



## تحلیل نشست سد شهرچای ارومیه در دوره های ساخت و بهره برداری

کاظم بدو<sup>۱</sup> و محمد امین افخمی فرد<sup>۲</sup>

گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، صندوق پستی ۱۶۵

پست الکترونیکی: k.badv@urmia.ac.ir

### خلاصه

سد شهرچای ارومیه یک سد خاکی-سنگریزه ای با هسته رسی (GC)، به ارتفاع ۱۱۶ متر از سنگ بستر و طول تاج ۵۵۰ متر، بر روی رودخانه شهرچای در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب غربی و در بالا دست شهر ارومیه احداث شده است. در این مقاله نتایج تحلیل رفتار ژئوتکنیکی سد از نظر تغییر شکل و نشست در انتهای ساخت و در حین بهره برداری با استفاده از نرم افزار المان محدود Plaxis V8 ارائه گردیده است. در تحلیل ها از مدل های رفتاری سازگار با جنس مصالح سد استفاده شده و مراحل مختلف ساخت و آبیگری مطابق با روند اجرایی سد در نظر گرفته شد. مراحل ساخت بصورت مرحله ای و با گامهای زمانی مختلف، و شرایط بهره برداری با اعمال تغییرات در تراز آب مخزن سد انجام گردید. تحلیل ها به صورت دو بعدی و کرنش مسطح بوده و برای ارزیابی صحت نتایج، داده های بدست آمده از تحلیل عددی با نتایج ابزار دقیق مقایسه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که تطابق خوبی بین داده های تحلیل عددی با داده های مشاهده ای وجود دارد.

کلمات کلیدی: سد شهرچای ارومیه، تحلیل نشست، نرم افزار Plaxis، ابزار دقیق.

### مقدمه

برای ارزیابی رفتار سد از نظر نشست، داشتن تغییرشکل های دقیق سد مورد نیاز است و یکی از روشهای تحلیلی که قابلیت پیش بینی پارامترهای تغییر شکل را دارد روش المان محدود است [۱]. نرم افزار Plaxis یکی از برنامه های المان محدود جامع برای مهندسی ژئوتکنیک می باشد که قدرت زیادی در تحلیل مسائل متفاوت ژئوتکنیکی دارد [۲]. از موارد مهم در تحلیل یک مسئله با Plaxis انتخاب صحیح نوع مدل رفتاری برای مصالح مدل می باشد [۳]. در این مقاله با توجه به اهمیت فرضیات آنالیز در نتایج حاصله، خصوصاً پارامترهای مصالح، ابتدا به تشریح فرضیات آنالیز، نحوه مدل سازی و روش تعیین پارامترها می پردازیم. در ادامه با استفاده از نرم افزار Plaxis و به کمک آنالیز برگشتی پارامترهای نهایی مصالح بدنه سد شهرچای را بدست آورده و نشست دوره ساخت و بهره برداری سد شهرچای را در مقطع کیلومتر ۱۷۰+ تعیین کرده و در نهایت نتایج مدل عددی با نتایج ابزار دقیق مقایسه شده اند.

### معرفی سد شهرچای

سد شهرچای از نوع خاکی-سنگریزه ای با هسته GC می باشد که هدف عمده ساخت آن تأمین آب مورد نیاز شرب و صنعت ارومیه و تأمین نیاز آب کشاورزی اراضی واقع در پایین دست سد شهرچای می باشد [۴]. سد شهرچای ارومیه بر روی رودخانه شهرچای در استان آذربایجان غربی در فاصله ۱۲

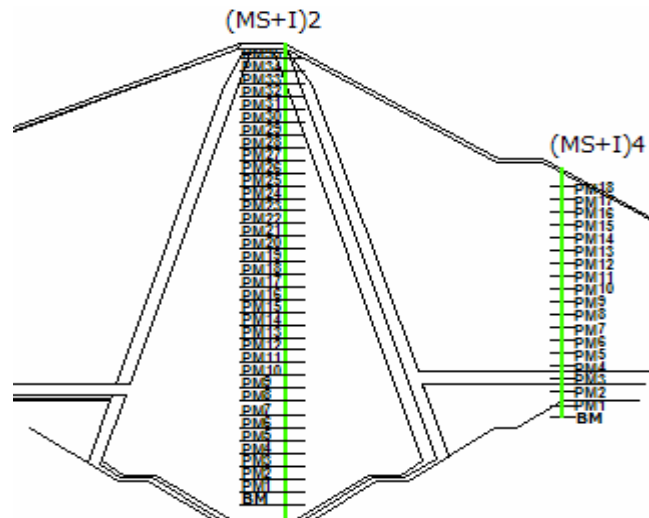
<sup>۱</sup> دانشیار

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد



کیلومتری جنوب غربی و در بالادست شهر ارومیه احداث شده است. تراز تاج سد در ارتفاع ۱۵۸۸ متر از سطح آزاد دریا تعیین گردیده است و طول تاج سد حدود ۵۵۰ متر می باشد. مقطع خاکریز بدنه سد شامل هسته آب بند رسی، لایه های فیلتر و زهکش، پوسته های سنگریزه ای بالادست و پایین دست و فراز بند که در داخل بدنه سد قرار می گیرد، می باشد. هسته آببند رسی در مرکز مقطع سد بالاتر از تاج ۱۵۸۶ متر و با ارتفاع حداکثر ۱۱۶ متر از سنگ بستر قرار دارد که نسبت به محور سد متقارن می باشد [۵].

مطابق شکل ۱، برای رفتار نگاری سد شهر چای، مقطع عرضی ابزاری بندی شده CH+170 که مرتفع ترین مقطع سد نیز می باشد، در نظر گرفته شده است. برای اندازه گیری نشست های قائم، در داخل هسته و پوسته پایین دست نشست سنج های (MS+I)2 و (MS+I)4 در مقطع CH+170 نصب شده اند که مقادیر نشست هر تراز نسبت به صفحه مبنا را توسط صفحات مغناطیسی که در تراز های مختلف به فاصله حدود ۳ متر از همدیگر نصب شده اند نشان می دهند [۵]. مدل سازی و آنالیز برگشتی انجام شده در این مقاله روی این مقطع انجام شده است.



شکل ۱- ابزار دقیق بکار رفته در مقطع کیلومتر +17۰ سد شهرچای

### معرفی نرم افزار Plaxis V8

نرم افزاری آلمان محدود پیشرفته برای تحلیل تغییر شکل ها و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک می باشد. معمولاً در مسائل مهم ژئوتکنیک، یک مدل رفتاری پیشرفته برای مدل سازی رفتار غیر خطی و وابسته به زمان خاک ها بسته به هدف مورد نظر لازم است. با این نرم افزار میتوان خاکبرداری و خاکریزی مرحله ای با شرایط بارگذاری و شرایط مرزی مختلف را با استفاده از المانهای مثلثی ۶ گرهی و ۱۵ گرهی مدل سازی نمود. در این نرم افزار با استفاده از روشهای ساده گرافیکی، یک مدل هندسی اجزاء محدود از پروژه مورد نظر ایجاد شده و پس از انجام یک سری عملیات بر روی آن، نتایج حاصل از محاسبات انجام شده با جزئیات کامل در اختیار قرار می دهد. گرافیک ساده ورودی برنامه کاربر را قادر به ساخت مدل های پیچیده آلمان محدود در زمانی کوتاه می نماید. جهت تحلیل لایه به لایه مراحل ساخت سد در نرم افزار Plaxis از دستور صفر کردن تغییر مکان ها و همچنین دستور ویرایش منحنی بار - تغییر مکان برای ایجاد تنش های اولیه در بارگذاری ها، در ساخت مرحله ای وزنی سدها استفاده می شود [۲].

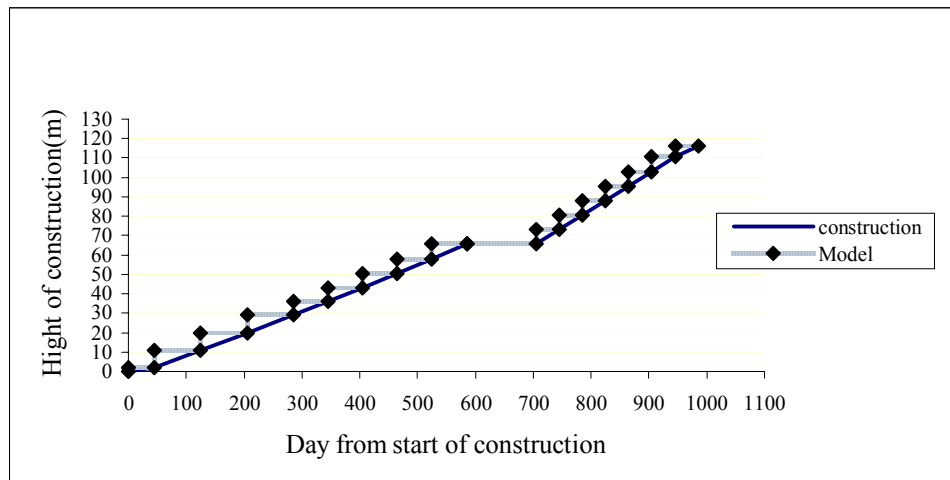
### نحوه مدل سازی و تحلیل

برای تحلیل عددی رفتار سد شهرچای ارومیه نرم افزار آلمان محدود PLAXIS V8 بکار گرفته شده است. جهت انجام تحلیل واقعی از شرایط موجود سد، می بایست مراحل مختلف ساخت و آگیری سد بر اساس برنامه زمانی واقعی مدل سازی شود تا بدین ترتیب میزان تغییر شکل های واقعی دوره ساخت و بهره برداری قابل تعیین باشد [۶]. تحلیل عددی بدنه سد شهرچای همراه با پی آن بصورت تحلیل تنش مؤثر همراه با آنالیز تحکیم صورت گرفت [۶]. در این تحلیل برای مقطع ابزارگذاری شده شکل ۱ به صورت زیر عمل گردید.



**دوره ساخت :**

- تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح سد.
- شبکه بندی بدنه و پی سد به وسیله المانهای مثلثی ۱۵ گرهی (کرنش صفحه ای) .
- محاسبه تنش های برجا در پی ، قبل از ساخت سد .
- مدل سازی فراز بند ادغامی در چهار لایه به ضخامت های ۲ تا ۷ متر در مدت زمان ۳۵۰ روز.
- مدل سازی خاکبرداری فونداسیون آبرفتی جهت اتصال هسته به سنگ بستر در ۳ مرحله با لایه هایی به ضخامت ۹ متر در مدت زمان ۲۴۰ روز.
- مدل سازی ساخت بدنه اصلی سد بصورت لایه ای در ۱۶ مرحله و در مدت زمان ۹۲۵ روز مطابق شکل ۲.
- پس از ساخت هر لایه آنالیز تحکیم برای لایه های زیرین انجام گردید .



شکل ۲ - آهنگ ساخت سد و شکل مدل شده آن در مقطع کیلومتر ۱۷۰+

**دوره بهره برداری :**

در تحلیل آبیگری سد شهرچای توسط Plaxis ، مخزن بلافاصله پس از ساخت سد با در نظر گرفتن حداکثر عوارض پدید آمده در مرحله آبیگری بارگذاری شده است . آبیگری سد شهرچای در اواخر بهمن ماه ۱۳۸۳ بلافاصله پس از پایان ساخت آغاز گردید [۷] . در دوره بهره برداری نیز تغییرات تراز آب طبق اندازه گیری های انجام شده و با توجه به برنامه زمانی واقعی آبیگری در چهار مرحله مطابق جدول ۱ مدل گردیده است .

جدول ۱ - مراحل آبیگری سد شهرچای

مدت زمان آبیگری (روز)	تراز آبیگری	مراحل آبیگری
۳۰	+۱۵۲۰	مرحله اول آبیگری
۹۰	+۱۵۴۳	مرحله دوم آبیگری
۱۸۰	+۱۵۲۰	مرحله سوم آبیگری
۱۶۰	+۱۵۵۶	مرحله چهارم آبیگری



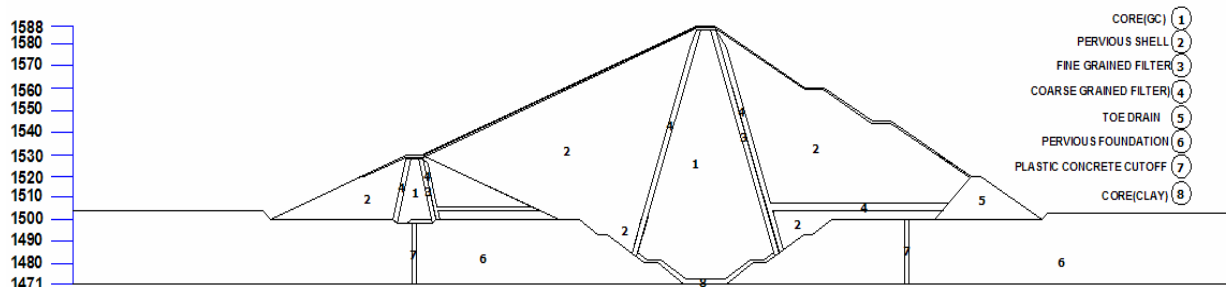
### مدل رفتاری مصالح

برای مدل سازی پی و بدنه سد شهرچای از مدل خاک سخت شونده<sup>۱</sup> که در نرم افزار Plaxis وجود دارد استفاده گردید. از رفتار الاستیک نیز جهت مدل سازی پرده آبنما بتنی استفاده گردید [۳]. مدل خاک سخت شونده یک مدل الاستو - پلاستیک پیشرفته برای شبیه سازی رفتار انواع خاک های مختلف شامل هردو خاک های نرم و خاک های سخت می باشد. در مدل خاک سخت شونده که توسط فار<sup>۲</sup> جایگزین مدل هذلولی شد، اولاً استفاده از تئوری پلاستیک بیشتر از تئوری الاستیک است. ثانیاً اتساع خاک در نظر گرفته می شود. ثالثاً یک کلاهیک تسلیم<sup>۳</sup> ارائه می شود [۳]. بعضی مشخصه های اصلی مدل عبارتند از:

- تنش وابسته به سختی بر طبق قانون توان پارامتر ورودی:  $m$
- کرنش پلاستیک ناشی از بارگذاری تفاضلی اولیه پارامتر ورودی:  $E_{50}^{ref}$
- کرنش پلاستیک ناشی از فشردگی اولیه پارامتر ورودی:  $E_{oed}^{ref}$
- باربرداری-بارگذاری مجدد الاستیک پارامتر ورودی:  $E_{ur}^{ref}, v_{ur}$
- گسیختگی بر طبق مدل موهر - کولمب پارامتر ورودی:  $c, \phi, \psi$

### استخراج پارامترهای ژئوتکنیکی برای مدل رفتاری مورد استفاده در تحلیل عددی

با بررسی آزمایشهای پارامتریک بزرگ مقیاس انجام شده توسط شرکت سهامی آب منطقه ای آذربایجان غربی روی مصالح بدنه سد شهرچای (شکل ۳) و مقایسه آن با آزمایشهای انجام شده روی منابع قرضه مقادیر اولیه پارامترهای مورد نیاز نرم افزار تعیین گردید [۸]. با توجه به اینکه در تحلیل استاتیکی سد آنالیز تنش مؤثر با در نظر گرفتن فشار آب حفره ای انجام شده است، پارامترهای مؤثر مصالح که از آزمایش CU بر روی نمونه اشباع بدست آمده، در مدلسازی به کار گرفته شد. از آنجا که مشخصات مصالح در شرایط دست نخورده آزمایشگاهی با مشخصات آن در محل سد دارای تغییراتی خواهد بود، پس از مدل سازی سد در نرم افزار، به کمک آنالیز برگشتی در شرایط ساخت و بهره برداری پارامترهای نهایی مصالح سد به گونه ای انتخاب گردید که خروجی های نرم افزار حداکثر انطباق را با داده های ابزار دقیق داشته و از طرفی پارامترها به لحاظ تئوریک و منطقی حداکثر تأثیر را در پارامتر خروجی مورد نظر داشته باشند. مقادیر نهایی حاصل از آنالیز برگشتی برای این پارامترها در جدول ۲ آمده است.



شکل ۳- مرتفع ترین مقطع سد شهرچای (مقطع کیلومتر +۱۷۰)

### نتایج تحلیل عددی

دوره ساخت و پایان ساخت

بررسی نشست ها در مقطع کیلومتر +۱۷۰ نشان می دهد که در ضمن ساخت بیشترین تغییر شکل ها در هسته روی داده است. در شکل ۴ نمودار نشست بر حسب ارتفاع برای ارتفاع های مختلف ساخته شده سد برای هسته سد در مقطع کیلومتر +۱۷۰ رسم گردیده است [۹].

<sup>1</sup> Hardening Soil Model

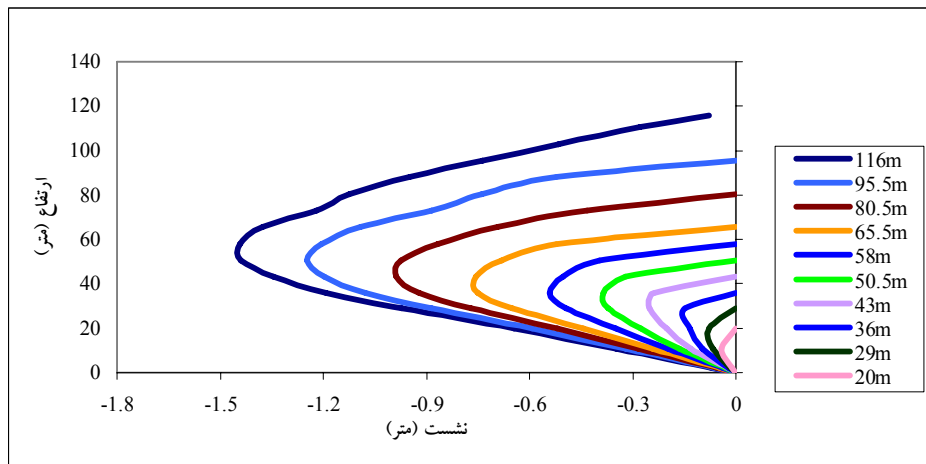
<sup>2</sup> Far

<sup>3</sup> Yield Cap



جدول ۲- مقادیر نهایی مشخصات مصالح بدنه سد شهرچای حاصل از آنالیز برگشتی

	پی آبرفتی	هسته مخلوط	هسته رسی	پوسته	فیلتر درشت دانه	فیلتر ریزدانه	زهکش
نوع مصالح	GM-SM	GC	CL	GW-GP	G	S	G
نوع مدل خاک	خاک سخت شونده	خاک سخت شونده	خاک سخت شونده	خاک سخت شونده	خاک سخت شونده	خاک سخت شونده	خاک سخت شونده
$\gamma_{dry}(KN/m^3)$	۱۷	۱۶	۱۷	۲۱	۱۹	۱۸	۲۰
$\gamma_{sat}(KN/m^3)$	۱۸	۱۷	۱۸	۲۲	۲۰	۱۹	۲۱
Kx(m/day)	۱۰۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۵	۰/۸	۰/۱	۶۰
Ky(m/day)	۶۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۹	۰/۳۶	۰/۶۰	۰/۰۸	۴۰
$E_{50}^{ref}$ (kpa)	۸۰۰۰۰	۳۲۰۰۰	۲۲۰۰۰	۱۱۵۰۰۰	۸۰۰۰۰	۷۵۰۰۰	۸۰۰۰۰
$E_{oed}^{ref}$ (kpa)	۸۵۰۰۰	۳۵۰۰۰	۲۴۰۰۰	۱۲۵۰۰۰	۸۵۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۵۰۰۰
$E_{ur}^{ref}$ (kpa)	۲۴۰۰۰۰	۹۶۰۰۰	۶۶۰۰۰	۳۴۵۰۰۰	۲۴۰۰۰۰	۲۲۵۰۰۰	۲۴۰۰۰۰
$C'$ (kpa)	۱	۲۸	۳۳	۱	۱	۱	۱
$\phi'$ (°)	۳۷	۳۴	۲۸	۴۵	۴۲	۴۱	۴۳
$\psi$ (°)	۷	۴	۰	۱۵	۱۲	۱۱	۱۳
$u_{ur}$	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
$P_{ref}$ (kpa)	۸۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰
m	۰/۵	۰/۷	۰/۷۵	۰/۳۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
$R_f$	۰/۹	۰/۷	۰/۷	۰/۹	۰/۸	۰/۸	۰/۹

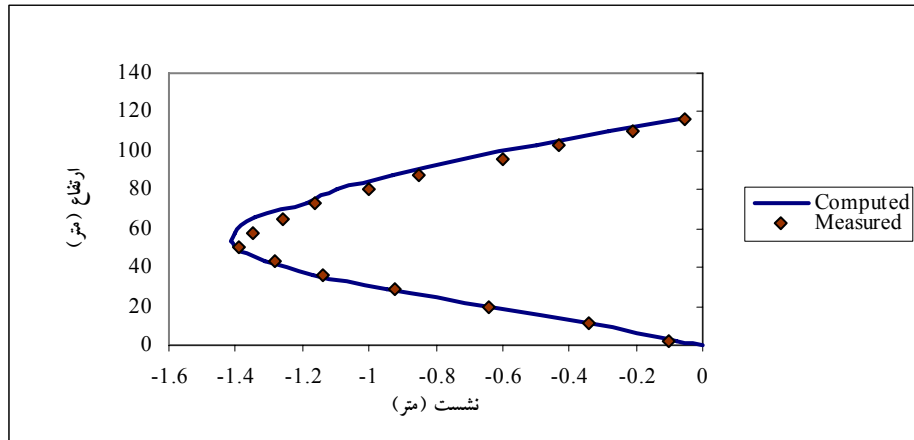


شکل ۴- پروفیل های محاسبه شده نشست دوره ساخت سد برای هسته در مقطع کیلومتر ۱۷۰+

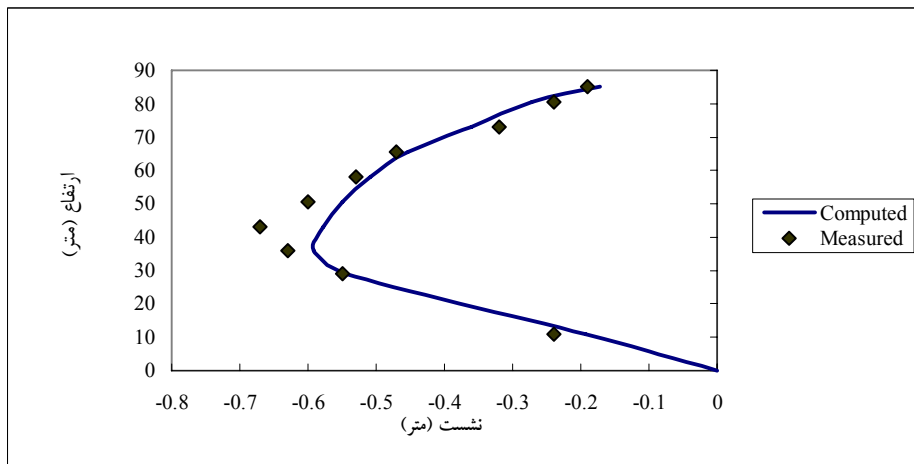
همانطور که از شکل ۴ پیداست حداکثر نشست در ناحیه مرکزی هسته رخ داده است و با دور شدن از این ناحیه، میزان نشست ها کم می شود. شکل و فرم تغییر شکل های زمان ساخت دلالت بر درست بودن هندسه سد دارد. مطابق پروفیل نشست شکل ۴ محل نشست ماکزیمم با افزایش ارتفاع خاکریزی پایین تر می آید و یا به عبارتی درصد نشست بیشینه به ارتفاع خاکریزی کاهش پیدا می کند [۹]. مطابق شکل ۴ بیشینه نشست قائم هسته در مقطع CH+170 پس از اتمام عملیات ساخت سد حدود ۱/۴۴۳ متر و در ارتفاع ۵۸ متر و در ۵۰٪ ارتفاع سد روی داده است. بر اساس نتایج فوق مقدار نشست هسته در دوره ساختمان حدود ۱/۲ درصد ارتفاع سد می باشد که این مقدار با توجه به مقادیر نشست



سدهای دیگر مقدار معقولی می باشد. در اشکال ۵ و ۶ نتایج تحلیل با مقادیر اندازه گیری شده ابزار دقیق رسم شده اند و در ادامه در جدول ۳ مقدار و محل نشست حداکثر حاصل از تحلیل عددی و ابزار دقیق در هسته، پوسته پایین دست و پی آبرفتی با هم مقایسه شده است.



شکل ۵- منحنی نشست-ارتفاع ابزار دقیق (MS+I)2 و مقایسه آن با نتایج تحلیل در مقطع کیلومتر +۱۷۰



شکل ۶- منحنی نشست-ارتفاع ابزار دقیق (MS+I)4 و مقایسه آن با نتایج تحلیل در مقطع کیلومتر +۱۷۰

جدول ۳- مقایسه نتایج ابزار دقیق و تحلیل عددی در پایان ساخت سد

	مقدار نشست حداکثر (متر)		محل نشست حداکثر	
	Plaxis	ابزار دقیق	Plaxis	ابزار دقیق
هسته	۱/۴۰۳	۱/۳۹	%۵۰	%۴۴
پوسته پایین دست	۰/۵۹۱	۰/۶۷	%۴۱	%۴۹
پی آبرفتی	۰/۵۴۵	۰/۵۸	-	-



## دوره بهره برداری

بعد از اولین مرحله آبیگری سد شهرچای جابجایی های قائم هسته سد تا ارتفاع ۵۰ متر از سنگ بستر به سمت بالا (تورم) بوده و حداکثر مقدار آنها ۱ سانتیمتر می باشد. از ارتفاع ۵۰ متری به بالا جابجایی های قائم به سمت پایین (نشست) تغییر جهت داده و حداکثر مقدار آن ۸ سانتیمتر و در ارتفاع ۱۱۲ متر از سنگ بستر می باشد. در پایان مرحله چهارم آبیگری سد شهرچای، جابجایی های قائم هسته سد فقط در قسمت پایین دست هسته سد و تا ارتفاع ۳۰ متری از سنگ بستر به سمت بالا (تورم) بوده و در بقیه نواحی هسته سد جابجایی های قائم به سمت پایین (نشست) بوده و حداکثر مقدار آنها ۲۰/۴ سانتیمتر و در ارتفاع ۱۱۲ متری می باشد. با توجه به نتایج نشست هسته سد در پایان مرحله چهارم آبیگری مشاهده می شود که نشست بالادست هسته بیشتر از نشست میانه هسته و پایین دست هسته می باشد. و سرعت نشست بالادست هسته با آبیگری افزایش یافته است و این پدیده ناشی از اعمال وزن آب روی مصالح بالادست است. نرخ تغییرات نشست در دوره آبیگری از بالادست به پایین دست هسته کاهش می یابد و در واقع، آبیگری در نرخ تغییرات نشست در قسمت پایین دست هسته اثر چندانی ندارد. در شکل های ۷ و ۸ نتایج تحلیل عددی و ابزار دقیق در مقطع کیلومتر ۱۷+ در هسته سد با هم مقایسه گردیده است.

در جدول ۴ حداکثر نشست محاسبه شده توسط نرم افزار Plaxis و حداکثر نشست اندازه گیری شده توسط ابزار دقیق در هسته سد شهر چای در مقطع CH+170 بلافاصله پس از اولین آبیگری و بعد از چهارمین مرحله آبیگری با هم مقایسه شده است.

جدول ۴ - مقدار حداکثر نشست حاصل از ابزار دقیق و نرم افزار در مراحل مختلف آبیگری در هسته و پی سد شهرچای

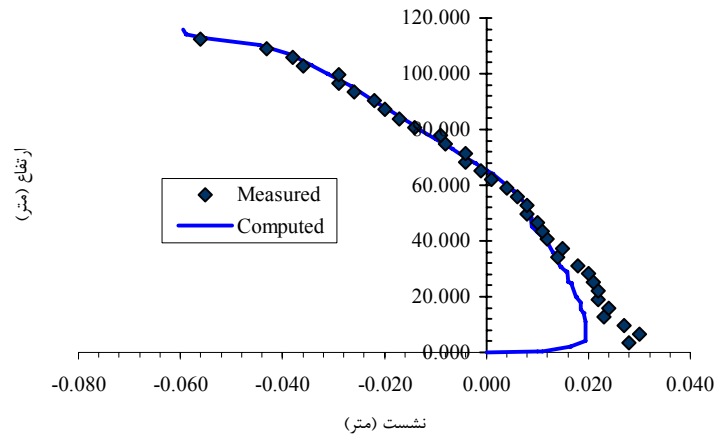
		هسته		پی آبرفتی	
		ابزار دقیق	Plaxis	ابزار دقیق	Plaxis
حداکثر نشست (م.م)	مرحله اول آبیگری	۰/۰۵۶	۰/۰۵۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷
	مرحله دوم آبیگری	۰/۱۱۱	۰/۱۲۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱
	مرحله سوم آبیگری	۰/۱۹۵	۰/۱۸۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۵۰
	مرحله چهارم آبیگری	۰/۲۰۸	۰/۱۹۱	۰/۰۲۴	۰/۰۲

همانطور که مشاهده می شود نتایج ابزار دقیق با مدل عددی تطابق خوبی دارد. نزدیکی مقادیر اندازه گیری شده توسط ابزار دقیق با نتایج مدل عددی در واقع نشانگر دقت محاسبات و مطابقت اجرای بدنه با استانداردهای طراحی است و با انطباق خوب ابزار دقیق و مدل عددی در دوره ساخت و بهره برداری میتوان رفتار حقیقی سد را در آینده با دقت مناسبی پیش بینی کرد.

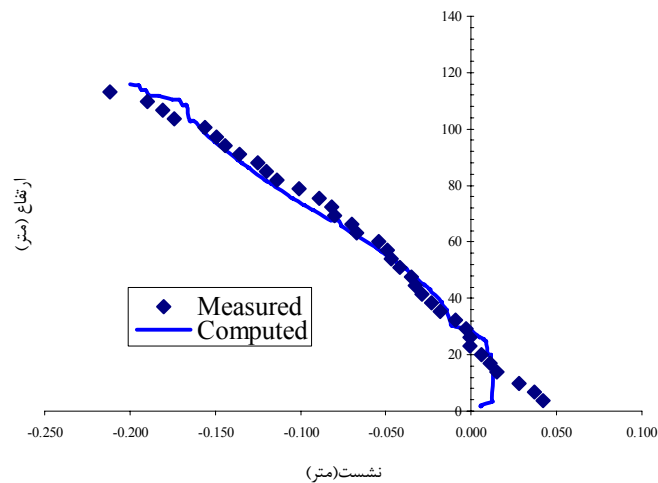
## خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله با بررسی تغییر مکان های قائم بخش های مختلف سد در دوره ساخت و بهره برداری و مطالعه پروفیل های نشست سد با ارتفاع در دوره ساخت و نهایتاً مقایسه نتایج تحلیل عددی با ابزار دقیق، نتایج زیر حاصل می شود.

- بر اساس نتایج رفتار سنجی و تحلیل های عددی صورت گرفته، اکثر نشست ها در دوره ساخت سد رخ داده است و تمرکز آنها در مرکز هسته می باشد.
- شکل و فرم تغییر شکل های زمان ساخت دلالت بر درست بودن هندسه سد دارد.
- مقدار حداکثر نشست هسته سد در پایان ساخت حدود ۱/۲٪ ارتفاع است و این مقدار نسبتاً قابل قبول می باشد.
- نزدیکی مقادیر اندازه گیری شده توسط ابزار دقیق با نتایج مدل عددی در دوره های ساخت و بهره برداری واقع نشانگر دقت محاسبات و مطابقت اجرای بدنه با استانداردهای طراحی است.
- با تحلیل برگشتی، پارامترهای واقع بینانه تری برای رفتار مصالح سد و همچنین تعیین رفتار قسمت هایی که هیچ اطلاعی از رفتار آنها در دست نیست به دست آمده است و با انطباق خوب ابزار دقیق و مدل عددی در دوره ساخت و بهره برداری میتوان رفتار حقیقی سد را در آینده با دقت مناسبی پیش بینی کرد.
- سد در وضعیت ایمن قرار دارد و رفتار تنش- کرنش مصالح، قابل قبول و طبیعی است.



شکل ۷- منحنی نشست - ارتفاع ابزار دقیق 2 (MS+I) و مقایسه آن با نتایج تحلیل بعد از اولین مرحله آگیری



شکل ۸- منحنی نشست - ارتفاع ابزار دقیق 2 (MS+I) و مقایسه آن با نتایج تحلیل بعد از چهارمین مرحله آگیری

## مراجع

۱. رحیمی، حسن (۱۳۸۲) سدهای خاکی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران.
2. Plaxis incorporation (1998) *Refrence and Scientific Manual*.
3. Plaxis incorporation (1998) *Material Models Manual*.
۴. سازمان آب منطقه ای شهرستان ارومیه (۱۳۷۸) گزارش سیمای طرح شهرچای ارومیه.
۵. سازمان آب منطقه ای شهرستان ارومیه (۱۳۷۸) گزارش مشخصات فنی و اختصاصی سد شهرچای ارومیه.
۶. صدر نژاد، سید امیرالدین (۱۳۸۴) سدهای خاکی و تحلیل عددی آن، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید رجایی تهران.
۷. شرکت مهندسی مشاور سکو (۱۳۸۵) گزارشات نتایج ابزار دقیق سد شهرچای از ابتدای نصب تا تاریخ ۱۳۸۵/۴/۱۸.
۸. شرکت سهامی آب منطقه ای آذربایجان غربی (۱۳۸۵) گزارش نهایی از نتایج آزمایشات پارامتریک بزرگ مقیاس مربوط به سد شهرچای ارومیه.
9. Pagano, L., Desideri, A. and Vinale, F. (1998) Interpreting settlement profiles of earth dams. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **124**(10), 923-932.