

# بررسی عددی پدیده قوس زدگی در هسته سد خاکی غیر همگن بافت واقع در استان کرمان

عادل عساکره<sup>۱\*</sup>، مسعود آهنگ<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه هرمزگان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه هرمزگان، دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران

asakereh@hormozgan.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۲/۱۸]

تاریخ دریافت: [۹۵/۵/۲۱]

## چکیده

امروزه سدهای بزرگ اعم از خاکی یا بتنی از مهم‌ترین سازه‌های آبی به شمار می‌روند که در تأمین آب مورد نیاز جوامع انسانی نقش اساسی را ایفا می‌کنند. پایداری سدها در دهه‌های اخیر مورد توجه خاص طراحان سدهای خاکی بوده است. پدیده قوس زدگی<sup>۱</sup> خاک در سدهای خاکی غیر همگن پدیده‌ای است که تنش‌ها را از خاک نرم هسته به خاک سخت پوسته به علت اختلاف جابه‌جایی بین مواد هسته و پوسته منتقل می‌کند. در این ساختار، انتقال تنش بیش‌ازحد به علت پدیده قوس زدگی خاک منجر به وقوع شکست هیدرولیکی در خاک‌های با نفوذپذیری کم هسته خواهد شد که می‌تواند عامل مشکلات داخلی مهم تراوش و نشست باشد. نصب ابزار دقیق و رفتار نگاری آن‌ها در دوران ساخت و بهره‌برداری اولیه کمک شایانی به ارزیابی پارامترهای مهم می‌کند. در این پژوهش با مدل‌سازی سد خاکی بافت در نرم‌افزار المان محدود PLAXIS و مقایسه نتایج با نتایج ابزار دقیق درستی مدل‌سازی تأیید شده و سپس به بررسی پدیده قوس زدگی در سد موردنظر پرداخته شده است. پارامترهای بررسی شده عبارت‌اند از عرض هسته (شیب جدار هسته)، ضخامت لایه فیلتر بالادست و تراکم‌پذیری پی؛ که در بین این پارامترها مؤثرترین پارامتر برای کاهش نسبت قوس زدگی شیب جدار هسته است که با مسطح‌تر شدن جدار هسته (از 1V:0.25H به 1V:0.5H) نسبت قوس زدگی به میزان ۴۱ درصد در عمق ۴۰ متری از تاج کاهش می‌یابد. سپس ضخامت لایه فیلتر است که با افزایش ۶ برابری ضخامت آن نسبت قوس زدگی ۳۱ درصد کاهش می‌یابد. چرا که با افزایش ۳ برابری در مدول الاستیسیته پی نسبت قوس زدگی ۱۴ درصد افزایش داشته که با توجه به بازه تغییر مدول الاستیسیته بسیار کم اهمیت است.

**واژگان کلیدی:** پدیده قوس زدگی، سد خاکی غیر همگن، ابزار دقیق، PLAXIS

## ۱- مقدمه

منتقل می‌کند. در این ساختار، انتقال تنش بیش‌ازحد به علت پدیده قوس زدگی خاک منجر به وقوع شکست هیدرولیکی در

پدیده قوس زدگی خاک در سدهای خاکی غیر همگن پدیده‌ای است که تنش‌ها را از خاک نرم هسته به خاک سخت پوسته به علت اختلاف جابه‌جایی بین مواد هسته و پوسته

سدهای خاکی هستند.

در سدهای خاکی غیر همگن، شکست هسته می‌تواند با شکست هیدرولیکی شروع شود، زمانی رخ می‌دهد که تنش ناشی از فشار آب حفره‌ای از کمینه تنش کل در یک نقطه در طول شیب بالادست هسته رسی تجاوز کند. هنگامی که، شکست هیدرولیکی ترک‌هایی که می‌تواند در سراسر هسته رسی منتشر شوند را تولید می‌کند که عامل مشکلات داخلی تنش و تراوش هستند [8]. ساده‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای جلوگیری از وقوع شکست هیدرولیکی این است که تنش‌های کل در طول کناره بالادست هسته رسی همیشه بزرگ‌تر از فشار حفره‌ای ناشی از تراوش باشد [9].

برای جلوگیری از وقوع شکست هیدرولیکی، بهتر است تا انتقال تنش را که از هسته رسی به پوسته بالادست به علت اثر پدیده قوس زدگی خاک در انتهای ساخت رخ می‌دهد را کاهش دهیم، همچنین این نوع انتقال تنش، تنش کل را که برای مقاومت در برابر شکست هسته رسی پس از اولین آبیگری به وجود می‌آید را کاهش می‌دهد [1].

نصب ابزار دقیق و رفتار نگاری آن‌ها در دوران ساخت و بهره‌برداری اولیه کمک شایانی به ارزیابی این پارامترها می‌کند اهمیت ویژه ابزار دقیق در سدها به نقش آن‌ها در کنترل پایداری کوتاه و درازمدت سدها برمی‌گردد. آمار ناپایداری سدها نشان می‌دهد که بیشترین تعداد خرابی، به ترتیب مربوط به سدهای خاکی، وزنی، سنگریزه‌ای، چند قوسی و قوسی بوده است [10]. مطالعات بسیاری در زمینه رفتار نگاری سدها صورت گرفته است. نیرومند و همکاران [11] پس از بررسی‌های انجام‌شده روی نتایج رفتارنگاری سد خاکی کرخه در دوران ساخت، اولین آبیگری و بهره‌برداری این نتیجه را گرفتند که تنش‌های وارد شده به سد با مقادیر پیش‌بینی شده در طراحی اولیه سد هماهنگ بوده است و سد دارای پایداری هیدرولیکی هست.

خادم قائینی و همکاران [12] به رفتارنگاری تنش‌های ایجادشده در بدنه سد تبارک در دوران اولین آبیگری پرداختند نتایج نشان داد که روش عددی استفاده شده و داده‌های ابزار دقیق دارای هماهنگی خوبی است. شریفی و همکاران [13] به

خاک‌های با نفوذپذیری کم هسته خواهد شد که می‌تواند عامل مشکلات داخلی مهم تراوش و نشست باشد [1]. به عبارت دیگر، نشست‌های هسته در مقایسه با پوسته بیشتر است، بیشترین مقاومت برشی در سطح اشتراک آن‌ها گسترش می‌یابد. در نهایت، درحالی‌که بخش‌های حاشیه‌ای هسته توسط تنش برشی پایدار شده، جدا از بخش فوقانی کمی پایین‌تر ممکن است اتفاق بیفتد. شکل (1) گسستگی در هسته ناشی از پدیده قوس زدگی را در یک مقطع عرضی به خصوص از سد خاکی نشان می‌دهد [2]. موضوع ذکرشده می‌تواند باعث شکست هیدرولیکی و به دنبال آن رگ - آب<sup>1</sup> در هسته سد شود [3]. بنابراین، برخی متخصصان استدلال می‌کنند که استفاده از مواد بسیار نرم در هسته سد که تنش برشی کافی ندارند تا از مواد پوسته آویزان شوند، مفید می‌باشد [4].

شکل 1. گسستگی در هسته سد خاکی به علت پدیده قوس زدگی

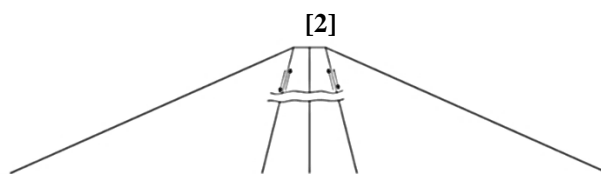


Fig. 1. Break at the core of earth dam due to the arching phenomenon [2]

هنگام طراحی یک سد خاکی ناحیه‌بندی شده، این اهمیت حیاتی وجود دارد تا انواع سازوکارهای گسیختگی کلی و یا جزئی را که در طول ساخت یا در طول عمر سازه می‌تواند انجام بگیرد را در نظر گرفت [5]. سازوکارهای شکست داخلی برای سدهای خاکی غیر همگن به‌طورکلی شامل نوعی از شکسته شدن یا دور زدن خاک‌های با نفوذپذیری کم در هسته (به‌طورمعمول خاک رس) است که برای حفظ اختلاف سطح آب روی بالادست و پایین دست سد ضروری است. این فرایند معمولاً با فرسایش داخلی ذرات خاک همراه شده است که منجر به تشکیل خاک pipes یا دیگر ویژگی‌های فرسایش که نهایتاً منجر به شکست سد می‌شود. [3] ICOLD و [6] Foster و همکارانش [7] از لحاظ آماری نشان دادند که پیشرفت رگ - آب و فرسایش عوامل مؤثر اصلی در شکست ۳۰ تا ۵۰ درصد

کرمان واقع است. این سد یک سد خاکی با هسته رسی است با ارتفاع ۶۲/۵ متر از کف و ۶۵/۵ متر از پی و دارای عرض تاج ۱۰ متر است. همچنین عرض بلندترین مقطع که در کیلومتر ۸۰۰ قرار دارد برابر با ۲۲۷ متر است. برای مدل سازی از مقطع G (بلندترین مقطع عرضی) استفاده شده است [15]. پلان ابزار گذاری سد بافت در شکل (۲) ارائه شده است.

مشخصات مصالح که از آنالیز برگشتی به دست آمده در جدول (۱) آورده شده است. مدل سازی بدنه سد با استفاده از معیار موهر کولمب و پی با استفاده از مدل الاستیک خطی انجام شده است. در قسمت محاسبات نرم افزار PLAXIS از مدل تحکیمی و وابسته به زمان استفاده شده است. در ضمن میتوان مدل مش بندی شده سد بافت را در شکل (۳) مشاهده کرد.

شبیه سازی سد ۱۵ خرداد در نرم افزار PLAXIS و به ارزیابی رفتار نگاری سد در دوره بهره برداری پرداخته اند. نتایج به دست آمده نشان داد که هماهنگی نسبتاً خوبی بین داده های تحلیل عددی با داده های مشاهده ای (با ضریب همبستگی ۰/۹۶) وجود دارد. امینی و همکاران [14] با استفاده از اطلاعات ابزار دقیق به مدل سازی سد اراک در نرم افزار PLAXIS پرداختند و نتایج حاکی از هماهنگی مناسب میان نتایج نرم افزار و نتایج تحلیل برگشتی است.

## ۲- درستی آزمایی

در این پژوهش برای مدل سازی رفتار نگاری سد بافت از نرم افزار PLAXIS استفاده شده است. برای انجام مدل سازی از بزرگ ترین مقطع عرضی سد بافت استفاده شده است. سد مخزنی بافت در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و در فاصله ۴ کیلومتری شمال شرقی شهرستان بافت در استان

شکل ۲. پلان ابزار گذاری سد بافت [16]

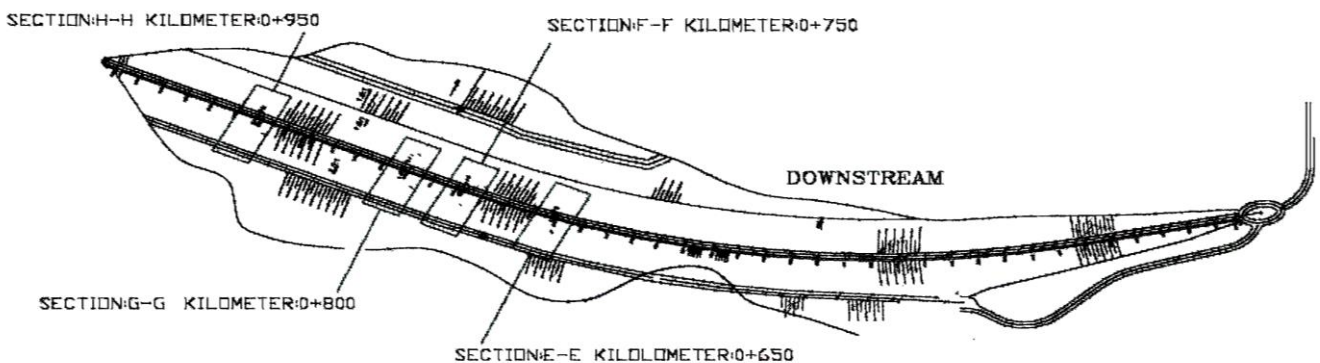


Fig. 2. Plans for Baft dam [16]

جدول ۱. مشخصات مصالح [16]

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\phi$ (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	k (cm/s)
Core	19	20,000	0.40	19	10	0.0000025
Shell	20	60,000	0.30	45	0	0.004
Filter	20	50,000	0.30	36	0	0.0001
Drain	20	50,000	0.30	36	0	0.001
Foundation	27	80,000	0.27	-	-	-

Table 1. Material properties [16]

شکل ۳. مدل مش بندی شده سد بافت

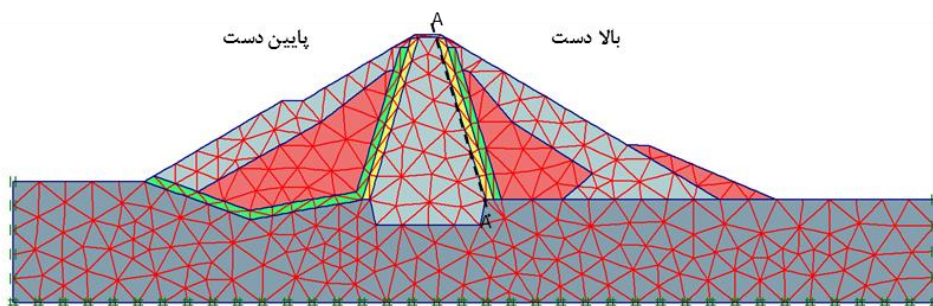


Fig. 3. Baft dam mesh generation

شکل ۴. مقطع G-G و جزئیات ابزار گذاری [16]

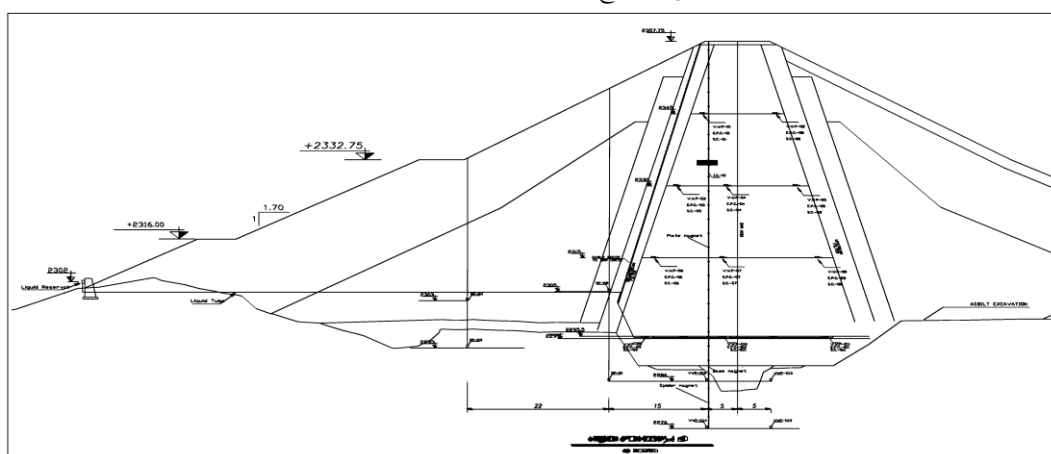


Fig. 4. Section G-G and monitoring detail [16]

جدول ۲. مقایسه نتایج به دست آمده با مقاله موردنظر [۱۵] و نتایج ابزار دقیق [16]

Plaxis with instrument result [16]	Difference (%)	Vertical Stress (kN/m <sup>2</sup> )			Position
		Plaxis with Reference [15]	PLAXIS	instrument results [16]	
-29.31	-37.75	162.18	209.73	223.42	EPC-1
10.53	-12.10	161.87	144.82	181.46	EPC-2
-6.09	4.19	333.56	353.91	319.57	EPC-3
-5.13	2.85	346.39	364.18	336.48	EPC-4
-1.10	3.17	346.98	350.81	335.97	EPC-5
2.49	1.31	517.93	505.00	511.13	EPC-6
-11.44	-9.23	548.29	611.06	598.92	EPC-7
-10.35	8.98	553.70	611.06	503.93	EPC-8
-9.46	-12.78	731.55	800.80	825.08	EPC-9
-5.10	0.82	818.35	860.16	811.59	EPC-10
-0.86	-13.51	716.17	722.36	812.96	EPC-11

Table 2. Compare the results with the reference [15] and the instrument results [16]

مقطع سد در ۱۱ نقطه از سد بافت بکار برده شده است. در شکل (۴) نقاط ابزار گذاری در مقطع G (بلندترین مقطع سد)

تنش قائم توسط ابزار دقیق EPC (اندازه گیری ترکیب فشار در تنش موثر) سنجیده شده است. ابزار دقیق EPC در بلندترین

شده (با  $n$  لایه خاک بالای نقطه موردنظر):

$$\gamma H = \gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 + \dots + \gamma_n H_n \quad (2)$$

طبق این روابط، نسبت قوس زدگی بیشتر، مرتبط است با تنش قائم کمتر ( $\sigma_v$ ) در جلوی هسته رسی، یعنی اینکه بار بزرگ تری از هسته به پوسته منتقل می‌شود. بنابراین برای محاسبه قوس زدگی کمینه تنش قائم را درون هسته در مجاور فیلتر و درون فیلتر در بالادست سد از طریق نرم‌افزار به‌عنوان  $\sigma_v$  به دست آورده شده است.

### ۳-۱- تأثیر عرض هسته (شیب جدار هسته)

اثر زاویه شیب جدار هسته بر پدیده قوس زدگی خاک بین هسته رسی و پوسته بالادست توسط شبیه‌سازی سه شیب جدار هسته متفاوت برای هسته رسی متمایل به قائم بررسی شده است: 1V:0.25H، 1V:0.3H، 1V:0.5H. در هر یک از این آنالیزها، عرض هسته در تاج سد یکسان و برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده در شکل (۵) آورده شده است.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، مسطح بودن شیب‌های جدار هسته که با هسته ضخیم‌تر همراه است، منجر به کاهش در قوس زدگی خاک می‌شود. سدهای خاکی غیر همگن با هسته تندتر و نازک‌تر اختلاف نشست بیشتری بین هسته و پوسته را تجربه می‌کنند و تمایل به انتقال تنش از هسته به پوسته بالادست نیز منجر به افزایش آن می‌شود.

شکل ۵. نسبت قوس زدگی برای هسته با شیب جدار متفاوت

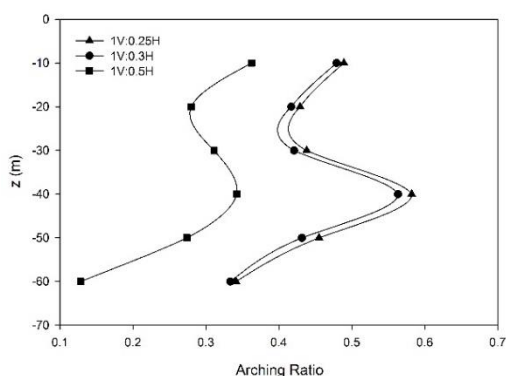


Fig. 5. Arching ratio for different slopes

نشان داده شده است. ابزارها در ترازهای بالایی تا ترازهای پایینی سد که به ترتیب از ۱ تا ۱۱ شماره‌گذاری شده‌اند نصب شده است.

در ادامه با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS V8.6 مدل را با توجه به ویژگی‌های گفته‌شده و پارامترهای داده‌شده در مرجع [15]، مدل کرده و تنش قائم حاصله از آنالیز در نقاط موردنظر را با نتایج ابزار دقیق [16] و نتایج حاصل از نرم‌افزار PLAXIS در مقاله بررسی شده [16] مقایسه کرده که نتایج و درصد اختلاف در جدول (۲) آورده شده است که نتایج نشان از درستی مدل‌سازی می‌دهد.

همان‌طور که از جدول (۲) مشخص است بیشترین درصد اختلاف در EPC-1 است درحالی‌که نتایج مطالعه حاصله به نتایج ابزار دقیق نزدیک‌تر است و این نشان از دقت بهتر مدل‌سازی دارد.

### ۳- مطالعه پارامتری

در این مطالعه، اثر پارامترهای مختلف ژئومکانیکی و هندسی بر روی پدیده قوس زدگی خاک بین هسته رسی و اطراف فیلتر و خاک‌های پوسته ارزیابی شده است و نتایج در بخش‌های بعدی ارائه شده است. مطالعات پارامتری برای بررسی اثر انتقال تنش از هسته رسی به مواد خاک اطراف توسط پارامترهای مختلف زیر انجام شده است: عرض هسته (شیب جدار هسته)، ضخامت فیلتر بالادست و تراکم‌پذیری پی. به‌منظور تعیین مقدار قوس زدگی خاک که برای مورد آنالیز داده‌شده رخ می‌دهد، نسبت قوس زدگی در امتداد مرز هسته رسی (مقطع A-A در شکل ۳) با استفاده از معادله زیر داده شده است [3]:

$$\text{نسبت قوس زدگی} = (\gamma H - \sigma_v) / \gamma H \quad (1)$$

که در آن  $\sigma_v$  تنش قائم در جلوی هسته رسی هم‌جوار با فیلتر بالادست است،  $\gamma H$  یک اندازه ایده آل از تنش قائم است که از تولید وزن واحد خاک ( $\gamma$ ) بالای نقطه و همزمان ارتفاع خاک ( $H$ ) بالای نقطه محاسبه می‌شود. برای سیستم‌های لایه‌بندی

### ۳-۳- تأثیر تراکم پذیری پی

تأثیر تراکم پذیری پی در پدیده قوس زدگی خاک بین هسته رسی و پوسته بالادست توسط شبیه سازی سه تراکم پذیری متفاوت بررسی شده است. در مطالعه حاضر پی از نوع الاستیک می باشد و تراکم پذیری آن با استفاده از مدول الاستیک (E) با مقادیر  $4 \times 10^5$ ،  $8 \times 10^5$  و  $12 \times 10^5$  kN/m<sup>2</sup> شبیه سازی شده است. نتایج به دست آمده در شکل (۷) ارائه شده است. همان گونه که مشخص است با افزایش مدول الاستیک پی (E) یا به عبارتی کاهش تراکم پذیری میزان بیشینه نسبت قوس زدگی در هسته سد افزایش می یابد هرچند این افزایش تقریباً ناچیز است و تأثیر زیادی در محل و مقدار بیشینه نسبت قوس زدگی نداشته است.

شکل ۷. نسبت قوس زدگی برای پی با تراکم پذیری متفاوت

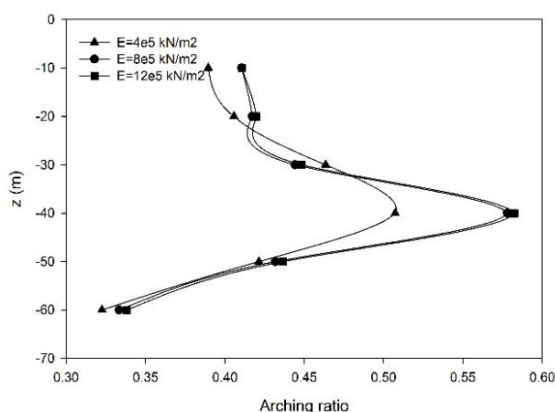


Fig. 7. Arching ratio for different density of foundations

### ۵- نتیجه گیری

پس از بررسی انجام شده با استفاده از آنالیز عددی روی پارامترهای مختلف سد (عرض هسته، ضخامت لایه فیلتر بالادست، تراکم پذیری پی) برای بررسی نسبت قوس زدگی در هسته سد در انتهای مرحله ساخت و ساز می توان به این نتیجه رسید که مؤثرترین پارامتر برای کاهش نسبت قوس زدگی شیب جدار هسته است که با مسطح تر شدن جدار هسته (از  $1V:0.25H$  به  $1V:0.5H$ ) نسبت قوس زدگی به میزان ۴۱ درصد در عمق ۴۰ متری از تاج کاهش می یابد. سپس ضخامت لایه فیلتر است که با افزایش ۶ برابری ضخامت آن نسبت قوس زدگی ۳۱ درصد کاهش می یابد. تأثیر مدول الاستیسیته پی نیز

همان گونه که نتایج نشان می دهند، مسطح بودن شیب های جدار هسته که با هسته ضخیم تر همراه است، منجر به کاهش در قوس زدگی خاک می شود. سدهای خاکی غیر همگن با هسته تندر و نازک تر اختلاف نشست بیشتری بین هسته و پوسته را تجربه می کنند و تمایل به انتقال تنش از هسته به پوسته بالادست نیز منجر به افزایش آن می شود.

### ۳-۲- تأثیر ضخامت فیلتر بالادست

ضخامت لایه فیلتر در سدهای خاکی غیر همگن نیز می تواند در وقوع پدیده قوس زدگی خاک تأثیر بگذارد. برای بررسی بیشتر تأثیر ضخامت لایه فیلتر در بالادست، سه مدل مختلف با ضخامت های ۱ و ۳ و ۶ متر آنالیز شده است. نسبت قوس زدگی به دست آمده در مقطع مورد نظر A-A در شکل (۶) نشان داده شده است. همان گونه که مشخص است افزایش ضخامت فیلتر نسبت قوس زدگی را کاهش می دهد و با انتقال تنش از هسته رسی به پوسته بالادست همراه می شود.

رفتار پدیده قوس زدگی نشان داده شده در شکل (۶) را می توان به این واقعیت نسبت داد که ناحیه فیلتر مقداری سختی دارد که سختی بین هسته و پوسته را کاهش می دهد. بنابراین، فیلتر کمک می کند تا از تغییر ناگهانی سختی از هسته به پوسته بالادست جلوگیری شود. لایه های فیلتر ضخیم تر مزیت اضافی که دارند این است که اگر به صورت درست طراحی شده باشند در صورت ایجاد ترک در هسته می توانند در جلوگیری فرسایش مواد هسته به خاک های پایین دست کمک کنند.

شکل ۶. نسبت قوس زدگی برای ضخامت های متفاوت فیلتر بالادست

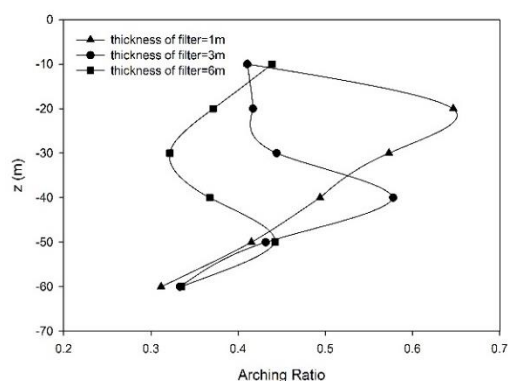


Fig. 6. Arching ratio for different upstream thickness of filters

- Geoenviron. Eng., ASCE, Vol. 102 (9), 1976, 963-974.
- [10] Najm, K., "Monitoring and instrument in dams", *Proceeding of 4<sup>th</sup> Conference on Dam Construction, Tehran, IRAN, Dec. 2000.* (In Persian)
- [11] Niroomand, H., Mirghasemi, A., Pakzad, M., "Behavior assessment of Karkhe dam in construction phase with instrumentation results", *Proceeding of 4<sup>th</sup> Conference on Dam Construction, Tehran, IRAN, Dec. 2000.* (In Persian)
- [12] Khadem ghaemi, A., Bolori bazaz, J., Khajavi, K., "Behavior assessment stresses generation in Tabarak dam in first dewatering", *Proceeding of 2nd National Dam Engineering Conference, Azad university, Zanjan branch, Mar., 2010.* (In Persian)
- [13] Sharifi, A., Ghaderi, K., Rahnama, M., "Static analysis 45 Khordad Earth damd in service life with instrumentation and FEM" *Proceeding of 1<sup>st</sup> National Conference on Civil Engineering and Sustainable Development, Azad university, Rasht branch, Jan., 2015.* (In Persian)
- [14] Amini, S., Tayari, A., Salajeghe, A., "Study behavior stress and pore pressure in construction phase ARAK earth dam with comparison of instrumentation and analytical value" *Proceeding of 1<sup>st</sup> National Conference on Structure- Earthquake- Geotechnics, Institute of Higher Education Pardisan, Babolsar, Dec., 2010.* (In Persian)
- [15] Mirhosaini, F., Tayari, A., Ghaderi, K., "Numerical Anslysis of vertical stress with Plaxis and comparison with Geostudio result in end construction phase of Baft dam", *Proceeding of 6<sup>th</sup> National Congress on Civil Engineering, Babol, Apr., 2011.* (In Persian)
- [16] Report on "instrumentation Baft dam", AB NIROO consultant, 2013. (In Persian)
- [17] Report on, "Numerical analysis Baft dam and compare with instrumentation result", AB NIROO consultant, 2012. (In Persian)

تأثیر ناچیزی داشته و قابل چشم‌پوشی است. چرا که با افزایش ۳ برابری در مدول الاستیسیتة پی نسبت قوس زدگی ۱۴ درصد افزایش داشته که با توجه به بازه تغییر مدول الاستیسیتة بسیار کم اهمیت است.

## References

## ۶- مراجع

- [1] Talebi, M., Vahedifar, F., Meehan, C.L., "Effect of Geomechanical and Geometrical Factors on Soil Arching in Zoned Embankment Dams", *ASCE*, 2013, 1056-1065.
- [2] Shamsayi, A., "Design and construction of reservoir dams", Science and industry university publication, Iran, Vol. 2, 2004.
- [3] Sharma, H.D., *Embankment Dams*, published by Raju Primlani for Oxford and IBH publishing co., 1991.
- [4] Knigt, D.J., Davis, P.D., Naylor, D.J., "Stress-strain behavior of the Monavasu soft core rockfill dam: prediction, performance and analysis", *Proceeding of 15<sup>th</sup> International Congress on Large Dams, Lausanne, Vol. 56 (1), 1299-1326.*
- [5] US Army Corps of Engineers, EM 1110-2-2300, *General Design and Construction Considerations for Earth and Rock-Fill Dams*, 2004.
- [6] International Commission on Large Dams (ICOLD), *Dam failures statistical Analysis*, Bulletin 99, Paris: International Commission on Large Dams, 1995.
- [7] Foster, M., Fell, R., Spannagle, M., "The statistics of embankment dam failures and accidents", *Can. Geotech. J.*, Vol. 37 (5), 2000, 1000-1024.
- [8] Sherard, J. L., "Hydraulic fracturing in embankment dams.", *J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE*, Vol. 112 (10), 1986, 905-927.
- [9]- Kullaway, F. H., Gurtowski, T. M., "Load transfer and hydraulic fracturing in zoned dams", *J. Geotech.*

# Numerical Analysis of Arching Phenomenon at Core of Baft Zoned Embankment Dam, Kerman

A. Asakereh<sup>\*1</sup>, M. Ahang<sup>2</sup>

1. Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, University of Hormozgan. (Corresponding Author)
2. M.S. Geotechnical Student, University of Hormozgan, Bandarabbas.

asakereh@hormozgan.ac.ir

## Abstract:

Today, large dams including offshore soil or concrete structures play a major role in water supply for human societies. Dam stability in recent decades has been of particular interest to designers of earth dams. Soil arching in zoned embankment dams is a phenomenon in which stresses are transferred from the softer core soil to the stiffer shell soil, due to differential movements between core and shell materials. In these structures, excessive stress transfer due to soil arching will lead to hydraulic fracturing occurrence in the low permeability core soils; which can cause significant internal seepage and erosion problems. This process is usually accompanied by internal erosion of soil particles, which leads to the formation of soil pipes or other erosion features that eventually cause failure of the dam. Statistics show that progressive piping and erosion are the primary contributing factors in 30% to 50% of earth dam failures. The easiest way to prevent hydraulic fracturing from occurring is to ensure that the total stresses along the upstream side of the clay core are always greater than the seepage-induced pore pressures. Thus, some authorities argue that making use of highly soft materials in core of dam with no enough shear stress to suspend on shell materials is useful. Installation of instrumentation and monitoring during construction and initial operation will help to assess important parameters. Statistics show that the highest number of failures in unstable dams, is respectively attributed to earth, gravity, pebble, multi-arc and arc dams. In this research, by modeling the Baft earth dam in finite element software PLAXIS and comparing the results with the instrument results, the authenticity of the modeling was confirmed. Arching phenomenon has been studied in the earth dam. Investigated parameters include the width of the core (core slide slope), the upstream filter layer thickness and compressibility foundation. The effect of the core side slope angle on soil arching between the clay core and the upstream shell was investigated by simulating three different core side slopes for a vertically oriented clay core: 1V:0.25H, 1V:0.33H and 1V:0.50H. To further investigate the impact of transition layer thickness, three different models with upstream filter thicknesses of 1, 3 and 6 m were analyzed. The effect of foundation compressibility on soil arching between the clay core and the upstream shell was investigated by simulating foundation rock having three different levels of compressibility. The elastic rock modulus values used in the current study were:  $4 \times 10^5$ ,  $8 \times 10^5$  and  $12 \times 10^5$  kN/m<sup>2</sup>. The effective parameters among these parameters to reduce arching, is core slide slope. Here, the core slide flatter ratio arching dramatically reduced. Then increase in the thickness of the layer filter reduced the ratio of arching. Thicker filter layers also have the additional advantage that if they are designed properly, they can help prevent erosion of core materials into the downstream soil, if a crack in the core occurs. The effect of elasticity modulus of the foundation had little influence and is negligible.

**Keywords:** Arching, Zoned embankment dam, Instrumentation, PLAXIS