/۶۸ × ۱۰$^{-۷}$	۵/۶۸ × ۱۰$^{-۷}$

مدلسازی سد خاکی کردعلیا با نرم افزارهای SEEP 3D و SEEP/W

با توجه به شرایط واقعی حاکم بر مدل سازی، جریان آب در بالادست سد بصورت ناپایدار (Transient) برای بازه زمانی ۱ ساله مدل سازی شده که از اول اسفندماه تا اول مرداد، ارتفاع آب در بالادست از ۳ متر به ۱۶ متر و از اول مرداد ماه تا اخر آبان ماه، ارتفاع آب در بالادست از ۱۶ متر به ۳ متر و از اول آذر ماه تا اخر بهمن ماه ۳ متر ثابت باقی مانده است که سطح مخزن سد به صورت مستطیل در نظرگرفته می شود که درتراز ۱۶ متری (سطح تقریبی آن برابر با ۹۰۰۰۰ مترمربع (۹ هکتار) با حجم مخزن ۱۲۰۰۰۰۰۰مترمکعب) ودر تراز ۳متری (سطح تقریبی آن برابر با ۲۲۰۰۰ مترمربع (۲/۲ هکتار) با حجم مخزن ۱۸۵۰۰۰ مترمکعب) درنظر گرفته می شود. مدل برای دو حالت دوبعدی و سه بعدی ابتدا با شرایط پایدار تعریف شده و سپس با ۲۴ گام (دوره پانزده روزه) در حالت ناپایدار به مدت یکسال تعریف می شود زیرا مقادیر نشت از بدنه سد در حالت واقعی هر پانزده روز یکبار ثبت گردیده است.

روش ساخت هندسه

در نرم افزار SEEP/W از Lines & Points و Soil region به منظور تعریف هندسه مدل، ساده سازی و اختصاص مصالح آن استفاده می شود، هندسه مقطع سد کرد علیا مطابق شکل۱ تعریف می شود که در آن هسته، پوسته، فیلتر، زهکش، دیوارآب بند و پی با رنگ های مختلف و منطقه بندی شده نشان داده شده است. مدل های المان محدود[1] برمبنای تقسیم کردن مدل به قطعات کوچکتر (المان های سه گرهی و چهار گرهی) استوار می باشند که شرح رفتار یا واکنش بخش های مختلف را به صورت منفرد مهیا ساخته و در پایان با اتصال آن ها رفتار کل ماده مشخص می گردد، مدل المان بندی شده این سد در شکل ۲ نشان داده شده است(7) .

برای ساخت هندسه مدل در نرم افزار SEEP 3D از یک روش کاملاً نو و ویژه‌ای برای استفاده می‌کند که در این روش با در کنار هم قرار دادن بلوکهایی که Region نامیده می‌شود هندسه مدل ساخته می‌شود. این بلوک ها فقط محدود به بلوکهای مکعبی (شش وجهی)، منشوری (پنج وجهی) و هرمی (چهار وجهی) می‌باشند و هندسه باید با استفاده از این بلوکها ساخته شود که شکل این بلوکها ثابت نمی باشد و می‌توان شکل و اندازه آنها را تغییر داد (با تغییر وضعیت اضلاع یک بلوک مکعبی، می‌توان مقطع آنرا به ذوزنقه تبدیل نمود. شکل ۳ هندسه کلی مقطع سد کردعلیا را نشان می دهد.

فرضیات

۱- جریان تراوش به صورت غیرخطی در نظر گرفته شده است.

۲- جریان به صورت غیر قابل تراکم در نظرگرفته شده است و صرفا مدل به صورت هیدرولیکی حل می شود.

انتگرال گیری عددی

اساس این نرم افزارها المان محدود می باشد که این نرم افزار برای محاسبه ماتریسهای ضرایب، از انتگرال گیری عددی به روش گاوس[2] از مرتبه دو و یا مرتبه سه بسته به انتخاب کاربر استفاده می‌نماید. با توجه به اینکه نرم افزار از المانهای شش وجهی هشت گرهی استفاده می‌کند و توابع درون یابی[3] یا توابع شکل[4] این نوع المان ها خطی است، لذا انتگرال گیری مرتبه دو به صورت دقیق می‌تواند مقدار این انتگرال را محاسبه نماید و نیازی به استفاده از انتگرال گیری عددی مرتبه سه نمی باشد(6).

اعتبار سنجی نرم افزار

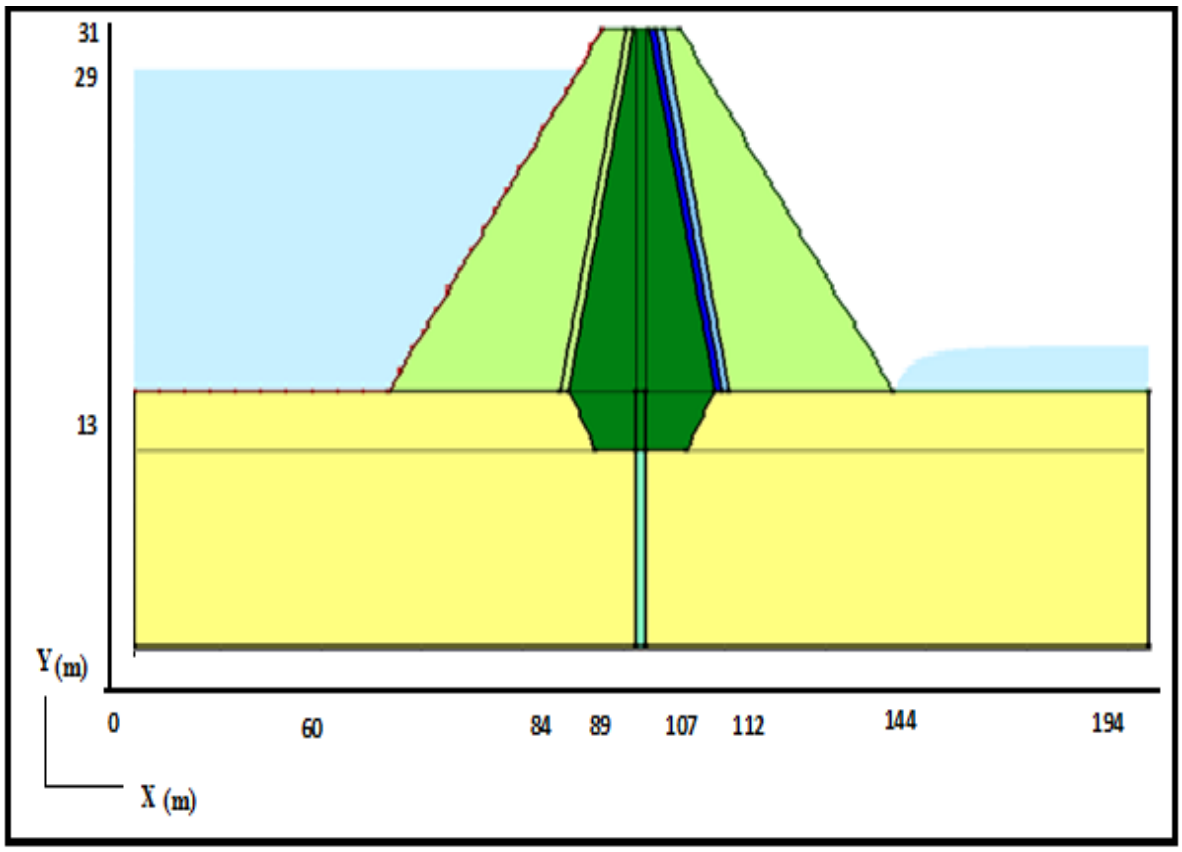
برای اعتبار سنجی نرم افزارها معمولا از دو روش زیر استفاده می شود:

۱- مقایسه با نتایج واقعی

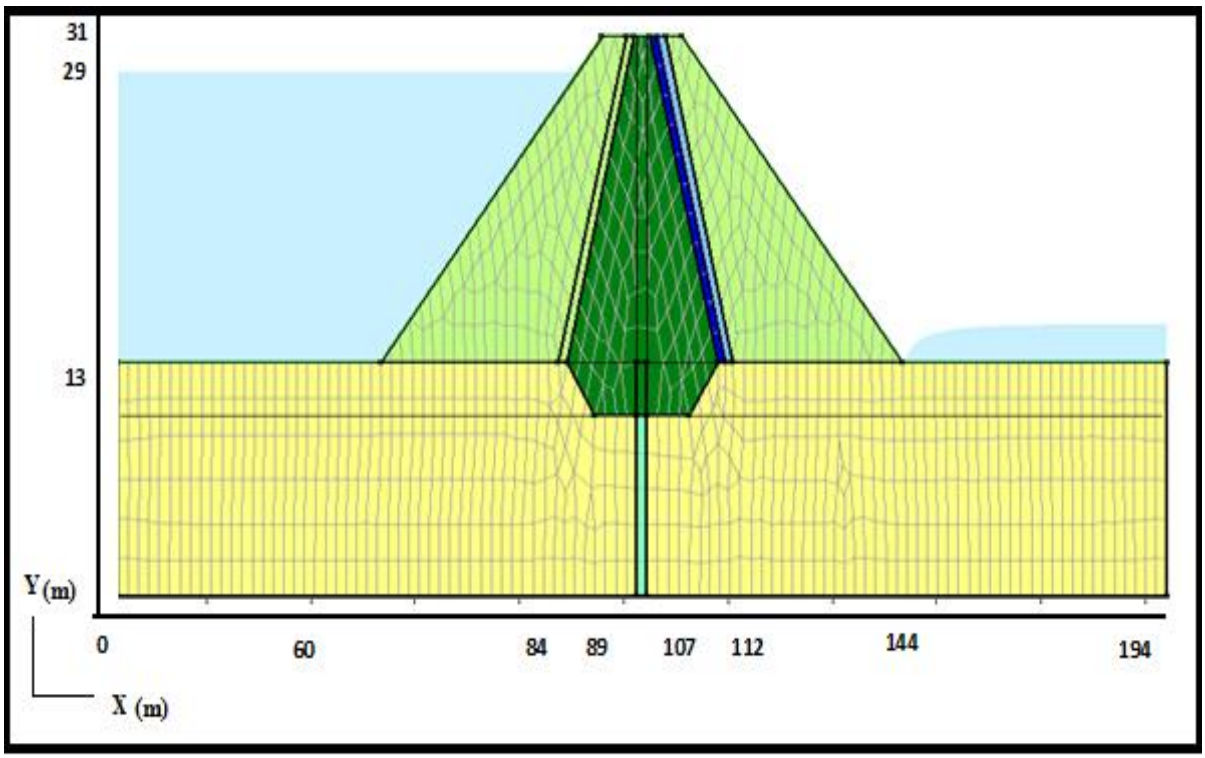
۲- مقایسه با نتایج نرم افزار دیگر

برای اعتبار سنجی نرم افزار، نتایج بدست آمده برای تراوش ناپایدار از نرم افزارهای SEEP/W وSEEP 3D با نتایج واقعی اندازه گیری شده در خروجی زهکش پایین دست (نقطه کامل اشباع) دربازه های زمانی ۱۵ روزه برای یکسال مقایسه گردیده که نتایج آنها از تطابق خوبی با واقعیت برخوردار می باشد و در شکل ۵ نشان داده شده است. ضریب تعیین در نرم افزار SPSS برای نرم افزارهای SEEP 3D وSEEP/W با واقعیت به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۵۸ می باشد که نشان دهنده تطابق بالای دو نرم افزار با واقعیت می باشد که نتایج حاصله از SEEP/W با رنگ زرد ، SEEP 3D با رنگ سبز و داده های واقعی برداشت شده با رنگ آبی نشان داده شده است (از علامت منفی تراوش که بخاطر خروج آب از خاک صرفنظر شده است این نقطه در حالت کلی، در قسمت اشباع خاک در پایین دست سد قرار گرفته است).

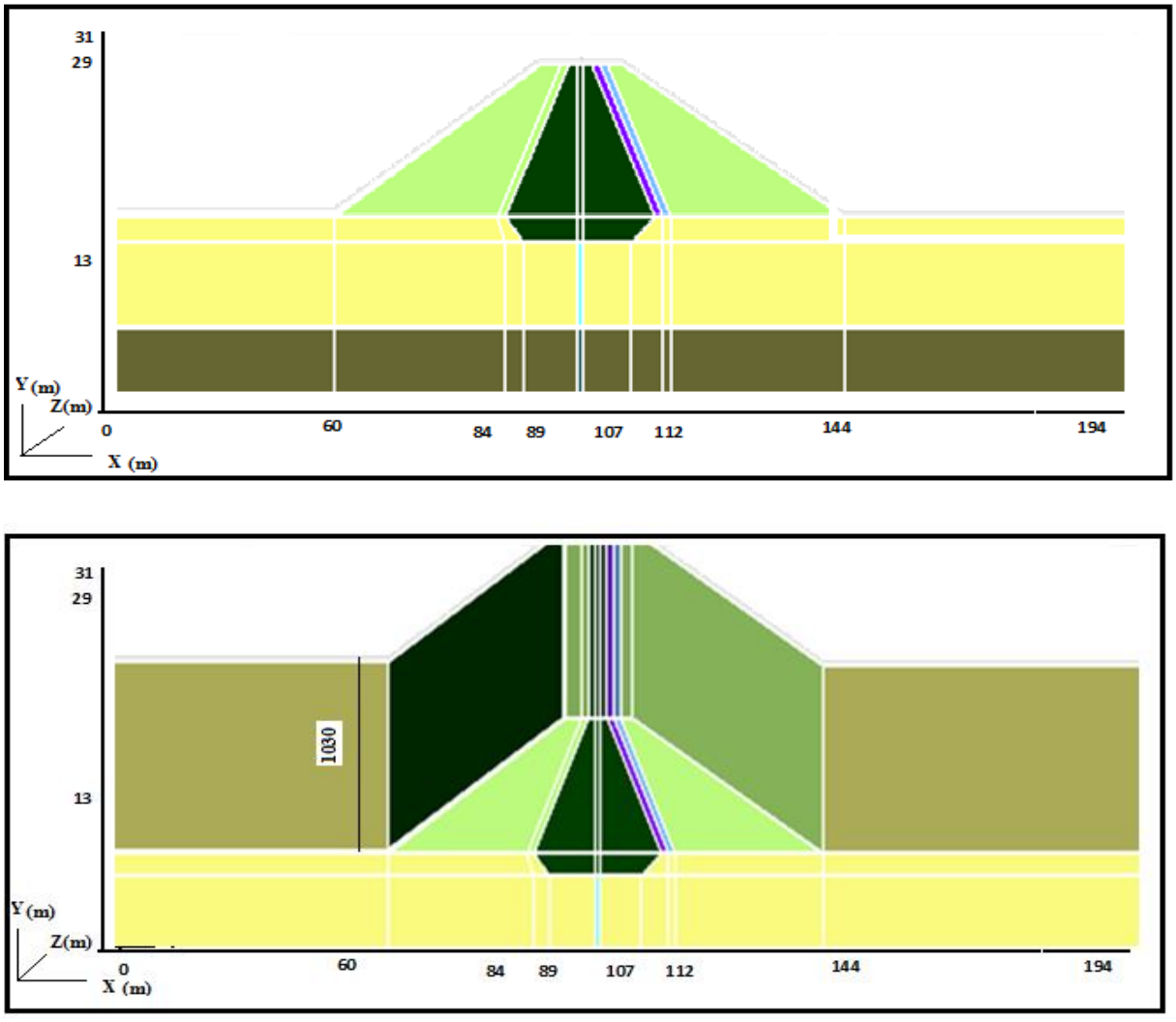
1. Finite Elements
2. Gauss
3. Interpolution function
4. Shape function



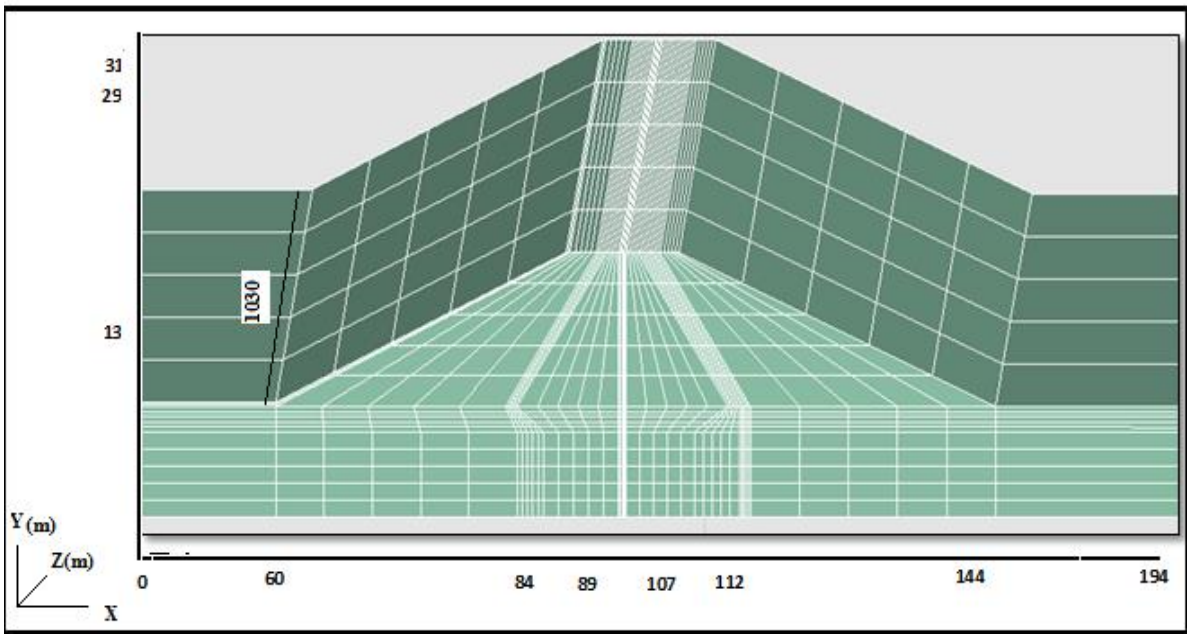
شکل ۱- هندسه کلی مقطع درنرم افزار SEEP/W.



شکل۲- المان بندی مد ل درنرم افزار /SEEP



شکل ۳- هندسه کلی مقطع درنرم افزار SEEP 3D.



شکل ٤- المان بندی سد کرد علیا درنرم افزار SEEP 3D.

یافته ها

بر اساس اعتبار سنجی انجام شده، مدل سازی سه بعدی دقت بالاتری را نسبت به حالت دو بعدی دارد اما مدل سازی در حالت سه بعدی به اطلاعات بیشتری از جمله نفوذ پذیری در راستای محورسوم نیاز دارد. در صورت کافی نبودن اطلاعات، نتایج مدل در حالت دو بعدی با توجه به ضریب تعیین بدست آمده هم قابل قبول می باشد .

با توجه به روند کلی نمودارها، با افزایش تراز آب در مخزن بالادست و پایین دست میزان تراوش از لحاظ عددی افزایش می باشد و بالعکس (رابطه تراوش با ارتفاع آب در مخزن مستقیم است).

پس از اجرای مدل نتایج تراوش در حالت ناپایدار، برای مخزن بالادست و پایین دست استخراج گردید که نتایج آن در شکل های (۶) و (۷) به ترتیب برای مخزن بالادست و پایین دست به صورت مختصر آورده شده است.

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود روند کلی تغییرات تراوش در مدل دو بعدی و سه بعدی در مخزن بالادست (حالت اشباع) با جریان ناپایدار یکسان است و این دو نمودار تطابق نسبتا خوبی با یکدیگر دارند، اما در مدل سه بعدی روند تغییرات تراوش منظم تر می باشد که نشان می دهد تراوش در حالت سه بعدی با دقت بالاتری توسط نرم افزار نسبت به مدل دو بعدی محاسبه شده است و میزان آن در حالت سه بعدی بیشتر از مدل دوبعدی است. زیرا در حالت دو بعدی محاسبات در تعداد گره های کمتری انجام گرفته و با توجه به این امر، روند تغییرات خطی و همراه با دقت پایین تری در محاسبات تراوش است. در مدل سه بعدی، محاسبات در کل گره های صفحه بالادست بصورت مجزا محاسبه و در نهایت جمع جبری می گردد لذا دقت تخمین تراوش بالاتر رفته و نمودار تراوش برای مدل سه بعدی بصورت منحنی و منظم خواهد بود. ضریب تعیین در نرم افزار SPSS برای نرم افزارهای SEEP 3D وSEEP/W نسبت به هم برابر با ۰/۶۵ می باشد که بیانگر همبستگی بالای این دو نرم افزار می باشد.

همانطور که در شکل (۷) مشاهده می شود روند کلی تغییرات تراوش در مدل دو بعدی و سه بعدی در پایین دست سد با جریان ناپایدار یکسان است و این دو نمودار تطابق خوبی با یکدیگر ندارند، اما در مدل سه بعدی روند تغییرات تراوش نسبت به مدل دو بعدی منظم تر می باشد (علامت منفی نشان دهنده خروج آب از خاک در پایین دست می باشد و مثبت نشان دهنده جریان ورودی به خاک است). ضریب تعیین در نرم افزار SPSS برای نرم افزارهای SEEP 3D و SEEP/W نسبت به هم برابر با ۰/۳۸ می باشد که بیانگر همبستگی پایین این دو نرم افزار با هم می باشد.

علاوه بر این در شکل (۷) مشاهده می شود در ۵ ماه اول که تراز آب بالادست سد از ۳ تا ۱۶ متر افزایش می یابد میزان تراوش در پایین دست سد بدون در نظر گرفتن علامت در مدل سه بعدی کمی بیشتر از مدل دو بعدی می باشد که نشان دهنده این است که سرعت تراوش در مدل سه بعدی بیشتر از مدل دو بعدی می باشد (در مدلسازی سه بعدی المان ها و گره ها با المان ها و گره های مجاور در تماس بوده و محاسبات تراوش بین آنها انجام می گیرد) و اما در ۴ ماه دوم که تراز مخزن سد از ۱۶ متر تا ۳ متر کاهش می یابد، مقدار تراوش پایین دست سد در مدل سه بعدی از مدل دو بعدی کمتر می شود. از طرف دیگر، در پایین دست هنگام کاهش سطح آب در مخزن، بخشی از خاک نیمه اشباع می باشد که رفتار غیرعادی تراوش در مدلسازی می تواند بیانگر ناشی از عدم توانایی نرم افزار برای مدلسازی است. .

باتوجه به اینکه ضریب تعیین دو نرم افزار در مخزن پایین دست سد، پایین است بیانگر اینست که اگر خاک نیمه اشباع باشد مانند تراوش قسمت پایین دست سد، قابلیت نرم افزارها کاهش می یابد. به همین خاطر در اعتبار سنجی نرم افزارها با مقادیر واقعی برای یک نقطه در قسمت نیمه اشباع، زمانیکه سطح آب در بالادست کاهش می یابد بررسی می شود. برای این نقطه، مدلسازی در حالت دو بعدی در مقایسه با داده های واقعی دقت بیشتری دارد زیرا برای این حالت ضریب تعیین در نرم افزار SPSS برای SEEP 3D وSEEP/W به ترتیب برابر با ۰/۶۱ و ۰/۷۲ می باشد که نشان می دهد که تطابق با داده های واقعی در حالت سه بعدی کاهش یافته است و در حالت دوبعدی تطابق با داده های واقعی افزایش یافته است.

نتیجه گیری:

با در نظر گرفتن این مدلسازی در حالت دو بعدی و سه بعدی و رابطه مستقیم تراوش با سطح آب مخزن بیانگر اینست، که دقت محاسبات در حالت سه بعدی با نرم افزار SEEP 3D از نرم افزار دو بعدی SEEP/W در حالت اشباع خاک بیشتر است اما این برتری برای خاک های نیمه اشباع صدق نمی کند این نرم افزار برای مدلسازی تراوش سه بعدی در حالت نیمه اشباع دارای دقت کمتری است. از طرف دیگر مدلسازی دو بعدی در نرم افزار SEEP/W در حالت نیمه اشباع با داده های واقعی تطابق بیشتری دارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

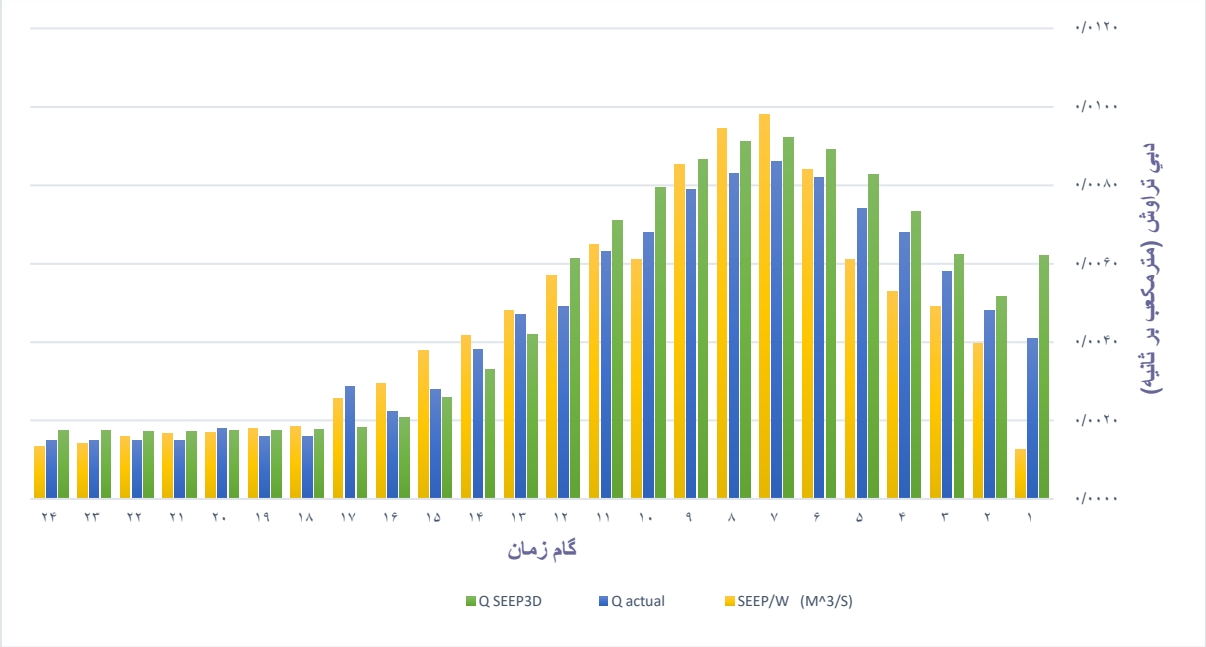
هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسنده اول مقاله تامین شد.

مشارکت نویسندگان

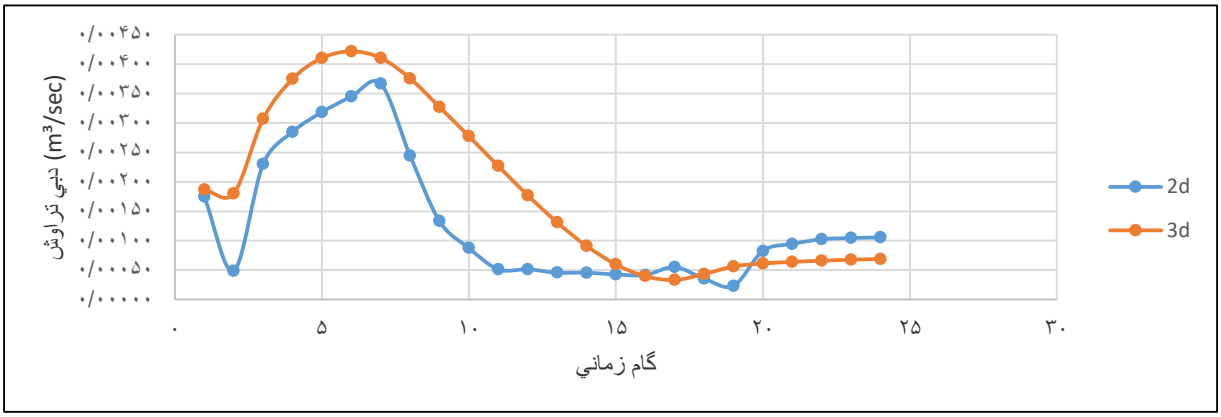
تمامی هزینه ها برعهده نویسنده اول بوده است .

تعارض منافع

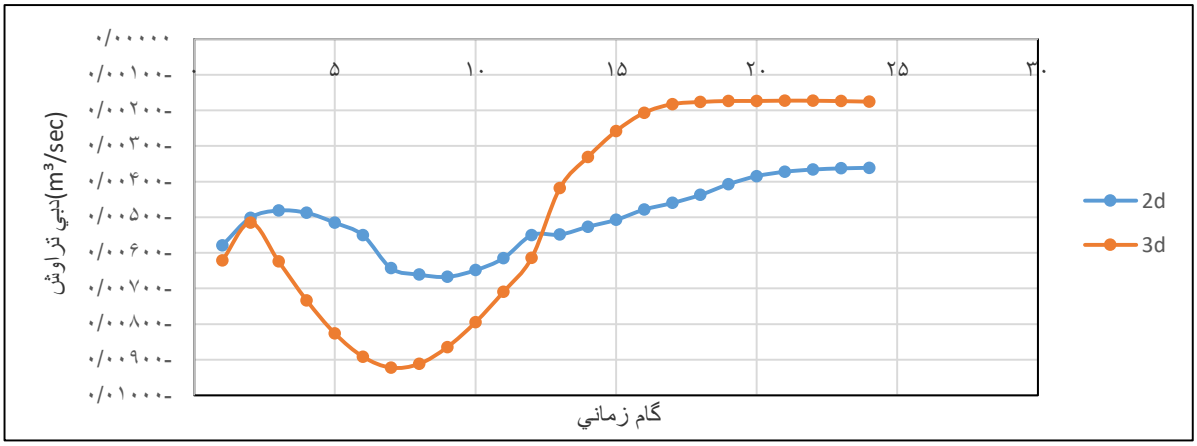
بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.



شکل ۵- مقایسه میزان تراوش حاصله از نرم افزار SEEP 3D وSEEP/W ونتایج واقعی در مخزن پایین دست.



شکل٦- میزان تراوش حاصله از نرم افزار SEEP/W وSEEP 3D در مخزن بالا دست



شکل ۷- میزان تراوش حاصله از نرم افزار SEEP/W وSEEP 3D در مخزن پایین دست.

منابع :

۱. گزارش فنی سد خاکی کرد علیا،۱۳۸۱، شرکت گوهرآب کلار اصفهان.

۲. حقیقت اندیش س، قادری ک، محمدی م، بارانی غ. ۱۳۹۴. بهینه سازی هسته رسی سدهای خاکی با روش تکامل رقابتی جوامع (SCE). مجله پژوهش آب ایران. ۹: ۱۹-۲۶.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=283831.

۳. گرجی م، ملکی ع. ۱۳۹۴. بررسی کنترل نشت در پی سد خاکی به روش اجرای دیوار آب بند با استفاده از نرم افزار SEEP/W در سد خاکی کمندان ازنا. کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در علوم مهندسی. تهران.
https://civilica.com/doc/506363/certificate/print.

۴. رحیمی ح.۱۳۸۲. سدهای خاکی. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

5. Asadi M, Khazaei J. 2015. Seepage analysis in body and foundation of Dam using the SEEP 3D and SEEP/W. Journal of Science and Today's World. 3: 457-461.
https://europub.co.uk/articles/29502.

6. Geo Slop International Ltd. Seepage modelling with SEEP 3D. 2002.

7. Geo Slop International Ltd. Seepage modelling with SEEP/W. 2009.

8. jafarzadeh F, Garakani A, Raeesi R, Maleki Banikhair, J. 2018. Predicating seepage behavior of silveh earth dam by implementing 3D numerical modeling and instrumental measurments during first impounding. CIGB ICOLD.
https://www.researchgate.net/publication/326224320_PREDICTING_SEEPAGE_BEHAVIOR_OF_SILVEH_EARTH_DAM_BY_IMPLEMENTING_3D_NUMERICAL_MODELING_AND_INSTRUMENTAL_MEASUREMENTS_DURING_FIRST_IMPOUNDING

9. Kheiri GH, Javdanian H, Shams GH. 2020. The effect of soil layering on the seepage through embankment dam foundation. Modeling Earth Systems and Environment. 3: 1-13.
https://www.researchgate.net/publication/333999213_The_effect_of_soil_layering_on_the_seepage_through_embankment_dam_foundation.

10. Li Z, Ye w, Marence M, Bricker J. 2019. Unsteady seepage behavior of an earthfill dam during drought-flood cycles. Geosciences. 9: 17-24.
https://www.researchgate.net/publication/329977824_Unsteady_Seepage_Behavior_of_an_Earthfill_Dam_During_Drought-Flood_Cycles.

11. Mortazavi S, Soleimani S. 2015. Leakage analysis of Embankment dams using SEEP/W Software. J Appl Environ Biol Sci. 5(10):122–128.
https://www.textroad.com/pdf/JAEBS/J.%20Appl.%20Environ.%20Biol.%20Sci.,%205(10)122-128,%202015.pdf.

12. Rehamnia I, Bachir B. 2020. Computation of seepage through a non-homogeneous earth dam by using SEEP/W Software, Biological Research. 5: 137-146.
https://www.researchgate.net/publication/344781322_Computation_of_Seepage_through_a_NonHomogeneous_Earth_Dam_by_Using_SEEPW_Software

13. Soleimanbeigi A, Jafarzadeh F. 2005. 3D steady seepage analysis Of embankment dams. Geotechnical Journals.
https://www.researchgate.net/publication/290870355_3D_steady_state_seepage_analysis_of_embankment_dams.

14. Zahedi P, Farshbaf Aghajani H. 2018. The effect of clay core specifictions on the seepage behavior of an earthfill dam. 5th International Symposium on Dam Safty. Istanbul. Turkey.
https://www.researchgate.net/publication/328730122 The Effect of Clay Core Specifications On the Seepage Behavior of an Earthfill Dam.