

## تأثیر نوع درز بر میزان نفوذپذیری و روش‌های نفوذناپذیر کردن روبه سدهای بتن غلتکی در بالادست

امیر ملک محمدی<sup>۱</sup>، محمدحسین افتخار<sup>۲</sup>، محمد شکرچی زاده<sup>۳</sup>، کسری حسینی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک، انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۲- کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک، انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۳- عضو هیئت علمی دانشکده عمران پردیس فنی دانشگاه تهران

۴- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

a.malek@ut.ac.ir

### چکیده

بتن غلتکی را بتن خشک با اسلامپ صفر تعریف می‌کنند که کاربرد اصلی آن در اجرای سازه‌های حجیم مانند سدهای انحرافی و ... می‌باشد. آن‌چه مسلم است، برتری‌های فراوان در روش اجرای بتن غلتکی، موجب گسترش روز افزون و رویکرد جهانی به آن شده است. یکی از این ویژگی‌های مهم بتن غلتکی میزان نفوذپذیری آن است که همواره باعث نگرانی طراحان بوده است. از آنجا که تعداد درزهای افقی اجرایی در بدنه سدهای بتن غلتکی، پنج تا هفت برابر بیشتر از سدهای بتنی متعارف است بنابراین میزان نفوذپذیری درزها تأثیر قابل توجهی بر میزان نفوذپذیری سدها دارد. در واقع کیفیت درزها در سدهای بتن غلتکی نشان دهنده عملکرد مناسب این نوع سدها می‌باشد. از این رو اجرای یک لایه عمود بر درزها به منظور کاهش نفوذپذیری مسئله‌ای مهم در اجرای سدهای بتن غلتکی می‌باشد. در این مقاله هدف اصلی معرفی روش‌های آب‌بند کننده و مقایسه میزان تأثیر این لایه‌ها با یکدیگر است. و همچنین تأثیر نوع درز در میزان نفوذپذیری بتن غلتکی است. به این منظور بتن غلتکی با سه نوع درز داغ، درز گرم و درز سرد ساخته شد. سپس نمونه‌ها به وسیله دو روش، غنی کردن بتن غلتکی با استفاده دوغاب سیمان و استفاده از بتن متراکم متعارف آب‌بند شد. با استفاده از آزمایش‌های تعیین عمق نفوذ آب و ضریب نفوذ گاز اکسیژن میزان تأثیر پارامترهای متغیر بر میزان نفوذپذیری اندازه‌گیری شد. مطابق با نتایج بدست آمده وجود درز سرد و گرم باعث افزایش نفوذپذیری بتن غلتکی می‌شود. همچنین از بین دو روش مذکور، استفاده از بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان تأثیر بیشتری در کاهش نفوذپذیری بتن غلتکی دارد.

کلمات کلیدی: بتن غلتکی، روبه بتن غلتکی، CVC، GEVR، نفوذپذیری

### ۱. مقدمه

در پی هزینه‌های بالا و سرعت کم احداث سد های بتنی متعارف نسبت به سدهای خاکی، در دهه ی ۱۹۵۰ آمار احداث سدهای خاکی بر سد های بتنی پیشی گرفت اما تخریب سد های خاکی به دلیل رسوب‌گذاری سیلاب ها و فرسایش درونی بیشتر نسبت به سد های بتنی سبب شد که این نوع سدها با ایمنی کمتری همراه باشند، محققان در دهه های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ به دنبال یافتن مصالحی با سرعت و روش اجرای مشابه مصالح خاکی و ایمنی مشابه مصالح بتنی با کاهش سیمان و افزایش درصد درشت دانه ها به بتن غلتکی یا در اصطلاح RCC دست یافتند. [۱]

نفوذپذیری بتن غلتکی از مهمترین مسائل مورد اهمیت در سد های بتنی غلتکی است که متاثر از عوامل متعددی از جمله وجود درزهای ناشی از نحوه اجرای لایه‌ای آن و همچنین نفوذپذیری توده بتن است. ضخامت هر لایه‌ی بتن غلتکی به ۳۰ سانتیمتر می‌رسد، در نتیجه از هر مترمکعب بتن غلتکی سطحی بالغ بر ۳ متر مربع در ناحیه درز ها واقع شده است که سبب می‌شود بحث نفوذپذیری در بتن غلتکی حائز اهمیت زیادی شود [۲]. بر اساس فاصله زمانی اجرای درز ها و وضعیت گیرش

در حین اجرای لایه‌ی جدید، مشخصه‌ای به نام سن بلوغ تعریف می‌شود که از حاصلضرب درجه حرارت سطحی لایه پایینی در زمان اجرای دو لایه متوالی بدست می‌آید بر اساس این مشخصه درزها به سه نوع داغ، گرم و سرد دسته بندی می‌شوند. همانطور که اشاره شد نفوذپذیری بتن غلتکی به نفوذپذیری توده بتن غلتکی و همچنین نفوذپذیری درزهای آن بستگی دارد که ناشی از عوامل متعددی چون نوع مخلوط بتن غلتکی، نوع درزها و فرصت کاری می‌باشد. از راهکارهای اجرایی کاهش اثر درزها بر نفوذپذیری در مرحله اول مدیریت نوع درز و در مرحله بعد استفاده از لایه‌ای آب‌بند کننده در امتداد عمود بر درزها است. در این مقاله در ابتدا به بررسی میزان تاثیر نوع درز در میزان نفوذپذیری و سپس میزان تاثیر استفاده از دو روش آب‌بند کننده CVC و GEVR پرداخته شده است. [۳]

## ۲. برنامه آزمایشگاهی و مشخصات مصالح مصرفی

### ۲-۱-۱. مصالح مصرفی

#### ۲-۱-۱-۱. مصالح سنگی

انتخاب نوع مصالح مصرفی برای ساخت نمونه‌های بتن غلتکی بر پایه ضرورت رعایت قابلیت مقایسه با دیگر پروژه‌های انجام شده صورت گرفت. از این رو در این تحقیق از چهار رده مصالح سنگی استفاده شد. شن استفاده شده از نوع شکسته در دو اندازه ریز ۵ الی ۱۲/۵ میلیمتر و درشت ۱۲/۵ الی ۲۵ میلیمتر مطابق با دانه‌بندی و مشخصات فنی با استاندارد ASTM C33 می‌باشد. همچنین از ماسه شکسته استفاده شده است. نکته قابل توجه در استفاده از ماسه آن است که برای رسیدن به دانه‌بندی مناسب دو نوع ماسه با میزان ذرات گذشته از الک شماره ۲۰۰ متفاوت را با نسبت ۴۰ به ۶۰ با هم مخلوط کرده و از این مخلوط در طرح اختلاط استفاده شده است. درصد ذرات رد شده از الک ۲۰۰ وزن مخصوص، جذب آب و وزن مخصوص ظاهری مصالح سنگی مورد استفاده در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- نتایج درصد گذشته از الک ۲۰۰ و مقادیر جذب آب و وزن مخصوص مصالح سنگی

شن درشت	شن ریز	ماسه ۲	ماسه ۱	درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰
۰/۱	۰/۳	۴/۴	۰/۲۵	
۲/۱	۱/۶	۲/۹	۳/۷	درصد جذب آب
۲/۶	۲/۷	۲/۶۵	۲/۶	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )

### ۲-۱-۲-۲. سیمان

از سیمان پرتلند نوع دو کارخانه ساوه مطابق با استاندارد ASTM C150 استفاده شده است که در جدول ۲ مشخصات فنی آن آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات فنی سیمان تیپ ۲ ساوه

ردیف	ویژگیها	مقدار مجاز طبق استاندارد برای سیمان تیپ ۲	مقادیر بدست آمده برای سیمان مورد استفاده
۱	انبساط اتوکلاو (درصد)	حداکثر ۰/۸	۰/۲۵
۲	اولیه (دقیقه)	حداقل ۴۵	۱۲۰
	نهایی (دقیقه)	حداکثر ۳۶۰	۱۸۰
۳	مقاومت فشاری (kg/cm <sup>2</sup> )	حداقل ۱۷۵	۲۴۰
		حداقل ۳۱۵	۳۸۵

### ۲-۱-۳. آب

آب مصرفی در بتن غلتکی همانند بتن متعارف باید الزامات استاندارد ASTM C1602 را رعایت کند. بر این اساس در این تحقیق از آب لوله‌کشی شهر تهران استفاده شده است.

### ۲-۲. طرح اختلاط

مخلوط بتن غلتکی ساخته شده در این تحقیق با استفاده از روش معرفی شده ACI 211.3R-02 به عنوان طرح اختلاط مخلوط با اسلامپ صفر طراحی شده است. در جدول ۳ طرح اختلاط بدست آمده از روش مذکور مشاهده می‌شود. [۴]

جدول ۳- طرح اختلاط مورد استفاده در این تحقیق در هریک متر مکعب حجم درحالت SSD

نوع مصالح	وزن نهایی (کیلوگرم)
سیمان	۲۰۸
ماسه ۱	۲۵۸
ماسه ۲	۳۹۶
شن نخودی	۷۰۰
شن بادامی	۶۸۳
آب اختلاط	۱۲۶
نسبت آب به سیمان	۰/۷۶

### ۲-۳. ساخت نمونه‌ها

ساخت نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM C31 صورت گرفت. زمان اختلاط برای طرح به منظور مخلوط شدن کامل مصالح و بر اساس تجربه ۴/۵ دقیقه در نظر گرفته شد و همچنین به منظور بهبود خواص مکانیکی بتن مخلوط غلتکی پس از اختلاط به مدت ۱۸ دقیقه بین ساخت و تراکم وقفه ایجاد شد. این زمان به صورت تجربی و به وسیله آزمایش‌های زمان وبه و وزن مخصوص بتن تازه بدست آمده است. سپس با توجه به نوع درز نمونه‌گیری در قالب‌های مکعبی به ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ انجام گرفته و با استفاده از یک وزنه مکعب مستطیلی به وزن ۲۰ کیلوگرم متراکم گشت. نمونه‌ها پس از تراکم به مدت ۲۴ ساعت با پارچه خیس و پس از باز کردن قالب به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب با دمای ۲۵-۲۱ درجه سانتیگراد عمل‌آوری شدند.

#### ۲-۴. نحوه ایجاد درز

همانطور که اشاره شد در مقاله حاضر یکی از پارامترهای مورد بررسی تاثیر درز بر میزان نفوذپذیری است لذا برای بررسی تاثیر نوع درز بر نفوذپذیری بدنه سد، نمونه‌ها با سه نوع درز داغ، گرم و سرد ساخته شد. نمونه‌های بدون درز: برای ساخت این نمونه‌ها، بتن در یک لایه درون قالب‌های مکعبی ریخته و با استفاده از میز ویبره و سربار ۲۰ کیلوگرمی متراکم شد. نمونه‌های با درز داغ: برای ساخت این نمونه‌ها، بتن در دو لایه درون قالب‌های مکعبی ریخته و با استفاده از میز ویبره و سربار ۲۰ کیلوگرمی متراکم شد. زمان بتن‌ریزی بین لایه اول و دوم ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. نمونه‌های با درز سرد: برای ساخت این نمونه‌ها، بتن در دو لایه درون قالب‌های مکعبی ریخته و با استفاده از میز ویبره و سربار ۲۰ کیلوگرمی متراکم شد. زمان بتن‌ریزی بین لایه اول و دوم ۲۴ ساعت و میزان شاخص بلوغ  $h-f$  ۱۱۰۰ در نظر گرفته شده است. نمونه‌های با درز گرم: برای ساخت این نمونه‌ها، بتن در دو لایه درون قالب‌های مکعبی ریخته و با استفاده از میز ویبره و سربار ۲۰ کیلوگرمی متراکم شد. طبق دستورالعمل ACI 207.5R-11 و همچنین تحقیقات پیشین میزان زمان بتن‌ریزی بین ۲ لایه برای تشکیل درز گرم بین ۱/۵ تا ۳ ساعت است که در این تحقیق ۲ ساعت در نظر گرفته شد. [۵]

#### ۲-۵. اجرای لایه آب‌بند

به منظور افزایش چسبندگی بین بتن غلتکی و لایه آب‌بند کننده پس از گذشت ۲۸ روز از ساخت نمونه‌ها سطح آنها با استفاده از برس سیمی و دستگاه فرز مضرس شد. ۲-۵-۱. لایه بتن متراکم متعارف: پس از آماده‌سازی نمونه‌های بتن غلتکی، یک لایه از بتن متعارف (CVC) به ضخامت ۱۰ سانتیمتر به طور عمود بر درز بر روی آنها اجرا شد. لازم بذکر است به دلیل آنکه ضخامت لایه آب‌بند در آزمایش نفوذ گاز به ۲/۵ سانتیمتر می‌رسد لازم است بزرگترین بعد سنگدانه بتن آب‌بند محدود گردد لذا از به کار بردن شن بادامی در مخلوط پرهیز شده است. در جدول ۴ طرح اختلاط بتن لایه آب‌بند مشاهده می‌شود.

جدول ۴- طرح اختلاط بتن متعارف آب‌بند در حالت SSD

مقدار در متر مکعب (kg)	درصد در ترکیب	مصالح
۱۱۵۴	۶۰	ماسه
۷۶۹	۴۰	شن ریز
۲۹۵	-	سیمان تیپ ۲ ساوه
۱۳۶	-	آب
۱/۵	۰/۵	فوق روان کننده (بر حسب وزن سیمان)
	۰/۴۴	نسبت آب به سیمان
	۱۱	اسلامپ (سانتیمتر)

۲-۵-۲. بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان: طبق دستورالعمل ACI 207.5R دوغاب سیمان برای غنی کردن و بهبود مشخصات فنی بتن غلتکی باید حداقل تا ۴۰ دقیقه پس از ساخت بتن غلتکی به آن اضافه گردد بدین منظور پس از

ساخت نمونه‌ها و تراکم آن پس از گذشت ۴۵ دقیقه به میزان ۲۵ لیتر بر واحد سطح از ملات سیمان بر روی نمونه‌ها اضافه شده و تراکم انجام گردید. در جدول ۵ مشخصات ملات سیمان استفاده شده مشاهده می‌شود.

جدول ۵- مشخصات دوغاب غنی کننده

نسبت وزنی آب به سیمان	آب (kg)	سیمان (kg)
۰/۵	۹۰	۱۸۰

در جدول ۶ مشخصات هر طرح مشاهده می‌شود.

جدول ۶- مشخصات طرح

نام طرح	H	W	C	CVC	GEVR
مشخصات طرح	بتن غلتکی با درز داغ	بتن غلتکی با درز گرم	بتن غلتکی با درز سرد	بتن غلتکی با دارای CVC	بتن غلتکی با دارای GEVR

## ۲-۶. آزمایش‌ها

آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های بتن شامل آزمایش اندازه‌گیری کارایی مخلوط بتن غلتکی با استفاده از میز لرزه بر طبق استاندارد ASTM C1170، آزمایش تعیین وزن مخصوص بتن تازه طبق استاندارد ASTM C138، آزمایش تعیین مقاومت فشاری طبق استاندارد ASTM C39، آزمایش تعیین ضریب نفوذپذیری بتن در برابر گاز اکسیژن بر طبق RILEM کمیته TC116، تعیین عمق نفوذ آب در بتن طبق استاندارد EN 12360-8 و آزمایش تعیین جذب آب طبق استاندارد ASTM C642 می‌باشد.

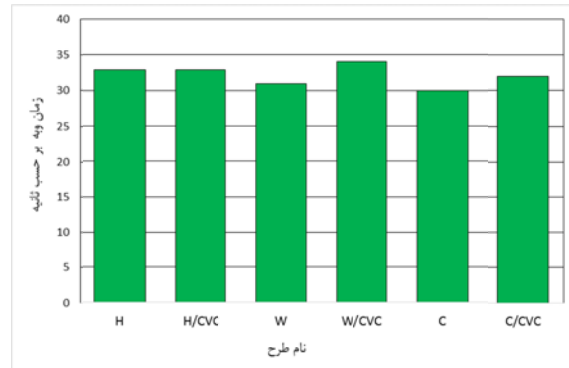
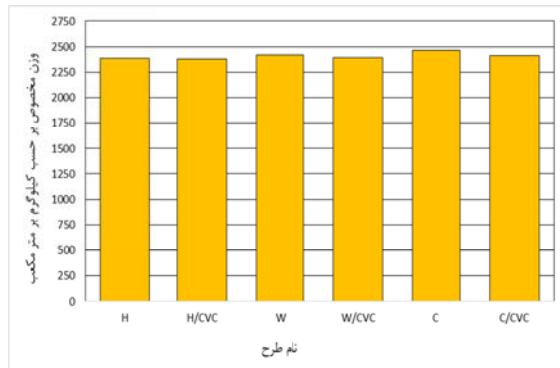
## ۳. نتایج آزمایشگاهی

### ۳-۱. نتایج آزمایش اندازه‌گیری کارایی مخلوط با استفاده از میز

با توجه به آنکه نسبت‌های اختلاط بتن غلتکی در طول این مقاله ثابت بوده است، هدف از انجام این آزمایش کنترل یکنواختی مخلوط‌های ساخته شده می‌باشد. نتایج زمان بدست آمده در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین مقادیر بدست آمده برای این آزمایش برابر با ۳۲/۲ ثانیه و مقدار انحراف معیار برابر با ۱/۳ می‌باشد که نشان دهنده یکنواخت بودن خواص مخلوط بتن در طول زمان ساخت است.

### ۳-۲. نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص بتن تازه

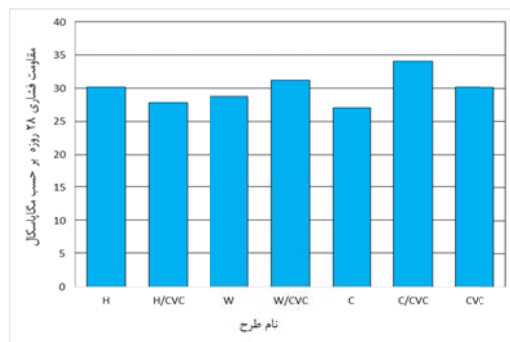
هدف از انجام این آزمایش کنترل یکنواختی مخلوط‌های ساخته شده در طول دوره انجام آزمایش‌ها می‌باشد. نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص بتن تازه بدست آمده در شکل ۲ نشان داده شده است. میانگین مقادیر بدست آمده برای این آزمایش برابر با ۲۴۰۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقدار انحراف معیار برابر با ۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد با توجه به انحراف معیار بدست آمده نمونه‌ها از یکنواختی مناسبی برخوردار بوده‌اند.



شکل ۱- نتایج آزمایش اندازه‌گیری کارایی مخلوط با استفاده از میز و به شکل ۲- نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص بتن تازه

### ۳-۳. نتایج آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی بتن غلتکی بدون آب‌بند به ابعاد  $20 \times 20$  و نمونه‌های مکعبی بتن دارای CVC به ابعاد  $15 \times 15$ ، پس از ۲۸ روز عمل‌آوری، انجام گرفت. میانگین نتایج بدست آمده در شکل ۳ نشان داده شده است.

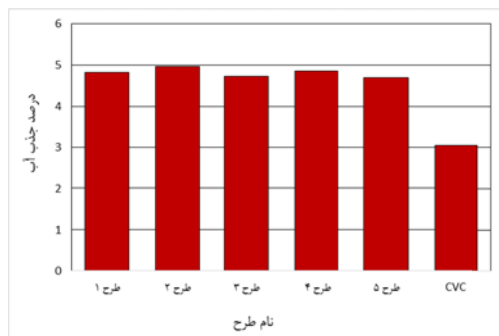


شکل ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به آنکه نسبت‌های اختلاط در طول این مقاله ثابت بوده است هدف از انجام آزمایش مقاومت فشاری کنترل یکنواختی مخلوط‌های ساخته شده در طول دوره آزمایش‌ها می‌باشد. میانگین مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه بدست آمده برای نمونه‌های بتن غلتکی به ترتیب برابر با  $8/3$  و  $30/0$  مگاپاسکال می‌باشد. بدست آمدن انحراف معیار برابر با  $1/1$  و  $2$  مگاپاسکال برای مقاومت‌های ۲۸ روزه و ۷ روزه نشان از یکنواختی مخلوط ساخته شده در طول زمان دارد بر اساس طبقه‌بندی ACI 214 انحراف معیار بدست آمده در رده‌بندی عالی قرار می‌گیرد.

### ۳-۴. نتایج آزمایش جذب آب

با توجه به آنکه نسبت‌های اختلاط بتن غلتکی در طول این مقاله ثابت بوده است، هدف از انجام این آزمایش کنترل و مقایسه میزان جذب آب نمونه‌های بتن غلتکی با نمونه‌های بتن لایه آب‌بند در روش CVC و همچنین کنترل دوام نمونه‌های بتن غلتکی بود. نتایج به دست آمده در شکل ۴ نشان داده شده است. نکته قابل توجه کمتر بودن میزان جذب آب بتن آب‌بند کننده CVC نسبت به بتن غلتکی می‌باشد که این نکته به عملکرد مناسب بتن آب‌بند اشاره دارد.



شکل ۴- نتایج آزمایش جذب آب بتن

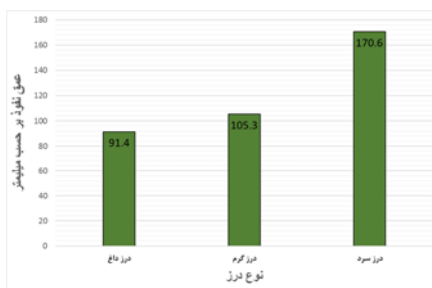
### ۳-۵. نتایج آزمایش عمق نفوذ آب در بتن

آزمایش تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار، بر روی نمونه‌های بتن غلتکی استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و طول ۲۰۰ میلی‌متر پس از ۲۸ روز عمل‌آوری مرطوب انجام گرفت. این نمونه‌ها با بتن متراکم متعارف CVC و بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان (GEVR) آب‌بند شده بودند. طول نمونه با توجه به ضخامت لایه آب‌بند به گونه‌ای برش داده شدند تا ارتفاع نمونه‌ها همواره ۲۰ سانتیمتر باشد. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۷- نتایج آزمایش عمق نفوذ آب در بتن

نام نمونه	H	W	C	H/CVC	H/GEVR	W/CVC	W/GEVR	C/CVC	C/GEVR	CVC
میزان نفوذ (mm)	91	105	170	38	21	42	17	41	12	37

۳-۵-۱. بررسی تغییرات عمق نفوذ آب با توجه به نوع درز بتن غلتکی: با توجه به جدول ۷ وجود درز در بتن غلتکی تاثیر بسزایی در میزان افزایش نفوذپذیری آن دارد. به طوری که وجود درز گرم ۱۵ درصد و درز سرد ۸۶ درصد میزان نفوذ آب در بتن را نسبت به حالتی که بتن غلتکی دارای درز داغ است افزایش داده است دلیل این پدیده عدم اتصال کامل دو لایه است. بدیهی است که به دلیل پیوستگی کمتر دو لایه در درز سرد این افزایش نفوذپذیری مشهودتر است. با توجه به جدول ۷ و دسته‌بندی ارائه شده توسط نویل مشاهده می‌شود که بتن غلتکی با هر ۳ نوع درز در رده نفوذپذیر قرار دارد. این موارد یکبار دیگر لزوم استفاده از لایه‌های نفوذناپذیر در بالادست را نشان می‌دهد. در شکل ۵ میزان تاثیر درز بر عمق نفوذ آب اشان داده شده است.

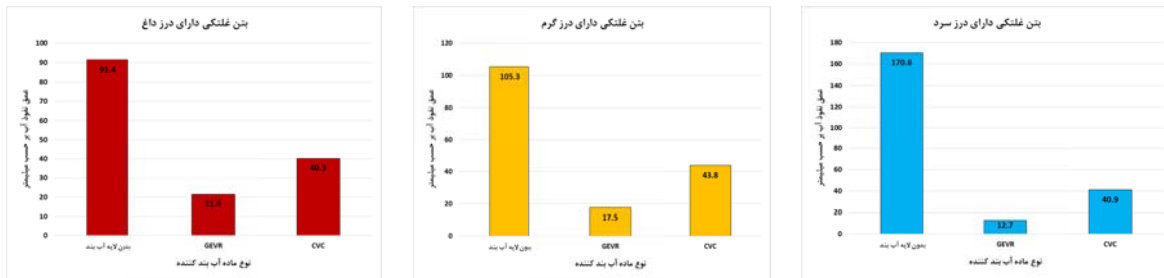


شکل ۵- تاثیر درز در میزان عمق نفوذ آب

۳-۵-۲. بررسی تاثیر نوع آب‌بند بر میزان عمق نفوذ آب در بتن غلتکی: با توجه به جدول ۷ وجود لایه آب‌بند کننده در کاهش میزان عمق نفوذ آب نقش موثری دارد. همانطور که در بخش قبل ذکر شد در این تحقیق از دو روش استفاده از بتن متراکم متعارف و بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان استفاده شد. در شکل ۶ میزان تاثیر لایه‌های آب‌بند در بتن غلتکی دارای درز داغ، گرم و سرد نشان داده شده است.

طرح CVC، به دلیل نسبت آب به سیمان کمتر، دارای جذب آب کمتر و همچنین درصد تخلخل کمتری است؛ بنابراین میزان عمق نفوذ آب در آن نیز کمتر می‌باشد. پس توانایی مقاومت در برابر نفوذ آب در بتن غلتکی دارای لایه آب‌بند CVC بیشتر از بتن غلتکی معمولی می‌باشد. رویه CVC میزان نفوذپذیری آب در بتن غلتکی در درزهای داغ، گرم و سرد را به ترتیب تا ۵۶، ۵۸، ۷۶ درصد کاهش می‌دهد.

اما میزان توانایی آب‌بند نمودن بتن غلتکی غنی شده با دوغاب به دلیل آنکه تمام خلل و فرج‌های توده بتن توسط ملات سیمان پر شده است و همچنین به دلیل نفوذ کردن این ملات به داخل درزها و عملکردی مانند ملات بستر بین درز پیدا می‌کند میزان نفوذپذیری آب در بتن غلتکی در درزهای داغ، گرم و سرد را به ترتیب تا ۷۶، ۸۳، ۹۲ درصد کاهش می‌دهد.



شکل ۶- تاثیر ماده آب‌بند کننده در میزان عمق نفوذ آب

### ۳-۶. آزمایش تعیین ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن

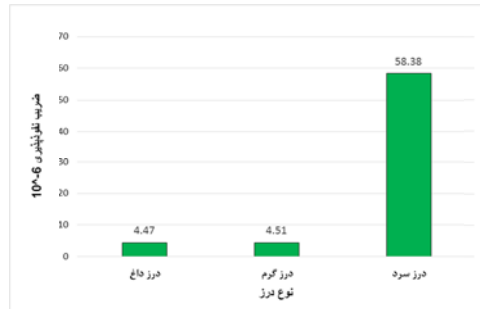
آزمایش تعیین ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن، بر روی نمونه‌های بتن غلتکی استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و طول ۵۰ میلی‌متر پس از ۲۸ روز عمل‌آوری و ۱۰ روز آماده‌سازی شامل ۷ روز در گرمخانه (دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد و محیط خشک) و سپس سه روز خنک‌سازی در محیط خشک انجام پذیرفت. این نمونه‌ها با بتن متراکم متعارف CVC و بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان (GEVR) آب‌بند شده بودند. طول نمونه با توجه به ضخامت لایه آب‌بند به گونه‌ای برش داده شدند تا ارتفاع نمونه‌ها همواره ۵ سانتی‌متر باشد. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۸- نتایج آزمایش نفوذپذیری گاز اکسیژن

نوع طرح	H	W	C	H/CVC	H/GEVR	W/CVC	W/GEVR	C/CVC	C/GEVR	CVC
ضریب نفوذپذیری $10^{-16} (m^2)$	۴/۴۷	۴/۵۱	۵۸/۳۸	۳/۰۸	۲/۷۴	۳/۱	۲/۶۵	۷/۵۲	۲/۹۲	۲/۱۵

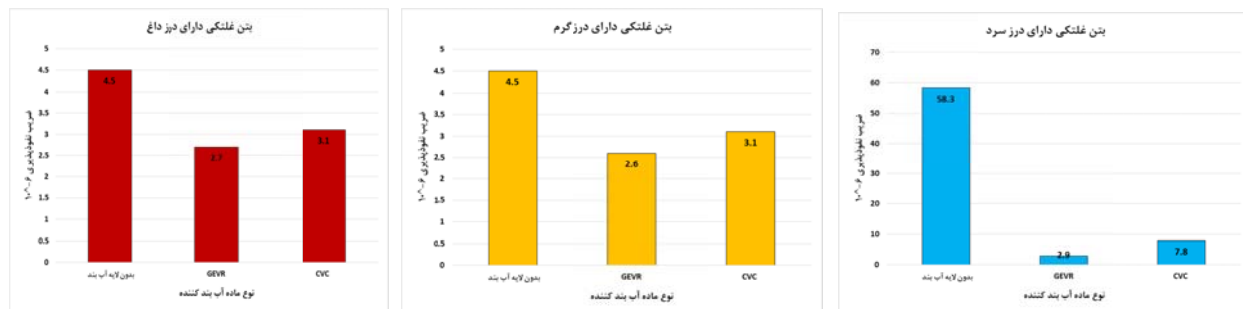
۳-۵-۱. بررسی تغییرات ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن با توجه به نوع درز بتن غلتکی: همانطور که در جدول ۸ مشاهده می‌گردد. علی‌رغم پیش‌بینی اولیه نمونه‌های با درز گرم دارای ضریب نفوذپذیری گاز بسیار بالاتری نسبت به حالت بدون درز یا درز داغ نیستند. که نشان دهنده میزان تاثیر اندک نوع درز در بتن غلتکی می‌باشد. علت این امر را می‌توان این گونه توضیح داد؛ همانطور که بتن غلتکی به دلیل مشخصات ذاتی مکانیکی دارای میزان تخلخل بیشتری نسبت به بتن معمولی است. به علت ابعاد بسیار کوچک مولکول گاز اکسیژن و وجود این میزان تخلخل، مولکول‌های گاز اکسیژن بیشتر از درون توده بتن عبور می‌کند و وجود درز تاثیر عمده‌ای در میزان نفوذپذیری و در نتیجه ضریب نفوذپذیری ندارد. اما در مورد درز سرد به علت ناپیوستگی شدید بین دو قسمت در ناحیه درز این ضریب به طور محسوسی افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده از این آزمایش با دیگر آزمایش‌های قبلی [۶] نیز همخوانی دارد که نشان می‌دهد بدست آمدن ضریب نفوذ بالا در درز سرد ناشی از خطای آزمایش نیست. در شکل ۷ تاثیر نوع درز را بر میزان ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن آمده است.





شکل ۷- تاثیر درز در میزان ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن

۳-۵-۲. بررسی تاثیر نوع آب‌بند بر میزان ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن در بتن غلتکی: با توجه به جدول ۸ همانند نفوذ آب در بتن وجود لایه آب‌بند کننده در کاهش میزان ضریب نفوذپذیری گاز در بتن نقش بسزایی دارد. برای این آزمایش نیز در این تحقیق، از دو روش بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان و همچنین استفاده از بتن متعارف استفاده شد. در شکل ۸ میزان تاثیر لایه‌های آب‌بند در بتن غلتکی دارای درز داغ، گرم و سرد بر ضریب نفوذ گاز نشان داده شده است. بتن آب‌بند کننده CVC نفوذپذیری کمتری نسبت به بتن غلتکی دارد و با توجه به آن که بخشی از مسیری که سیال درون نمونه طی می‌کند از درون بتن آب‌بند کننده می‌گذرد لذا طرح نفوذپذیری کمتری دارد. به طوری که ماده CVC میزان ضریب نفوذپذیری گاز در بتن غلتکی در درزهای داغ، گرم و سرد را به ترتیب تا ۳۰، ۳۱، ۸۶ درصد کاهش می‌دهد. همانطور که گفته شد عبور گاز اکسیژن از بتن غلتکی بیشتر از طریق خلل و فرج درون توده بتن اتفاق می‌افتد. بتن غلتکی غنی شده با دوغاب به دلیل آنکه تمام خلل و فرج‌های توده بتن توسط ملات سیمان پر شده است و همچنین به دلیل نفوذ کردن این ملات به داخل درزها، عملکردی مانند ملات بستر بین درز پیدا می‌کند به همین دلیل میزان ضریب نفوذپذیری در بتن غلتکی در درزهای داغ، گرم و سرد را به ترتیب تا ۴۰، ۴۲ و ۹۵ درصد کاهش می‌دهد. که ثابت می‌کند این روش تاثیر بیشتری نسبت به روش دیگر دارد.



شکل ۷- تاثیر ماده آب‌بند کننده در میزان ضریب نفوذپذیری در برابر گاز اکسیژن

#### ۴. نتیجه‌گیری

بر اساس آزمایش‌های انجام شده نتایج زیر حاصل گردیده است:

- وجود درزهای اجرایی متعارف در بتن غلتکی به سه دسته اصلی درز داغ، گرم و سرد تقسیم می‌شوند. هر کدام از این درزها بر میزان نفوذپذیری بتن غلتکی تاثیر دارند. به طوری که درز گرم باعث افزایش حدوداً ۱۵ درصدی و درز سرد باعث افزایش ۸۶ درصدی میزان نفوذپذیری در آزمایش عمق نفوذ آب نسبت به حالت درز داغ (بدون درز) شد.

- درز سرد باعث افزایش ۹۲ درصدی میزان ضریب نفوذپذیری در آزمایش ضریب نفوذپذیری گاز اکسیژن نسبت به حالت درز داغ (بدون درز) شد. اما درز گرم تاثیر چندانی بر تغییر این ضریب نداشته است.
- استفاده از لایه آببند CVC به ترتیب باعث کاهش ۵۶، ۵۸ و ۷۶ درصدی میزان نفوذپذیری در آزمایش عمق نفوذ آب در درز های داغ، گرم و سرد می شود.
- استفاده از لایه آببند CVC به ترتیب باعث کاهش ۳۰، ۳۱ و ۸۶ درصدی میزان نفوذپذیری در آزمایش ضریب نفوذپذیری گاز اکسیژن در درز های داغ، گرم و سرد می شود.
- استفاده از لایه آببند GEVR به ترتیب باعث کاهش ۷۶، ۸۳ و ۹۲ درصدی میزان نفوذپذیری در آزمایش عمق نفوذ آب در درز های داغ، گرم و سرد می شود.
- استفاده از لایه آببند GEVR به ترتیب باعث کاهش ۴۰، ۴۲ و ۹۵ درصدی میزان نفوذپذیری در آزمایش ضریب نفوذپذیری گاز اکسیژن در درز های داغ، گرم و سرد می شود.
- استفاده از لایه آببند GEVR به ترتیب باعث ۳۳، ۳۴ و ۲۵ درصد کاهش بیشتر بر میزان نفوذپذیری در آزمایش عمق نفوذ آب در درز های داغ، گرم و سرد نسبت به استفاده از CVC می شود. علت اصلی این پدیده کمتر بودن میزان جذب آب و تخلخل توده بتن در حالت GEVR نسبت به استفاده از CVC است.
- استفاده از لایه آببند GEVR به ترتیب باعث ۱۸، ۱۳ و ۱۵ درصد کاهش بیشتر بر میزان نفوذپذیری در آزمایش ضریب نفوذپذیری گاز اکسیژن در درز های داغ، گرم و سرد نسبت به استفاده از CVC می شود. علت اصلی این پدیده کمتر بودن میزان جذب آب و تخلخل توده بتن در حالت GEVR نسبت به استفاده از CVC است.
- استفاده از بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان GEVR تاثیر بیشتری در کاهش نفوذپذیری آب در بتن غلتکی در هر سه نوع درز داغ، گرم و سرد نسبت به روش استفاده از بتن متراکم متعارف CVC دارد.
- استفاده از بتن غلتکی غنی شده با دوغاب سیمان GEVR تاثیر بیشتری در کاهش ضریب نفوذپذیری از اکسیژن در بتن غلتکی در هر سه نوع درز داغ، گرم و سرد نسبت به روش استفاده از بتن متراکم متعارف CVC دارد.

##### ۵. مراجع

- [1] Bantia N., Pigeon M., Marchand J. and Boisvert J. (1992) "Permeability of roller compacted concrete". ASCE J. Mater. Civ. Eng. 4 (1) (1992) 27- 40.
- [2] Yasuji I. Kimitaka U. Kazushi T. 2007, "STUDY ON THE QUALITY CONTROL OF ROLLER COMPACTED CONCRETE", 32nd Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES: 28 - 29 August 2007, Singapore.
- [۳] شکرچی زاده، محمد؛ قاسمی، هومن. (۱۳۸۴)، «بتن غلتکی در سدسازی»، انتشارات دانشگاه تهران.
- [4] ACI, 2009, "Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete". Reported by ACI Committee 211, ACI 211.3R-2009
- [5] ACI, 2011, "Report on Roller-Compacted Mass Concrete". Reported by ACI Committee 207, ACI 207.5R-2011.



نهمین کنفرانس ملی بتن ایران  
۱۵ و ۱۶ مهرماه ۱۳۹۶  
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



[۶] افتخار، محمدحسین. (۱۳۹۰)، " بررسی عوامل مؤثر بر نفوذپذیری درزهای سدهای بتن غلتکی". پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-گرایش ژئوتکنیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران.