رفتارنگاری سد بافت دوران ساخت و انتهای آبگیری با استفاده از ابزار دقیق و نرم‌افزار Plaxis

امید طیاری[۱]*، فاطمه السادات میرحسینی[۲]

۱) استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

۲) کارشناس ارشد سازه‌های آبی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.

*نویسنده مسئول: **omid.tayari@gmail.com**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۲**

چکیده

نصب ابزار دقیق و رفتارنگاری آنها در دوران ساخت و بهره‌برداری اولیه، کمک شایانی به ارزیابی پارامترهای پایداری سد ها می کند. اهمیت ویژه ابزار دقیق در سدها به نقش آنها در کنترل پایداری کوتاه و دراز مدت سدها برمی گردد. بررسی رفتاری و نظارت های دراز مدت سدها، از اهمیت ویژه ای برخوردارند. به منظور رفتارنگاری سد بافت، نتایج اجرای مدل Plaxis در مراحل پایان ساخت و انتهای آبگیری برای مقادیر تنش و نشست مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. همچنین نتایج حاصله با نتایج مدل Geostudio و ابزار دقیق نصب شده در سد مقایسه گردید. که نتایج نشان میدهد، بیشترین درصد خطا در محاسبه تنش قائم در نرم‌افزار Plaxis برابر با ۲۵/۳ و در نرم‌افزار Geostudio، ۱۳۴/۷۷ بوده و همچنین در محاسبه تنش‌ها در حالت کلی بیشترین درصد خطای نرم‌افزار plaxis بسیار کمتر از بیشترین درصد خطا در نرم‌افزار Geostudio بوده است و مقدار خطا در برآورد نشست در پایان ساخت سد با نرم‌افزار plaxis در مقایسه با نتایج ابزار دقیق، برابر با ۱/۷۸ درصد و بعد از آبگیری سد این مقدار برابر با ۴/۵۷۵ درصد بوده است. بنابراین تطابق نسبتا خوبی از مقایسه نتایج تنش‌های قائم بدست آمده با نتایج ابزار دقیق در پایان ساخت برقراراست. نتایج عددی نشست در نرم‌افزار Paxis نزدیک به ابزار دقیق بکار رفته در ساخت سد می‌باشد.

کلمات کلیدی : سد خاکی سنگریزه‌ای بافت، آنالیز تنش، آنالیز نشست، ابزار دقیق، نرم‌افزارPlaxis.

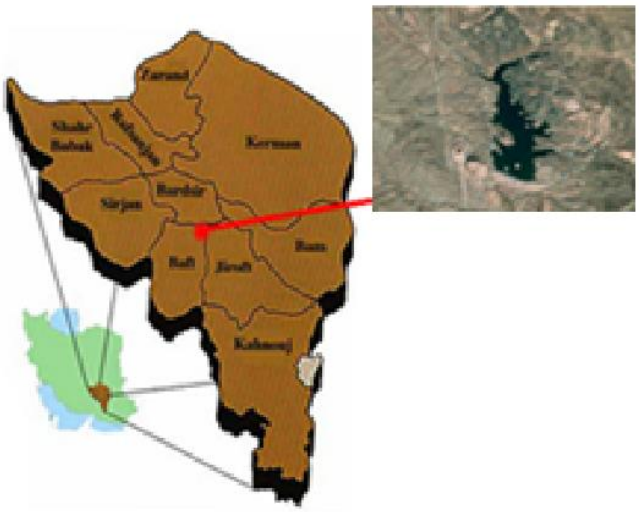
مقدمه

بررسی رفتاری و نظارت‌های درازمدت سدها، از اولویت و اهمیت ویژه‌ای برخوردارند زیرا شکست یک سد نه تنها سرمایه صرف شده برای ساخت آن را نابود می‌کند بلکه حجم هنگفتی از آب نیز به صورت اتلاف رها می‌شود که خسارت مالی و تلفات جانی آن غیر قابل پیش بینی و پیشگیری است. بنابراین پایداری سدها به ویژه در دهه‌های اخیر مورد توجه خاص مهندسین طراح سدهای خاکی بوده است. طبیعت متفاوت سازندهای طبیعی در محل احداث سدهای خاکی از یک طرف و رفتار پیچیده مصالح خاکی سد از طرف دیگر، ارزیابی کمی و کیفی پارامترهای رفتاری خاک را ضروری می نماید. نصب ابزار دقیق و رفتارنگاری آنها در دوران ساخت و بهره‌برداری اولیه کمک شایانی به ارزیابی این پارامترها می کند اهمیت ویژه ابزار دقیق در سدها به نقش آنها در کنترل پایداری کوتاه و دراز مدت سدها بر می‌گردد. آمار ناپایداری سدها نشان می‌دهد که بیشترین تعداد خرابی، به ترتیب مربوط به سدهای خاکی، وزنی، سنگریزه ای، چندقوسی و قوسی بوده است (نجم، ۱۳۷۹). در زمان بهره‌برداری، بدنه سد خاکی تمامی بارهای داخلی و خارجی خود را تحمل می‌کند. اعمال این بارها باعث تغییر مکان‌های افقی و قائم می‌شود(Ik-soo,H, 2011). هرچند عمده جابجایی‌ها در زمان ساخت آنها صورت می‌گیرد اما مطالعه نشست سدهای خاکی و پاره سنگی نشان می‌دهد حداکثر نشست سد، در نقاط میانی آن است و بتدریج کم شده تا در پنجه‌ها به صفر می‌رسد. در اثر نشست، سازه سد بتدریج تحت نوعی کشش قرار می‌گیرد و فاصله بین پنجه دامنه‌های سد در امتداد قاعده، اندکی افزایش می‌یابد، طی ساخت سد، بعلت تغییرات تنش کل، فشار حفره‌ای و اثرات ثانویه زمان(خزش) و سایر عوامل از قبیل حرکات پی، توزیع و انتقال بار و.. تغییرشکل‌های داخلی تحت تاثیر قرار می‌گیرند. از این رو بررسی تنش‌های بوجود آمده در سد امری ضروری می‌باشد. مطالعات بسیاری در زمینه رفتارنگاری سدها صورت گرفته است. نیرومند و همکاران(۱۳۷۹) پس از بررسی‌های انجام شده بر روی نتایج رفتارنگاری سد خاکی کرخه در دوران ساخت، اولین آبگیری و بهره‌برداری این نتیجه را گرفتند که تنش‌های وارده به سد با مقادیر پیش بینی شده در طراحی اولیه سد هماهنگ بوده است و سد دارای پایداری هیدرولیکی می‌باشد. قائینی و همکاران (۱۳۸۸) به رفتارنگاری تنش‌های ایجاد شده در بدنه سد تبارک در دوران اولین آبگیری پرداختند نتایج نشان داد که روش عددی مورد استفاده و داده‌های ابزار دقیق دارای انطباق خوبی می‌باشند. شریفی و همکاران (۱۳۹۰) با شبیه‌سازی سد پانزده خرداد در نرم‌افزار Plaxis، به ارزیابی رفتارنگاری سد در دوره بهره‌برداری پرداخته اند. نتایج بدست آمده نشان داد که تطابق نسبتا خوبی بین داده‌های تحلیل عددی با داده‌های مشاهده‌ای (با ضریب همبستگی ۰/۹۶) وجود دارد. امینی وهمکاران(۱۳۸۹) با استفاده از اطلاعات ابزار دقیق به مدل‌سازی سد ارداک در نرم‌افزار Plaxis پرداختند و نتایج حاکی از تطابق مناسب میان نتایج نرم‌افزار و نتایج تحلیل برگشتی می‌باشد. کماسی و بیرانوند (۱۳۹۸) با استفاده از نرم‌افزارهای اجزاء محدود Geostudio و Plaxis صحت سنجی این مدل‌ها با مقادیر ابزار دقیق به بررسی گرادیان هیدرولیکی و فشار آب منفذی در هسته و پی سد پرداختند و تنایج بیانگر عملکرد مناسب هسته رسی و پرده آب بند در اثر تغییرات تراز آب مخزن بوده است. بررسی نتایج حاصل از داده‌ها و

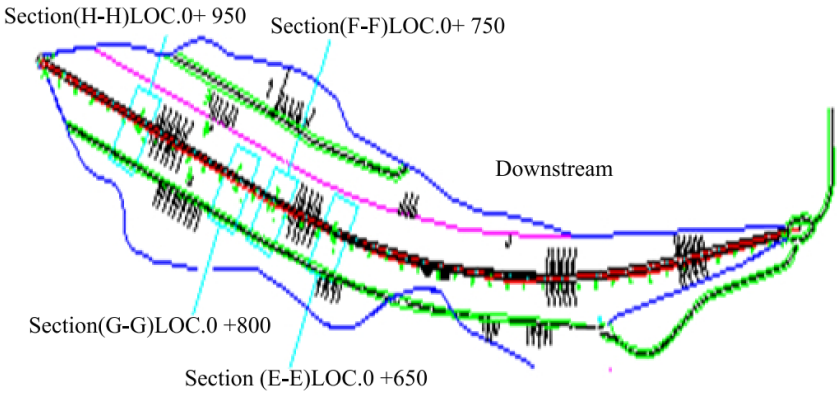
اندازه‌گیری های ابزار دقیق نصب شده در سد ماکو در یک دوره ۲۰ ساله مشاهده شد که وضعیت کلی سد در حالت پایدار قرار دارد و پارامترهای نشست، نشت، جابجایی و انحراف در حد قابل قبول می‌باشد(نجف زاده ۱۳۹۹). رشیدی و همکاران (۲۰۱۷) یک تحلیل دو بعدی بر اساس روش تفاضل محدود بر روی بزرگترین مقطع سد گاویشان با استفاده از تنایج اندازه‌گیری ابزار دقیق انجام دادند. نتیجه گرفتند این سد در مقایسه با رفتار سدهای مشابه در دنیا، ایمن است. از آنجا که به صرف داشتن داده‌های ابزار دقیق نمی توان به وضعیت تنش‌ها و رفتار واقعی درون سد پی برد، برای رفتارنگاری سد بافت با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS به مدل‌سازی رفتار سد خاکی-سنگریزه‌ای بافت از نظر وضعیت تنش‌های موجود در سد پرداخته شده است و همچنین نتایج حاصل علاوه بر مقایسه با نتایج ابزار دقیق، با نتایج حاصل از مدل سد در نرم‌افزار GEO-STUDIO نیز مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از نرم‌افزار Plaxis جهت مدل‌سازی رفتارنگاری سد بافت استفاده شده است. نرم‌افزار Plaxis یک نرم‌افزار المان محدود پیشرفته است. برای تحلیل تغییر شکل ها و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد دارد. معمولا در مسائل مهم ژئوتکنیک، یک مدل رفتاری پیشرفته برای مدل‌سازی رفتار غیر خطی و وابسته به زمان خاکها بسته به هدف مورد نظر لازم است. با این نرم‌افزار می توان خاکبرداری و خاکریزی مرحله ای با شرایط بارگذاری و شرایط مرزی مختلف را با استفاده از المان‌های مثلثی ۶ گره‌ای و ۱۵ گره‌ای مدل‌سازی نمود (نیرومند،۱۳۸۷). جهت انجام مدل‌سازی از بزرگترین مقطع عرضی سد بافت استفاده شده است. سد مخزنی بافت در ایران در فاصله ۴ کیلومتری شمال شرقی شهرستان بافت در استان کرمان واقع است. این سد یک سد خاکی سنگریزه‌ای شامل هسته رسی، دو نوع فیلتر، پوسته که از دو قسمت با مصالح مختلف تشکیل شده است، پرده آب بند، ریپ رپ و فرازبند می‌باشد که هسته رسی آن با ارتفاع ۶۲/۵ متر از کف و ۶۵/۵ متر از پی و دارای عرض تاج ۱۰ متر، طول تاج ۱۱۶۰متر، حجم حفاری پی سد ۵۴۴۰۰۰ متر مکعب می‌باشد. همچنین عرض بزرگترین مقطع که در کیلومتر ۸۰۰+۰۰ قرار دارد برابر با ۲۲۷ متر می‌باشد. نقشه جانمایی سد بافت در شکل (۱) قابل مشاهده است مقطع کیلومتر ۸۰۰ + ۰ بیشترین طول سدرا دارا می‌باشد. سپس پلان ابزار گذاری سد بافت در شکل (۲) ارائه شده است که برای مدل‌سازی از مقطع G (بزرگترین مقطع عرضی) استفاده شده است. در کل ابزارهای بکار رفته دو عدد از ابزارها معیوب می باشند. برای مدل‌سازی از نتایج آنالیز برگشتی شرکت مشاورین آب نیرو استفاده شده است. برای مدل کردن سد در نرم‌افزار plaxis از آنالیز دوبعدی و المان های ۱۵ گره‌ایو همچنین در نظر گرفتن ۵۰ متر از پی با بیشترین تشابه با واقعیت استفاده شده است. در جداول (۱، ۲ و ۳) مشخصات ژوتکنیکی مصالح که از آنالیز برگشتی بدست آمده است ارائه شده است.

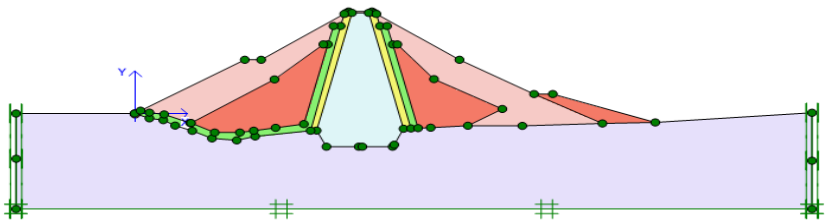


شکل۱: نقشه جانمایی و محل دسترسی به سد بافت

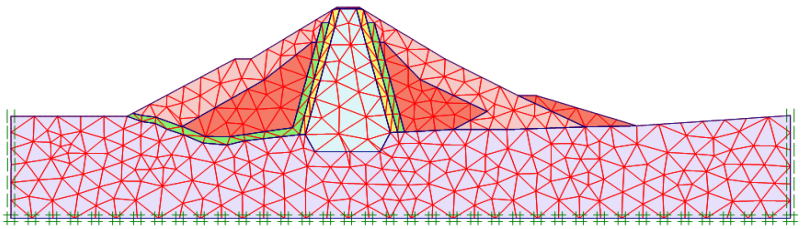


شکل۲: پلان ابزارگذاری سد بافت(شرکت مشاور آب نیرو،۱۳۹۲)

مدل‌سازی بدنه سد با استفاده از معیار موهر کولمب و پی با استفاده از مدل خطی الاستیک انجام شده است. در محاسبات نرم‌افزار Plaxis از مدل تحکیمی و وابسته به زمان استفاده شده است. همانطور که در شکل(۳) مشاهده می شود، مدل هندسی مقطع G در نرم‌افزار ترسیم و سپس خاک ها و کلاستر ها تعریف شده اند. هر کلاستر با رنگی متفاوت تعریف شده اند. سپس برای مش بندی مدل از المان های ۱۵ گره‌ای استفاده شده است. مدل مش بندی سد بافت در شکل (۴) آمده است.

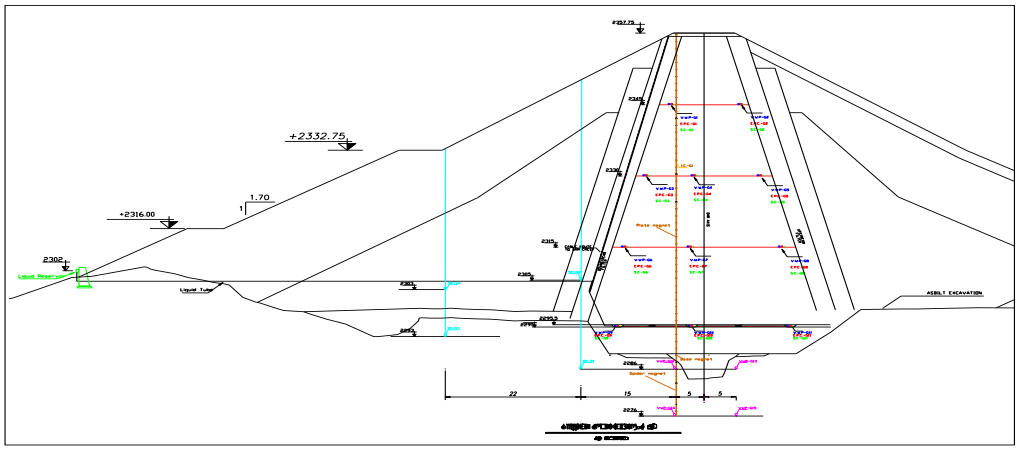


شکل۳:خاک ها و کلاستر ها در مقطع G



شکل۴: مدل مش بندی شده سد بافت

تنش قائم توسط ابزار دقیق EPC سنجیده شده است. ابزار دقیق EPC در بلندترین مقطع سد در ۱۱ نقطه از سد بافت بکار برده شده است. در شکل (۵) نقاط ابزار گذاری در مقطع G (بلندترین مقطع عرضی سد) نشان داده شده است. ابزار ها در ترازهای بالایی تا ترازهای پایینی سد که به ترتیب از ۱ تا ۱۱ شماره گذاری شده، نصب شده‌اند. نشست در بدنه سد توسط دستگاه‌های نشست‌سنج مغناطیسی محاسبه شده است که در شکل‌های (۶ و ۷) نتایج تغییرات نشست ابزار دقیق در طول مراحل ساخت و همچنین بعد از آبگیری ارائه شده است. در تاریخ ۲۰۱۳/۷ تراز آب پشت سد ۲۳۵۲/۷۵ می‌باشد، با احتساب این تراز آب در نرم‌افزار به مدل‌سازی سد پس از آبگیری پرداخته شده است.



شکل۵: مقطع G-Gو جزئیات ابزارگذاری(شرکت مشاور آب نیرو،۱۳۹۲)

جدول ۱: مشخصات پارامترهای مصالح (مشاورین آب نیرو، ۱۳۹۱)

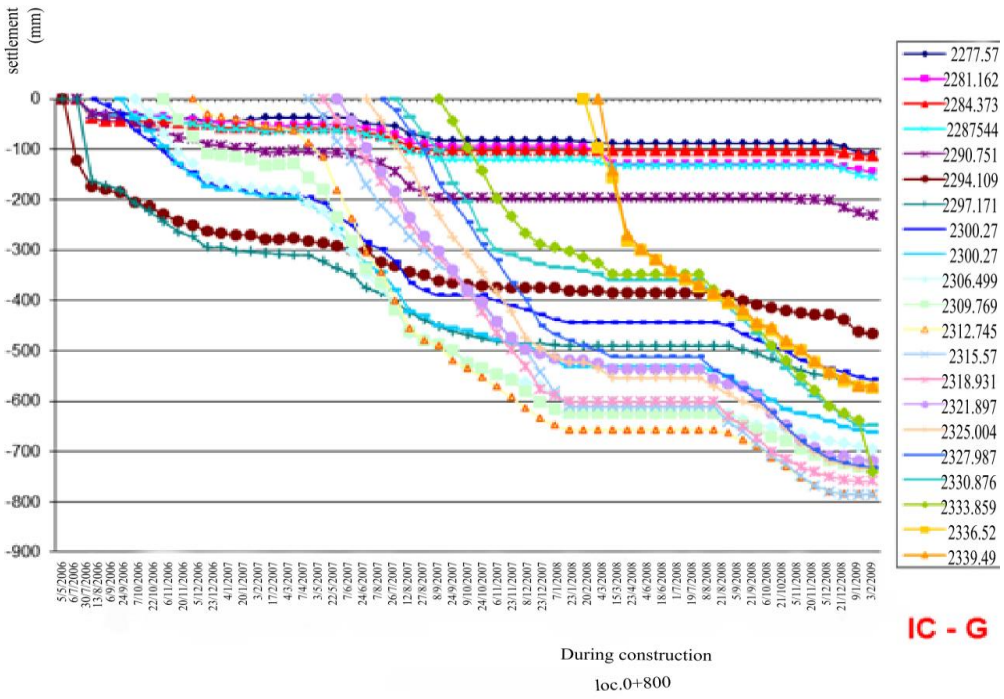
مصالح	$\gamma\ (t/m^3)$	n	R_f	$C\ (t/m^3)$	φ
هسته	۱/۹	۰/۴۵	۰/۷	۱۰	۱۹
فیلتر و زهکش	۲/۰	۰/۳	۰/۸	۰	۳۶
پوسته	۲/۰	۰/۲۴	۰/۸۵	۰	۴۵

جدول۲: مشخصات پارامترهای مصالح فونداسیون سد(مشاورین آب نیرو، ۱۳۹۱)

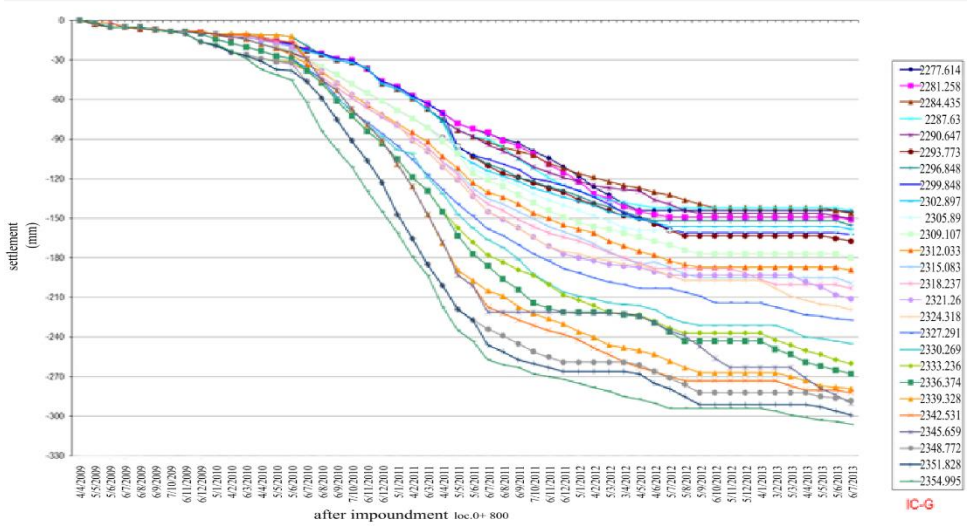
مصالح	$\gamma\ (t/m^3)$	ν	E (MPa)
فونداسیون	۲/۷	۰/۲۷	۸۰۰

جدول ۳: مقادیر ضریب نفوذپذیری قسمت‌های مختلف سد بافت (مشاورین آب نیرو، ۱۳۹۱)

شماره	مصالح	ضریب نفوذپذیری($\frac{CM}{S}$)
۱	هسته	۲/۵×۱۰$^{-۶}$
۲	پوسته	۴×۱۰$^{-۳}$
۳	فیلتر	۱۰$^{-۴}$
۴	فیلتردرشت	۱۰$^{-۳}$
۵	فونداسیون	۱۰$^{-۶}$



شکل ۶: تغییرات رفتاری IC- G در طول دوران ساخت و پایان ساخت (مشاورین آب نیرو، ۱۳۹۱)



شکل۷: تغییرات رفتاری IC- G پس از ساخت و آبگیری(شرکت مشاور آب نیرو،۱۳۹۲)

نتایج و بحث

توزیع تنش‌های قائم در مرحله پایان ساخت سد با استفاده از نرم‌افزار Plaxis و نرم‌افزار Geostudio با هم مقایسه شد. درنتایج، ماکزیمم مقدار تنش‌های قائم در نرم‌افزار Plaxis نسبت به ماکزیمم مقدار تنش قائم در نرم‌افزار Geostudio کمتر می‌باشد.

در نرم‌افزار Plaxis تنش‌های قائم در همان ۱۱ نقطه‌ای که ابزار دقیق بکار برده شده است برآورد شده است. همچنین نتایج برآورد نرم‌افزار Geostudio از گزارش مهندسین مشاور آب نیرو استخراج شد. نتایج این ۱۱ نقطه در مرحله پایان ساخت سد بافت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ابزار دقیق و نتایج این دو نرم‌افزار در جدول (۴) ارائه گردیده است. بیشترین تنش قائم در مرحله پایان ساخت توسط ابزار دقیق EPC 10 در لایه های پایینی هسته و در محور هسته بدست آمده است که برابر با ۸۶۰/۱۶۱ کیلو پاسکال می‌باشد. همچنین بیشترین تنش برآورد شده توسط نرم‌افزارها نیز در لایه های پایینی هسته بدست آمده است. در نرم‌افزار Plaxis بیشترین تنش برابر با ۸۱۲/۹۶۰ کیلو پاسکال و در نرم‌افزار Geostudio برابر با ۸۲۰ کیلو پاسکال برآورد شده است. اختلاف میان نتایج نرم‌افزارها و ابزار دقیق در جدول (۵) ارائه شده است. بیشترین اختلاف میان دو نرم‌افزار برابر ۱۵۸/۵۳۸ کیلو پاسکال در نقطه‌ای که EPC2 نصب می‌باشد، بدست آمده است. این در حالی است که بیشترین اختلاف نرم‌افزار Plaxis با ابزار دقیق در نقطه EPC8 و برابر ۱۰۷/۱۲۲ کیلوپاسکال می‌باشد. بیشترین اختلاف نرم‌افزارGeostudio با ابزار دقیق در نقطه EPC2 و برابر ۱۹۵/۱۸ کیلوپاسکال بدست آمده است. درصد خطای نتایج تنش‌های قائم در دو نرم‌افزار نسبت به ابزار دقیق بکار برده شده در سد، در جدول (۶) ارائه شده است.

پس از مراحل مدل‌سازی سد در نرم‌افزار Plaxis، نتایج مربوط به تغییر مکان‌های قائم در مرحله پایان ساخت مورد بررسی قرار گرفته است. تمرکز بیشترین نشست در لایه‌های میانی سد و در محور هسته اتفاق افتاده است. بیشترین مقدار عددی نشست در بدنه سد برابر با ۸۰ سانتی متر برآورد شده است. بیشترین مقدار عددی نشست که از نتایج ابزار دقیق بدست آمده است برابر ۷۸/۶ سانتی‌متر است که نتایج نرم‌افزار در مقایسه با آن ۱/۴ سانتی‌متر اختلاف دارد که این اختلاف بسیار کم می‌باشد. محل تمرکز نشست در نرم‌افزار نسبت به نتیجه ابزار دقیق کمی متفاوت است که این احتمالا به این دلیل است که هنوز سد در حال تحکیم می‌باشد و سال‌های اولیه تحکیم را سپری می‌کند. بیشترین نشست بدست آمده از نتایج ابزار دقیق در تراز ۲۳۱۵ اتفاق افتاده است که در این تراز نشست در نرم‌افزار Plaxis برابر با ۵۰/۲ سانتی متر و در نرم‌افزار Geostudio برابر با ۵۵ سانتی متر بوده است. همچنین در نتایج مدل‌سازی نرم‌افزار Geostudio تمرکز بیشترین نشست در لایه‌های میانی وجود دارد و بیشترین نشست در مرحله پایان ساخت توسط این نرم‌افزار برابر با ۶۳ سانتی متر می‌باشد. درصد خطای نتایج عددی نشست در پایان ساخت در دو نرم‌افزار Plaxis و Geostudio نسبت به نتایج ابزار دقیق در جدول (۶) آورده شده است. بعد از مدل‌سازی مرحله

پایان ساخت مدل‌سازی پس از آبگیری انجام شده است. آبگیری سد بافت بصورت اعمال فشار آب مخزن بر پوسته بالادست در نظر گرفته شد. در تاریخ ۲۰۱۳/۷ که تراز آب پشت سد ۲۳۵۲/۷۵ می‌باشد که با احتساب این تراز آب در نرم‌افزار به مدل‌سازی سد پرداخته شده است و نتایج تغییر مکان قائم پس از آبگیری سد در نرم‌افزار Plaxis مورد بررسی قرار داده شد. نتایج ابزار دقیق نشان می دهد که در تراز ۲۳۵۴/۹۹۵ سد در هنگامی که تراز آب به ۲۳۵۲/۷۵ رسیده است، نشست برابر۳۰/۶ سانتی‌متر می‌باشد. بطور کلی معمولا بیشترین نشست بعد از آبگیری در تراز های بالایی صورت می گیرد. نتایج مدل‌سازی نشان داده است که تمرکز نشست در تاج سد می‌باشد و بیشترین مقدار نشست برابر با ۳۲ سانتی متر در تراز ۲۳۵۲ است که در مقایسه با نتایج ابزار دقیق که بیشترین نشست در تراز ۲۳۵۴/۹۹۶ می‌باشد ۱/۴ سانتی‌متر اختلاف وجود دارد. در ترازهای پایینی نشست بسیار کم بوده و هرچه به تاج سد نزدیک می‌شود، نشست افزایش می‌یابد.

جدول۴ : مقایسه میزان تنش کل قائم در ۱۱نقطه درپایان ساخت نرم‌افزار Plaxis، نرم‌افزارGeo-studio و ابزار دقیق

وضعیت	تنش قائم در نرم‌افزار plaxis (Kpa)	تنش قائم در نرم‌افزار Geo-studio (kpa)	تنش قائم در ابزار دقیق (kpa)
EPC-1	۲۲۳/۴۲۵	۲۲۱	۲۰۹/۷۳
EPC-2	۱۸۱/۴۶۲	۳۴۰	۱۴۴/۸۲
EPC-3	۳۱۹/۵۷۷	۳۴۰	۳۵۳/۹۱
EPC-4	۳۳۶/۴۸۷	۴۰۵	۳۶۴/۱۸
EPC-5	۳۳۵/۹۷۷	۳۴۵	۳۵۰/۸۱
EPC-6	۵۱۱/۱۳۶	۴۹۷	۵۰۵
EPC-7	۵۹۸/۹۲۰	۵۷۹	۶۱۱/۰۶
EPC-8	۵۰۳/۹۳۸	۵۱۸	۶۱۱/۰۶
EPC-9	۸۲۵/۰۸۳	۸۰۰	۸۰۰/۸۰
EPC-10	۸۱۱/۵۹۵	۸۲۰	۸۶۰/۱۶۱
EPC-11	۸۱۲/۹۶۰	۸۲۰	۷۲۲/۳۶

جدول ۵: مقایسه اختلاف نتایج plaxis، Geostudio و ابزار دقیق

وضعیت	اختلاف نتیجه تنش کل قائم بین دو نرم‌افزار plaxis و Geostudio (Kpa)	اختلاف نتیجه تنش کل قائم بین نرم‌افزارPlaxis و ابزار دقیق (kpa)	اختلاف نتیجه تنش کل قائم بین نرم‌افزارGeostudio و ابزار دقیق (kpa)
EPC-1	۲/۴۲۵	۱۳/۶۹۵	۱۱/۲۷
EPC-2	۱۵۸/۵۳۸	۳۶/۶۴۲	۱۹۵/۱۸
EPC-3	۲۰/۴۲۳	۳۴/۳۳۳	۱۳/۹۱
EPC-4	۶۸/۵۱۳	۲۷/۶۹۳	۴۰/۸۲
EPC-5	۹/۰۰۳	۱۴/۸۳۳	۵/۸۱
EPC-6	۱۴/۱۳۶	۶/۱۳۶	۸
EPC-7	۱۹/۹۲	۱۲/۱۴	۳۲/۰۶
EPC-8	۱۴/۰۶۲	۱۰۷/۱۲۲	۹۳/۰۶
EPC-9	۲۵/۰۸۳	۲۴/۲۸۳	۰/۸۰
EPC-10	۸/۴۰۵	۴۸/۵۶۶	۴۰/۱۶۱
EPC-11	۷/۰۴	۹۰/۶	۹۷/۶۴

جدول ۶: درصد خطای تنش‌های قائم و نتایج عددی نشست در دو نرم‌افزار نسبت به ابزار دقیق

ابزار دقیق	درصد خطای نرم‌افزار Plaxis نسبت به ابزار دقیق	درصد خطای نرم‌افزار Geostudio نسبت به ابزار دقیق
EPC-1	۶/۵۲	۵/۳۷
EPC-2	۲۵/۳	۱۳۴/۷۷
EPC-3	۹/۷	۳/۹۳
EPC-4	۷/۶	۱۱/۲
EPC-5	۴/۲۲	۱/۶۵۶
EPC-6	۱/۲۱	۱/۵۸
EPC-7	۱/۹۸	۵/۲۴
EPC-8	۱۷/۵۳	۱۵/۲۲
EPC-9	۳/۰۳	۰/۰۹
EPC-10	۵/۶۴	۴/۶۶
EPC-11	۱۲/۵۴	۱۳/۵۱
IC-G	۱/۷۸	۱۹/۸۷

نتیجه‌گیری

بیشترین درصد خطا در محاسبه تنش قائم در نرم‌افزار Plaxis برابر با ۲۵/۳ و در نرم‌افزار Geostudio، ۱۳۴/۷ محاسبه شده است. بیشترین تنش محاسبه شده در مدل سد بافت در نرم‌افزار Plaxis برابر با ۸۲۵/۰۸۳ و در نرم فزار Geostudio ۸۲۰ و بیشترین عدد واقعی تنش قائم بدست آمده از ابزار دقیق در پایان ساخت برابر با۸۶۰/۱۶۱ می‌باشد. در محاسبه تنش‌ها که در ۱۱ نقطه مورد بررسی قرار گرفته است تنش‌های بدست آمده از نرم‌افزارها تطابق خوبی با نتایج ابزار دقیق داشته است. در محاسبه تنش‌ها در حالت کلی بیشترین درصد خطای نرم‌افزار plaxis بسیار کمتر از بیشترین درصد خطا در نرم‌افزار Geostudio بوده است. نرم‌افزار Plaxis بیشترین نشست در پایان ساخت سد را برابر ۸۰ سانتی متر برآورد کرده است که این نتیجه در مقایسه با نتایج ابزار دقیق خطای عددی نسبتا کمی را دارا می‌باشد. درصد خطای نرم‌افزار نسبت به ابزار دقیق برابر با ۱/۷۸ درصد می‌باشد. این اختلاف کم حاکی از آن است که نتایج نرم‌افزار از نظر عددی تطابق خوبی با نتایج ابزار دقیق دارد. اما تمرکز بیشترین نشست در نرم‌افزار نسبت به ابزار دقیق در تراز بالاتری قرار دارد که می توان این گونه آن را تحلیل کرد که احتمالا این اختلاف تراز می تواند ناشی از این باشد که هنوز سد در حال تحکیم بوده است. مهندسین مشاور آب نیرو با استفاده از نرم‌افزار Geostudio نشست در پایان ساخت را ۶۳ سانتی متر برآورد کرده است.

بعد از آبگیری سد بیشترین مقدار نشست در نرم‌افزار Plaxis با اختلاف کمی از مقدار عددی نتایج ابزار دقیق برابر با ۳۲ سانتی متر بوده است. درصد خطای نتیجه نرم‌افزار نسبت به ابزار دقیق برابر با ۴/۵۷۵ درصد بوده است که حاکی از آن است که مقدارعددی نشست بدست آمده بعد از آبگیری، در نرم‌افزار Plaxis تطابق بسیار خوبی با نتایج واقعی دارد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که نرم‌افزار Plaxis نسبت به واقعیت از دقت خوبی برخوردار است.

منابع:

امینی، ش.، طیاری، ا. و سلاجقه، ع. (۱۳۸۹). مطالعه رفتاری تنش و فشار آب منفذی در دوران ساخت سد خاکی ارداک با استفاده ازنتایج ابزار دقیق و مقایسه آن با مقادیر تحلیلی. اولین همایش ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک. موسسه آموزش عالی پردیسان. ۱۲ آذر ۱۳۸۹، بابلسر، ایران.

خادم قائینی،آ.، بلوری بزاز،ج. و خواجوی،ک. (۱۳۸۸). رفتارنگاری تنش‌های ایجاد شده در بدنه سد تبارک در دوران اولین آبگیری. دومین همایش ملی سدسازی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، ۱۰ اسفند ۱۳۸۸، زنجان، ایران.

شریفی، ا.، قادری،ک. و رهنما،م. (۱۳۹۰). آنالیز استاتیکی سد خاکی ۱۵ خرداد در دوره بهره‌برداری با استفاده از داده‌های ابزاردقیق و روش المان محدود. اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد لشت نشا، ۴ اسفند ۱۳۹۰، رشت، ایران.

کماسی، م. و بیرانوند، ب. (۱۳۹۸). ارزیابی فشار آب حفره‌ای پی و هسته سد سیوند پس از اولین دوره آبگیری در قیاس با نتایج ابزار دقیق. فصلنامه سد و نیروگاه برقابی ایران، شماره ۲۱ دوره ۶، ص ۷۶-۶۳.

گزارش ابزار دقیق سد مخزنی بافت. (۱۳۹۲). شرکت مشاور آب نیرو.

گزارش سد بافت. (۱۳۹۱). آنالیز عددی رفتار سد بافت و مقایسه آن با نتایج ابزاردقیق، مشاورین آب نیرو.

نجم،ک. (۱۳۷۹). رفتار سنجی و ابزار دقیق در سدها. چهارمین کنفرانس سدسازی ایران. ۱آبان ۱۳۷۹، تهران، ایران.

نجف زاده، ه.، بهمنش، ج. و محمدی، م. ع. (۱۳۹۹). نقش ابزار دقیق در کنترل ایمنی و پایداری سدهای خاکی(مطالعه موردی سد ماکو). هشتمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری پایدار. موسسه آموزش عالی خاوران, مرکز مطالعات و تحقیقات علوم فنون بنیادین در جامعه. ۱۵ آبان ۱۳۹۹، تهران، ایران.

نیرومند،ح.، میرقاسمی،ع. و پاکزاد، م. (۱۳۷۹). رفتارنگاری سد کرخه در دوران ساختمان با استغاده از نتایج ابزار دقیق. چهارمین کنفرانس سدسازی ایران، ۱آبان ۱۳۷۹، تهران، ایران.

نیرومند، ح. و نیرومند، ب. (۱۳۸۷). آموزش پیشرفته plaxis 8.2 ، انتشارات ناقوس.

Gikas, V. and Sakellario, M. (2008). Horizontal deflection Analysis of a large earth dam by means of geodetic and geomtechnical methods,13th FIGinternational symposium on deformation measurements and analysis and 4th IAG symposium on geodesy for geotechnical and structural engineering, Lisbon. Portuguese.

Ik-Soo, H. (2011). Earthquake response of rock fill dam with asymmetric plan geometry of upstream and downstream slope with respect to dam axis,21st century dam design advances and adaptations , California,USA, pp:1451-1464.

Rashidi. M. and Haeri, S. (2017). Evalution of behaviors of earth and rockfill dams during construction and initial impounding using instrumentation data and numerical modeling. jurnal of rock mechanics geotechnical engineerin, 9(4), pp:709-725

Beiranvand, B. and Komasi, M. (2019). Monitoring and numerical analysis of pore water pressure changes Eyvashan dam during the first dewatering period. Journal of Applied Research in Water and Wastewater,11, pp:1-7

Mazaheri. A. R., Zeinolebadirozbahani. M. and Beiranvand, B. (2020). Quasi-Static and Dynamic Analysis of Vertical and Horizontal Displacements in Earth Dams (Case Study: Azadi Earth Dam). Journal of Civil Engineering and Materials Application, 4(4), pp:223-232.

Behavior monitoring of Baft dam during construction and the end of dam intake using instrumentation and Plaxis software

Omid.tayari [1] and Fatemeh sadat Mirhoseini [2]

1) Assistant Professor, PhD, Faculty member Civil, Tehran Markazi Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2) Department of Water Science and Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.

*__Correspondence author__: omid.tayari@gmail.com

Received Data: 2022. 01. 15 **Accepted Data: 2022. 05.12**

Abstract:

Installing accurate instruments and recording their behavior during construction and initial operation helps to evaluate the stability parameters of dams. The special importance of instrumentation in dams included their role in controlling the short and long term stability of dams. Behavioral investigation and long-term monitoring of dams are of special importance. In order to describe the behavior of the Baft Dam, the results of the Plaxis software implementation at the end of construction and at the end of dewatering were analyzed for stress and settlement values. Also, the results obtained were compared with the results of the Geostudio model and the precision instruments installed in the dam. The results show that the highest error percentage in the calculation of vertical stress in Plaxis software is 25.3 and in Geostudio software, it is 134.77. Also, stresses in general, the highest error percentage in plaxis software is much lower than the highest error percentage in the software. It was Geostudio and the amount of error in estimating the settlement at the end of the dam construction with plaxis software compared to the results of the instruments was equal to 1.78% and after dewatering the dam, this value was equal to 4.575%. Therefore, there is a relatively good agreement from the comparison of the results of the vertical stresses obtained with the results of the instrumentation at the end of construction. The numerical results of the settlement in the Paxis software are close to the precision instruments used in the construction of the dam.

Keywords: Baft dam, Stress analyze, Consolidation analyze, Instrumentation, Plaxis software.