تعیین محدوده ایمن به‌سازی درزه‌ها، از لحاظ برشی در سدهای بتن غلتکی

رضا نجف‌زاده بابایی[۱]، رضا عطارنژاد *[۲]، علی فاخر [۳] و محمد شکرچی‌زاده [۴]

[۱] دانشجوی کارشناس ارشد خاک و پی، دانشکده عمران، دانشگاه تهران

[۲، ۳ و ۴] دانشیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۷/۱۴، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده: ۱۳۹۰/۰۳/۱۰، تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱۰/۲۴)

چکیده

در سال‌های اخیر با توجه به افزایش شمار سدهای بتن غلتکی در سرتاسر دنیا و به علت توجیه فنی و اقتصادی و نیز به علت سرعت زیاد اجرا و همچنین با توجه به این نکته مهم که اجراء سدها جزء پرهزینه‌ترین سازه‌های عمرانی در هر کشور می‌باشد، هر روز پیشنهادات جدیدی در خصوص طراحی و اجراء و بررسی تنش‌های سازه‌ای و همچنین انتخاب جزئیات و مشخصات فنی مصالح با تنش‌ها، مطرح می‌شود. با توجه به این‌که تعداد زیاد درزه‌های افقی اجرائی در بدنه سد بتن غلتکی، تقریباً پنج تا هفت برابر بیشتر از سدهای بتن متعارف می‌باشد همچنین تنش برشی ناشی از بارهای استاتیکی و دینامیکی، یکی از مهم‌ترین تنش‌های ایجاد شده در این‌گونه سدها، در مناطق زلزله‌خیز می‌باشد و نیز هزینه به‌سازی درزه، تقریباً ۱۰ درصد از هزینه کل بدنه سد می‌باشد، بنابراین در این پژوهش به ناحیه بندی بهسازی درزه در عرض مقطع سد و همچنین در ارتفاع سد، پرداخته می‌شود طوری‌که مقطع یک سد بتن غلتکی تحت اثر بارهای دینامیکی طرح، به روش تاریخچه زمانی به کمک نرم افزار اجزاء محدود ANSYS آنالیز می‌شود و تنش‌های نرمال و برشی با در نظر گرفتن اندرکنش سد بتنی غلتکی با پی و مخزن در برابر زلزله بدست آورده می‌شود. با توجه به نتایج این تحلیل و نتایج آزمایشات مقاومت برشی درزه در آزمایش‌های آزمایشگاهی، ناحیه‌بندی به‌سازی درزه از لحاظ برشی در عرض مقطع سد و همچنین در ارتفاع سد، انجام می‌گردد. از نتایج قابل توجه در این تحقیق، عدم نیاز به به‌سازی در منطقه قابل ملاحظه‌ای از مقطع سد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سدهای بتن غلتکی، مقاومت برشی درزه، آنالیز دینامیکی، تنش برشی درزه، به‌سازی درزه، ANSYS

مقدمه

بتن غلتکی *(RCC)* یک روش نوین ساخت بتن با استفاده از دامنه وسیعی از مصالح سنگی و مواد سیمانی با اسلامپ مخلوط بتن صفر می‌باشد که پیدایش آن به دهه ۱۹۷۰ و استفاده عملی آن به ۳۰ سال اخیر، باز می‌گردد طوری‌که به صورت عمده در اجرای سازه‌های بتنی حجیم هم‌چون سدهای بتنی به‌علت دارا بودن مزایای فنی سدهای بتنی و روش اجرای سریع و اقتصادی سدهای خاکی، به‌کار گرفته شده‌است [۱ – ۳]. Chen و همکارانش در مرجع [۴] با ایجاد یک مدل اجزای محدود ۳ بعدی تنش‌های حرارتی حین ساخت سدهای بتن غلتکی را تحلیل کردند و نشان دادند که با این روش میتوان الگوی اجرائی مناسبی برای سد تهیه کرده و همچنین نشان دادند که پایین آوردن دمای بتن غلتکی بهترین روش برای پایین آوردن دمای بدنه در حین ساخت می‌باشد. در مراجع [۵ - ۶] با به کارگیری روش اجزای محدود دو بعدی، تنش‌های حرارتی سد بتن غلتکی کینتا در مالزی را تحلیل شده‌است. مقایسه نتایج حاصل با داده‌های حاصل از ترمومترهای نصب شده در سد، صحت اعتبار روش بکار گرفته شده را نشان داد. این بررسی‌ها نشان دادند که روش بکار گرفته شده قابل تعمیم به بررسی سایر سدهای مشابه می‌باشد. در مرجع [۷] با تحلیل مدل سه بعدی اجزای محدود، نشان داده شده‌است که استفاده از عایق پولی استایرن در بدنه سدهای بتن غلتکی میتواند مانع از ایجاد ترک‌های کششی سطحی گردد.

شکی وجود ندارد که اگر اذعان کنیم برای داشتن یک سازه یک‌پارچه، چسبندگی بین درزه در لایه‌های بتن ریزی، یک فاکتور کلیدی است. برای آنکه یک درزه پیوسته داشته باشیم، لازم است که لایه‌های بتن‌ریزی در محدوده زمانی مجاز (قبل از زمان گیرش اولیه لایه زیرین) ریخته شود. در صورتی‌که در سدهای بزرگ به علت مشکلات

* نویسنده مسئول: تلفن: فاکس: Email: attarnjd@ut.ac.ir

اجرایی نظیر عریض بودن محل سد بخصوص در مراحل شروع ساخت سد، مدت زمانی که طول می-کشد یک لایه ریخته شود، خیلی بیش‌تر از مدت زمان گیرش اولیه سطح بتن غلتکی می‌باشد که حتی با اضافه کردن افزودنی‌های دیرگیرکننده نیز این مشکل برطرف نمی‌شود. بنابراین به منظور پایداری برشی در مقابل تنش برشی ناشی از نیروهای استاتیکی و دینامیکی وارد بر بدنه سد، باید از یک سری تمهیداتی جهت بهبود کیفیت درزه و دست یافتن به مقاومت برشی درزه با ضریب اطمینان مناسب، استفاده کرد. به علت بار مالی زیاد تمهیدات به‌سازی درزه روی هزینه کل اجرای بدنه سد، در این تحقیق با در نظر گرفتن به نتایج این تحلیل و آزمایش‌های مقاومت برشی درزه با توجه به نتایج آزمایشگاهی و تحلیل دینامیکی انجام شده روی سد زیردان بصورت موردی، ناحیه‌بندی به‌سازی درزه در عرض مقطع سد و همچنین ارتفاع سد، انجام می‌گردد. از نتایج قابل توجه در این تحقیق، عدم نیاز به به‌سازی برشی درزه در ۸۰ درصد از منطقه بالادست مقطع سد می‌باشد.

به‌سازی درزه در بتن غلتکی با در نظر گرفتن عوامل مختلف در سد

درزه‌های افقی در بتن غلتکی ضعیف‌ترین بخش بدنه سد از لحاظ مقاومت کششی، مقاومت برشی و نفوذپذیری هستند. درصورتی‌که درزه داغ باشد بتن لایه بعدی می‌تواند بدون به‌سازی سطح لایه قبلی ریخته شود در صورتی‌که پیمانکار به هر دلیلی نتواند لایه بعدی را به موقع بریزد، درزه تبدیل به درزه سرد می‌شود و به‌سازی درزه، لازم می‌گردد. همان طورکه پرواضح است، به‌سازی درزه یکی از مراحل وقت‌گیر و هزینه‌بر در سدهای بتن غلتکی می‌باشد به طوری‌که در جدول (۱) هزینه بخش‌های مختلف یک سد RCC اجرا شده در فرانسه را در مقایسه با سد بتن متعارف نشان می‌دهد، هزینه بخش به‌سازی بستر ۹ درصد از کل هزینه ساخت بدنه سد بتن غلتکی را تشکیل می‌دهد [۸]. که هزینه قابل توجهی، نسبت به هزینه ساخت کل سد می‌باشد.

جدول ۱: مقایسه هزینه بخش‌های مختلف ساخت یک سد بتن غلتکی در مقایسه با سد بتن متعارف

عوامل	بتن متعارف مورد مقایسه	بتن غلتکی معمولی
به‌سازی درزه‌ها	٪ ۴	٪ ۹
مواد سیمانی و افزودنی‌ها	٪ ۳۲	٪ ۲۶
مصالح سنگی و انبار کردن آنها	٪ ۲۷	٪ ۴۲
تولید و حمل	٪ ۱۶	٪ ۱۱
بتن‌ریزی	٪ ۱۳	٪ ۶
قالب بندی و درزه‌های انقباضی	٪ ۶	٪ ۳
آزمایش‌ها	٪ ۲	٪ ۳

با توجه به هزینه بالای به‌سازی درزه طبق جدول (۱) بدیهی است، به‌سازی درزه تنها در درزه‌هایی که سه مشخصه طراحی درزه، یعنی نفوذپذیری و مقاومت کششی و مقاومت برشی را ارضاء نکنند، می‌بایست انجام گیرد [۹].

مقاومت برشی در راستای سطح درزه‌ها همیشه کمتر از مقاومت برشی در بتن توده سد است. از این‌رو، همواره مقاومت در سطح درزه برای طراحی به کار می‌رود. بسته به نوع اجرا و بسیاری از پارامترهای دیگر، مقاومت برشی درزه‌ها در بتن غلتکی بسیار متغیر است. چسبندگی از سطح یک درزه تا درزه دیگر، دستخوش تغییرات زیادی می‌شود. یعنی حساسیت چسبندگی درزه به شرایط، بسیار زیاد است. در صورتی‌که زاویه اصطکاک معمولاً تحت اثر شرایط زیاد تغییر نمی‌کند. چسبندگی عموماً بر پایه میزان خمیر، مقدار مواد سیمانی و آماده سازی درزه‌ها تغییر می‌کند که می‌توان با اصلاح این مشکلات و به کار بردن ملات بستر مناسب، چسبندگی درزه را بهبود داد [۹].

تمیز نبودن سطح بستر، جداشدگی، تراکم کم و یا ضعیف، مقاومت برشی درزه‌ها را به شدت کاهش می‌دهد. سنگدانه‌های با کیفیت بالا، کارآیی خوب مخلوط و تراکم مناسب، پوشاندن سریع درزه‌ها با لایه بعدی و استفاده از ملات بستر برای به دست آوردن مقاومت خوب در درزه‌ها ضروری است. استفاده از ملات بستر این طمینان را می‌دهد که خمیر کافی در سطح درزه برای ایجاد قفل و بست مناسب و پر کردن هر فضای خالی وجود داشته باشد [۹].

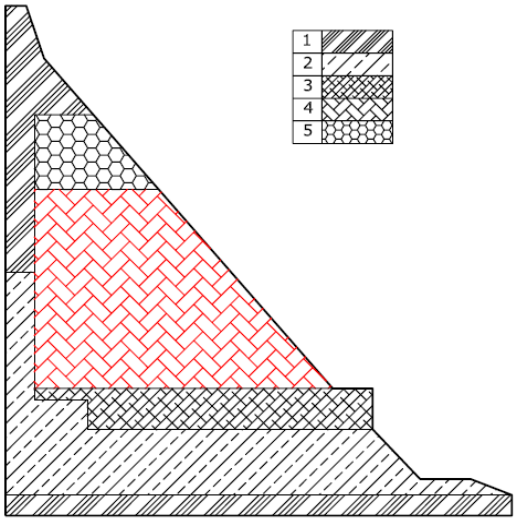
ناحیه‌بندی به‌سازی درزه

مهم‌ترین عاملی که در ناحیه‌بندی طرح به‌سازی درزه تأثیرگذار است، تنش‌های ناشی از بارهای - دینامیکی می‌باشند. در این قسمت ابتدا نتایج حاصل از تحلیل سد زیردان بررسی می‌شود و درباره اجرای بدنه سد بتن غلتکی و به‌سازی درزه در بخش‌های مختلف سد بحث می‌گردد و در مورد اجرای سد زیردان نتیجه‌گیری می‌شود.

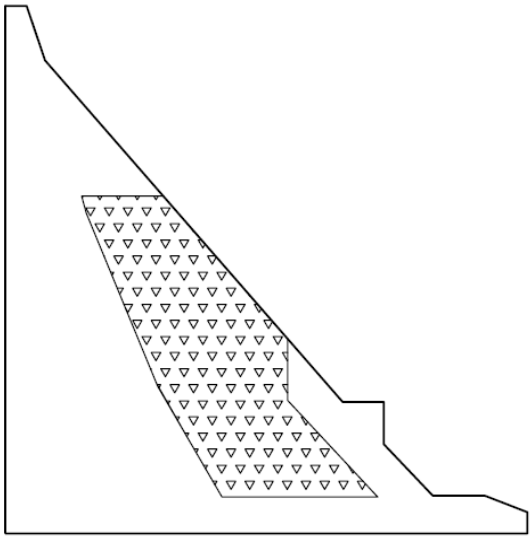
یکی از مهم‌ترین اصول اجرای سدهای بتن غلتکی، ساده بودن طرح سد برای اجرا می‌باشد تا سرعت اجرا افزایش یافته و متعاقباً هزینه‌ها کاهش یابد. با توجه به این اصل در ساخت اکثر سدهای بتن غلتکی سعی می‌شود، یا ناحیه‌بندی وجود نداشته باشد یا در صورت وجود، سرعت اجرا را کاهش ندهد و باعث نشود به‌طور همزمان دو یا چند مخلوط متفاوت بتن تولید شود. به منظور بهینه‌سازی اقتصادی ساخت سد، ناحیه بندی مخلوط و همچنین به‌سازی درزه در سدهای بزرگ متعارف می‌باشد. به طور مثال می‌توان سد بتن غلتکی *Miel I* را ذکر نمود. سد بتن غلتکی *Miel I* در کلمبیا، به ارتفاع ۱۸۸ متر در منطقه‌ای با آب و هوای گرم ساخته شده‌است بر اساس سطح خطر زلزله (*MCE=0.3 g*، *DBE=0.22 g*) تحلیل دینامیکی انجام شده، بر اساس تنش‌های کششی و برشی حاصله و مطابق شکل (۱)، ۵ طرح اختلاط در ۵ ناحیه سد تعریف شده‌است و در ناحیه بزرگی از درزه‌های افقی به دلیل ارضای سه مشخصه طراحی درزه، از ملات بستر استفاده نشده‌است [۱۰].

جدول ۲: مقاومت طرح میانگین برای مخلوطهای RCC در سد Miel I [۳]

Mix type	Compressive strength (MPa)	Ind. Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)
۱	۲۱	۲/۳۲	۴۲
۲	۲۱	۲/۳۲	۴۲
۳	۱۶/۵	۲/۰	۳۶
۴	۱۳/۵	۱/۵۴	۲۹
۵	۱۰	۱/۳	۲۶



شکل ۱: مقطع سد Miel I و نحوه ناحیه‌بندی طرح اختلاط و ملات بستر[۳]



شکل ۲: در محدوده هاشور زده از مقطع سد Miel I ملات بستر استفاده نشد [۱۰]

ضریب بهبود مقاومت برشی درزه

اگر مقاومت برشی درزه در حالت بدون هیچگونه بهسازی دزه را τ_0 و مقاومت برشی درزه در حالتی‌که تمهیدات به‌سازی، در سطح درزه اعمال گردد، τ_1 تعریف شود، نسبت I_1 به I_0، شاخص یا ضریب به‌سازی درزه *TI* نام نهاده می‌شود. رابطه (۱) ضریب بهبود مقاومت برشی درزه با اعمال تمهیدات به‌سازی (Treatment index in joint shear strength)

را نشان می‌دهد.

$$TI=[\tau_1/\tau_0]*100 \quad (۱)$$

تمهیدات لازم جهت بهسازی درزه افقی در سدهای بتن متعارف و بتن غلتکی

یکی از ویژگی‌های به کارگیری بتن‌غلتکی در ساخت سدها، سرعت اجرای بالای آن می‌باشد، بنابراین سطح اکثر لایه‌های اجرایی قبل از این‌که کاملاً سخت شود (فاصله زمانی کمتر از ۶ ساعت)، با لایه جدید پوشیده می‌شود. اجرای پشت سر هم لایه‌های متوالی می‌تواند، سبب نفوذ سنگدانه‌های دو لایه شود. اما در شرایطی که وقفه زمانی بین اجرای دو لایه به قدری زیاد شود، طوری‌که بتن لایه جدید روی لایه قبلی کاملاً سخت شده ریخته شود، وضعیت درزه اجرایی بین دو لایه بتن غلتکی، مشابه وضعیت درزه‌های بین بلوک‌های اجرا شده با بتن متعارف خواهد بود. به خصوص غلتک ویبره درام‌دار با سطح صاف، که جهت کوبیدن لایه‌های بتن غلتکی استفاده می‌شود، باعث ایجاد لایه‌های اجرایی با سطح صاف می‌شود البته اگرچه استفاده از غلتک برای متراکم ساختن بتن غلتکی لایه جدید، باعث افزایش دانسیته آن در مقایسه با بتن متعارف می‌گردد، ولیکن بدلیل خشک و کم‌سیمان بودن و همچنین اسلامپ صفر این نوع بتن، احتمال جداشدگی در تفکیک مصالح و بوجود آمدن حفرات و خلل و فرج در قسمت تحتانی لایه در حال اجرا، همیشه وجود دارد. بنابراین در این حالت جهت بهسازی درزه‌ها، توصیه شده‌است که یک لایه مخلوط بستر، قبل از اجرای لایه جدید اجرا گردد. تمهیدات متعارف در سدهای بتن غلتکی در جهت بهبود مقاومت برشی درزه، استفاده از ملات بستر و نیز مضرس کردن سطح درزه می‌باشد. به منظور حصول پیوستگی مناسب بین لایه‌های اجرایی در سدهای بتن غلتکی، بر اساس شاخص بلوغ درزه، یکی از روش‌های فوق یا هر دو روش بکار گرفته می‌شود [۱۱]. به عنوان مثال چنان‌چه تا قبل از ۲۴ ساعت پس از ریختن لایه قدیم، لایه جدید ریخته شود هیچ‌گونه بهسازی درزه، به جز جمع‌آوری نخاله یا آب توسط جت هوا، قبل از پخش لایه بتن غلتکی جدید لازم نمی‌باشد [۱۲]. ولیکن اگر شاخص بلوغ درزه از عددی بزرگتر باشد، به آن درزه سرد می‌گویند و نیاز به بهسازی دارد.

شاخص بلوغ درزه، شاخصی برای شناسایی نوع و کیفیت درزه می‌باشد. مقدار این شاخص برابر با حاصلضرب درجه حرارت سطح لایه بتن ریزی در زمان مابین اجرای دو لایه متوالی، تعریف می‌شود. که به نوع و مقدار مواد سیمانی مصرفی و میزان تأثیر مواد افزودنی مورد مصرف در بتن غلتکی، وابسته می‌باشد، سطح لایه اجرایی قبلی، بسته به میزان بلوغ آن درزه، قبل از اجرای لایه بعدی، با بکارگیری تمهیدات لازم، بهسازی می‌شود و عملیات بتن‌ریزی انجام می‌پذیرد. در صورتی‌که این شاخص از عدد مشخصی کمتر باشد، درزه نیاز به بهسازی ندارد. حد تعیین شده برای بلوغ بتن درزه در پروژه-های مختلف و بنا به مقتضای مجموعه‌ای از پارامترها و شرایط خاص که در هر پروژه فرق دارد، می‌تواند بین ۴۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه فارنهایت – ساعت، متغیر باشد. این معیار اولین بار در سدهای گیلزوایل و ویلوکریک به ترتیب ۵۰۰ و ۱۶۰۰ درجه فارنهایت - ساعت، مورد استفاده قرار گرفت که با استفاده از این شاخص کمی، نتایج مؤثری را در تأمین پیوستگی مناسب در تمام شرایط فراهم ساخت [۱۱].

جدول ۳: زمان درزه سرد برای بتن غلتکی در مراجع مختلف [٦]

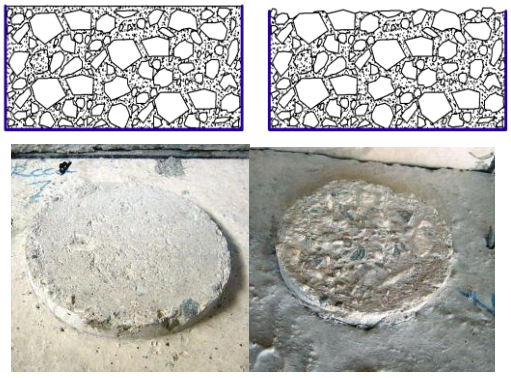
توضیحات	نوع بهسازی درزه	مرجع	تعریف درزه
Temperature =32oc No retarded	bedding treatment	ACI (1999).	12-24 Hr
Temperature =32oc No retarded	High pressure air-water or water jet cleaning followed by bedding treatment	USACE (1994).	72 Hr

۱ - مضرس کردن و تمیزکاری

درزه‌های سرد می‌توانند به صورت عمدی یا به علت تأخیر در اجرای بتن غلتکی و ماندن قسمت یا کلیه یک لایه به صورت پوشیده نشده برای زمانی طولانی، بوجود آید. اولین بار این شیوه به‌سازی سطح درزه بتن غلتکی توسط *U.S.B.R.* در سد آپراستیل واتر، اجرا گردید در شیوه ساخت *RCD* ژاپنی، در کلیه سطوح اتصال لایه‌ها، اتصال سرد تشکیل می‌شوند که به اصلاح گسترده‌ای شامل، برداشت رویه سطح پس از کوبیدن، پاک کردن، اجرای لایه نازکی از ملات با اسلامپ بالا روی تمام سطح لایه، نیاز دارند، به این پروسه از به‌سازی درزه، مضرس کردن و تمیزکاری می‌گویند.

معمولاً مضرس کردن با دستگاه مکنده و جت آب و ماسه پاشی انجام می‌گیرد. ولیکن یکی از روش‌های سریع و کارا برای مضرس کردن سطح درزه، استفاده از جت آب می‌باشد. وقتی‌که یک جت پرفشار آب به سمت سطح بتن مورد نظر قرار گرفته شود، آب به درون درزه‌های کوچک و خلل و فرج بتن وارد می‌شود هنگامی که فشار آب درون این فضاها بیش‌از مقاومت فشاری بتن شود، خمیر بتن ترک برداشته و از سنگدانه‌ها جدا می‌شود طوری‌که عملاً یک سطح مضرس شده به دست می‌آید. در این روش، به طور متداول ۱ تا ۲ سانتی‌متر از سطح بتن، برداشته می‌شود. تجهیزات لازم برای مضرس کردن مؤثر توسط جت آب - هوا، شامل یک موتور تولید کننده فشار هوای فشرده، به اندازه ۵ تا ۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و یک شیلنگ و یک نازل فشار قوی با حداقل قطر ۳۸ میلیمتر، با حداقل ظرفیت آب ۲۰ *gpm* می‌باشد [۱۲].

زمان لازم برای مضرس کردن سطح درزه متغیر می‌باشد با این حال، مضرس کردن با جت آب بسیار سریع‌تر از مضرس کردن مکانیکی بوده البته قابل ذکر است، این تغییر سرعت بستگی مستقیم به عمق مورد نیاز برای برداشتن و مضرس کردن، دارد. از دیگر مزایای مضرس کردن با جت آب می‌توان به سطح تمام شده کار، اشاره کرد. سطح تخریب شده با آب، پیوستگی مکانیکی بهتری را بین بتن پایه و ملات بستر یا بتن غلتکی لایه بعد فراهم می‌آورد. از دیگر ویژگی‌های این روش مضرس کردن نسبت به روش‌های دیگر می‌توان به عدم تولید گرد و خاک، حداقل رساندن شکستگی و ترک خوردگی در مصالح بتن غلتکی لایه پایین و آلودگی صوتی کمتر، نسبت به روش‌های مکانیکی را نام برد. البته قابل ذکر است، اگر سیستم جمع‌آوری مناسب، برای آب جمع شده در فرآیند مضرس کردن با این روش، وجود نداشته باشد، باعث بروز مشکلات عمده‌ای می‌گردد طوری‌که آزمایش مقاومت برشی نشان می‌دهد، هنگامی‌که سطح درزه تمیز نباشد در مقایسه با قشرهایی که قبل از ریختن ملات، شسته شده‌است، نتیجه بهتری می‌دهد. زیرا آب شستشو روی سطح لایه بتن ریزی، باقی مانده و نسبت آب به سیمان را افزایش می‌دهد و اثر مثبت مخلوط بستر را ضعیف می‌کند [۱۱]. همچنین انجام عملیات مضرس کردن با جت آب، باید با احتیاط بیشتر و با رعایت نکات ایمنی بیشتر برای تکنسین‌ها همراه باشد. در برخی موارد، مضرس کردن به این روش می‌تواند پر هزینه‌تر از روش‌های دیگر باشد.



شکل ۳: سطح درزه قبل و بعد از مضرس کرد

۲ - مصالح بسترسازی سطح درزه

مخلوط بستر از سیمان، سنگدانه و آب تشکیل شده، و متداول است که در آن از مواد روان‌کننده و کندگیرکننده نیز استفاده شود. مخلوط بستر اساساً یک ملات دیرگیر که اغلب همراه با مقداری درشت دانه نیز می‌باشد مقاومت فشاری مخلوط بستر، همواره باید بیشتر از مقاومت فشاری بتن غلتکی باشد در *US army*، این افزایش مقاومت فشاری ۱۵ درصد بیان شده و همچنین ذکر شده‌است که مقاومت فشاری نباید از ۱۷/۲۴ مگاپاسکال کمتر باشد و نیز محدوده اسلامپ این ملات می‌بایست بین ۱۲/۷ تا ۲۲/۸۶ سانتی‌متر باشد و در موقع پخش ملات در روی درزه، اسلامپ آن می‌بایست بیشتر از ۱۲ سانتی‌متر باشد و

با ضخامت تقریبی ۷ میلی‌متر پخش شود [۱۱]. شرایدر (۱۹۹۹) بر این اعتقاد است که درشت دانه‌های ملات تحت اثر وزن غلتک، داخل لایه زیرین فرو می‌رود و یک پیوستگی جدا نشدنی و محکم در درزه‌ها بوجود می‌آید. ولیکن *Forbes* اعتقاد دارد که در ملات، فقط باید از ماسه (ریزتر از ۴،۷۵ میلی‌متر) استفاده شود، چون راحت‌تر پخش می‌شود و می‌توان ملات را در لایه نازک‌تری روی بتن زیرین پخش کرد.

۲- ۱- مصالح بسترسازی با پایه سیمانی

بهترین مصالح بسترسازی به منظور به‌سازی سطح درزه در سدهای بتن غلتکی به علت سازگاری مطلوب با بتن پایه (بتن‌غلتکی لایه زیرین) استفاده از مصالح بسترسازی سیمانی با ترکیبات نزدیک به بتن پایه می‌باشد [۱۴].

الف- بتن متعارف به عنوان مصالح بسترسازی

بتن متعارف به عنوان یکی از گزینه‌های مهم و متداول موجود برای بسترسازی درزه‌های افقی سدهای بتن غلتکی، می‌بایست کلیه نکات مربوط به مشخصات فیزیکی و مکانیکی این نوع بتن، نظیر مقاومت فشاری، مسائل دوام و پایایی، کارایی در آن، مورد توجه قرار گرفته شود. استفاده از افزودنی‌ها و مواد پوزولانی در جهت بهبود خواص آن مناسب می‌باشد همچنین به منظور کم کردن ترک‌های ناشی از جمع شدگی، باید w/c بتن را تا حد امکان کم و مقدار درشت دانه‌های مصرفی را تا حد امکان افزایش داد. بر اساس *ACI 201.2R* مقدار w/c برای ضخامت‌های کم (۴۰-۷۵ میلی‌متر) کمتر از ۰/۴۵ و برای سایر موارد کمتر از ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

از مزایای بسترسازی درزه با این مصالح، می‌توان ساده بوده ساخت این بتن و عدم نیاز به تکنولوژی پیچیده جهت استفاده، را نام برد. این بتن از جنس بتن غلتکی پایه بوده و با آن سازگار است. بدیهی است مقاومت فشاری و بالطبع مقاومت برشی این بتن نسبت به بتن غلتکی پایه، بیشتر می‌باشد و بالطبع مقاوت چسبندگی دو لایه را به اندازه قابل توجهی افزایش می‌دهد.

با توجه به اینکه ضخامت بتن بسترسازی محدود می‌باشد ولیکن از آنجائیکه بتن متعارف مصرفی در بین لایه‌ها، بتنی با اسلامپ بالا می‌باشد و بتن غلتکی لایه زیرین، بخش اعظم جمع شدگی خود را انجام داده‌است، جمع شدگی بتن جدید می‌تواند مشکل‌ساز باشد.

ب- ملات به عنوان مصالح بسترسازی

ملات بسترسازی ترکیبی از آب و سیمان و ماسه می‌باشد. در ساخت این مصالح برای کاهش جمع شدگی، از مواد انبساط دهنده و برای کاهش مقدار سیمان مصرفی از مواد کاهنده آب استفاده می‌شود. مزایای این روش به‌سازی درزه مشابه مزایای استفاده از بتن معمولی می‌باشد، ولیکن علاوه بر آنها، ملات‌ها را می‌توان با ضخامت‌های کمتر نیز به کار برد. ضخامت ملات بستر می‌تواند بین ۱۲/۵ میلی‌متر (در سد الکریک) تا۵۰ میلی‌متر (روش معمول در سدهای *RCD* ژاپن) باشد [۴].

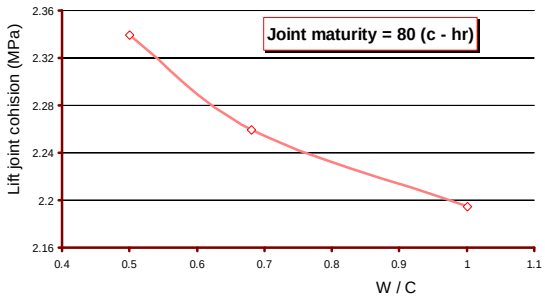
ملات بستر سد الک کریک متال ۲۲۸ کیلوگرم سیمان و ۸۸ کیلوگرم خاکستر بادی و ۲۵۹ کیلوگرم آب همراه با ماسه در هر مترمکعب و با اسلامپ در حدود ۲۳ تا ۳۰ سانتی‌متر به ضخامت ۶ تا ۱۲ میلی‌متر، پخش شده‌است. در طرح اختلاط ملات بستر در سدهای *RCD* ژاپنی، از ۴۷۰ کیلوگرم سیمان و ۲۷۰ کیلوگرم آب و ۱۳۹۱ کیلوگرم ماسه در مترمکعب ملات بستر استفاده می‌شود به طورکلی مخلوط‌های بسترسازی دارای عیار سیمان بالاتری و مقاومت فشاری بیش‌تری نسبت به توده بتن غلتکی می‌باشند و چنان‌چه به طور صحیح اجرا شود، درزه افقی از لحاظ چسبندگی مقاومت کافی پیدا می‌کند و می‌توان از لحاظ کنترل نفوذپذیری درزه، مطمئن بود. ملات بستر با استفاده از یک وسیله لاستیکی که در جلوی تراکتور نصب گردیده، ریخته می‌شود [۱۱].

ج- دوغاب (گروت سیمانی) به عنوان مصالح بسترسازی

معمولاً دوغاب سیمانی از آب، سیمان هیدرولیکی و ریزدانه‌ها ساخته می‌شود که ترکیب آنها سیالی روان و خمیری را تشکیل می‌دهد که جداشدگی در آن بوجود نمی‌آید. از مزایای به‌سازی درزه با این روش می‌توان، اجرای آسان و سازگاری خوب با بتن پایه و ضخامت کم آن را نام برد. مهندسین چینی، بسیار زیاد متمایل به استفاده از این روش، برای به‌سازی درزه در سدهای بتن غلتکی می‌باشند ولیکن در این روش زمان‌بندی ریختن لایه بالایی، بعد از پخش دوغاب خیلی مهم است. زیرا اگر

این زمان خیلی زیاد شود به‌طوری‌که آب دوغاب بخار شود، از دوغاب یک پودر سیمان با مقاومت بسیار پایین، به جای می‌ماند که مانع تماس و چسبندگی لایه بالایی به لایه زیرین می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از این روش، به منظور به‌سازی درزه زیاد مؤثر نبوده و معمولاً توصیه نمی‌کنند.

در یک پروژه تحقیقاتی که به منظور بررسی تأثیر دوغاب‌ها با نسبت آب به سیمان مختلف، روی مقاومت چسبندگی انجام شد به این نتیجه رسیدند که بهترین ضخامت دوغاب، به منظور دست یافتن به بیشترین مقاومت چسبندگی، ضخامت ۱/۵ میلی‌متر می‌باشد و هر چه، w/c دوغاب کمتر شود، مقدار مقاومت چسبندگی بیشتر می‌شود طوری‌که در شکل زیر آورده شده‌است بیشترین مقاومت چسبندگی درزه بتن غلتکی در حالتی است که از دوغاب با $w/c=0.5$ به منظور به‌سازی استفاده شده باشد [۱۴].



شکل ٤: تأثیر دوغاب‌ها با نسبت آب به سیمان مختلف روی مقاومت چسبندگی

دکتر رهایی (۱۳۷۹) در یک پروژه تحقیقاتی به این نتیجه رسیدند که کاهش نسبت w/c در طرح اختلاط دوغاب بین لایه‌ای، مقاومت چسبندگی برشی درزه را افزایش می‌دهد و استفاده از پلیمر در دوغاب، اگر تأثیری در w/c مخلوط نداشته باشد، تأثیری روی مقاومت چسبندگی برشی ندارد [۱۶].

۳ – استفاده از بتن غلتکی پر سیمان بر روی سطوح مضرس شده یا نشده

این روش به منظور فرآهم نمودن پیوستگی مطلوب به وسیله خمیر سیمان موجود در مخلوط بتن و به جای استفاده از بتن بستر، توسعه پیدا کرده‌است. به منظور کاهش حرارت هیدراتاسیون ناشی از زیاد بودن مواد سیمانی موجود در مخلوط، در این نوع بتن معمولاً به مقدار نسبتاً زیادی پوزولان مصرف می‌گردد. همچنین برای به تأخیر انداختن در زمان گیرش بتن، از مواد مضاف کندگیرکننده استفاده می‌گردد. حداکثر اندازه سنگدانه‌های این مخلوط ۵۱ میلی‌متر می‌باشد [۱۱].

سطح افقی که درزه اجرایی بین بلوک‌های یک‌پارچه و مجزا را تشکیل می‌دهند، قبل از اجرای بلوک یک پارچه بعدی، ابتدا با مضرس کردن و آب‌پاشی تمیز و آماده می‌شوند البته حتماً سطوح بتن قدیم، قبل از بتن‌ریزی جدید، می‌بایست خشک باشد. در این‌گونه سدها، جهت به‌سازی درزه‌ها استفاده از ملات بستر معمولاً مرسوم نیست. هرچند که در بعضی از اوقات یک مخلوط پر ماسه، برای بهبود بخشیدن به کیفیت پیوستگی بین دو لایه در محل درزه، اجرا می‌گردد تا بدین طریق جبران ناکافی بودن احتمالی خمیر موجود در بتن لایه جدید، برای تأمین پیوستگی مطلوب بین دو لایه بشود. از آنجایی‌که بتن لایه جدید، روی یک لایه کاملاً سفت و سخت شده قبلی اجرا می‌گردد و سنگدانه‌های آن به داخل بتن لایه قبلی نفوذ نمی‌کنند، در محل درزه بین دو لایه، هیچ‌گونه هم‌پوشانی سنگدانه‌های لایه‌های قدیم و جدید ندارد [۱۱].

ضریب اطمینان برشی در بخش‌های مختلف سد

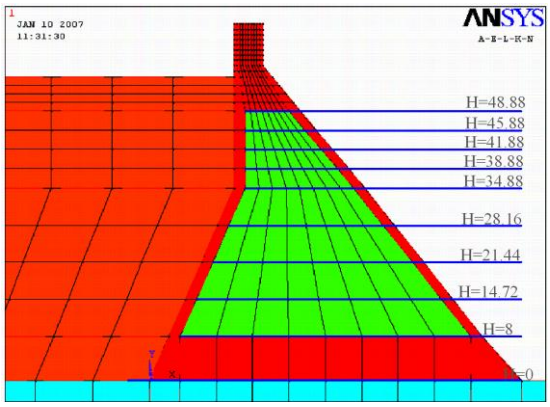
پارامترهای مقاومت برشی برای طراحی نهایی سازه‌های مهم مانند سدهای متوسط تا بلند یا سدهای واقع در مناطق با لرزه‌خیزی بالا، بسیار تعیین‌کننده می‌باشند و باید از نتایج آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های بستر آزمایشی، استخراج شود. استفاده از ضرایب طراحی دست بالا که برای مقاومت فشاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید برای محاسبه مقاومت برشی نیز اعمال شود. ضریب اطمینان برشی از تقسیم مقدار مقاومت برشی درزه به تنش برشی موجود در عرض مقطع سد و در فشار نرمال ناشی از وزن سد در ارتفاع‌های مختلف و در دو حالت با یا بدون چسبندگی، بدست می‌آید. ضریب ایمنی برشی، برای جبران مجهولات و تقریب‌های احتمالی در فرایند به کارگیری روش‌های تحلیل و مبانی طراحی، تغییرات و عدم یکنواختی

احتمالی در خواص مصالح مورد مصرف، کیفیت اجرا و مصالح، نیز به منظور فراهم نمودن یک حاشیه ایمنی ذاتی و ماندگار در بهره‌برداری، یک سری ضرایب ایمنی متعارفی، تکامل پیدا کرده‌است. ضریب ایمنی مجاز برشی مطابق با استانداردها و همچنین برای شرایط بارگذاری مختلف در داخل بدنه سد و در محل اتصال سد به پی سنگی در جدول (۳) آورده شده‌است [۱۷].

جدول٤: ضریب ایمنی مجاز برشی مطابق با استانداردهای مختلف

شرایط بارگذاری	استاندارد	
	U.S.B.R. (1976)	U.S.Army
معمول	3	2
غیر معمول	2	1.7
نهایی	1.5	1.3

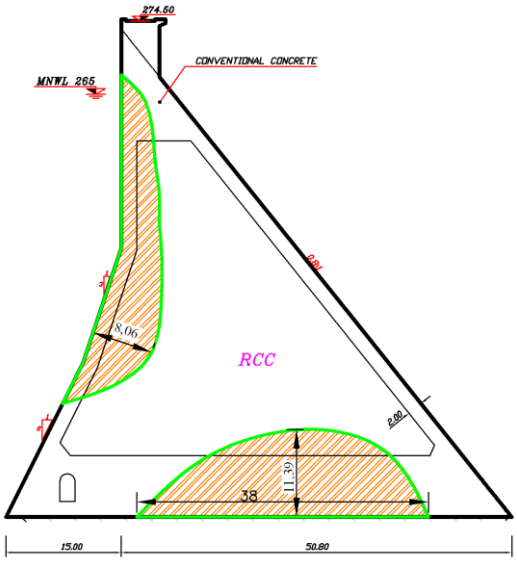
از آنجایی‌که مقاومت برشی به تنش‌های عمود بر درزه بستگی دارد، می‌توان از نتایج تحلیل دینامیکی کامل سد، نظیر تنش نرمال بر سطح درزه و تنش برشی وارد بر سطح درزه در تعیین ضریب اطمینان برشی و ناحیه‌بندی درزه و نوع بهسازی آن تصمیم گرفت. در مناطقی که فشار عمود بر درزه زیاد است، چسبندگی درزه تأثیر زیادی بر افزایش مقاومت برشی درزه ندارد و عامل مهم ضریب اصطکاک است. همچنین در این قسمت ضرایب اطمینان کاهش می‌یابد باید توجه داشت که نتایج در این تحقیق، مربوط به ترکیب بارگذاری زلزله *DBE* است. شکل(۱) سطوحی که در تحقیق حاضر ضریب اطمینان در برابر تنش برشی در آنها محاسبه شده‌است.



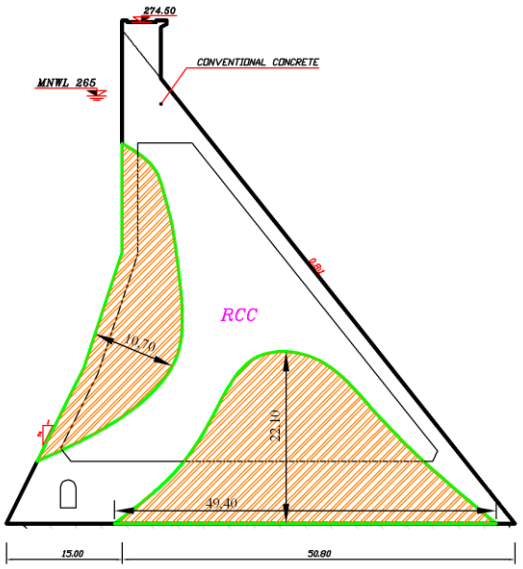
شکل ٥: سطوحی که ضریب اطمینان در برابر تنش برشی در آنها محاسبه شده‌است.

ناحیه‌بندی در سد زیردان

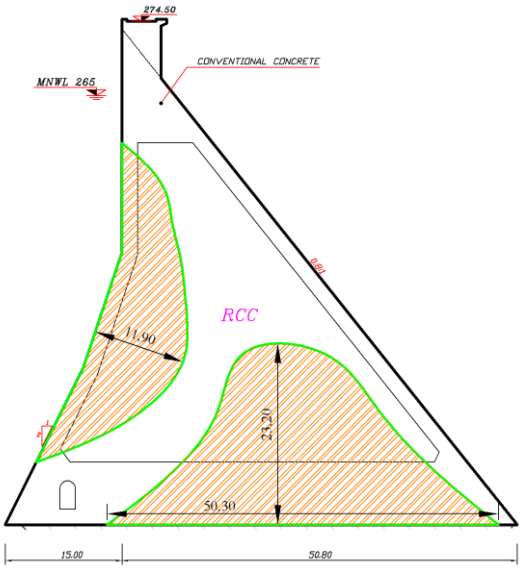
با توجه به آیین نامه *US. Army* مقدار ضریب اطمینان برشی در سطح خطر زلزله (*DBE*) و در شرایط بارگذاری غیرمعمولی که باید بزرگتر از ۱/۷ باشد. مطابق شکل (۴) تا (۸) در حالت‌های مختلف چسبندگی درزه، محدوده‌ای از مقطع سد که از لحاظ کنترل برشی نیاز به بهسازی درزه ندارد را می‌توان به دست آورد. البته قابل ذکر است که کلیه نتایج، مربوط به مقاومت چسبندگی درزه سرد در حالت‌های مختلف بهسازی درزه، در سن ۳۷ روزه و زاویه اصطکاک حداقل یعنی $\varphi = 45^0$ می‌باشد. مقدار تنش برشی و فشاری موجود در عرض سد و همچنین در ارتفاع‌های مختلف از مقطع سد، به ازاء موقعیت زمانی از تحلیل دینامیکی می‌باشد که تاج سد بیشترین تغییر مکان را در آن لحظه از زمان، دارا می‌باشد. مطابق شکل (۹) با افزایش مقدار مقاومت چسبندگی برشی درزه، مقاومت برشی درزه افزوده می‌شود. در نتیجه ناحیه‌ای از مقطع که از لحاظ برشی نیازی به تمهیدات بهسازی درزه ندارند، بزرگتر می‌شود.



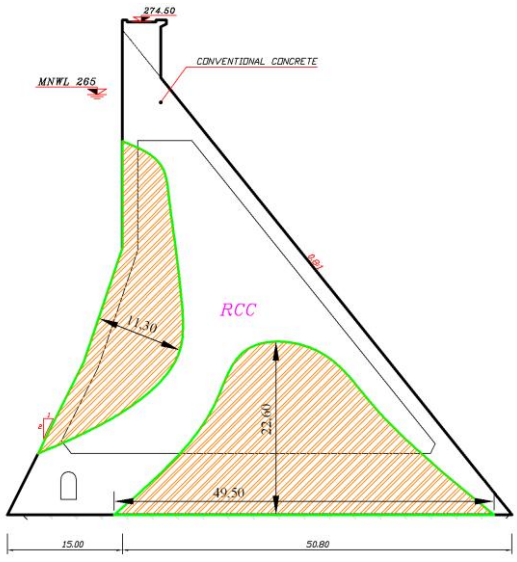
شکل ٦: محدوده هاشور خورده از مقطع سد در حالت C=0 از لحاظ برشی نیاز به بهسازی درزه ندارد.



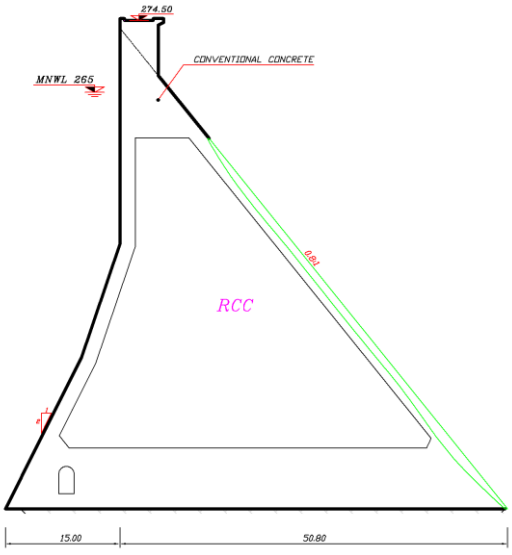
شکل ۷: محدوده هاشور خورده، در حالت C=0.33 MPa از لحاظ برشی نیاز به بهسازی درزه ندارد.



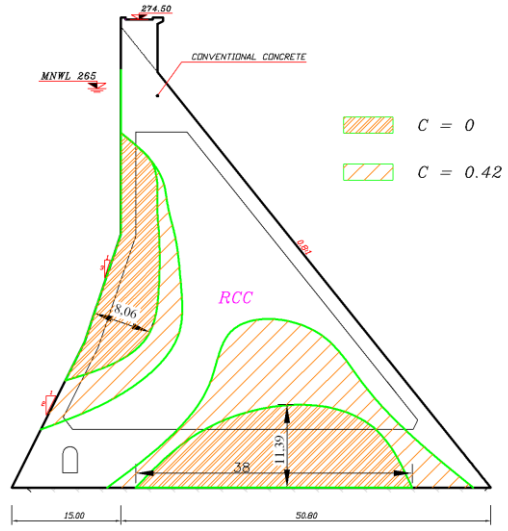
شکل ۹: محدوده هاشور خورده، در حالت C=0.42 MPa از لحاظ برشی نیاز به بهسازی درزه ندارد.



شکل ۸: محدوده هاشور خورده، در حالت C=0.36 MPa از لحاظ برشی نیاز به بهسازی درزه ندارد.

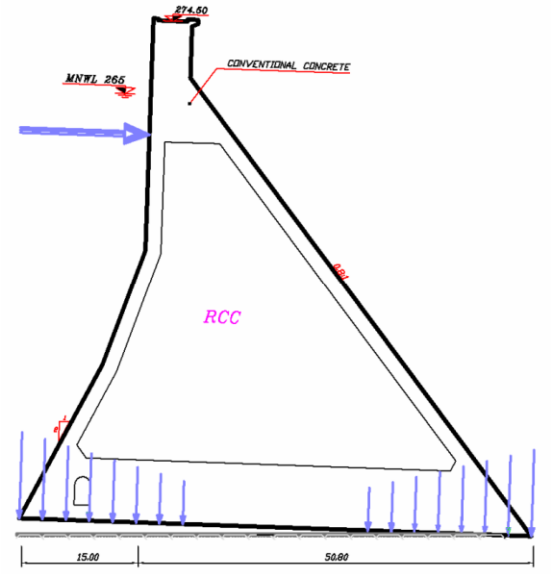


شکل ۱۰: در حالت C=0.8 MPa کل مقطع سد از لحاظ برشی نیاز به بهسازی درزه ندارد.

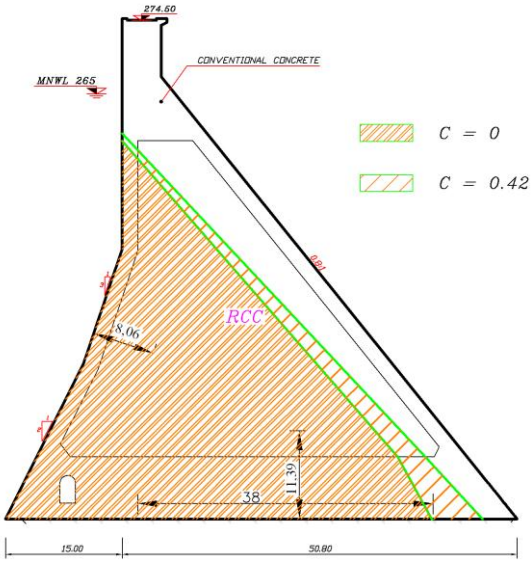


شکل ۱۱: تأثیر مقدار چسبندگی ناحیه‌ای از مقطع سد از لحاظ برشی نیاز به به‌سازی درزه ندارد

همان‌طور که قبلاً ذکر شده‌است، در ترکیب بارگذاری‌های زلزله به طور طبیعی، گوشه قاعده سد به دلیل تنش‌های کششی از زمین بلند می‌شود که در اثر این پدیده، تنش‌ها در گوشه قاعده سد به مقدار زیادی تغییر می‌یابد. در تحلیل‌هایی که انجام گردید فرض شده که محل تماس قاعده سد و پی به هیچ وجه باز نمی‌شود ولیکن ماکزیمم تغییر مکان تاج سد، زمانی می‌باشد که شتاب مثبت به مقطع سد وارد می‌شود، طوری که مطابق شکل (۱۱) بصورت واقعی گوشه قاعده بالادست سد، از زمین بلند می‌شود و تنش کششی ایجاد شده ناشی از اتصال قاعده سد به پی، حذف می‌شود. بنابراین مطابق شکل‌های (۱۰) و (۱۱) به مقدار تنش فشاری خالصی که به آن ناحیه از سد وارد می‌شود، افزوده می‌شود. به دلیل وابستگی مقاومت برشی به تنش فشاری، در این ناحیه از مقطع سد مقاومت برشی نیز افزوده می‌شود. همچنین به علت بلند شدگی سد، تنش فشاری بیشتری به گوشه قاعده پائین دست سد وارد می‌شود و در این ناحیه از مقطع سد نیز مقاومت برشی افزایش می‌یابد. با این فرضیه می‌توان انتظار داشت که سطح بیشتری از منطقه بالادست سد نیازی به به‌سازی درزه ندارد و فقط مطابق شکل (۱۲) نواری از پایین دست سد نیاز به به‌سازی درزه دارد.



شکل ۱۲: تأثیر بلند شدگی قاعده سد بر روی تنش‌های فشاری



شکل ۱۳: تخمین ناحیه‌ای از مقطع سد از لحاظ برشی نیاز به به‌سازی درزه ندارد، با در نظر گرفتن بلندشدگی قاعده سد از پی

البته در مراجع مختلف آورده شده‌است که ۰/۳۳ درصد از مقطع عرضی در پایین دست سد، از لحاظ برشی نیاز به به‌سازی درزه ندارد. البته ممکن است از لحاظ کششی یا تراوش نیاز به به‌سازی داشته باشد [۱۱]. ولیکن مطابق نتایج فوق و شکل شماره (۱۳) به وضوح مشخص است که محدوده ذکر شده در مراجع، در محدوده اطمینان قرار دارد و حتی ناحیه مذکور که نیازی به

بهسازی درزه ندارد از ۰/۳۳ درصد از مقطع عرضی در پایین دست سد هم بزرگتر می‌باشد.

صرفه‌جویی اقتصادی از نتیجه‌گیری

با توجه به جدول (۱) و تجربه ساخت سد در فرانسه اگر فرض کنیم هزینه بخش بهسازی درزه ۹ درصد کل هزینه سد بتن غلتکی را تشکیل می‌دهد، بنابراین با استناد به نتایج فوق، اگر بتوان حداقل ۶۵٪ از سطح درزه سرد را بدون بهسازی درزه، بتن‌ریزی کرد، حداقل ۵/۸۵ درصد از کل هزینه سد صرفه‌جویی می‌شود که اگر صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از کاهش زمان پروژه و پیشرفت سریع پروژه نیز محاسبه شود این درصد از عدد مذکور خیلی بیشتر می‌شود.

به طور مثال سد زیردان ایران، به ارتفاع ۶۴/۷ متر و طول تاج این سد ۳۵۰ متر، با احتساب این‌که در هر ۶۰ سانتی‌متر یک درزه سرد داشته باشیم (۲ لایه بتن ریزی در روز)، در کل سد حدود ۷۰ هکتار درزه سرد به وجود می‌آید و با توجه به این‌که هزینه ساخت کل سد حدود ۴۰ میلیون دلار برآورد شده‌است، بنابراین هزینه بهسازی درزه سرد در کل سد حدود ۳/۶ میلیون دلار تخمین زده می‌شود. با توجه به نتایج این تحقیق اگر حتی در دو سوم از این سطح درزه سرد که نیازی به بهسازی ندارد، تمهیدات بهسازی انجام نگیرد، حدوداً ۲/۵ میلیون دلار از کل هزینه از لحاظ اقتصادی صرفه‌جویی می‌شود. همین طور زمان لازم برای بهسازی حدود ۴۵ هکتار از سطح درزه سرد نیز از کل زمان پروژه کم می‌شود که خود از لحاظ اقتصادی باعث صرفه‌جویی مالی قابل ملاحظه‌ای می‌شود.

نتیجه‌گیری

۱- مقدر تنش برشی در مقطع پائین دست سد، بیشتر از بقیه ناحیه‌های سد می‌باشد.

۲- با برش عرضی در هر ارتفاع از مقطع سد، مقدار تنش برشی از یک مقدار ثابتی، از سمت بالادست سد شروع می‌گردد و با افزایش مقدار تنش برشی به تنش برشی حداکثر می‌رسد پس از آن در منطقه پائین دست سد، دوباره مقدار تنش برشی به مقدار تنشی کمتر از تنش اولیه افت می‌کند. قابل ذکر است که حداکثر مقدار تنش برشی در ناحیه‌ای نزدیک پائین دست مقطع سد، روی می‌دهد.

۳- با عنایت به زیاد بودن مقدار تنش برشی در پائین دست سد، نمی‌توان استنتاج کرد که در این ناحیه نیاز به ملات بستر بیشتری احساس می‌گردد. زیرا ممکن است، مقدار مقاومت برشی در این ناحیه بیشتر باشد.

۴- با افزایش مقدار مقاومت چسبندگی برشی درزه، مقاومت برشی درزه افزوده می‌شود. در نتیجه ناحیه‌ای از مقطع که از لحاظ برشی نیازی به تمهیدات بهسازی درزه ندارند، بزرگتر می‌شود.

۵- با فرض عدم بلند شدگی قاعده سد از پی، می‌توان انتظار داشت که سطح بیشتری از منطقه بالا دست سد نیازی به بهسازی درزه ندارد و فقط نواری از پایین دست مقطع سد نیاز به بهسازی درزه دارد.

۶- با مقایسه تنش برشی موجود درزه در ارتفاع‌های مختلف و مقاومت مشخصه درزه در سطح خطر زلزله DBE و مقاومت چسبندگی درزه سرد در حالت‌های مختلف بهسازی درزه تعیین گردید که حدود ۸۰ درصد از منطق بالا دست از لحاظ برشی نیازی به تمهیدات بهسازی درزه ندارند. که از لحاظ اقتصادی و زمانی باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای می‌شود.

مراجع

1. Debieb F., Courard L, Kenai S and Degeimbre R. (2009); “Roller compacted concrete with contaminated recycled aggregates” Construction and Building Materials 23; 3382–3387.
2. Yerramala A., Babu K. G., (2011); “Transport properties of high volume fly ash roller compacted concrete” Cement & Concrete Composites 33; 1057–1062.
3. Courard L., Michel F., Delhez P., (2010); “Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete” Construction and Building Materials 24; 390–395.

4. Chen Y., Wang C., Li S., Wang R., He J., (2001); “Simulation analysis of thermal stress of RCC dams using 3-D finite element relocating mech method” Advances in Engineering Software 32; 677-682.
5. Noorzae J., Bayagoob K.H., Thanoon W.A., Jaafar M.S. (2006); “Thermal and stress analysis of Kinta RCC dam” Engineering Structures 28; 1795–1802.
6. Jaafar M.S., Bayagoob K.H., Noorzae J., Thanoon W.A., (2007); “Development of finite element computer code for thermal analysis of roller compacted concrete dams” Advances in Engineering Software 38; 886–895.
7. X. F. Zhang, Shou-yi L., Yan-long L., Yao G, Hui L., (2011); “Effect of superficial insulation on roller-compacted concrete dams in cold regions” Advances in Engineering Software 42; 939–943.
8. Tabatabai E., " The study of static and dynamic analysis of RCC dams for joint treatment", Thesis for civil engineering Hydraulic structure, university of Tehran.
9. Schrader,E.K., “Shear strength and lift joint quality of RCC” Journal of Hydropower&Dams, Vol. 6 No. 1
10. Marulanda,A & etal (2002); "Miel I : a 188 m-high RCC dam in Colombia" Journal of Hydropower&Dams Issue Three.
11. Timotte. L. D, A. S. Okamotto “ Bonding of successive layers of RCC” construction technic. Lab. Skokie, il, 1987.
12. Mehrotra, V. K., (2004); “Roller compacted concrete dams for practicing engineers”, Standard publishers distributors, India.
13. Roller compacted concrete dams, Proceedings of the fourth Proceeding International Symposium of RCC dams, Madrid, Spain, (2003).
14. Mehta, PK. , Monteiro, P.J.M. , (1994); Concrete: Structure, Properties and Materials. 2nd Edition. New Jersey, EUA: Prentice Hall.
15. Mohsenian M., (2002); " Laboratory and field investigation of horizontal joints in RCC dams", Thesis for civil engineering soil mechanics & foundation, university of Tehran.
16. Rahgozar R., (2001); " Effect of polymer grout in permeabiliy and horizontal joints in RCC dams", Thesis for civil engineering Hydraulic structure, university of Amir kabir.
17. USACE, (1994); "Roller Compacted Concrete", Technical Eengineering and Design Guides as Adapted from the U.S. Army Corps of Engineers, No.5, American Society of Civil Engineers.