ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۱/۱۱/۲۰

ارزیابی عملکرد سیستم ابزاربندی سد مسجد سلیمان به روش رتبه بندی و تعیین راهکارهای فنی کنترل ایمنی

مجید نیکزاد

دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران،
mnmajid۱۵٦@gmail.com

چکیده

ساخت سد از نوع سد خاکی و سنگریزه ای، به دلیل فراهم بودن مصالح مرغوب موردنیاز در بسیاری از مناطق کشور و تکنولوژی نسبتا بومی طراحی و اجرای چنین سدهائی، بیشترین سهم را در بین پروژه های اخیر و جاری کشور به خود اختصاص داده است. این طرح پژوهشی در راستای دستیابی به این مهم برای سد مسجد سلیمان تعریف گردیده است که با توجه به اینکه شرکت مشانیر، مشاوره طرح و نظارت این پروژه را برعهده داشته است؛ با در دسترس بودن اطلاعات لازم به نظر می رسد گام موثری در راستای تدوین روش متحد کنترل ایمنی این سد در چارچوب این تحقیق برداشت. جزئیات اصلی روش متحد پیشنهادی طرح حاضر، در بولتن شماره ۷۷ منتشره از طرف IRCOLD برای سدهای سنگریزه ای و خاکی جمع آوری گردیده است. هدف از تهیه روش یادشده گسترش یک روش ارزش گذاری است که بتواند شرایط کنونی سـدها را به شیوه ای واحد توصیف نماید. تحقیق در راستای گزارش منجر به ارائه روشی برای اولویت بندی ابقاء و بازسازی (M&R) سدها نیزگردیده است در مجموع به کمک روش فوق که جزئیات آن در تحقیق تدوین و ارائه خواهد شد، ضمن اولویت بندی اهمیت انواع سیستم های رفتارنگاری سد مسجد سلیمان و تعریف اندیس شرایط برای هر کدام از ابزاردقیق و نیازمندی های احتمالی سیستم ابزاربندی در راستای ارتقاء کاربردآنها؛ رفتارسنجی سد نیز تدوین و رفتار آن در دوره های ساخت و آبگیری سد ارائه خواهد گردید.

کلمات کلیدی: ابزاردقیق متداول در سدهای خاکی ، روش متحد ارزیابی عملکرد ، ابزاردقیق سد مسجد سلیمان ،رفتارنگاری سدهای خاکی

۱- مقدمه

توجه به رشد روزافزون تقاضا برای برق و آب در کشورمان به منظور تامین نیازهای مختلف از جمله مصارف شهری، کشاورزی، صنعتی و موارد مشابه آنها، طی سالهای اخیر توجه به احداث سدهای برق آبی و کنترل و ذخیره آبهای جاری کشور، جزو اولین اولویت های صنعت آب و برق کشور بوده است. لذا ساخت سد از نوع سد خاکی و سنگریزه ای، به دلیل فراهم بودن مصالح مرغوب موردنیاز در بسیاری از مناطق کشور و تکنولوژی نسبتا بومی طراحی و اجرای چنین سدهائی، بیشترین سهم را در بین پروژه های اخیر و جاری کشور به خود اختصاص داده است که سد مسجد سلیمان با ارتفاع ۱۷۷ متر، طول تاج ۴۸۰ متر و ظرفیت خالص مخزن ۲۲۸ میلیون متر مکعب جزو بزرگترین پروژه های از این دست می باشد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

یکی از مهمترین پروسه های این پروژه پس از طراحی و احداث آنها ، مدیریت بهره برداری و نگهداری آن بوده است که همواره ارزیابی فنی عملکرد اجزاء آن پروژه مورد توجه جدی می باشد. چنین ارزیابی بدون لحاظ کنترل ایمنی و پایداری پروژه میسر نمی گردد. برای انجام چنین کنترلهائی (ایمنی و پایداری) عموما از روشهائی نظیر کنترل مستمر داده های ابزارنگاری و تحلیلهای برگشتی بهره گرفته می شود. لیکن در ارزیابی فنی اجزاء پروژه های کشورمان معمولا روش متحد و یکسانی به کار گرفته نمی شود.

در این تحقیق سعی بر آن است تا روش متحدی را در راستای ارزیابی های فوق تشریح شود؛ که نتیجه آن می تواند برای تصمیم گیری های مربوط به اولویتهای نگهداری و بهره برداری سد مسجد سلیمان و یا اولویت بندی توجه به اجزاء با اهمیت کاملا موثر خواهد بود.

با توجه به موارد مذکور و به خاطر ویژگیهای خاص پروژه سد مسجد سلیمان و نیروگاه وابسته به آن، ارائه مکانیسم متحد جهت کنترل عملکرد ابزاردقیق منصوبه سد و معیار ایمنی پروژه اهمیت دوچندانی می یابد. این طرح پژوهشی در راستای دستیابی به این مهم برای سد مسجد سلیمان تعریف گردیده است که با توجه به اینکه شرکت مشانیر، مشاوره طرح و نظارت این پروژه را برعهده داشته است؛ با در دسترس بودن اطلاعات لازم به نظر می رسد گام موثری در راستای تدوین روش متحد کنترل ایمنی این سد باشد.

سرانجام مطلوب این طرح پژوهشی می تواند سرآغازی برای تهیه روشهای متحد در کنترل پایداری سدهای مهم کشور باشد تا از استفاده های ناهماهنگ نتایج سیستمهای ابزاربندی سدها ونگهداری آنها اجتناب گردد.

هدف از تهیه گزارش حاضرگسترش یک روش ارزش گذاری است که بتواند شرایط کنونی سـدها را به شیوه ای واحد توصیف نماید. تحقیق در راستای گزارش منجر به ارائه روشی برای اولویت بندی ابقاء و بازسازی (M&R) سدها نیزگردیده است. در این روش یک اندیس شرایط (Condition Index, CI) مشابه با دیگر سیستمهای CI که توسط آزمایشگاه مهندسی ساختمان ارتش ایالات متحده (CERL) گسترش یافته اند، به عنوان اساس روش اخذ گردیده است.

در خلال این تحقیق ثابت شد که روش معرفی شده (REMR) برای ارزش گذاری فعالیتهای نگهداری و بازسازی (M&R) موجود که می توانند با یک دوره بودجه نرمال سرمایه گذاری و برنامه ریزی شوند قابل استفاده می باشد. با اینکه ممکن است از این روش برای ارزیابی مسایل بسیار ضروری که نمی توان منتظر دوره بودجه نرمال بود استفاده نمود. ولی به طور کلی این روش برای فعالیتهایی که طبیعت غیر منتظره ای دارند کاربردی نمی باشد.

تعریف اندیس شرایط (CI) برای پروژه های سدسازی دارای مزایای مستقیم و غیر مستقیم زیر می باشد:

۱- معیار سنجش خوبی برای ملاحظه تغییر شرایط یا عملکرد در طول زمان می باشد که می تواند به مدیـــران بگوید آیا ســـرمایه گذاری درازمدت برای نگهداری و بازسازی تاسیسات مربوطه کافـــی می باشد یا خیر.

۲- کمک به مهندسین در ارزیابی اهمیت نسبی کمبودهای موجود و اولویت بندی نیازها. لازم به ذکر است که این اندیس نه نشانگر یک ارزیابی دقیق از ایمنی سد می باشد و نه جایگزین یک معیار استاندارد.

۳- کمک به سازمانها و مهندسین بهره بردار برای هماهنگی با مدیریت ذیربط در مورد اهمیت و شدت کمبودها

۴- کمک به اولویت بندی نیازمندیهای ابزاربندی و رفتارنگاری سدها

۵- روشی مفید برای کمک به مهندسین کم تجربه در فهم این مطلب که مهندسین با تجربه چطور ارزیابیهای خود را انجام می دهند.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

سد مسجد سلیمان در بخش شمالی منطقهٔ زمین ساخت زاگرس در ایران واقع شده است و بخشی از حد مرزی بین صفحات تکتونیکی عربستان و یورآسیا به شمار می رود و یکی از نقاط بسیارلرزه خیز در جهان است. بنابراین ارزیابی ایمنی برای پایداری سد در جریان یک زمین لرزه با هدف تأیید طراحی در یک منطقهٔ بسیار لرزه خیز ضروری بوده است.

اهداف اصلی تحلیل پایداری دینامیکی سد مسجد سلیمان به شرح زیر است:

- ارزیابی ایمنی سد در برابر حداکثر زمین لرزهٔ قابل قبول (M.C.E) با ترکیب تحلیل‌های تنش استاتیکی اولیه به روش اجزای محدود، روش تحلیل اجزای محدود دینامیکی و روش مبتنی بر شبکه.
- کنترل ایمنی سد در جریان زمین لرزه براساس تحلیل شبه استاتیکی اصلاح شد.

۲- روش شناسی تحقیق

سد مسجد سلیمان به شکل یک سد سنگریزه‌ای بخش بندی شده با یک هستهٔ رسی پهناور طراحی شده است. ارتفاع خاکریزی ۱۷۷ متر بالاتر از کف دره است. طراحی پایهٔ سد توسط مشاور پیشین در مرحلهٔ مطالعات امکان یابی در سال ۱۹۹۲ و مرحلهٔ طراحی مناقصه در سال ۱۹۹۳ انجام شده بود. در بازنگری طراحی، پایداری سد مسجد سلیمان با انجام چندین تحلیل ارزیابی شد که از آن میان می توان به تحلیل آب نفوذی، تحلیل پایداری استاتیکی و تحلیل پایداری دینامیکی اشاره کرد.

۲-۱ تحلیل تنش استاتیکی

برای کنترل توزیع تنش بدنهٔ سد از تحلیل تنش استاتیکی به روش اجزای محدود استفاده شد. از یک مدل الاستیک غیرخطی (مدل Duncan & Chang) برای تحلیل شبیه سازی دقیق فرآیند خاکریزی استفاده شد.پارامترهای مدل رفتاری هذلولی مورد استفاده در مدل Duncan & Chang از اطلاعات آزمایشهای آزمایشگاهی به دست آمد. تحلیل با افزودن بر لایه های خاکریزی برطبق فرآیند واقعی ساختمان عملی شد.

- براساس نتایج به دست آمده از تحلیل، موارد زیر تأیید شد:
- در حد فاصل بین هسته و بخش فیلتر/ انتقالی با وارد کردن اجزایی که به محض پیدایش یک تنش برشی خاص به لغزش در می آیند، هیچ تنشی مشاهده نشد.
- تجدید نظر در طراحی بخش فیلتر در بالادست (فقط یک لایه پایین تر از تراز ۳۴۵ متر از سطح دریا)، از دیدگاه توزیع تنش، با هیچ مشکلی مواجه نیست.

۲-۲ تحلیل آب نفوذی پیوسته

تحلیل آب نفوذی پیوستهٔ سد شامل پی، با به کارگیری نظریهٔ آب نفوذی اشباع شده- اشباع نشده انجام گرفت. برای تحلیل آب نفوذی از روش اجزای محدود استفاده شد.

۲-۳ تحلیل پایداری شیب

تحلیل پایداری شیب با هدف کنترل پایداری شیب های سد اصلی و فرازبند ادغامی با استفاده از روش دایره ای Bishop ، روش غیردایره ای Jonbu و روش شیب نامحدود انجام شد.

جدول (۱): شرایط و معیارهای بارگذاری تحلیلهای پایداری سد

شرایط بارگذاری	ضریب ایمنی مورد نیاز
مرحلهٔ پایان ساختمان با بارگذاری لرزه ای (۰،۱۵g)	Fs = ۱،۱۵
افت ناگهانی سطح آب مخزن از سطح حداکثر	Fs = ۱،۵۰
آب نفوذی پیوسته با حداکثر ذخیرهٔ آب در مخزن و بارگذاری لرزه ای (۰،۱۵g)	Fs = ۱،۱۵

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

جدول (۲): شرایط و معیارهای بارگذاری تحلیلهای پایداری کافردم

از طرف شرایط بارگذاری	ضریب ایمنی مورد نیاز
مرحلهٔ پایان ساختمان	۱/۱
مرحلهٔ پایان ساختمان با بارگذاری لرزه ای (۰،۰۵g)	۱/۰

همان طوری که بیان گردید،تحلیل پایداری شیب با استفاده از سه روش یعنی روش دایره ای Bishop ،روش غیر دایره ای Janbu و روش شیب نامحدود انجام شد. روش دایره وار Bishop معمولاً نیازمند انجام چندین محاسبه برای تعداد زیادی سطوح دایره وار به منظور تعیین ضریب ایمنی حداقل برای شیب هر سد است. ضریب ایمنی یک قوس دایره وار با استفاده از روش دایره وار اصلاح شدهٔ Bishop انجام شد. این روش، امروزه کاربردی گسترده در سراسر جهان یافته است. از روش غیردایره ای Janbu برای تحلیل سطوح لغزش غیر دایره ای عبور کننده از بخش های ضعیف استفاده شد. از روش شیب نامحدود(Infinite) برای محاسبهٔ ضریب ایمنی لایهٔ سطح شیب سد یعنی بخش پوسته استفاده شد.

۲-۴ تحلیل پایداری دینامیکی

سد مسجد سلیمان در بخش شمالی منطقهٔ زمین ساخت زاگرس در ایران واقع شده است و بخشی از حد مرزی بین صفحات تکتونیکی عربستان و یورآسیا به شمار می رود و یکی از نقاط بسیارلرزه خیز در جهان است. بنابراین ارزیابی ایمنی برای پایداری سد در جریان یک زمین لرزه با هدف تأیید طراحی در یک منطقهٔ بسیار لرزه خیز ضروری بوده است.

اهداف اصلی تحلیل پایداری دینامیکی سد مسجد سلیمان به شرح زیر است:

- ارزیابی ایمنی سد در برابر حداکثر زمین لرزهٔ قابل قبول (M.C.E) با ترکیب تحلیل‌های تنش استاتیکی اولیه به روش اجزای محدود، روش تحلیل اجزای محدود دینامیکی و روش مبتنی بر شبکه.
- کنترل ایمنی سد در جریان زمین لرزه براساس تحلیل شبه استاتیکی اصلاح شد

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر
۷۷۸۶-۲۹۸۰ ISSN

Material		Density		Strength Parameter		Modulus of Elasticity (kgf/cm^2)	Poisson Ratio	Coefficient of Permeability	Remarks
		Wet (t/m^3)	Saturated (t/m^3)	C (kgf/cm^2)	ϕ (degree)				
Core		2.16	2.20	0.4	19		0.34	1×10^{-8}	Total Stress
				0	30				Effective Stress
2A&B		2.00	2.25	0	40		0.36	1×10^{-5}	Drained Strength
2C		2.20	2.35	0	45		0.36		
3A&C		2.20	2.35	0	45		0.40		
3B		2.20	2.35	0	37		0.38		
Claystone/ Siltstone	B*	2.40		15	35	15,000	0.3	1×10^{-6}	
	C*	2.40		5	25	8,000	0.3	2×10^{-6}	
Sandstone/ Conglomerate	B*	2.50		35	50	40,000	0.3	4×10^{-6}	
	C*	2.50		15	40	8,000	0.3	1×10^{-5}	
Curtain Grout		2.20		0	30			5×10^{-7}	

جدول (۳): پارامترهای مصالح برای تحلیل تنش اولیه

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر
۲۹۸۰-۷۷۸۶ ISSN

Material		Density (t/m^3)	Poisson Ratio ν	Shearing Elastic Modulus G_0				Damping Ratio H (%)
				Depth (thickness of each FEM Mesh)				
				~15m	15m~30m	30m~70m	70m~	
Core		2.20	0.45	20,200	45,500	80,800	103,800	5
2A,2B,&2C	Saturated	2.35	0.4	23,000	50,740	70,000	80,700	5
	Unsaturated	2.20	0.4	23,000	50,740	108,000	146,000	5
3A&3C	Saturated	2.35	0.4	23,000	50,740	70,000	80,700	5
	Unsaturated	2.20	0.4	23,000	50,740	108,000	-	5
3B	Unsaturated	2.20	0.4	23,000	50,740	108,000	146,700	5
Claystone/ Siltstone	B*	2.40	0.3	157,000				3
	C*	2.40	0.3	446,300				3
Sandstone/ Conglomerate	B*	2.50	0.3	163,300				3
	C*	2.50	0.3	873,100				3
Curtain Grout		2.30	0.45	32,000				3

جدول(۴): پارامترهای مصالح برای تحلیل واکنش دینامیکی

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

پارامترهای ورودی مورد استفاده در تحلیل استاتیکی به روش اجزای محدود در جدول های (۵) و (۶) ارائه شده اند. جدول(۵) چگالی، پارامترهای مقاومت، مدول الاستیسیته و ضریب نفوذ پذیری مصالح بدنه سد را نشان می دهد. در حالی که جدول (۶) ضمن ارائه پارامترهای ورودی در تحلیلهای واکنش دینامیکی؛ پارامترهای میرائی و ضرایب تغییرشکلی مصالح را نیز جمع بندی نموده است.

جدول (۵): حداقل ضریب ایمنی، زمان وقوع آن و حداکثر جابجایی لغزشی

Supposed sliding line	Minimum safety factor	Maximum Sliding Displacement	
		Horizontal direction (mm)	Vertical direction (mm)
1	1.30	-	-
2	1.87	-	-
3	1.20	-	-
4	1.62	-	-
5	0.89	14.36	5.62
6	1.64	-	-
7	1.43	-	-
8	1.04	-	-
9	1.09	-	-
10	2.25	-	-
11	0.80	66.4	33.72
12	1.30	-	-

جدول (۶): حداکثر شتاب واکنش در تاج سد و زمان وقوع آن

	Maximum response acceleration (gal)	Maximum response acceleration occurrence time (sec)
Downstream side (+ direction)	558	33.24
Upstream side (- direction)	680	32.76

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

از نتایج فوق چنین استنباط شد که جابجایی لغزشی سد در محدودهٔ قابل قبول است، که آن نیز معمولاً براساس قضاوت مهندسی تعیین می شود و شیب های سد در زمان وقوع زمین لرزهٔ فوق العاده شدید پایدار خواهند بود.

۲-۵ ابزارهای دقیق (سیستم ابزاربندی سد)

مطابق برنامه ریزی انجام شده، انواع ابزارهای دقیق در بدنه و پی سد به منظور نظارت بر رفتار سد/ پی در جریان کارهای ساختمانی، در جریان آبگیری و پس از آبگیری و به هنگام رویدادهای زمین لرزه نصب شدند. نوع، موقعیت و تعداد ابزارهای دقیق نصب شده، در جلسات متعددی که با حضور مشاور و کارفرما تشکیل می شد تعیین گردیده اند. تعداد و انواع ابزارهای دقیق نصب شده، در جدول (۷) از نظر می‌گذرد.

جدول (۷): ابزارهای دقیق سد

Instrument	Quantity
Pore Pressure Meter (Foundation Type)	19
Pore Pressure Meter (Embankment Type)	35
Standpipe Piezometer with Manometer Head	18
Casagrande Piezometer	3
Ground Water Observation Hole	15
Earth Pressure Gauge	48
Hydrostatic Settlement Gauge	13
Settlement and Horizontal Displacement (Inclinometer) Measurement Device	94
Accelerometer Earthquake	6

۲-۵-۱ فشار سنج آب منفذی (مخصوص پی)

مطابق طراحی انجام شده، فشار سنج های آب منفذی مخصوص پی و برای اندازه گیری فشار آب منفذی در دوره ساخت، به هنگام آبگیری مخزن و پس از آن در پی سد نصب شدند. فشار سنج های آب منفذی مورد استفاده از نوع مجهز به تار مرتعش و مناسب استفاده در شرایط سخت هستند. جمعاً ۱۹ فشار سنج در پی سد نصب شد.

۲-۵-۲ فشار سنج آب منفذی (مخصوص خاکریزی)

مطابق طراحی انجام شده، فشار سنج های آب منفذی مخصوص خاکریزی سد و برای اندازه گیری فشار آب منفذی در دوره های ساخت، آبگیری مخزن و بهره برداری سد؛ در بدنهٔ خاکریز سد نصب شدند. فشار سنج های آب منفذی مورد استفاده از نوع مجهز به تار مرتعش و مناسب استفاده در شرایط سخت هستند. جمعاً ۳۵ فشارسنج آب منفذی در خاکریز سد نصب شد.

۲-۵-۳ فشار سنج های نوع ایستاده با بار مانومتری

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

مطابق برنامه، فشار سنج‌های نوع ایستاده با بار مانومتری (پیزومتر قائم) می‌بایست برای بررسی تأثیر پردهٔ تزریق و نظارت بر آب منفذی در تکیه گاه‌های سد در حین آبگیری مخزن و پس از آن نصب می‌شدند. این ابزار به طور کامل در حین اجرا نصب گردیده اند.

فشار پیزومتری آب زیرزمینی با استفاده از مانومتر نصب شده در بالای پیزومتر یعنی جایی که سطح آب زیرزمینی از نوک پیزومتر بالاتر قرار دارد اندازه گیری می شود. تعداد ابزارهای نصب شده از این نوع ۱۸ واحد است.

۲-۵-۴ پیزومترهای کاساگرانده

پیزومترهای کاساگرانده با بار مانومتری برای بررسی صحت عملکرد پردهٔ تزریق و کنترل بر آب منفذی در تکیه گاه های سد در حین آبگیری مخزن و پس از آن نصب شده اند.فشار پیزومتری آب زیرزمینی با استفاده از مانومتر نصب شده در بالای پیزومتر یعنی جایی که سطح آب زیرزمینی از نوک پیزومتر بالاتر قرار دارد اندازه گیری می شود. تعداد ابزارهای نصب شده از این نوع ۳ واحد است.

۲-۵-۵ چاه مشاهده ای آب زیرزمینی

چاه های مشاهده ای آب زیرزمینی، مطابق برنامه، می بایست برای بررسی میزان عملکرد پردهٔ تزریق و نظارت بر میزان آب نفوذی در تکیه گاه های سد در حین آبگیری مخزن و پس از آن نصب می شدند. این پیزومترها لوله هایی ایستاده از نوع پلاستیکی با فیلتر نصب شده در داخل چال ها هستند. سطح آب زیرزمینی با استفاده از یک میله الکتریکی معلق در داخل پیزومتر اندازه گیری می شود. تعداد ابزارهای نصب شده از این نوع ۱۵ واحد است.

۲-۵-۶ فشار سنج خاک

فشار سنج های خاک از نوع مخصوص خاکریز برای ثبت وضعیت تنش (تنش های اصلی و امتداد سطوح تنش اصلی) در خاکریزی سد نصب می شدند. یک سلول برای فشار عمودی خاک و دو سلول برای اندازه گیری تنش کل خاک در شیبهای با زاویهٔ ۴۵ درجه در هر دو طرف هر موقعیت طراحی شده نصب شده اند.

فشار سنج های خاکی مورد استفاده، از نوع سلول هیدرولیکی متصل به یک دستگاه اندازه گیری مجهز به تار مرتعش و مناسب برای استفاده در شرایط سخت است. تعداد ابزارهای نصب شده از این نوع ۴۸ واحد است.

۲-۵-۷ دستگاه اندازه گیری نشست هیدرولیکی

دستگاه های اندازه گیری نشست هیدرولیکی برای اندازه گیری نشست خاکریزی سد در حین ساخت و در دورهٔ آبگیری مخزن و پس از آن نصب می شوند. دستگاه های اندازه گیری نشست هیدرولیکی، از نوع تک نقطه ای هستند و مقادیر آنها بر پایه مشاهدهٔ سطوح آب در لولهٔ ایستادهٔ نصب شده در سازهٔ پایانی (تابلو قرائت) تعیین می شود و خود دستگاه نیز از طریق لوله کشی به آب برگردان های سرریز در داخل واحد اندازه گیری وصل می شوند. تعداد ابزارهای نصب شده از این نوع ۱۳ واحد است.

۲-۵-۸ دستگاه اندازه گیری نشست و جابجایی افقی (انحراف سنج)

دستگاه های اندازه گیری توام نشست و جابجایی افقی، برای اندازه گیری نشست و انحراف جانبی در نقاط پیوسته در راستای ارتفاع هر موقعیت اندازه گیری برای بررسی رفتار سد نصب شدند. این ابزار، اساساً از یک لولهٔ پلاستیکی محکم و عمودی تشکیل شده اند که در برخی ترازها، صفحات فلزی محیطی (صفحات نشست سنجی) در اطراف لوله نصب شده اند. یک میله رادیویی(پراب قرائت گر)، وقتی به درون لوله فرستاده شود، موقعیت دقیق (تغییرات میدان الکترومغناطیسی) مرتبط با یک نشانهٔ مرجع واقع در بالای لوله را تشخیص می‌دهد و بدین ترتیب جابجایی صفحهٔ فلزی (نشست) را به نسبت اندازه‌گیری صفر میسر

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

می‌سازد. همچنین این قرائت گر مقدار انحراف موجود در لوله ابزار را قرائت و بعنوان جابجائی ایجاد شده در توده خاک اطراف ابزار معرفی می نماید. تعداد ابزارهای نصب شده از این نوع (صفحات نشست سنجی) ۹۴ واحد است.

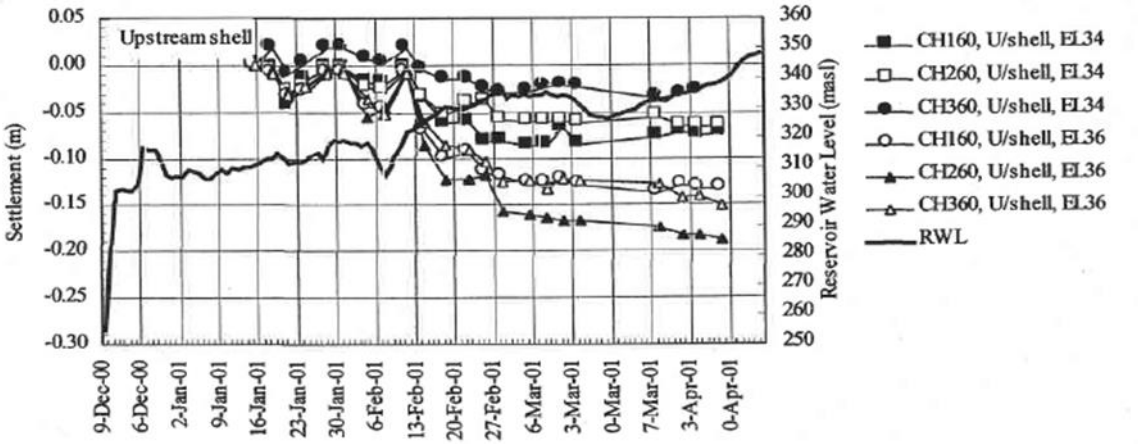
۹-۵-۲ شتاب سنج زمین لرزه (شتابنگار)

شتاب سنج های زمین لرزه، برای کنترل موج زمین لرزه در حین وقوع زلزله در محل تاج سد و پی و خاکریزی سد نصب شدند. این ابزار وظیفه ثبت مقادیر شتاب بزرگنمائی شده در داخل بدنه سد و تکیه گاهها را بر عهده دارد. تعداد ابزارهای نصب شده از این نوع ۶ واحد است.

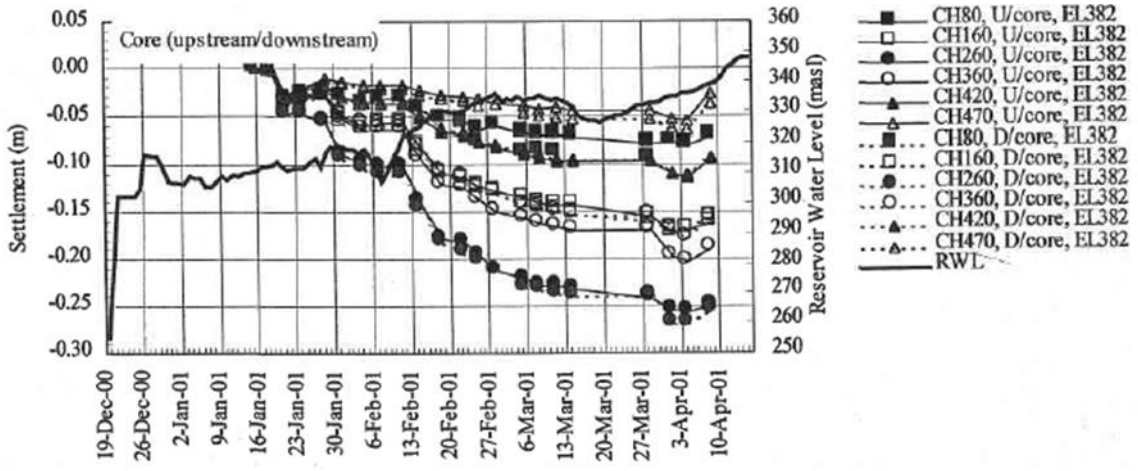
۳- تجزیه و تحلیل داده ها

۳-۱ تغییر شکل پس از ساخت

تغییرات کرنش قائم که از داده های اندازه گیری شده نشست در لوله های انحراف سنج واقع در هسته بدست آمده است، نسبت به تراز آب در مخزن پس از آبگیری، در اشکال (۱) نشان داده شده است. این گرافها نشان می دهند که نشست داخلی رس پس از فوریه ۲۰۰۱ کاملاً متعادل شده و افزایش قابل ملاحظه ای پس از این تاریخ نداشته است.



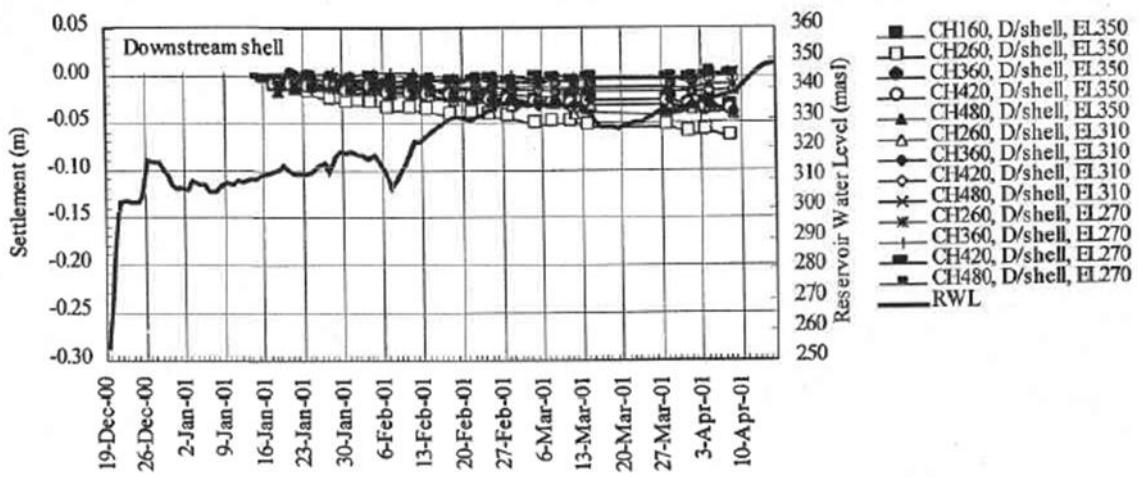
شکل (۱): تغییرات نشست سطحی پوسته بالادست بدنه سد و تراز آب مخزن



شکل (۲): تغییرات نشست سطحی هسته سد و تراز آب مخزن

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN



شکل (۳): تغییرات نشست سطحی پوسته پائین دست بدنه سد و تراز آب مخزن

۳-۲ نشست کلی درازمدت

نشست کلی درازمدت پس از ساخت در ادامه بدست می آید. تراز آب در فاصله زمانی ۲۸ فوریه تا ۲۸ مارس بالا نیامده است. در این دوره تاج۳سانتیمتر نشست نشان می دهد که مربوط به تحکیم رس می باشد، زیرا بدلیل ثابت بودن تراز آب، اثر آبگیری جدید بر نشست وجود ندارد. اگر آبگیری طی یکسال کامل گردد ، نشست تحکیمی برای ۸ ماه باقیمانده با یک تناسب ساده ۲۵ سانتیمتر خواهد بود (۲۴cm=۸×۳ cm). علاوه بر آن نشست حاصل از اثر آب نیز ۱۰ سانتیمتر خواهد شد زیرا تاکنون ۱۰٪ حجم پوسته بالا دست هنوز اشباع نشده است. بنابراین نشست تجمعی تاج پس از ساخت و آبگیری در سال اول برابر است با ۱۳۵ سانتیمتر (۷۵ سانتیمتر در اولین مرحله (در اثر آبگیری) + ۲۵ سانتیمتر تا آوریل ۲۰۰۱+ ۲۵ سانتیمتر برای نشست تحکیمی باقیمانده+۱۰ سانتیمتر برای نشست متاثر از آبگیری نهائی). تجربیات نشست در سدهای تاکنون ساخته شده نشان می دهد که حدود ۴۵٪ تا ۵۵٪ از نشست کل سد در درازمدت ، در سال اول عمر سد پس از آبگیری رخ می دهد. لذا نشست کلی درازمدت سد مسجد سلیمان براساس نتایج اندازه گیری تا آوریل ۲۰۰۱ بین ۲/۵ تا ۳/۰ متر می باشد.

۳-۳ حرکت افقی به سمت بالا و پائین دست

حرکت افقی در جهت بالا و پائین دست سد در پوسته بالا دست ، بالا و پائین دست هسته روی تاج و پوسته پائین دست به ترتیب در اشکال ۴-۱۸ و ۴-۱۹ نشان داده شده است.

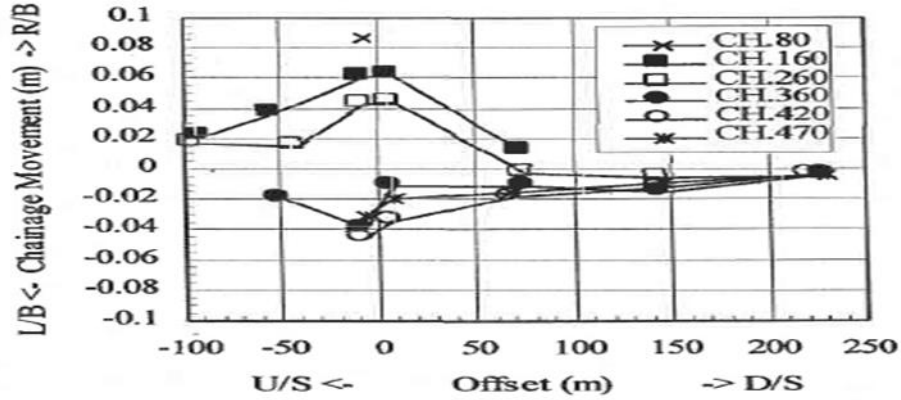
براساس تجربیات معمول مقطع میانی سد (مقطع ماکزیمم) بیشترین مقدار تغییر شکل را نشان می‌دهد. پوسته پائین دست چنین رفتاری را نشان می دهد ولی پوسته بالا دست و تاج هسته قدری غیر معمول رفتار نموده اند. سنگ چینی پوسته بالادست و نیز کارهای ساختمانی بیشترین اثرات ممکنه را بر پوسته بالادست در نزدیکی تاج داشته اند. حداکثر حرکت افقی ثبت شده در جهت بالا/پائین دست در پوسته بالادست ۴ سانتیمتر به سمت بالادست ، در هسته ۵ سانتیمتر به سمت بالا و در پوسته پائین دست ۷ سانتیمتر به سمت پائین دست بوده است.

۳-۴ حرکت های افقی در جهت محور سد

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

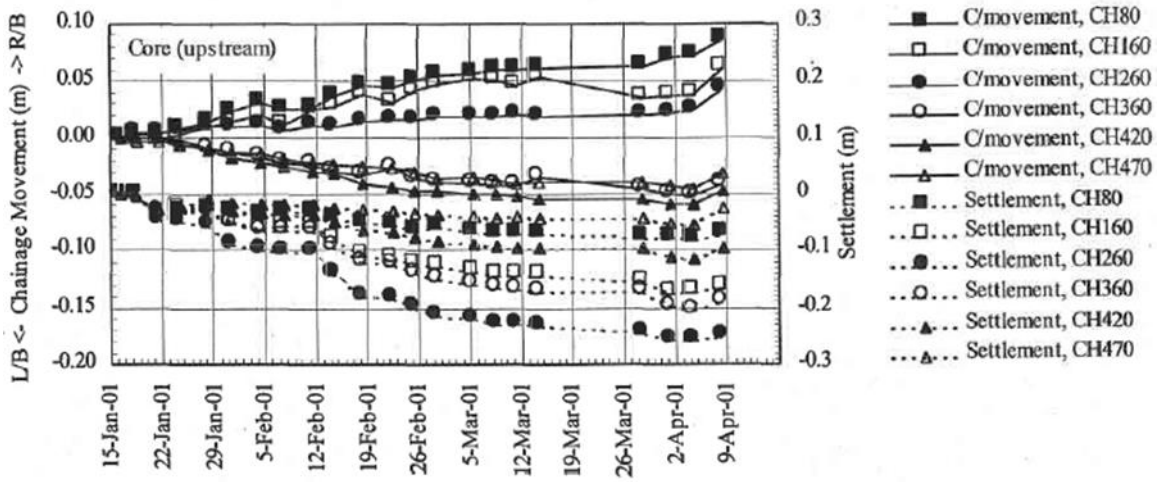
۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

کلاً می توان چنین گفت که: (I) حرکت به سمت محور رودخانه است و (II) قسمت های مرکزی سد نسبت به بالا دست و پائین دست حرکت بیشتری دارند. بیشترین حرکت تاکنون ۴ سانتیمتر در پوسته بالادست، ۹ سانتیمتر در هسته و ۲ سانتیمتر در پوسته پائین دست می باشد. به نظر می رسد حرکت چپ/ راست بدنه (شکل ۴) نیز تابع تغییرات تراز آب در مخزن می باشد، اما بهتر است این حرکات را به نشست ها مرتبط نمود.



شکل (۴): حرکت چپ/ راست در بدنه (تا ۸ آوریل ۲۰۰۱)

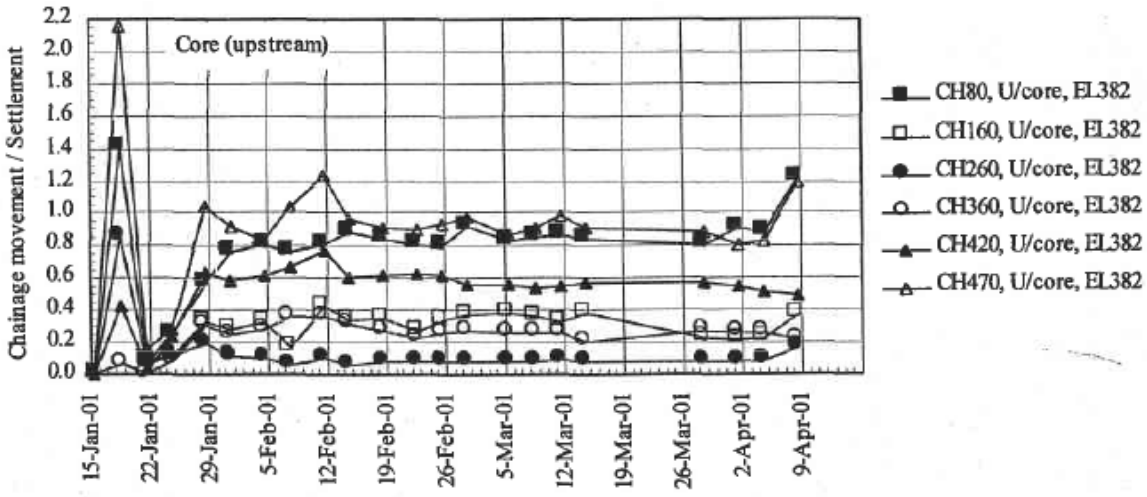
حرکت های چپ / راستی و نشست ها در نقاط نشانه روی تاج در شکل زیر با هم نشان داده شده اند. هر دو این تغییرات روند مشابهی را نشان می دهند. علاوه بر آن نسبت حرکت چپ / راست هسته به نسبت نشست در نقاط نشانه در شکلهای(۵)- (۶) نشان داده شده اند.



شکل (۵): تغییرات حرکت چپ/ راست در مقایسه با نشست در نقاط تاج

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN



شکل (۶): تغییرات حرکت چپ/ راست در مقایسه با نشست در نقاط بالادست هسته

۵-۳- فشار خاک

۱-۵-۳- فشار قائم خاک

فشار خاک در بدنه سد با فشار سنج هایی که در هسته، فیلتر و پوسته پائین دست نصب شده است، اندازه گیری می شود. فشارسنج های خاک در وجه بالادست هسته و در فیلتر بالادست از کار افتاده اند و اطلاعاتی از این قسمت در دست نیست.

نسبت تنش عبارت است از تنش قائم اندازه گیری شده در یک نقطه نسبت به وزن ستون خاک روی آن نقطه. در ابتدای شروع خاکریزی نسبت تنش در هسته و فیلتر حدود ۱/۰ بوده است، این نسبت با پیشرفت خاکریزی و افزایش ارتفاع در رس کاهش یافته در حالیکه در فیلتر افزایش یافته است. در پوسته مقادیر تا حدی نامتعارف به نظر می رسد، اما بطور میانگین در حدود ۱/۰ می باشد. توزیع نسبت تنش در بدنه سد تا ۱۵ آوریل ۲۰۰۱ می تواند به قرار شکل ۴-۲۵ خلاصه گردد.

نسبت تنش در هسته بین ۰/۵۳ تا ۰/۷۹ و کمتر از ۱/۰ است و این مقدار در فیلتر بین ۱/۲۷ تا ۱/۷۶ و بیشتر از ۱/۰ می باشد. این موضوع به دلیل پدیده قوس زدگی (Arching) بین هسته و فیلتر/پوسته رخ می دهد. چون نشست در هسته بیشتر از فیلتر می باشد ، لذا در سطح تماس فیلتر و هسته تنش اصطکاکی یا برشی بوجود آمده و در نتیجه میزان تنش قائم در هسته کاهش و در فیلتر افزایش می یابد. از طرفی نیز بدلیل وجود مقاومت کششی در هسته، هسته همانند یک دال روی فیلترهای بالا و پائین دست پل (قوس) میزند.

۲-۵-۳ فشار افقی خاک

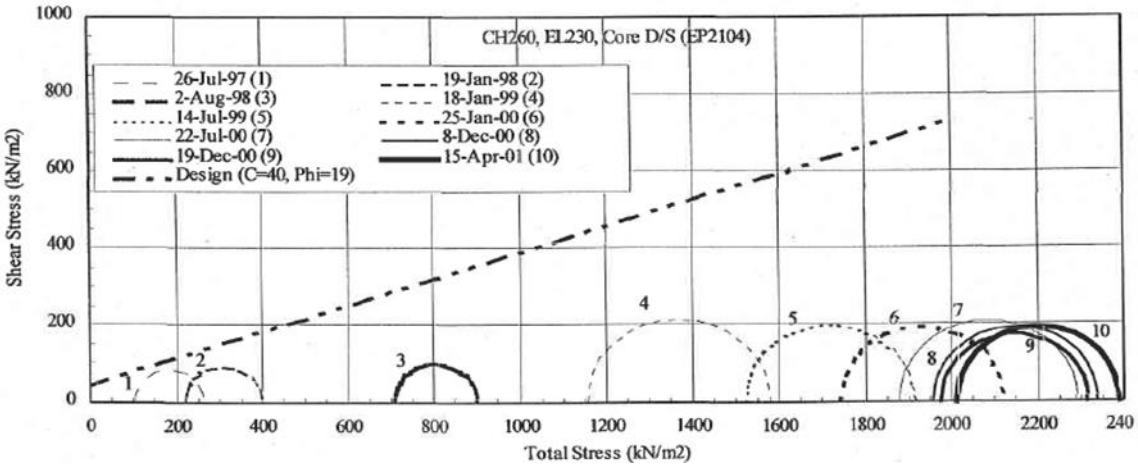
تغییرات فشار افقی خاک (Ph) در جهت بالا و پائین دست که از نتایج فشار سنج های خاک در هر نقطه بدست آمده است و نیز نسبت تنش افقی (Ph/Pv) در مقاطع ۱۶۰، ۲۶۰، ۳۶۰ و ۴۳۵ ، مورد بررسی قرار گرفته است. نسبت تنش افقی ، به جز نوساناتی در مراحل اولیه شروع خاکریزی ، به نظر متعادل و پایدار ، می رسد. یک روند آرام افزایش این نسبت در هسته و کاهش آن در فیلتر ، با پیشرفت خاکریزی مشاهده می شود ، که نشانگر انتشار قوس زدگی در هسته است. نسبت تنش افقی در هسته ، در ترازهای پائین ، نسبتاً بزرگ است ؛ در حالیکه این نسبت در فیلتر و پوسته کوچک است.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

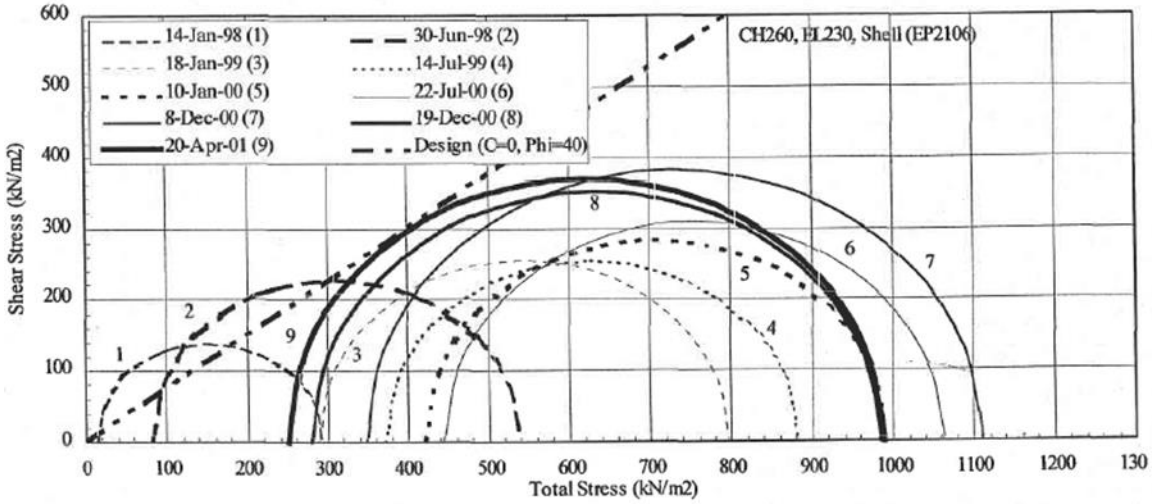
۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

۳-۵-۳ تنش های اصلی

تنش های اصلی (حداکثر σ_1 و حداقل σ_3) در هر نقطه از نتایج سه فشار سنج خاک مربوطه محاسبه شده است. اشکال (۷) الی (۹)، تغییرات دوایر تنش موهر، که براساس تنش های اصلی محاسبه شده در هسته ، فیلتر و پوسته در مقطع ۲۶۰ و تراز ۲۳۰ ترسیم شده است را نشان می دهد.



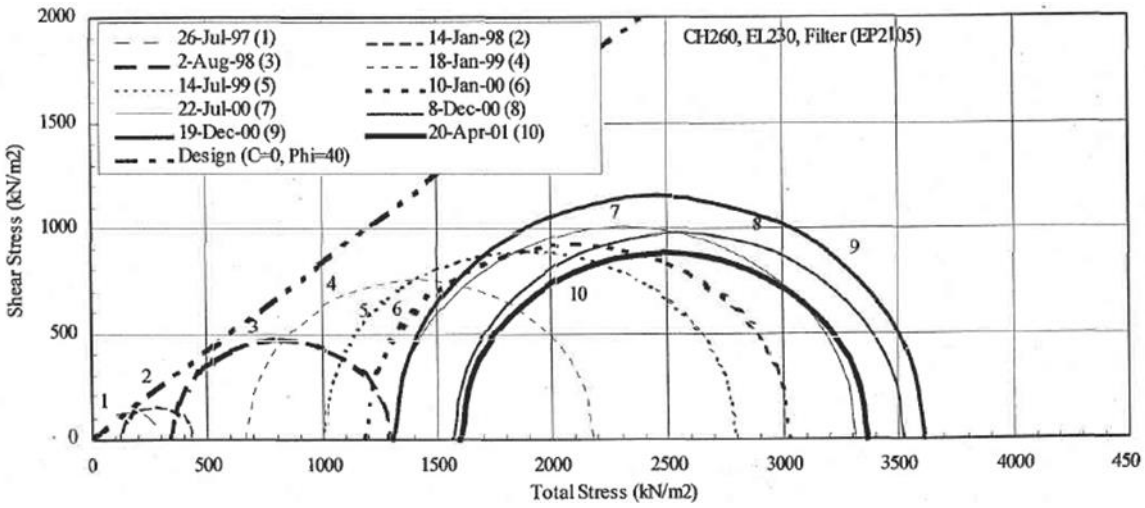
شکل (۷): تغییرات دوایر موهر در تراز ۲۳۰ و مقطع ۲۶۰ هسته سد



شکل (۸): تغییرات دوایر موهر در تراز ۲۳۰ و مقطع ۲۶۰ فیلتر سد

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN



شکل (۹): تغییرات دوایر موهر در تراز ۲۳۰ و مقطع ۲۶۰ پوسته سد

مقادیر تنش برشی که در تحلیل پایداری سد بکار گرفته شده، در اشکال فوق به عنوان خط مرجع برای بررسی تکوین تنش ها در خاکریز، نیز ارائه شده است.

از این اشکال بسیج تنشها در طول خاکریزی و نواحی مختلف سد ، بوضوح پیداست. در ناحیه هسته ، تنش برشی بدلیل قوس زدگی به زحمت افزایش می یابد. تنش برشی در پوسته بویژه در ترازهای پائین نسبتاً بزرگ است ، که نشان دهنده این تجربه عمومی در رفتار مصالح سنگریز است ، که زاویه اصطکاک داخلی (Φ) مصالح سنگی در سطوح تنش پائین تر، کمتر می باشد.

۴-۵-۳ تغییرات تنش پس از اولین مرحله آبگیری

درست قبل از آبگیری سد ، سیلی در ۹ دسامبر ۲۰۰۰ رخ داد که باعث شد تراز مخزن دفعتاً و در عرض ۸ ساعت ۲۵متر بالا بیاید(از ۲۵۵متر به ۲۸۰متر). در ابتدا مقادیر فشار افقی خاک در همه نقاط دفعتاً به مقدار قابل توجهی افت می کنند. این رفتار را می توان با مکانیزم زیر توجیه نمود :

افزایش سریع تراز آب ==› اشباع سریع پوسته بالادست==› رمبش اشباعی پوسته بالادست (اثر حالت "E_4")==› تغییر شکل دورانی به سمت بالا دست بدنه سد==› کاهش تنش محصور کننده (= فشار افقی خاک) در هسته تا رسیدن به سطح تعادل تنش جدید.

در مرحله دوم در بسیاری از نقاط هسته مقادیر فشار قائم کاهش یافته است، که احتمالاً بدلیل اعمال نیروی شناوری بر پوسته بالادست (درنتیجه اثر حالت "E_3") با بالا آمدن تراز آب در مخزن می باشد. هم فشار افقی و هم فشار قائم خاک پس از افت ناگهانی اولیه مجدداً افزایش یافته و حتی از مقدار پیش از آبگیری نیز بیشتر شده اند، که اثر فشار آب مخزن (حالت "E_1") می باشد. این رفتار تنشهای خاک بخوبی به نشستهای بزرگ ثبت شده در این دوره مربوط می شود.

۶-۳ فشار آب منفذی

۱-۶-۳- فشار آب منفذی در حین ساخت

فشار آب منفذی در هسته با ابزارهائی که در مقاطع و ترازهای مختلف در هسته توزیع شده اندازه گیری می شود. در حال حاضر کلیه فشارسنجهای آب منفذی در بالادست هسته از کار افتاده اند و اطلاعاتی از این قسمتها در دست نمی باشد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

تغییرات فشار آب منفذی به عرض هسته ، روش ساخت، درصد رطوبت و مشخصات مصالح بستگی دارد. عوامل اصلی و اثر آنها در جدول زیر (جدول ۸) خلاصه شده است.

جدول (۸): عوامل اصلی مؤثر بر فشار آب منفذی

عوامل	نشست	
	(کوچک)	(بزرگ)
عرض هسته	نازک	عریض
درصد رطوبت	سمت خشک بهینه	سمت تر بهینه
طبیعت خاک	درشت(نفوذپذیری زیاد)	ریز (نفوذپذیری کم)
سرعت خاکریزی	آرام	سریع

۴- نتیجه گیری

اساس روش رتبه بندی امتیاز دادن به اهمیت نسبی سد ، شرایط مخرب ، سیستمهای ایمنی و ابزارهای اندازه گیری است. تا اینکه با اعمال اصول روش رتبه بندی(Ranking Method) بر روی اهمیت های نسبی مشخص شده بتوان به رتبه اولویت هر گروه از ابزار دقیق دست یافت. در این روش؛ ضمن ارائه اولویت توجه به ابزار که می تواند به عنوان اولویت سرمایه گذاری یا برنامه ریزی نیز پذیرفته شود؛ اندیس شرایط کل حاکم بر سیستم ابزاربندی سد (CI) نیز قابل محاسبه است تا با تعیین یک اندیس بتوان به ارگانها و سازمانهای مدیریت نگهداری و بهره برداری، وضعیت موجود سیستم ابزاربندی سد را تعریف نمود. در این بخش یافته های حاصل از ارزیابی سیستم ابزاربندی سد مسجد سلیمان به روش رتبه بندی جمع بندی و در چارچوب مطالب فوق الذکر ارائه می گردد.

۴-۱ اهمیت سد

اهمیت سد مسجد سلیمان در روش متحد با اعمال پارامترهای موثر معادل ۰/۷۸۸ تعیین گردیده است. این اهمیت با توجه به عمر کوتاه سد نشان می دهد که توجه بیشتر به سیستم رفتارنگاری و صحت عملکرد بدنه سد ضروری می باشد. لذا توصیه می شود در سازمانهای بهره برداری استان خوزستان توجه کافی به دستورالعملهای نگهداری، بهره برداری و تعمیرات احتمالی این سد اعمال گردد. از نظر روش متحد این سد از اهمیت زیادی برخوردار است و این بدان مفهوم است که سد مسجد سلیمان هنوز نیازمند الزامات فنی و بهره برداری است.

۴-۲ شرایط مخرب سد

چهار مد گسیختگی اصلی شامل سرریز آب مخزن ، فرسایش سطحی ، جوشش و جابجایی یا ناپایداری برای سدهای خاکی-سنگریزه ای به عنوان مدهای اصلی و محتمل گسیختگی معرفی گردیده اند. با توجه به توضیحات ارائه شده؛ احتمال ناپایداری توده ای و سرریز شدن آب مخزن با عنایت به وضعیت حاکم بر پروژه مسجد سلیمان بیش از سایر مدهای گسیختگی است و عملاً احتمال فرسایش سطحی با توجه به عمر ۱۰ ساله سد و بازدیدهای محلی منتفی می باشد. این مدهای گسیختگی وابسته به شرایط مخربی هستند تا ایجاد گردند.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

یافته های حاصل نشان می دهد که کاهش تراز تاج سد با اهمیت نسبی ۰/۴ ($I(AC_3)$) محتملترین شرایط مخرب برای سد مسجد سلیمان می باشد و همچنین احتمال ناپایداری استاتیکی یا دینامیکی در بدنه سد با اهمیت نسبی ۰/۲۴ ($I(AC_7)$) در اولویت بعدی می باشد. این دو شرایط می بایست با پیش بینی های فنی لازم توسط سازمانها و شرکتهای بهره بردار سد تحت مونیتورینگ قرار گیرد. در این راستا تکمیل ابزار دقیق اندازه گیری نشست و تغییرشکلها و توجه کافی و برنامه ریزی متناوب برای انجام نقشه برداری میکروژئودزی و بازدیدهای محلی قابل پیگیری خواهد بود. البته بدیهی است تهیه و تدوین گزارشهای مربوط به اندازه گیریها و تفسیر نتایج از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۳-۴- شاخص های شرایط مخرب

پس از تعیین اهمیت شرایط مخرب سد؛ لازم است اهمیت شاخص های نمایشگر این شرایط شناسایی و اهمیت نسبی هر کدام از شاخص های نمایشگر یک شرایط مخرب به صورت نرمالیزه شده از مقدار واحد (۱/۰) مشخص و ثبت گردد.

مطابق اهمیت های نسبی محاسبه شده برای مجموعه شاخص های شرایط مخرب ($I[Ind_k]$) ؛ تغییرات هندسی بدنه سد بویژه تاج سد با اهمیت نسبی ۰/۴۷۴ به عنوان موثرترین شاخص کنترل شرایط مخرب سد معرفی شده است. در اولویت های بعدی، توجه به تراز آب داخل بدنه سد (نشت آب) و تغییرات هندسی شیب پایین دست بدنه می بایست مد نظر قرار گیرد. لذا در یک جمع بندی می توان گفت که توجه به تغییرات هندسی بدنه بویژه برم تاج سد و نشتهای احتمالی از بدنه پایین دست می بایست به عنوان شاخص های محتمل در بروز شرایط مخرب توسط کارشناسان بهره بردار مورد بررسی قرار گیرند. بدین ترتیب تکمیل ابزار لازم، پرسنل فنی مربوطه، روش های بازدید و ثبت و همچنین دستورالعمل گزارشهای مر بوطه جهت مونیتورینگ و ثبت تغییرات شاخص های یاد شده در سد مسجد سلیمان از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۴-۴- اهمیت نسبی ابزار دقیق سد

بازدیدهای محلی (چشمی) ، انحراف سنجها ، شبکه میکروژئودزی و نشست سنجهای مغناطیسی به ترتیب از اهمیت بیشتری نسبت به سایر ابزار برای سد مورد بررسی برخوردار هستند. متاسفانه ابزار دقیق منصوبه از این چهار گروه یعنی انحراف سنجها و صفحات نشست سنجی از آمار خرابی بالایی برخوردار هستند و این در حالیست که امکان ثبت داده ها در این ابزار در ثلث تحتانی بدنه سد میسر نیست (بدلیل مسدود شدن لوله های انحراف سنجی در اثر تغییرشکل زیاد). این مهم در پانلهای تخصصی-بین المللی سد نیز بر اساس قضاوتهای مهندسی طرح گردیده است که پیشتر یک انحراف سنج در بدنه مجدداً نصب گردیده است. لیکن بر اساس یافته های روش رتبه بندی؛ توجه ویژه به این ابزار به مفهوم جایگذاری انحراف سنجهای خارج شده از مدار رفتارنگاری است. البته حفاری مجدد در سنگریز بسیار سخت است. لذا توصیه می شود حداقل ۴ انحراف سنج در چارچوب دو مقطع عرضی بدنه سد (CH. ۳٦۰, ۲٦۰) نصب گردند تا اطلاعات قابل تفسیر باشند. عملاً یک انحراف سنج نصب شده با توصیه های فنی نمی تواند اطلاعات کافی در راستای رفتارسنجی سد را مشخص نماید.

همانطور که بیان شد؛ به همراه توجه به ابزار دقیق یاد شده؛ از آنجایی که سازماندهی نقشه برداری میکروژئودزی و بازدیدهای محلی بر پایه روش رتبه بندی ضروری است. لذا توصیه می شود ضمن توسعه شبکه میکروژئودزی جهت افزایش دقت شبکه ؛ توالی قرائت و تفسیر نتایج به بازه های ۴ الی ۶ ماهه کاهش یابد. البته قرائت این شبکه بلافاصله پس از شرایط خاص نظیر تخلیه سریع، افزایش سریع آب مخزن و رخداد زمین لرزه توصیه می شود. ارائه نتایج حاصل از شبکه و تفسیر آنها لازم است تا در گزارشهای دوره ای رفتارنگاری سد درج گردد. متاسفانه تاکنون نتایج داده های این شبکه بطور جداگانه گزارش شده اند و توسط مهندسین طراح سد در قالب رفتارنگاری سد به همراه داده های سایر ابزار دقیق مورد تحلیل قرار نگرفته اند؛ انجام این

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

مهم پیشنهاد می شود. مشابه این وضعیت برای بازدیدهای محلی نیز حاکم است که با توجه به اهمیت بالای این روش مشاهده ای برای سد مسجد سلیمان؛ سازماندهی و اجرای آن بر پایه دستورالعمل های مدیریت و بهره برداری سدها (مصوبه وزارت نیرو) بسیار ضروری خواهد بود. متاسفانه انجام این بازدیدها در حال حاضر به صورت پراکنده و عموماً بدون برداشت های فنی صورت می پذیرد و گزارشهای تهیه شده از آنها در دسترس نمی باشد.

۵-۴- اولویت بندی سیستم های رفتارنگاری سد

نتیجه اصلی روش رتبه بندی ؛ اولویت بندی سیستم های رفتارنگاری سد بر مبنای اهمیت آنها برای سد مورد بررسی است. رتبه اولویت نسبی هر گروه از ابزار دقیق سد در ستون PR این جدول معرفی شده است. این رتبه ها می توانند به صورت نسبی جهت تعیین تفاوت اولویت گروههای ابزار دقیق برای مدیران و کارشناسان محترم بهره برداری سد بکار روند. به عنوان مثال؛ رتبه انحراف سنجهای پروژه سه برابر شبکه میکروژئودزی سد می باشد. با این توضیح توجه ویژه به سیستم انحراف سنجی و نشست سنجی پروژه از بالاترین اولویت برخوردار هستند. که دلیل آن نیاز به ثبت داده های تغییرشکلی در اعماق بدنه سد می باشد. به همراه این مهم ساماندهی بازدیدهای محلی ضرورت می یابد که پیشتر تشریح گردید.

در روش رتبه بندی ؛ اندیس شرایط کل سیستم های رفتارنگاری سد نیز قابل محاسبه می باشد. این اندیس بر اساس فرمول ذیل محاسبه و معادل ۵۱/۳ تعیین شده است.

$$CI_{MS} = \sum_{i=1}^{N_{MD}=13} I_{MDi}.CI_{MDi}$$

این اندیس به صورت کلی وضعیت مطلوب/نامطلوب عملکرد مجموعه سیستم ابزاربندی سد را با توجه به اهداف از پیش تعریف شده برای آنها در قالب یک عدد بدست می دهد. به عبارتی این اندیس نمادی برای نرخ ترکیبی تخریب/بهبود ابزار رفتارنگاری گزارش می شود. مطابق تقسیم بندی روش رتبه بندی ؛ سد مسجد سلیمان از نظر اندیس شرایط رفتارنگاری (معادل ۵۱/۳) در رده متوسط قرار می گیرد. لذا توصیه می شود در راستای رفع مشکلات حاکم بر سیستم ابزاربندی سد مسجد سلیمان اقدامات مناسب انجام پذیرد. اهم این اقدامات بر اساس یافته های این تحقیق به قرار ذیل است:

- جانمایی ابزار دقیق خارج شده از مدار بویژه انحراف سنجها و صفحات مغناطیسی
- بهره گیری از ابزار اندازه گیری جدید جهت تعیین تغییرشکلهای عمقی
- مونیتورینگ شرایط هندسی تاج سد و شیب پایین دست به طور مستمر و ثبت تغییرات ایجاد شده
- جانمایی ابزار دقیق مناسب نظیر کشیدگی سنجها در جناحین سد بویژه در شیب های محتمل ناپایداری جهت کنترل لغزش (که می تواند منجر به سرریز شدن مخزن گردد)
- تهیه گزارشهای رفتارنگاری سد که البته بخش اصلی آن در این تحقیق ارائه گردید و تحلیل پایداری سد در شرایط استاتیکی و دینامیکی بر اساس مدلهای رفتاری تعیین شده از ارزیابی های رفتارنگاری
- سازماندهی شبکه میکروژئودزی در راستای یافته های تحقیق حاضر (اهمیت توجه بیشتر به تغییرات هندسی تاج، شیب پایاب و پنجه سد) و ثبت و گزارش دهی منظم آنها در چارچوب گزارشهای رفتارنگاری
- تدوین دستورالعمل بازدید محلی برای پروژه و اجرای آن در تناوب دو هفتگی تا تثبیت تغییرشکلهای بدنه سد
- نصب درزسنج در حد فاصل بدنه و سازه سرریز بویژه در مجاورت تاج سد توصیه می گردد،
- در بخشی از تاج سد در مجاورت تکیه گاهها نصب ابزار اندازه گیری تغییرشکلهای سطحی تاج سد قابل توصیه است.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

منابع و مآخذ

[۱] U.S. Army Corps of Engineers, “Condition rating procedure for earth and rockfill dams”, Technical Report, REMR-OM-۲۵ (۱۹۹۹).

[۲] باقرزاده خلخالی، احد (۱۳۸۵)؛ “ ابزاردقیق متداول در سدهای خاکی - سنگریزه ای ” ؛ انتشارات شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)؛ ۶۱ صفحه، ISBN ۹۶۴-۰۶-۸۴۷۷-۵.

[۳] باقرزاده خلخالی، احد و کاربر، لیلا (۱۳۸۶)؛ “ روش متحد ارزیابی عملکرد فنی سیستم های کنترل ایمنی و رفتارنگاری سدهای خاکی - سنگریزه ای ” ؛ انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ ایران (IRCOLD)؛ نشریه شماره ۷۷، ۱۰۷ صفحه، شابک: ۹-۲۹-۸۴۶۰-۹۶۴.

[٤] گزارشهای طراحی، زمین شناسی، ژئوتکنیک و گزارشهای دوره ای داده های ابزاردقیق سد مسجد سلیمان؛ شرکت مشانیر.

[٥] Bagherzadeh-Khalkhali, A. and Mirghasemi, A.A. (۲۰۰۵), “Evaluation of monitoring systems for five embankment dams in Iran”; ۷۳rd Annual Meeting of ICOLD, Tehran, IRAN; Paper No.:۱۱۰-S٦.

[٦] Bagherzadeh_khalkhali, A. & Jafarzadeh, F. and Aryanfar, S. (۲۰۰٤); “A case study of a rockfill dam for stress-strain analysis (Upper Gotvand Dam, IRAN)”; Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, April ۱۳-۱۷; Newyork, USA.

[۷] Andersen, G.R., L.E. Chouinard, C.Y. Bouvier, and W.E. Back, (۱۹۹۷), “Ranking Procedure onMaintenance Tasks for Monitoring Embankment Dams,” ASCE Journal ofGeotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol ۱۲۵, No. ٤, pp ۲٤۷-۲٥۹.

[۸] Andersen, G.R., L.E. Chouinard, D. Bennett, and S. Bernick, (۱۹۹٥), “Report on Development of a Condition Indexing System for Embankment Dams: Feasibility Study” (Tulane University Department of Civil and Environmental Engineering, New Orleans, LA.

[۹] Bullock, R. (۱۹۸۹), A Rating System for the Concrete in Navigation Lock Monoliths, Technical Report REMR-OM-٤/ADA۲۰۸۳۰٤ (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

[۱۰] Bullock, R. and S. Foltz, (۱۹۹٥), Condition Rating Procedures for Concrete in Gravity Dams, Retaining Walls, and Spillways, Technical Report REMR-OM-۱٦/ADA۳۰۳۳۰٥ (U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories [USACERL], Champaign, IL.

[۱۱] Dunnicliff, J., (۱۹۸۸), Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance (John Wiley and Sons, New York.

[۱۲] Federal Emergency Management Agency (FEMA), (۱۹۷۹), “Federal Guidelines for Dam Safety,” Report No. ۳۳۳.

[۱۳] Griemann, L., J. Stecker, and J. Veenstra, (۱۹۹٤), Condition Rating Procedures for Tainter and Butterfly Valves, Technical Report REMR-OM-۱٤.

[۱٤] Griemann, L., J. Stecker, and K. Rens, (۱۹۹۰), Management System for Miter Lock Gates, Technical Report REMR-OM-۸.

[۱٥] Griemann, L., J. Stecker, and K. Rens, (۱۹۹۳), Condition Rating Procedures for Sector Gates, Technical Report REMR-OM-۱۳.

[۱٦] Griemann, L., J. Stecker, and M. Nop, (۱۹۹٥), Condition Rating Procedures for Tainter Dam and Lock Gates, Technical Report REMR-OM-۱۷.

[۱۷] Griemann, L., J. Stecker, T. Kraal, and S. Foltz, (۱۹۹۷), Condition Rating Procedures for Roller Dam Gates, Technical Report REMR-OM-۱۸.

[۱۸] Headquarters, (۱۹۹۷), U.S. Army Corps of Engineers (HQUSACE), Engineer Regulation (ER) ۱۱۱۰-۲-۱۱٥٥, □□□ □□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□□□.

[۱۹] ICOLD, (۱۹۸۳), “Deterioration of Dams and Reservoirs”, International Commission on Large Dams, Paris, France.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ISSN

[۲۰] McCann, M.W., J.B. Franzini, E. Kavazanjian, Jr., H.C. Shah, (۱۹۸۵), Preliminary Safety Evaluation of Existing Dams, Volume II - User Manual, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. ۷۰, under FEMA contract EMWC-۰٤٥٨