ارزیابی رفتار سد کلان در آخرین مرحله از ساخت بر اساس نتایج ابزار دقیق

مینا حسینی طیبی[1و2]، میثم بیات[3*]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- خاک و پی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

[2] شرکت سهامی آب منطقه‌ای همدان.

[3] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمین، باشگاه پژوهشگران جوان، خمین، مرکزی، ایران.

[*]m.bayat.civil@gmail.com

۱- چکیده (Abstract):

پروژهای سدسازی از پرهزینه‌ترین و مهمترین پروژه‌های عمرانی محسوب می‌شوند. سدها از نظر اقتصادی، تامین منابع آب ، تولید انرژی و ایجاد اشتغال از اهمیت فراوانی برخوردار هستند. اما وجود پارامترهای ناشناخته ژئوتکنیکی و هیدرولیکی و هواشناسی و ... همواره پایداری و ایمنی سدها را تهدید می‌کند. یکی از عوامل مهم در پروژه‌های عمرانی مخصوصا سدها، علاوه بر طراحی و اجرای دقیق آنها، کنترل ایمنی و پایداری اجزای مختلف آن در طول دوران ساخت و بهره‌برداری است. به عبارتی دیگر، در پروژه‌های ساخت سدهای خاکی با توجه به اهمیت سازه، کنترل ایمنی و پایداری در حین ساخت و بهره‌برداری اهمیت فراوانی دارد. یکی از روشهای کاربردی برای این امر، نصب ابزار دقیق و قرائت آنها در طول زمانهای مورد نظر است. با توجه به این امر در این مقاله سعی شده است با استفاده از نتایج حاصل از ابزار دقیق منصوبه در سد کلان، رفتار و پایداری این سد در طی آخرین مرحله ساخت بررسی شود.

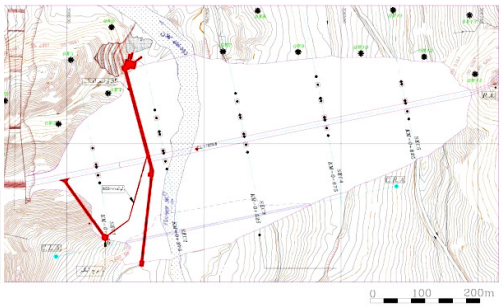
واژه‌های کلیدی(Keyword): سد کلان، ابزار دقیق، پیزومتر، نشست، پایداری.

۲- مقدمه(Introduction):

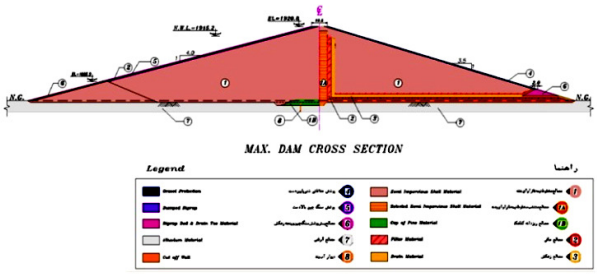
طرح سد کلان با انگیزه بهره‌گیری از جریان سطحی رودخانه ملایر، به منظور تامین آب شرب شهر ملایر و بهبود و توسعه آبیاری در اراضی جنوب شهر ملایر (به میزان ۸ میلیون مترمکعب در سال) بوده است.

به منظور تامین این اهداف، سد کلان در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب شهر ملایر طراحی و اجرا شده است. این سد از نوع خاکی همگن و به ارتفاع ۴۶ متر از بستر طبیعی رودخانه با حداکثر تراز نهایی تاج ۱۹۲۰ متر و حجم بدنه نزدیک به ۳/۵ میلیون متر مکعب پیش‌بینی شده است. در شکل ۱ پلان سد و موقعیت ابزاربندی بر روی آن ملاحظه می‌شود.

همچنین در شکل ۲ بزرگترین مقطع عرضی بدنه سد و وضعیت خاکریزی انجام شده در آن نشان داده شده است.
تحلیل سد خاکی در چند مرحله حائز اهمیت است و باید پایداری سد در این مراحل بطور دقیق بررسی شود. [۱]
۱- در حین ساخت و اتمام ساخت ۲- آبگیری اولیه ۳- آبگیری‌ها و تخلیه‌های بعدی مخزن (دوره بهره‌برداری) ۴- در زمان زلزله.
با توجه به این امر، مقاله حاضر به عنوان گزارش دوره‌ای رفتارنگاری حین ساخت سد و با پوشش بر بازه زمانی زمستان ۱۳۸۹ تهیه و ارائه شده است. [۲]



شکل(۱) : پلان بدنه سد کلان و موقعیت مقاطع ابزاربندی



شکل(۲) : بزرگترین مقطع عرضی بدنه سد کلان و وضعیت خاکریزی آن

۳- وضعیت نصب ابزار دقیق

از تعداد ۹۲ ابزار پیش‌بینی شده در سد کلان، ۹۰ ابزار تا پایان دوره این گزارش نصب شده است و نصب دو دستگاه *ISP* باقی مانده است. در جدول ۱ فهرستی از تعداد کل ابزارهای پیش‌بینی شده و وضعیت ابزارهای اجرا شده در دوره گزارش ارائه شده است. این ابزارها در ۵ مقطع از سد کار گذاشته شده است.

جدول(۱) : تعداد ابزارهای پیش‌بینی شده و اجرا شده در سد کلان

ردیف	نام ابزار	تعداد پیش‌بینی شده در طرح	تعداد کل نصب شده تا پایان اسفند ۸۹
۱	پیزومترهای الکتریکی بدنه	۳۴	۳۴
۲	پیزومترهای الکتریکی پی	۱۶	۱۶
۳	سلول‌های تنش کل	۴	۴
۴	لوله‌های ISP	۱۹	۱۷
۵	پیزوکترهای کاساگرانده	۵	۵
۶	چاه مشاهده	۱۴	۱۴
مجموع		۹۲	۹۰

۴- قرائت‌های انجام شده در طول دوره

در طول دوره گزارش، قرائت ابزارهای منصوبه مطابق تواتر ارائه شده در جدول ۲ انجام شد است.

جدول(۲) : تواتر ابلاغی قرائت ابزار دقیق در دوره گزارش

ردیف	نام ابزار	تواتر ابلاغی قرائت ابزار دقیق
۱	پیزومترهای الکتریکی	دو بار در ماه
۲	نشست داخلی بدنه سد	دو بار در ماه
۳	سلول تنش کل	دو بار در ماه
۴	تغییر مکان افقی داخل بدنه سد	ماهانه

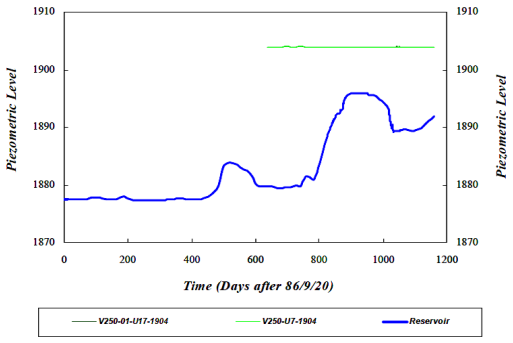
۵	تراز آب مخزن	روزانه
۶	تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومترها	دو بار در ماه

۵- نتایج قرائت و پردازش داده‌ها

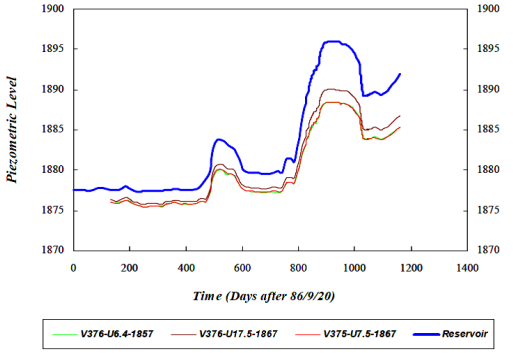
۵-۱- پیزومترهای الکتریکی- ارتعاشی پی

جهت اندازه‌گیری و بررسی تغییرات فشار آب حفره‌ای در پی سد کلان تعداد ۱۶ عدد پیزومتر الکتریکی در ۵ مقطع ابزار بندی پیش‌بینی گردیه و همگی اجرا شده است. برای ارزیابی بهتر عملکرد پیزومترهای الکتریکی- ارتعاشی پی با استفاده از تلفیق نمودارهای منفرد مربوط به هر یک از پیزومترها، مجموعه‌ای از نمودارهای تلفیقی برای پیزومترهای هر مقطع ترسیم شده است. شکلهای ۳ الی ۷ نمودارهای تلفیقی پیزومترهای پی را برای مقاطع مختلف ابزاربندی نمایش می‌دهد.

در این شکلها تغییرات فشار آب منفذی در برابر زمان از تاریخ ۸۶/۹/۲۰ لغایت ۸۹/۱۲/۲۹ برای کلیه پیزومترهای منصوبه در مقاطع ابزاربندی سد به صورت جداگانه آورده شده است.

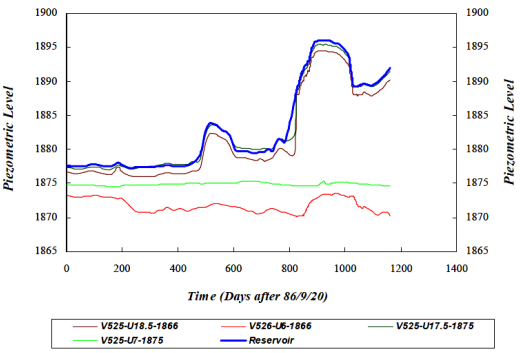


شکل(۳) : تراز پیزومتریک پیزومترهای مقطع ۱ پی

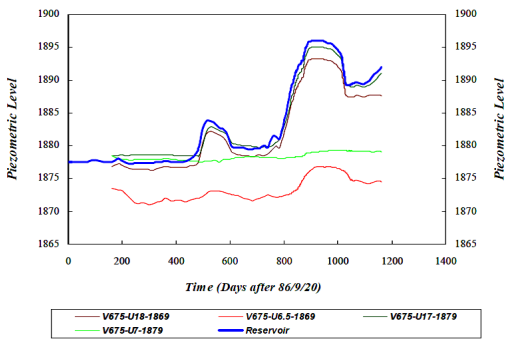


شکل(۴) : تراز پیزومتریک پیزومترهای مقطع ۲ پی

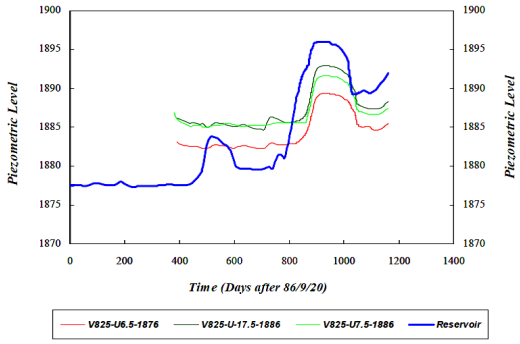
بر اساس نمودارهای ارائه شده در بالا ارزیابی از رفتار پیزومترها و تحلیل رفتار پی سد قابل انجام است که در ادامه تحلیل نتایج مربوط به هر مقطع بصورت جداگانه ارائه شده است. لازم به ذکر است در این بررسی‌ها، منظور از واژه-های بالادست و پایین دست، موقعیت ابزار نسبت به محور دیوار آب‌بند است. در جداول ۳ الی ۷ ارزیابی رفتار پیزومترهای الکتریکی پی در تمامی مقاطع آورده شده است.



شکل(۵): تراز پیزومتریک پیزومترهای مقطع ۳ پی



شکل(۶): تراز پیزومتریک پیزومترهای مقطع ۴ پی



شکل (۷) : تغییرات تراز پیزومتریک در پیزومترهای مقطع ۵ پی

جدول(۳) : ارزیابی رفتار پیزومترهای الکتریکی پی در مقطع ۱ (کیلومتر ۰+۲۵۰)

ردیف	نام پیزومتر	دوره گزارش		توضیحات
		فشار حداکثر (kPa)	تراز پیزومتریک	
۱	V250-U17-1904 (103)	- ۰/۵۳	-	فشار در دوره گزارش منفی ثبت شده است.
۲	V250-U7-1904 (104)	- ۰/۶۸	-	فشار در دوره گزارش منفی ثبت شده است.

جدول (۴) : ارزیابی رفتار پیزومترهای الکتریکی پی در مقطع ۲ (کیلومتر ۰+۳۷۵)

ردیف	نام پیزومتر	دوره گزارش		توضیحات
		فشار حداکثر (kPa)	تراز پیزومتریک	
۱	V376-U6.4-1857 (202)	۲۷۸/۴۵	۱۸۸۵/۴	
۲	V375-U17.5-1867 (203)	۱۹۳/۵	۱۸۸۶/۷	
۳	V375-U7.5-1867 (204)	۱۷۵/۱۱	۱۸۸۵/۳	

جدول(۵) : ارزیابی رفتار پیزومترهای الکتریکی پی در مقطع ۳ (کیلومتر ۰+۵۲۵)

ردیف	نام پیزومتر	دوره گزارش		توضیحات
		فشار حداکثر (kPa)	تراز پیزومتریک	
۱	V525-U18.5-1866 (301)	۲۳۸/۸۷	۱۸۹۰/۱	
۲	V525-U6-1866 (302)	۵۲/۳۸	۱۸۷۱/۱	
۳	V525-U17.5-1875 (303)	۱۶۱/۰۲	۱۸۹۱/۴	
۴	V525-U7-1875 (304)	- ۲/۰۳	-	فشار در دوره گزارش منفی ثبت شده است.

جدول(۶) : ارزیابی رفتار پیزومترهای الکتریکی پی در مقطع ۳ (کیلومتر ۰+۵۲۵)

ردیف	نام پیزومتر	دوره گزارش		توضیحات
		فشار حداکثر (kPa)	تراز پیزومتریک	
۱	V675-U18-1869 (401)	۱۸۴/۴۷	۱۸۸۷/۸	
۲	V675-U6.5-1869 (402)	۵۶/۰۰	۱۸۷۴/۷	
۳	V675-U7-1879 (403)	۱۱۷/۶۱	۱۸۹۱/۰	
۴	V675-U7-1879 (404)	۱/۵۰	۱۸۷۹/۲	

جدول(۷) : ارزیابی رفتار پیزومترهای الکتریکی پی در مقطع ۲ (کیلومتر ۰+۳۷۵)

ردیف	نام پیزومتر	دوره گزارش		توضیحات
		فشار حداکثر (kPa)	تراز پیزومتریک	
۱	V825-U6.5-1876 (502)	۲۷۸/۴۵	۱۸۸۵/۴	

۲	V825-U17.5-1886 (503)	۱۹۳/۵	۱۸۸۶/۷	
۳	V825-U7.5-1886 (504)	۱۷۵/۱۱	۱۸۸۵/۳	

بر این اساس و در مجموع، قواعد کلی زیر بر رفتار پیزومترهای پی حکمفرما بوده است:
پیزومترهای مقطع (۱): فشار منفی ناچیز بوده و تراز پیزومتریک برابر با تراز نصب است. همچنین تغییرات سطح آب (تراز دریاچه) نیز با توجه به اینکه بازه تغییرات آن پایین‌تر از تراز نصب این پیزومترها بوده، اثری روی نداشته است.
پیزومترهای مقطع (۲): تغییرات فشار در پیزومترهای این مقطع متاثر از تغییرات تراز دریاچه بوده است. همچنین افت تراز پیزومتریک از بالادست به طرف پایین دست قابل مشاهده است. حداکثر مقدار این افت در تراز ۱۸۶۷ برابر ۱/۴ متر ثبت شده است. بیشترین و کمترین فشار در این مقطع، حدود ۲۷۸ و ۱۷۵ کیلوپاسکال بوده که به ترتیب توسط V376-U6.4-1857 و V375-U7.7.5-1867 ثبت شده‌اند.
پیزومترهای مقطع (۳): بیشترین فشار در این مقطع، حدود ۲۳۹ کیلوپاسکال بوده و توسط V525-U18.5-1866 ثبت شده است. در هر دو تراز ۱۸۶۶ و ۱۸۷۵، تغییرات تراز پیزومتریک در پیزومتر بالادستمتاثر از تغییرات تراز دریاچه بوده و در پیزومتر V525-U7-1875 فشار ناچیز و تراز پیزومتریک آن برابر با حدود تراز نصب است. همچنین حداکثر مقدار افت تراز پیزومتریک در ترازهای ۱۸۶۶ و ۱۸۷۵ به ترتیب برابر با ۱۹/۹ و ۱۶/۸ متر بوده است که حاکی از عملکرد مناسب دیوار آب‌بند است.
پیزومترهای مقطع (۴): بیشترین فشار در این مقطع، حدود ۱۸۴ کیلوپاسکال و توسط V675-U18-1896 ثبت گردیده است. در این مقطع نیز مانند مقطع (۳)، تغییرات تراز پیزومتریک در بالادست متاثر از تغییرات تراز دریاچه بوده است. در پایین دست هر دو سفره، تغییرات تراز پیزومتریک مستقل از تراز دریاچه بوده، بطوری که تغییرات سطح آب اثری روی پیزومتر V675-U7-1879 نداشته و تراز پیزومتریک آن برابر با حدود تراز نصب است.
حداکثر مقدار افت تراز پیزومتریک در ترازهای ۱۸۶۹ و ۱۸۷۹ به ترتیب برابر با ۱۳/۶ و ۱۱/۹ متر بوده است.
پیزومترهای مقطع (۵): در کلیه پیزومترهای واقع در این مقطع، فشار حداکثر به طور همزمان و در مورخ ۸۹/۱۲/۱۵ ثبت شده است. بیشترین فشار در این مقطع، حدود ۹۳ کیلوپاسکال بوده که توسط V825-U6.5-1876 ثبت شده است. تغییرات فشار در پیزومترهای این مقطع در سال گذشته (۱۳۸۸) مستقل از تراز دریاچه بوده ولی از سال ۸۹ متاثر از تغییرات تراز سطح دریاچه بوده. به نظر می‌رسد که در طول سال جاری با افزایش تراز آبگیری مخزن و رسیدن آب به تراز نصب پیزومترهای مزبور در این مقطع، به تدریج شکل‌گیری روند تبعیت فشار ثبت شده از تغییرات تراز دریاچه مشاهده می‌گردد. همچنین افت تراز پیزومتریک از بالادست به طرف پایین دست سفره‌ها قابل مشاهده است و حداکثر مقدار این افت در تراز ۱۸۸۶ برابر با ۰/۹ مترثبت شده است.

۵-۲- سلول‌های تنش کل

در بدنه سد کلان تعداد ۴ عدد سلول تنش کل در مقاطع ۴،۳،۲ و ۵ متناظر با محل محور مرکزی سد و در داخل بخش ناتراوا پیش‌بینی و نصب شده است. شکل قرارگیری سلول‌ها به صورت افقی است به گونه‌ای که قادر به اندازه-گیری تنش قائم است.
خلاصه‌ای از نتایج اندازه‌گیری تنش در سلول مقاطع نامبرده در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول(۸) : جمع‌بندی رفتار سلول‌های تنش کل در مقاطع مختلف ابزاربندی

ردیف	نام ابزار	مقطع نصب	جهت نصب	جهت تنش	Pmax(kPa)
۱	VT375-CL-1877.5 (T21)	۲	افقی	قائم	۳۹۹/۴۳
۲	VT525-D0.03-1885 (T31)	۳	افقی	قائم	۵۱۱/۰۰
۳	VT675-U0.02-1896 (T41)	۴	افقی	قائم	۵۷۷/۷۸
4	VT825-U0.03-1896 (T51)	۵	افقی	قائم	۵۸۲/۶۹

۵-۳- نشست سنجی (اندازه‌گیری تغییرمکان قائم)

در بدنه سد کلان تعداد ۱۹ عدد چاهک نشست- انحراف‌سنجی (ISP) پیش‌بینی شده که ۱۷ عدد آن اجرا شده است. چاهک‌های ISP در کلیه مقاطع ۵ گانه ابزاربندی شده چنانچه در مقطع ۱ تعداد ۲ چاهک، در مقطع ۵ تعداد ۳ چاهک و در مقاطع ۲ تا ۴ هر کدام ۴ چاهک اجرا شده است.

در این بخش نتایج نشست‌سنجی در چاهک‌های مزبور ارائه می‌شود. برای جمع بندی بهتر از روند تغییرات نشست در مقاطع ابزاربندی، در جدول‌های ۹ الی ۱۳ خلاصه‌ای از نتایج یافته‌های مربوط به نشست در مقاطع ۱،۲،۳،۴و ۵ گردآوری شده است. در این جمع‌بندی پارامتر A برابر نسبت نشست به ارتفاع کل خاکریز بالاسر محل وقوع نشست و پارامتر B برابر نسبت ارتفاع خاکریز بالاسر محل وقوع نشست حداکثر به کل ارتفاع مفید لوله تعریف شده است.

جدول(۹) : جمع‌بندی نتایج نشست در مقطع ۱ (کیلومتر ۲۵۰+۰)

نام ابزار	تراز مغناطیس مبنا	ارتفاع مفید لوله (m)	نشست پی و بدنه سد				توضیحات
			حداکثر نشست (mm)	تراز وقوع	A (%)	B (%)	
I1001	۱۹۰۵/۷۲	۱۲/۱	۱۲۲	۱۹۰۸/٦	۱/۰	۲٤/۰	
I1002	۱۹۰۵/۳٤	۱۷/۵	۱٤۹	۱۹۰۸/۲	۰/۹	۱٦/۵	

جدول(۱۰) : جمع‌بندی نتایج نشست در مقطع ۲ (کیلومتر ۳۷۵+۰)

نام ابزار	تراز مغناطیس مبنا	ارتفاع مفید لوله (m)	نشست پی و بدنه سد				توضیحات
			حداکثر نشست (mm)	تراز وقوع	A (%)	B (%)	
I2001	۱۸۷۱/۹۷	٤٦/۰	٤۱٦	۱۸۹۳/۵	۰/۹۰	٤٦/۸	
I2002	۱۸۷۲/۰۲	۵۱/٤	٦۷٤	۱۸۹٦/٦	۱/۳۱	٤۷/۸	
I2003	۱۸۷۳/۱٤	۳۸/۲	۳۳۲	۱۸۸۸/۷	۸۷/۰	٤۰/۷	
I2004	۱۸۷۲/۳۸	۲۷/٦	۱٦۹	۱۸۸۷/۸	۰/٦۱	۵٦/۰	

جدول(۱۱): جمع‌بندی نتایج نشست در مقطع ۳ (کیلومتر ۳۷۵+۰)

نام ابزار	تراز مغناطیس مبنا	ارتفاع مفید لوله (m)	نشست پی و بدنه سد				توضیحات
			حداکثر نشست (mm)	تراز وقوع	A (%)	B (%)	
I3001	۱۸٦۲/۱۰	۵٦/۰	۱۳۰۳	۱۸۸۷/۲	۲/۳	٤٤/۸	
I3002	۱۸٦۲/۹٤	٦۰/٤	۱٦٤۳	۱۸۸۷/۵	۲/۷	٤۰/۷	
I3003	۱۸٦۳/۱۰	٤۸/۰	۱٤۷۳	۱۸۸۷/۷	۳/۱	۵۱/۳	
I3004	۱۸٦۳/۰۳	۳٦/۷	۷۹۲	۱۸۸٤/۷	۲/۲	۵۹/۰	

جدول(۱۲): جمع‌بندی نتایج نشست در مقطع ۴ (کیلومتر ۶۷۵+۰)

نام ابزار	تراز مغناطیس مبنا	ارتفاع مفید لوله (m)	نشست پی و بدنه سد				توضیحات
			حداکثر نشست (mm)	تراز وقوع	A (%)	B (%)	
I4001	۱۸٦۷/٤٤	۵۱/٦	۱۲۳۸	۱۸۹۲/۵	۲/٤	٤۸/۵	
I4002	۱۸٦٤/٤۷	۵۸/۹	۱٤۵٦	۱۸۹۲/٦	۲/۵	٤۷/۷	
I4003	۱۸٦٤/۷٤	٤٦/۲	۱۰۳۷	۱۸۹۳/۰	۲/۲	٦۱/۱	
I4004	۱۸٦٤/۲٦	۳۵/٤	۳۵۳	۱۸۸۹/۳	۱/۰	۷۰/٦	

جدول۱۳ : جمع‌بندی نتایج نشست در مقطع ۵ (کیلومتر ۸۲۵+۰)

نام ابزار	تراز مغناطیس مبنا	ارتفاع مفید لوله (m)	نشست پی و بدنه سد				توضیحات
			حداکثر نشست (mm)	تراز وقوع	A (%)	B (%)	
I5001	۱۸۸۳/۳٦	۳۳/۸	۳۵۰	/۵٤ ۱۹۰۸	۱/۰٤	۷٤/۵	

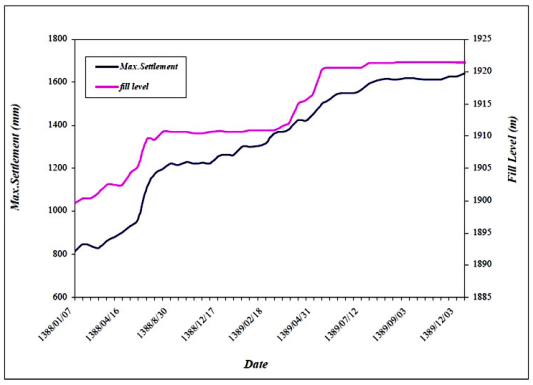
I5002	۱۸۸٤/٦۰	۳۸/۷	٤۸٤	۱۹۰۳/۳	۱/۲٥	٤۸/۳	
I5003	۱۸۸۱/۰٤	۳۰/۳	۲۹۲	۱۹۰۲/۹	۰/۹٦	۷۲/۲	

بررسی مقادیر حداکثر نشست و تغییرات آن در ارتفاع پی و بدنه سد

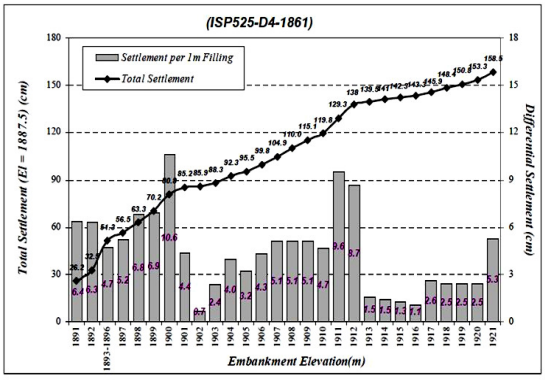
مطابق مبانی نظری در طرح بدنه سد انتظار می‌رود که مقادیر نشست تحت اثر مشترک نشست لایه‌های زیرین و اثر سربار فوقانی در حدود میانه ارتفاع سد بیشینه بوده و مقدار آن از درصد مشخصی از ارتفاع خاکریزی فراتر نرود. بر این مبنا اولین معیار مورد بررسی در ارزیابی نشست بدنه سد بحث میزان نشست حداکثر در بدنه و محل وقوع آن است. در جدول ۹ الی ۱۳ خلاصه‌ای از نتایج حاصل از قرائت نشست در مقاطع مختلف ارائه شده و بر اساس پارامترهای A و B مندرج در این جداول می‌توان در خصوص میزان نشست و محل وقوع آن نسبت به ارتفاع خاکریزی قضاوت نمود. مهم-ترین مشاهدات به شرح زیر قابل جمع‌بندی و ارائه است:

تا مقطع زمانی پایان اسفند ماه ۸۹، بیشترین نشست در مقطع ۳ (بزرگترین مقطع ابزاربندی است) و توسط I525-D4-1861 (I3002) ثبت شده که برابر ۱۶۴ سانتی‌متر و در تراز ۱۸۸۷/۵ گزارش شده است. محل ثبت این نشست تقریبا متناظر با تراز نشیمنگاه بدنه سد روی پی آبرفتی موجود بوده است. در شکل ۸ تغییرات نشست حداکثر این نقطه در تاریخ‌های مختلف در مقابل تراز خاکریز نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود با ثابت ماندن تراز خاکریزی، افزایش جزئی نشست در طول دوره گزارش (نسبت به پایان پاییز ۸۹) مشاهده می‌گردد. برای بررسی دقیق‌تر موضوع، در شکل ۹ تغییرات نشست سطح روی پی در محل نصب ابزار مزبور (نظیر صفحه مغناطیسی PM8 واقع در تراز ۱۸۸۷/۵) به ازای هر یک متر خاکریزی بدنه سد ارائه شده است. بطوریکه ملاحظه می‌شود، نرخ نشست پی متناظر با تراز خاکریزی به طور کلی نسبت به زمان اجرای لایه‌های پائینی خاکریز به تدریج روند رو به کاهش داشته است و این نشان می‌دهد که پی سد در گذر زمان و حین اجرای خاکریز بدنه رو به تثبیت نسبی بوده است.

بیشترین نشست‌ها در مقاطع ۲ و ۴ در محور D4 و به ترتیب برابر مقادیر ۶۷/۴ و ۱۴۵/۶ سانتی‌متر (در ترازهای ۱۸۹۶/۶ و ۱۸۹۲/۶)، در مقطع ۵ در محور D6 و برابر ۴۸/۴ سانتی‌متر (در تراز ۱۹۰۳/۳) و در مقطع ۱ در محور D4.3 و برابر ۱۵ سانتی‌متر (در تراز ۱۹۰۸/۲) گزارش شده است.



شکل۸ : تغییرات نشست حداکثر در I525-D4-1861 در سالهای ۸۸ و ۸۹



شکل۹ :میزان نشست سطح پی (تراس آبرفتی ریزدانه) به ازای هر متر خاکریز بدنه سد

۶- نتیجه گیری

ارزیابی کلی از نوع رفتار پیزومترها و چگونگی عملکرد آنها در مرحله آخر ساخت سد کلان همدان :

در طول دوره گزارش بیش از نیمی از پیزومترهای منصوبه در پی تغییرات تراز دریاچه اثر پذیرفته‌اند و اثر تغییرات تراز دریاچه بر تراز پیزومتریک با توجه به آبگیری و تخلیه مخزن در سال ۸۹ محسوس می‌باشد. همچنین تغییرات تراز خاکریزی، اثر محسوسی بر عملکرد پیزومترهای پی نداشته است. در اغلب مقاطع، افت تراز پیزومتریک از بالادست به

طرف پایین دست قابل مشاهده است.

رفتار کلی زیر در سلول‌های تنش کل سد کلان در مرحله آخر ساخت سد کلان همدان:

تبعیت تغییرات فشار در هیچکدام از مقاطع از تغییرات تراز خاکریزی و تغییرات تراز دریاچه محسوس نیست. تغییرات فشار سلول‌های تنش در این دوره نسبت به دوره قبل کم بوده است. حداکثر تنش قایم در حدود ۵۸۳ کیلوپاسکال و توسط سلول واقع در مقطع ۵ ثبت شده است.

بررسی مقادیر حداکثر نشست و تغییرات آن در ارتفاع پی و بدنه سد در مرحله آخر ساخت سد کلان همدان:

نسبت نشست حداکثر به ارتفاع خاکریز بالاسر حداقل برابر ۰/۶۱ درصد و حداکثر برابر ۳/۱ درصد است. محل ثبت بیشترین نشست‌ها در ISP های سد کلان، درحد فاصل ارتفاع معادل ۱۶ تا حدود ۷۵ درصد کل ارتفاع لوله بوده که نسبت به دوره قبل تغییر چندانی نداشته است.

۷- مرجع‌ها (References)

۱. وفائیان، محمود؛ «سدهای خاکی» جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۲.

۲. مجموعه گزارشات فنی سد کلان همدان- شرکت مهندسین مشاور بندآب.