

اثر زمان کوبش بر خواص مکانیکی و نفوذ پذیری بتنهای غلتکی (RCC) دکتر مجتبی غروی

۱. پیشگفتار:

بتن غلتکی یا RCC یک روش جدید برای اجرای بتن حجیم می باشد که ایده آن به دهه ۱۹۶۰ و توسعه کاربرد آن به دهه ۱۹۸۰ میلادی بر می گردد.

استفاده از این مصالح در فعالیتهای گوناگون عمرانی مثل راهسازی، اجرای پی های حجیم، ترمیم سازه های فرسوده و دیگر موارد رایج می باشد ولی فکر لزوم چنین مصالحی از صنعت سدسازی دنبال شده است و در این شاخه گسترش و پیشرفت قابل ملاحظه داشته است.

سدهای بتنی غلتکی را می توان مهمترین تحول و دستاورد صنعت سد سازی در ربع قرن گذشته به حساب آورد. این فناوری، امکان احداث سدهای فراوانی را با استانداردهای فنی و ایمنی مناسب فراهم کرده و در عین حال سرعت زیاد اجرا در این روش موجب اقتصادی شدن سدها گردیده است. همچنین این روش امکان ترمیم سدهای قدیمی را که از نظر پایداری یا ظرفیت تخلیه سیلاب مشکل دارند، بوجود آورده است. بنابر آنچه که در متون فنی آمده است، بتن غلتکی بتنی است که با غلتک کوبیده می شود. این بتن پیش از گیرش باید وزن غلتکها را تحمل کند و پس از سخت شدن باید بتواند در برابر نیروهای وارد بر آن تاب آورد. حمل و نقل و پخش و کوبیدن این مخلوط معمولاً با استفاده از ماشین آلات راهسازی و عملیات خاکی صورت می گیرد و در انتخاب مصالح برای آن می توان دامنه ای بزرگتر نسبت به آنچه در بتنهای معمولی قابل قبول است، در نظر گرفت. گرچه در سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ میلادی از مصالحی مشابه آنچه امروزه بتن غلتکی می نامیم، در پروژه های متعدد استفاده شد، اما اولین بار در سال ۱۹۴۷ حجمی زیاد از این مخلوط برای ترمیم حوضچه آرامش تونل خروجی سد Tarbela در پاکستان به کار رفت. همزمان، در ایالات متحده و انگلیس نیز تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفت و در نهایت، سد Willow Creek بعنوان اولین سد بتن غلتکی در ایالات متحده بنا گردید. در ژاپن نیز روشی مشابه که «سدهای متراکم شده با غلتک (RCD)» نامیده می شود، در سدهای Shimajigawa به کار گرفته شد. در روش ژاپنی (RCD)، مخلوط بتن غلتکی در لایه های ضخیم (تقریباً به ضخامت یک متر) اجرا می گردد و بدنه داخلی سد را تشکیل می دهد و سپس پوششی از بتن متعارف (به ضخامت حدود ۱ متر) این قسمت را می پوشاند. طی دهه های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ تعدادی بسیار از سدهای بتن غلتکی در ایالات متحده و دیگر نقاط دنیا ساخته شدند و با پیشرفت زمان، اصلاحاتی قابل توجه نیز در فناوری اجرا و مصالح مصرفی صورت گرفت. گفتنی است که اولین بتن غلتکی قوسی - وزنی در آفریقای جنوبی ساخته شد. از اواسط دهه ۱۹۸۰ نیز از بتن غلتکی برای ترمیم سدهای قدیمی استفاده گردید. با این روش، ظرفیت تخلیه سیلاب و ضریب ایمنی پایداری سدهای خاکی افزایش داده می شد. همچنین، افزایش ارتفاع سدهای بتنی وزنی قدیمی موجب افزایش حجم مخزن آنها می گردید. آنچه مسلم است، برتریهای فراوان روش اجرای بتن غلتکی، موجب گسترش آن و رویکردی جهانی به آن شده است. بارزترین مزیت این روش، در کاهش زمان و صرفه جویی در هزینه اجرا نهفته است. کاهش حجم تأسیسات انحراف موقت آب و فزایندها با توجه به کوتاه تر شدن طول دوره اجرا از دیگر برتریهای این روش است. امکان به کارگیری مصالح محلی، احداث سد روی پی های با صلبیت کمتر، تأمین ظرفیت تخلیه سیلاب زیاد و امکان روگذری سیلاب حین اجرا، از دیگر برتریهای این روش است که می توان به آن اشاره کرد. با وجود همه این برتریها، در مواردی نیز ممکن است گزینه سد بتن غلتکی نسبت به گزینه های دیگر گرانتر تمام شود. این موارد به طور عمده در پروژه هایی اتفاق می افتد که مصالح مناسب در دسترس نیست، پی سد

خیلی ضعیف است یا پی سنگی در عمق خیلی زیاد قرار گرفته است. در چنین حالتی، شرایط فنی و اقتصادی پروژه باید کاملاً مورد بررسی قرار گیرند و تمام گزینه ها به طور دقیق با یکدیگر مقایسه شوند. مزایای فراوان بتن غلتکی باعث استفاده روز افزون آن طی سه دهه اخیر شده است و از آن نه فقط در اجرای سدهای جدید الاحداث بلکه در بهسازی سدهای قدیمی نیز استفاده می شود. این سدها دارای مزایای فنی سدهای بتنی و روش اجرای سریع و ارزان سدهای خاکی می باشند.

امکان متراکم سازی بتن غلتکی توسط غلتکهای ارتعاشی امتیاز بالایی را در اختیار مهندسان قرار می دهد چرا که در عین سرعت اجرای سریع هزینه کمتری را هم در پی دارد. از طرفی کاهش میزان سیمان مصرفی در بتن غلتکی به اقتصاد پروژه کمک بزرگی خواهد کرد. سیمان پرتلند معمولاً به عنوان ماده چسباننده در بتن غلتکی مورد استفاده قرار می گیرند ولی بسیاری مواقع خاکستر بادی و انواع پوزولانهای طبیعی یا مصنوعی جایگزین مناسبی برای بخشی از سیمان خواهند بود.

بطور کلی برخی از مزایای استفاده از بتن غلتکی در سدها را می توان به اختصار چنین بیان کرد:

- بالا بودن سرعت عملیات اجرایی
- کاهش میزان سیمان مصرفی و به تبع آن کاهش هزینه ها
- عدم نیاز به قالب بندی در سطح وسیع
- حذف سیستم خنک سازی در بدنه سد
- استفاده از تجهیزات و ماشین آلات معمولی جهت بتن ریزی
- هزینه ساخت پایین تر نسبت به سدهای بتنی وزنی
- امکان استفاده از مصالح سنگی نامرغوبتر نسبت به سدهای بتنی

۲. ضرورت تحقیق:

علیرغم مزایا و روند توسعه بتن غلتکی در دنیا، در کشور ما ایران به دلیل ناشناخته ماندن، و امکان احداث گزینه های خاکی و سنگریزه ای از این مصالح نوین ارزان و روش اجرای سریع ساخت سدها به خوبی بهره برده نمی شود. در چند سال اخیر، گزینه استفاده از سدهای بتنی غلتکی، با تأخیری حدود دو دهه مورد توجه دست اندرکاران صنعت سد سازی در کشور ما قرار گرفت. سدهای پای پل (تنظیمی کرخه) با ارتفاع ۳۴ متر با روش بتن غلتکی اجرا گردید. سد بتن غلتکی جگین با ارتفاع ۷۸ متر از پی، به پایان رسیده است و اجرای سد زبردان با ارتفاع ۶۳ با روش بتن غلتکی به زودی آغاز می گردد. برای تعدادی از سدهای بزرگ در دست طراحی نظیر سد رودبار لرستان و سفارود گیلان، انتخاب گزینه اجرایی سد بتن غلتکی بسیار محتمل است. به این ترتیب به نظر میرسد که غنی نمودن مراجع فارسی برگرفته از منابع معتبر و تحقیقات گسترده در روی این ماده با توجه به فرهنگ کاری، شرایط محیطی، بکارگیری مصالح در دسترس، تکنولوژی اجرا در ایران، برای کاربرد مهندسان و متخصصان ضرورتی تام دارد. از این رو در ادامه تکمیل تحقیقات قبلی بر مشخصات مکانیکی بتن غلتکی و با توجه به اهداف پروژه، موضوع زمان تأخیر در پروسه تراکم بتن غلتکی، که یکی از مهم ترین مشکلات اجرایی در پروژه های بتن غلتکی محسوب می شود مورد بررسی قرار گرفته است. فرصت زمان کاری (Working Time) عبارت است از فاصله زمانی بین لحظه اختلاط آب تا پایان پروسه تراکم بتن غلتکی که به علت اسلامپ در حد صفر مخلوط و خشک بودن آن ۳۰ تا ۴۵ دقیقه به عنوان حداکثر زمان مذکور در اغلب مراجع کشورهای صاحب سبک در بتن R.C.C عنوان گردیده است. آماده سازی اجرای بتن غلتکی در این زمان کوتاه در کشور ما به علت کمبود تجهیزات و پایین بودن ظرفیت آنها و در اختیار نداشتن تکنولوژی پیشرفته مقصور نخواهد بود. خصوصاً در پروژه های بزرگ کارکردن در این حدود زمانی چندان ساده نیست و عدم رعایت آن زمینه کاهش شدید مقاومت و ناهمگنی در بدنه سد را بسیار ممکن می کند. تحقیق حاضر در ادامه تکمیل تحقیقات قبلی، در پی شناخت بیشتر از مشخصات فیزیکی

بتن غلتکی و ارائه راه حلهایی برای فایق آمدن بر مشکل مذکور در اجرای بتن غلتکی تدارک دیده شده است. انجام آزمایشات آزمایشگاهی و نیز آزمایشات صحرایی بر روی نمونه بتن غلتکی زمان بر و بسیار پرهزینه است لذا استفاده از متد یا روشی که به کمک آن بتوان با استفاده از طرحهای اختلاط مختلف و بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده قبلی بر روی نمونه بتن غلتکی با درصد های سیمان و پوزولان مختلف و نیز تنوع مدل آنها به پیش بینی و یا تعیین محدوده مناسبی از مقاومت بتن غلطکی رسید امروزه مورد توجه می باشد. لذا با توجه به شرح خدمات ارائه شده سازمان مدیریت منابع آب ایران ضرورت انجام این تحقیق را تحت عنوان « اثر زمان کوبش بر خواص مکانیکی و نفوذ پذیری بتن غلتکی » تصویب و این تحقیق به انجام رسید.

۳. شرح خدمات:

۱- برنامه ریزی کار

۱-۱- تعیین اجزای پروژه

۱-۲- تعیین نوع و تعداد آزمایشات برای بخش های مختلف پروژه (آزمایشات عبارتند از دانه بندی، تعیین مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته استاتیکی و دینامیکی (حسب مورد) و نفوذ پذیری میباشد.

۱-۳- برنامه ریزی انجام آزمایشات و تفسیر نتایج

۲- جمع آوری اطلاعات و مروری بر ادبیات

۱-۲- گردآوری مقالات مربوط به زمان کوبش RCC در مجلات علمی شناخته شده بین المللی و ایران

۲-۲- گردآوری پایان نامه های داخلی در این رابطه

۳-۲- گردآوری مقالات مربوط به مطالعات ریز ساختاری بتن

۴-۲- بررسی امکانات آزمایشگاهی در داخل کشور

۳- ساخت نمونه ها و انجام آزمایشات

۱-۳- برنامه ریزی انجام آزمایشات

۲-۳- دانه بندی و آنالیز شیمیائی مصالح

۳-۳- ساخت نمونه های بتن غلتکی به روش پروکتور و روش چکش کانگو و یا سایر روشها حسب موضوع و اهداف پروژه (با نسبت های مختلف سرباره در سیمان مورد استفاده)

۴-۳- آماده سازی نمونه ها برای انجام آزمایشات مقاومت فشاری و غیره

۵-۳- آزمایشات تعیین مقاومت فشاری تک محوری

۶-۳- آزمایشات تعیین نفوذ پذیری

۷-۳- آزمایشات تعیین مدول الاستیسیته استاتیکی

۸-۳- آزمایشات تعیین مدول الاستیسیته دینامیکی

۹-۳- ایجاد مقدماتی برای بررسی شرایط ریز ساختاری RCC بر حسب زمان کوبش های مختلف حسب امکانات موجود در کشور

۴- تجزیه و تحلیل و نتیجه گیری

۱-۴- تطابق دادن نتایج حاصله با نتایج سایر محققین

۲-۴- رسم منحنی تغییرات زمان کوبش - مقاومت

۳-۴- رسم منحنی تغییرات زمان کوبش - مدول الاستیسیته

۴-۴- رسم منحنی تغییرات زمان کوبش - نفوذ پذیری

۴-۵- بررسی تغییرات منحنی زمان کوبش - مقاومت برای سیمانهای با میزان $C_3 A$ متفاوت

۴-۶- بررسی تأثیر ابعاد سنگدانه در زمان کاری مطلوب **RCC**

۴-۷- استفاده از نتایج آزمایشات بالاخص ردیف (۳-۷) برای تعیین تئوریهای ارائه شده به منظور توجیه پدیده

مورد مشاهده توسط محققین

۴-۸- نتیجه گیری با جمع بندی و ارائه پیشنهاد برای چگونگی تعیین زمان کاری و طرح اختلاط **RCC** در پروژه

ها با استفاده از پدهای آزمایشی .

شرح خدمات تکمیلی:

« کاربرد بتن غلتکی کوبیده (RCC) برای بازسازی سد »

۱- معرفی

۲- وسایل، شیوه ها و روش های ساخت **RCC**

۳- دسته بندی فعالیت های نوسازی سدهای **RCC**

۴- مشخصات فنی

۵- پیش از اجراء

۶- اجراء

۷- بعد از اجراء

۴. خلاصه نتایج تحقیق:

با توجه به شرح خدمات فوق الذکر و نتایج تحقیق که در بخش های بعدی به طور مشروح ارائه گردیده است نتایج این تحقیق را در چهار مرحله ذیل می توان خلاصه نمود.

۴،۱ - نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه های بتن غلتکی در زمانهای تأخیر متفاوت:

از تجربیات قبلی چنین استنتاج می شود که با زیاد شدن عیار سیمان پرتلند فرصت کاری مجاز بتن غلتکی پایین می آید و برعکس هر چه فاصله زمانی بین اختلاط تا تراکم بتن غلتکی بیشتر کنیم عیار سیمان نمی تواند جوابگوی ما برای کسب مقاومت بیشتر گردد.

بنابر این برای کسب مقاومت بالا دو راه حل وجود دارد، اول کاهش زمان اختلاط آب با مخلوط تا پایان لحظه تراکم و دوم استفاده از پوزولان ها.

به طور کلی در خصوص زمان کار با بتن غلتکی دو نظریه متفاوت وجود دارد که یکی مربوط به پرفسور شرایدر و دیگری مربوط به پرفسور هانسن می باشد.

در نظریه اول که توسط آقای شرایدر ارائه شده است ، تاخیر در زمان کوبش باعث کاهش رطوبت بتن غلتکی و نزدیک شدن رطوبت بتن به رطوبت بهینه می گردد (Schradler 1999). لذا این محقق افزایش مقاومت را ناشی از افزایش دانسیته مخلوط به دلیل نزدیک شدن به رطوبت بهینه می داند. در این فرضیه قاعدتاً رطوبت اولیه مخلوط از رطوبت بهینه بیشتر می باشد. در نظریه دوم که ارائه کننده آن آقای هانسن می باشد (Hansen 1999)، چنین استنباط می شود

که مخلوط شدن آب با سیمان پرتلند در همان دقایق اول به هیدراتاسیون سیمان منجر می شود ، بنابراین چنانچه عمل تراکم دیر آغاز شود، هیدرات های تشکیل شده در اثر انرژی ناشی از کوبش از هم گسیخته شده و تاثیرات زیانباری را در مقاومت فشاری بتن غلتکی سخت شده بدنبال خواهند داشت. اگر عملکرد نمونه های بتن غلتکی را با فرضیه خاکها و نظریه پرفسور شرایدر تطبیق دهیم ، با کم شدن رطوبت از رطوبت بهینه ، کاهش مقاومت فشاری و دانسیته نمونه های بتن غلتکی را در پی خواهیم داشت و این در حالی است که رطوبت نمونه ها در زمان اختلاط رطوبت مجاز بوده است که زمان وی بی ۲۵ ثانیه را ایجاد می نماید و فاصله زمانی ایجاد شده میان اختلاط تا کوبش باعث کم شدن رطوبت خواهد گردید که این مورد نیز امری اجتناب ناپذیر می باشد و بنابر نظریه فوق می بایست مقاومت فشاری نمونه های بتن غلتکی با افزایش زمان تاخیر کاهش یابد و منحنی آن سیر نزولی داشته باشد ، در صورتی که منحنی مقاومت تقریباً تا زمان مشخصی بنابر نوع پوزولان شاخه صعودی داشته و با زیاد شدن زمان تاخیر در این منحنی افت دیده می شود.

علت این موضوع را می توان با نظریه پرفسور هانسن و فرضیه بتنی بتن غلتکی ، توجیه نمود که پس از اختلاط آب با مخلوط بتن غلتکی ، واکنش شیمیایی میان آب و سیمان آغاز شده و پس از مدتی پیوندهای کریستاله سیمان شکل می گیرند. اگر کوبش قبل از تشکیل این پیوندهای کریستاله انجام گردد، مشکلی پیش نخواهد آمد و باعث تراکم و در نتیجه افزایش مقاومت مخلوط خواهد شد. اما اگر پس از تشکیل کریستالها کوبش انجام گیرد ، این عمل باعث شکسته شدن این پیوندها می گردد. هر چه فاصله زمانی میان اختلاط تا کوبش بیشتر باشد پیوندهای کریستاله بیشتری تشکیل می شود و در نتیجه پس از کوبش پیوندهای بیشتری شکسته خواهد شد و به این ترتیب از کل پیوندهایی که قرار است در نهایت تشکیل گردد کاسته می شود و کاهش مقاومت را در پی خواهد داشت.

جدول ۱-۱، میانگین نتایج مدول الاستیسیته استاتیکی، مقاومت فشاری و دانسیته نمونه های بتن غلتکی حاوی سیمان تیپ (V) در زمانهای تاخیر متفاوت.

Cement (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	MSA (mm)	Sand (kg)	Gravel (kg)	%Sand	Vebe Time (sec)	Delay Time (min)	Age (days)	Cylinder Compressive Strength (kg/cm ²)	Density (kg/m ³)	Static modulus of elasticity (Psi)
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	0	180	315	2278	
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	15	180	374	2248.5	2.22×10 ⁶
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	30	180	365	2210	2.03×10 ⁶
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	45	180	270	2081	0.89×10 ⁶
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	60	180	124.6	2061	1.28×10 ⁶
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	90	180	109	2015	1.07×10 ⁶
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	120	180	83.8	1941	0.825×10 ⁶

*هنگام حمل و نقل نمونه شکسته و قابل استناد نمی باشد.

Average			Standard Diversion			Coefficient of Variation		
Strength (kg/cm ²)	Density (kg/m ³)	Static modulus (Psi) ×10 ⁶	Strength	Density	Static modulus × 10 ⁶	Strength	Density	Static modulus
234.48	2119.2	1.38	116.35	118.1	0.544	49.62	5.57	39.49

در پی تایید این نظریه نتایج آزمایشات نمونه های حاوی دو نوع سیمان با درصدهای مختلف C₃A و تاثیر آن بر روی جایجایی نقطه اوج منحنی مقاومت فشاری در جداول ۱-۱ و ۲-۱ و شکلهای ۱-۱ تا ۱۰-۱ آمده است. بنابر این نظریه می توان گفت چنانچه مقدار C₃A در واحد حجم بتن افزایش یابد (بدلیل سیمان با C₃A زیاد یا به دلیل بتن با عیار بالای سیمان) زمان تشکیل شبکه بهم پیوسته کریستالی به جلو می افتد و نقطه اوج منحنی در زمان کمتری اتفاق خواهد افتاد.

جدول ۱-۲، میانگین نتایج مدول الاستیسیته استاتیکی، مقاومت فشاری و دانسیته نمونه های بتن غلتکی حاوی سیمان تیپ (II) در زمانهای تاخیر متفاوت

Cement (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	MSA (mm)	Sand (kg)	Gravel (kg)	%Sand	Vebe Time (sec)	Delay Time (min)	Age (days)	Cylinder (kg/cm ²)	Density (kg/m ³)	Static (Psi)
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	0	180	337	2277.5	2.39×10 ⁶
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	15	180	369	2255.5	1.985×10 ⁶
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	30	180	240.5	2180	1.49×10 ⁶
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	45	180	219.5	2072	1.53×10 ⁶
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	60	180	110.7	2002	0.86×10 ⁶
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	90	180	97.7	1935	0.78×10 ⁶
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	120	180	51.6	1891	0.485×10 ⁶

Average			Standard Diversion			Coefficient of Variation		
Strength (kg/cm ²)	Density (kg/m ³)	Static modulus (Psi) ×10 ⁶	Strength	Density	Static modulus × 10 ⁶	Strength	Density	Static modulus
203.7	2087.5	1.36	113.21	142.57	0.638	55.57	6.83	46.91

کاهش زمان مجاز تاخیر نیز با بالا رفتن عیار سیمان پرتلند و کاهش مشارکت پوزولان را می توان چنین توجیه کرد که عیار بالای سیمان و واکنش آن با آب حرارت بیشتری تولید می نماید. واکنش شیمیایی آب و سیمان در گرما از سرعت بیشتری برخوردار بوده و بنابر این سرعت تشکیل پیوندهای کریستاله بیشتر می گردد و در زمان های کمتری پیوندها تشکیل می شود و فرصت کاری مجاز کمتری ایجاد می نمایند.

همانطور که می دانیم سیمان پرتلند دارای فازها (ترکیبات) مختلف است که کلاً می توان آنها را در چهار فاز C₃، C₄A، C₃A، C₂S خلاصه نمود. درصدها متفاوت همین فازها هستند که ۵ تیپ سیمان پرتلند را می سازند. جدول زیر حدود درصد فازهای مختلف سیمان بکار رفته در آزمایشات ، که در آزمایشگاه شیمی ، آزمایشگاه مکانیک خاک وزارت راه و ترابری بدست آمده اند ، را نشان میدهد.

جدول ۱-۳، حدود درصد فازهای سیمان در سه نوع سیمان پرتلند مصرفی

نوع سیمان	C ₃ S	C ₂ S	C ₄ AF	C ₄ AF
تیپ (II) تهران	۶۷	۷	۳	۱۰
تیپ (V) تهران	۶۳	۱۶	۱	۱۲

در هنگام آبگیری سیمان فاز C₃A (تری کلسیم آلومینات) به سرعت هیدراته شده و مقادیر زیادی حرارت آزاد می کند و عامل اصلی گیرش سیمان می باشد. این ماده در ابتدای پروسه هیدراتاسیون سیمان، تشکیل ترکیبی که از جنبه کانی شناسی بنام اترینگایت (Ettringite) که متشکل از سولفات های کلسیم و آلومینیوم بازی آبدار می باشد را می دهد که به این فعل و انفعالات شیمیایی اصطلاحاً کریستالیزاسیون ذرات سیمان می گویند. در پی این پدیده شکل پایدار هیدرات آلومینات کلسیم که نهایتاً در خمیر سیمان هیدراته شده دیده می شود به صورت کریستالهای مکعبی شکل است که تک تک آنها نیز در احاطه هیدراتهای سیلیکات کلسیم محاصره شده اند. به عنوان یک نقطه نظر جهت تحلیل مشاهدات آزمایشها می توان گفت اگر کریستالیزاسیون به مرور اتفاق افتد و متراکم کردن نمونه ها در حالی که مقداری از این کریستالها تشکیل شده اند صورت گیرد، احتمالاً موجب انهدام شبکه کریستالی گردیده و نتایج منفی خود را در کاهش مقاومت فشاری نمونه های بتن غلتکی سخت شده نشان میدهد. همانگونه که در نتایج این تحقیق و شکل ۱-۲، دیده می شود با افزایش مقدار فاز C₃A سیمان، فرصت کاری مجاز با بتن غلتکی کمتر شده و نقطه اوج منحنی در زمان کمتری اتفاق افتاده است که در ارتباط با این موضوع و بنابر تحلیل پیش گفته می توان گفت در جریان تشکیل اترینگایت ها و قبل از آنکه مجموعه این مواد تشکیل یک شبکه بهم پیوسته را بدهند، چنانچه پروسه متراکم کردن انجام پذیرد عمل تراکم به منسجم کردن (Cohesion) این مواد و بهبود بافت و ریز ساختار این شبکه کمک می نماید. این مطلب تا زمانی که شبکه بهم پیوسته اترینگایتها تشکیل می شود صادق است (شاخه های صعودی منحنی) و لیکن پس از تشکیل این شبکه که می تواند احتمالاً با آغاز تشکیل سیلیکات های کلسیم هیدراته شده (C-S-H) که محصول نهایی هیدراتاسیون هیدرات های سیلیکات کلسیم است هم همراه باشد، امر کوبش به انهدام اتصال بین هیدرات های یاد شده (ژل C-S-H و اترینگایت) خواهد انجامید که کاهش مقاومت را در پی خواهد داشت (شاخه نزولی منحنی). همانطوریکه در نتایج این تحقیق و شکل ۱-۲، دیده می شود چنانچه مقدار C₃A در واحد حجم بتن افزایش یابد زمان تشکیل شبکه بهم پیوسته و کریستالی اترینگایتی به جلو می افتد و با انجام پروسه تراکم از کل پیوندهایی که قرار است در نهایت تشکیل گردد، کاسته می شود و در نتیجه تراکم دیر هنگام ما علاوه بر اینکه سازنده نمی باشد، تاثیر مخرب هم دارد و کاهش مقاومت را در پی خواهد داشت. مثلاً همانطور که در نتایج این تحقیق و اشکال ۱-۲ و ۱-۴ دیده می شود نمونه های حاوی سیمان تیپ (II) تهران که مقدار C₃A نسبتاً بالا و برابر با ۳ داشته اند، تاخیری در زمان کوبش و لرزش را تا ۱۵ دقیقه مجاز دانسته و تشکیل شبکه اترینگایت به سرعت انجام گرفته است، ولی نمونه های حاوی سیمان تیپ (V) تهران که دارای مقدار C₃A پایین و برابر با یک بوده اند، با به تاخیر انداختن تشکیل پیوندهای کریستالی به علت حضور کم C₃A، نقطه اوج منحنی به سمت راست نمودار کشیده شده است و فرصت کاری مجازی در حدود ۳۰ تا ۴۵ دقیقه ایجاد نموده است که در این مدت با انجام پروسه تراکم آفتی در منحنی مقاومت فشاری دیده نمی شود. هم اکنون روش هایی همچون استفاده از انکسار پودری اشعه X و استفاده از میکروسکوپ الکترونی که با استفاده از شعاع الکترونی به جای امواج نوری، بزرگ نمایی زیادی ایجاد می کند و برای بررسی آرایش اتمی و فرم فازهای کریستالی بکار برده می شوند وجود دارد که می توان در ادامه تحقیقات ساختمان کریستالی بعضی از فازها و سرعت رشد پیوندهای کریستالی در بتن غلتکی را مطالعه نمود.

ضریب ارتجاعی یا مدول الاستیسیته بتن غلتکی به عواملی چون سختی سنگدانه ها و نوع دانه بندی ، مقدار سیمان و عمر بتن وابسته می باشد . هر چه بر عمر بتن افزوده گردد ضریب ارتجاعی آن افزایش می یابد از سویی سنگدانه های دارای سفتی و مقاومت بالا مانند دانه های سنگی کوارتز (Quartzit) و آرژیلیت (Arglit) نسبت به دانه های سنگی نرم تر مانند ماسه سنگ و مارن ، ضریب ارتجاعی بالاتری را نتیجه می دهند. طراحان در گامهای اولیه طراحی عموماً مدول الاستیسیته بتن حجیم را معادل ۲۵ گیگا پاسکال اختیار می نمایند. ولیکن تجربه نشان داده است که بتن غلتکی را با تغییر در مشخصات اجرایی می توان به گونه ای طرح و اجرا نمود که مدول الاستیسیته آن خیلی کمتر و یا خیلی بیشتر از بتن معمولی باشد. چراکه افزایش و کاهش ضریب الاستیسیته نسبت به بتن معمولی بسیار به تراکم مخلوط بستگی دارد. (Schrader 1994) در بتن های حجیم و خصوصاً بتن غلتکی بدلیل ملاحظات حرارتی ، نیاز به ضریب ارتجاعی کمتری می باشد تا عملکرد سد در مقابل ترک خوردگی بهتر باشد . بدیهی است که افزودن دانه های غیر چسبنده و کاهش مواد سیمانی باعث کاهش ضریب الاستیک بتن R.C.C می گردد. کاهش ضریب الاستیسیته در بتن غلتکی نسبت به بتن حجیم معمولی از مزایای بتن غلتکی در مقابل ترک خوردگی می باشد.

همانگونه که در اشکال ۱-۱ تا ۱-۴، دیده می شود تاخیر در زمان کوبش و لرزش نمونه ها در ابتدا موجب افزایش مقاومت و پس از مدتی کاهش مقاومت را در پی دارد. ولی در مورد منحنی تغییرات مدول الاستیسیته استاتیکی، همانگونه که در اشکال ۱-۱ تا ۱-۱۰، ملاحظه می شود نتایج حاصل از آن حاکی از یک رابطه تقریباً خطی بین زمان تاخیر و مدول استاتیکی نمونه های بتن غلتکی می باشد. یعنی نمونه هایی که با حداقل زمان تاخیر در تراکم ساخته می شوند ، دارای حداکثر مدول استاتیکی و مشابهاً نمونه آخر با حداکثر زمان تاخیر در تراکم ، حداقل مدول استاتیکی را ارائه نموده است. پس با توجه به نتایج فوق می توان گفت که تاخیر در زمان کوبش و تراکم نمونه ها کاهش مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه های بتن غلتکی را در پی خواهد داشت و هیچ تاخیری در زمان کوبش نمونه ها مجاز نمی باشد و این بدان معناست که منحنی مدول الاستیسیته استاتیکی در برابر زمان تاخیر نمونه های بتن غلتکی نسبت به منحنی مقاومت فشاری ، تنها دارای شاخه نزولی می باشد و با یکدیگر متناسب نمی باشند و به همین دلیل استحصال یک نتیجه منطقی و مستقیم میان این پارامتر با مقاومت فشاری مقدور نمی باشد.

ذکر این نکته ضروری بنظر می رسد که نمونه پوزولان مصنوعی با میکروسیلیس، همانظوری که در جدول ۱-۱ و شکل ۱-۷، ملاحظه می گردد، از متوسط مدول الاستیسیته استاتیکی بالاتری نسبت به سایر نمونه ها برخوردار می باشد که این موضوع نشانگر ضریب هم ارزی بالای دوده سیلیس می باشد.

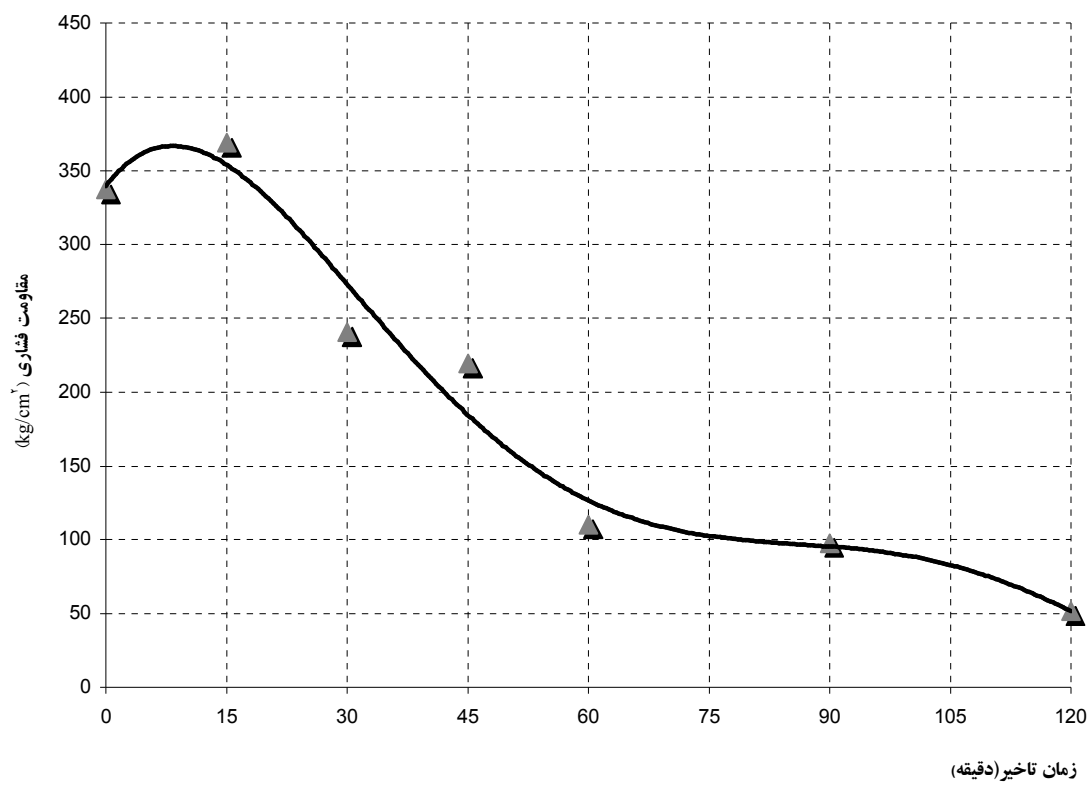
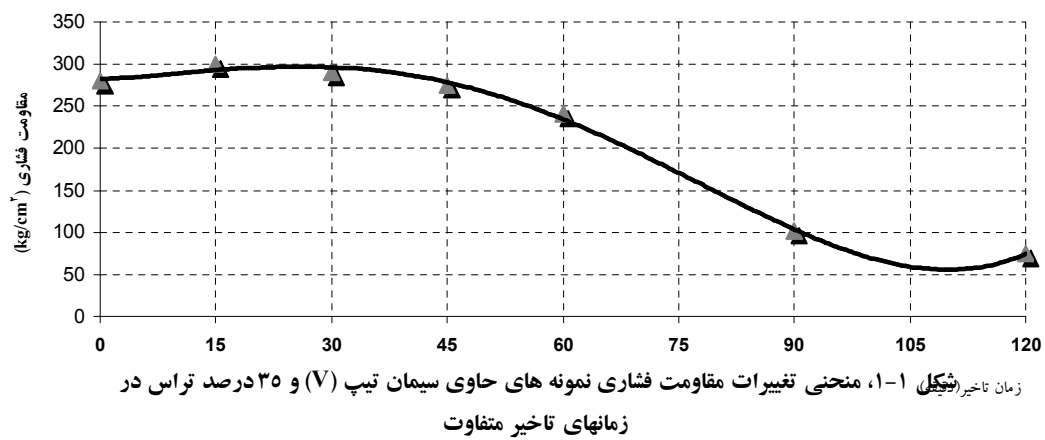
در خاتمه می توان گفت که خواص بتن غلتکی وابستگی بسیاری به کیفیت مصالح، نسبتهای اختلاط و کیفیت اجرا خصوصاً تراکم بتن دارد. به عنوان مثال خواص الاستیک و حرارتی بتن غلتکی بسیار وابسته به سنگدانه های مصرفی در بتن غلتکی است و میزان آن با تغییر کیفیت و دانه بندی مصالح سنگدانه ای تغییر می کند و این در حالی است که مقاومت فشاری بتن غلتکی علاوه بر نوع جنس و دانه بندی مصالح سنگدانه ای به میزان و عیار سیمان مصرفی در بتن بستگی دارد.

ثابت شده است که نوع شن و ماسه مورد مصرف در بتن غلتکی عامل اصلی در تعیین مدول الاستیسیته می باشد . وزن مخصوص پایین تر شن و ماسه مصرفی مثل سنگ مارن که سد Middle fork و ماسه سنگ که در سد آپراستیل واتر (Upper Still Water) به مصرف رسیده موجب شده مقادیر نسبتاً پایین E در مقایسه با E طبق فرمول بدست آید. در طراحی سد ، مدول الاستیسیته پایین مورد نظر است تا ترکهای بالقوه برای حد مشخصی از تنش تقلیل یابد. به طور کلی بدلیل شرایط خاص اجرایی بتن غلتکی و تغییرات محیطی و اجرایی ، نمونه های آزمایشگاهی نمی توانند به طور کامل

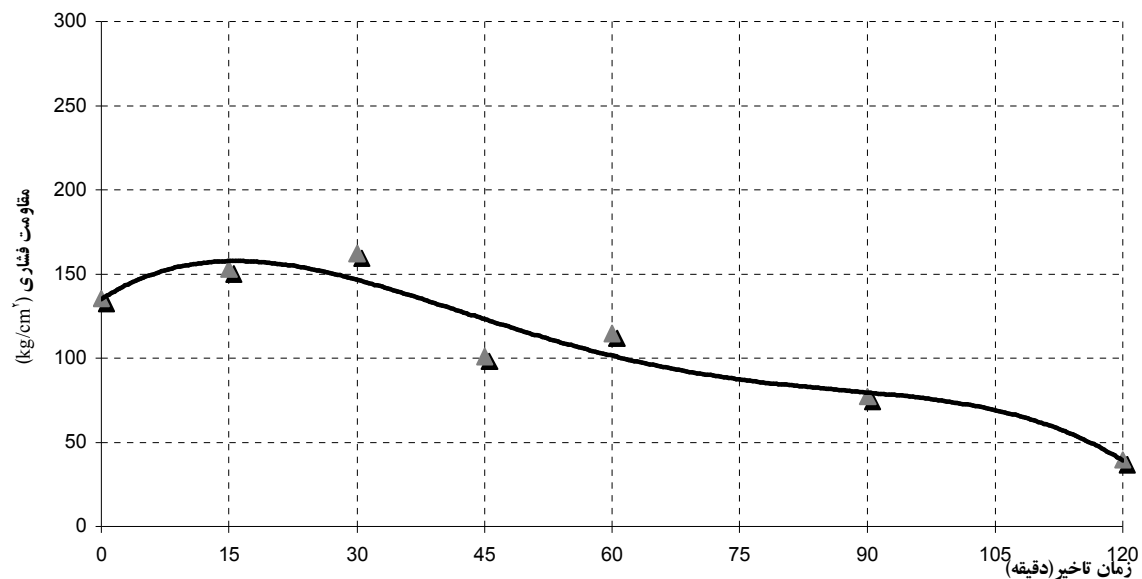
معرف خصوصیات مقاومتی و رفتار بتن غلتکی باشند و تنها مغزه های اخذ شده از بتن اجرا شده می تواند بیانگر این پارامترها باشند.

همچنین با توجه به شکل اجرای خاص بتن غلتکی اصولاً بتن غلتکی غیر همگن و غیر ایزوتروپ می باشد و ممکن است که علیرغم داشتن کلیه شرایط مقبول ، نتیجه مناسبی در بعضی پارامترها نداشته باشد که علت آن خطای آزمایش ، ناهمگنی نمونه و یا هر عامل غیر قابل پیش بینی دیگری می تواند باشد.

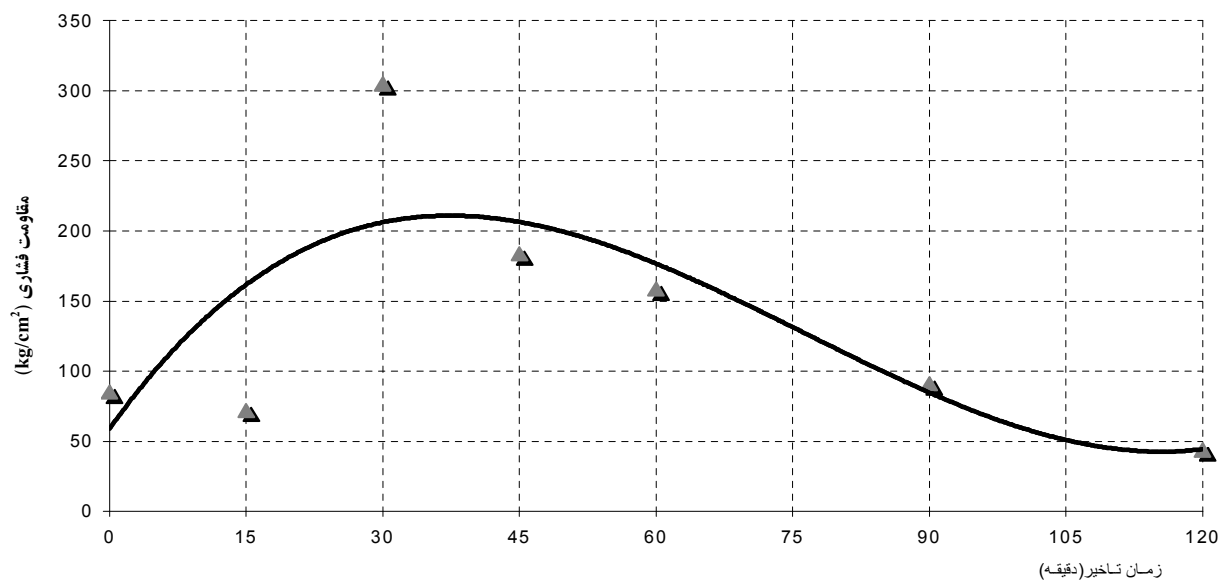
اگر چه تعداد آزمایشات به قدری نیست که بتوان یک نتیجه گیری کلی را مدعی شد اما با بازگشت به تجارب و گوشزدهای استانداردها ، به نظر می رسد لزوم کنترل همزمان عوامل اجرایی مقاومت فشاری ، دما ، دانسیته و زمان تاخیر به همراه عیار مناسب مصالح سیمانی جهت آب بندی نسبی بتن غلتکی امری اجتناب ناپذیر است و اکتفای تنها به یک پارامتر کفایت نمی نماید. این موضوع بایستی به عنوان یک موضوع مهم و غیر قابل چشم پوشی در تجارب آتی اجرای R.C.C مد نظر قرار گیرد.



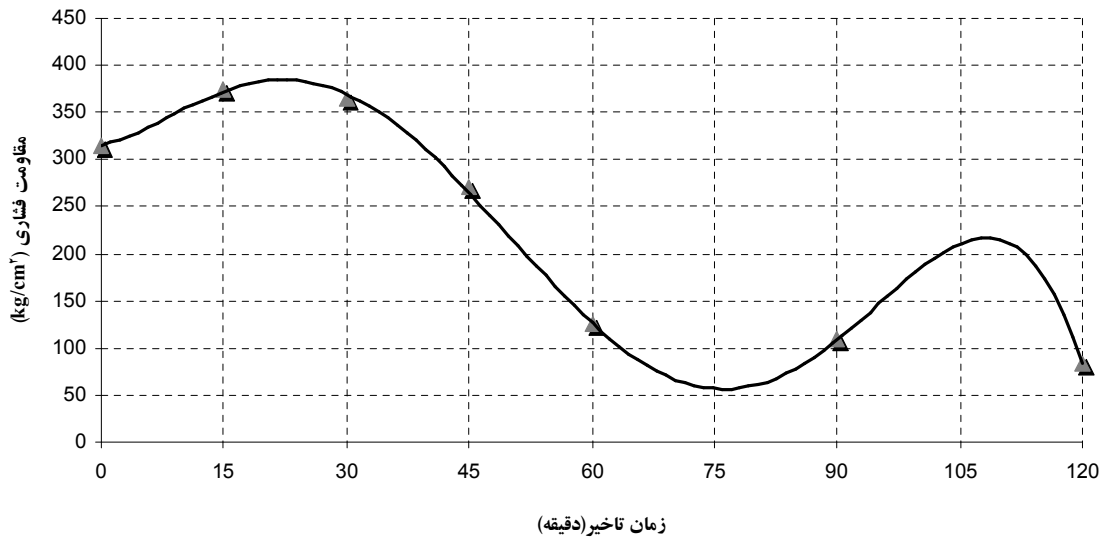
شکل ۱-۲، منحنی تغییرات فشاری نمونه های حاوی سیمان تیپ (II) در زمانهای تاخیر متفاوت



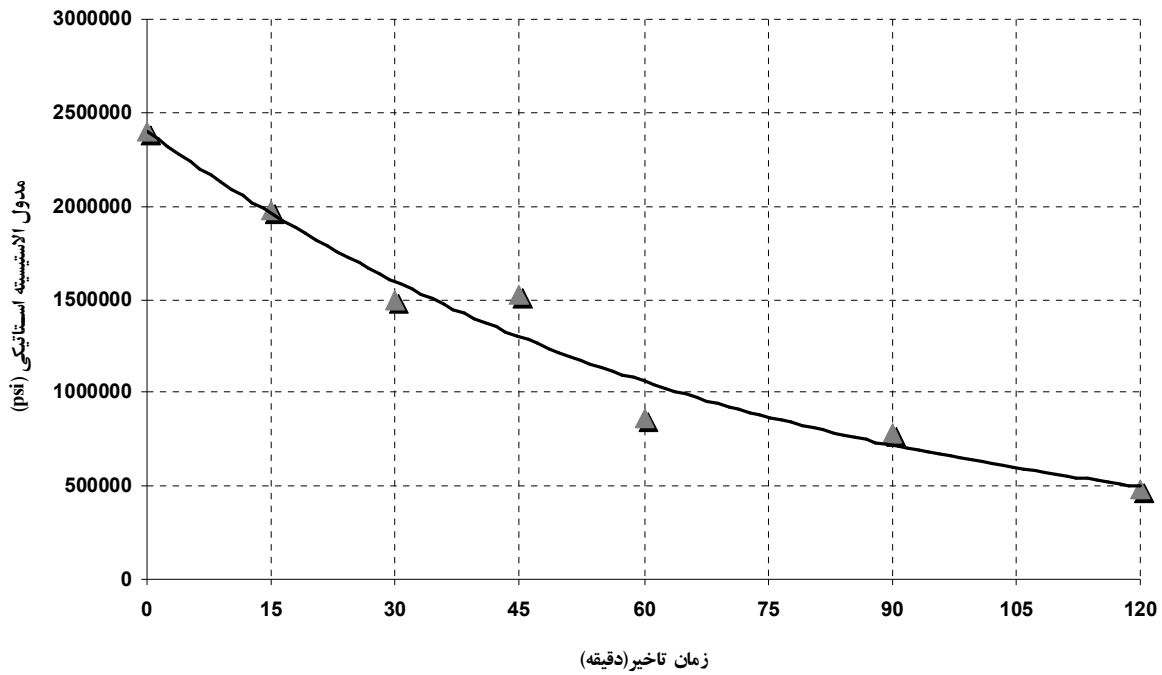
شکل ۱-۳، منحنی مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی سیمان تیپ (V) و ۲۰ درصد سربازه در زمانهای تاخیر متفاوت



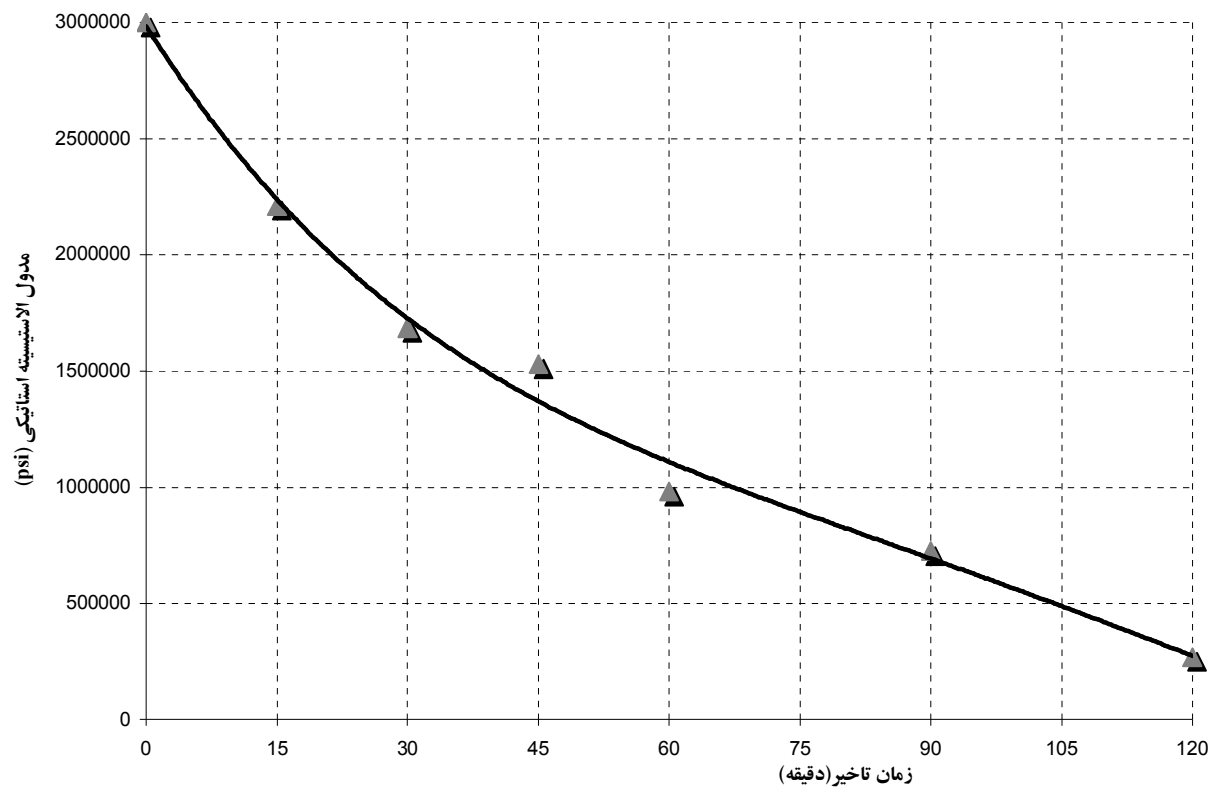
شکل ۱-۴، منحنی تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی تیپ (V) و میکروسیلیس در زمانهای تاخیر متفاوت



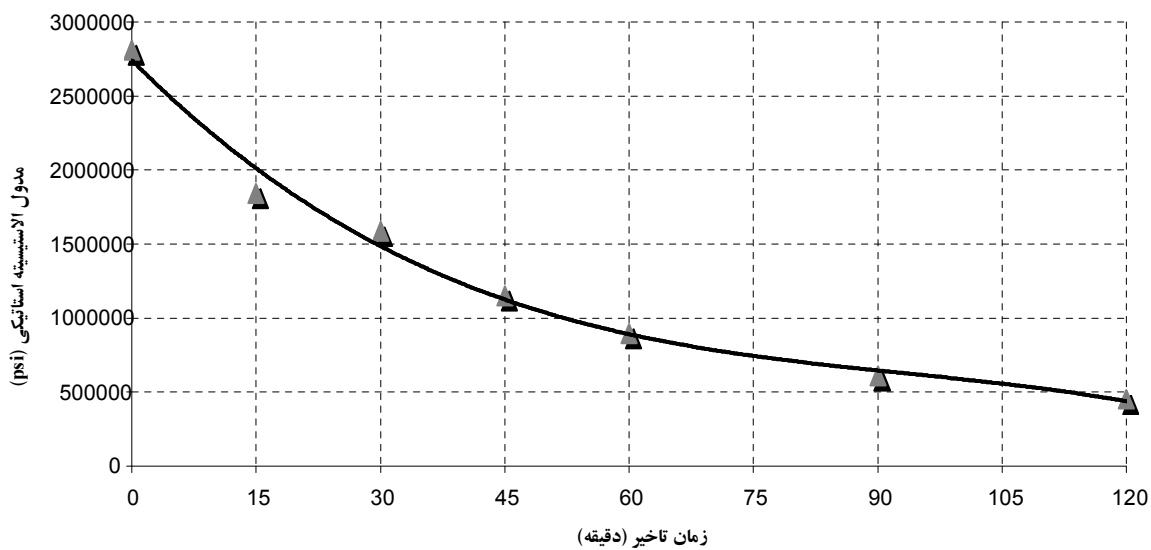
شکل ۱-۵، منحنی تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی سیمان تیپ (V) در زمانهای تاخیر متفاوت



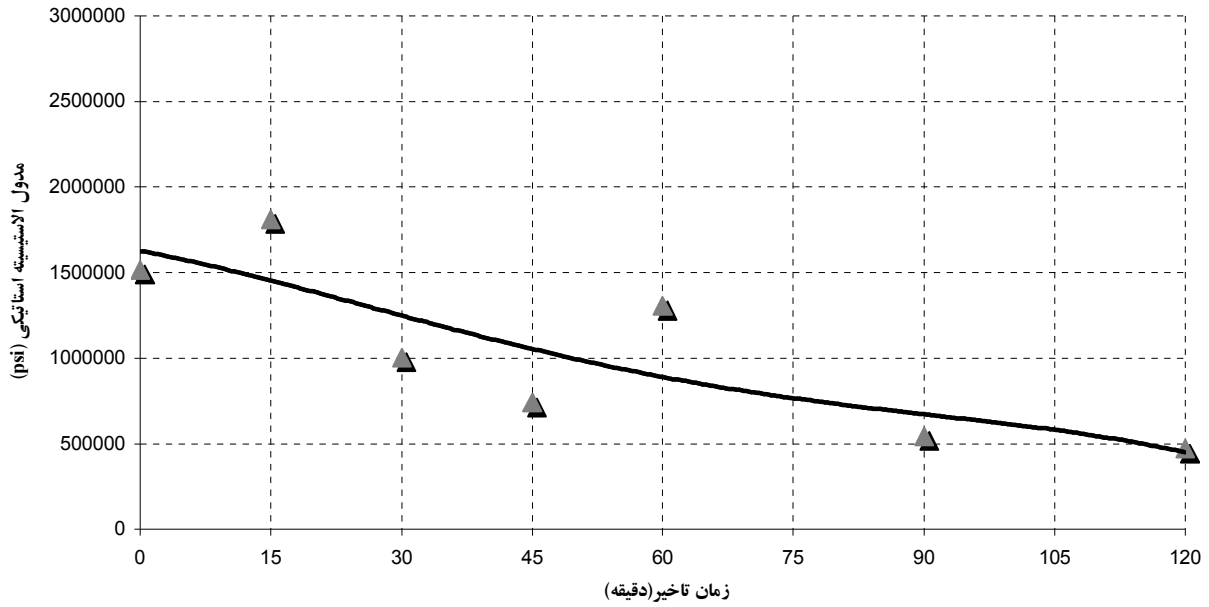
شکل ۱-۶، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه‌های حاوی سیمان تیپ (II) در زمانهای تاخیر متفاوت



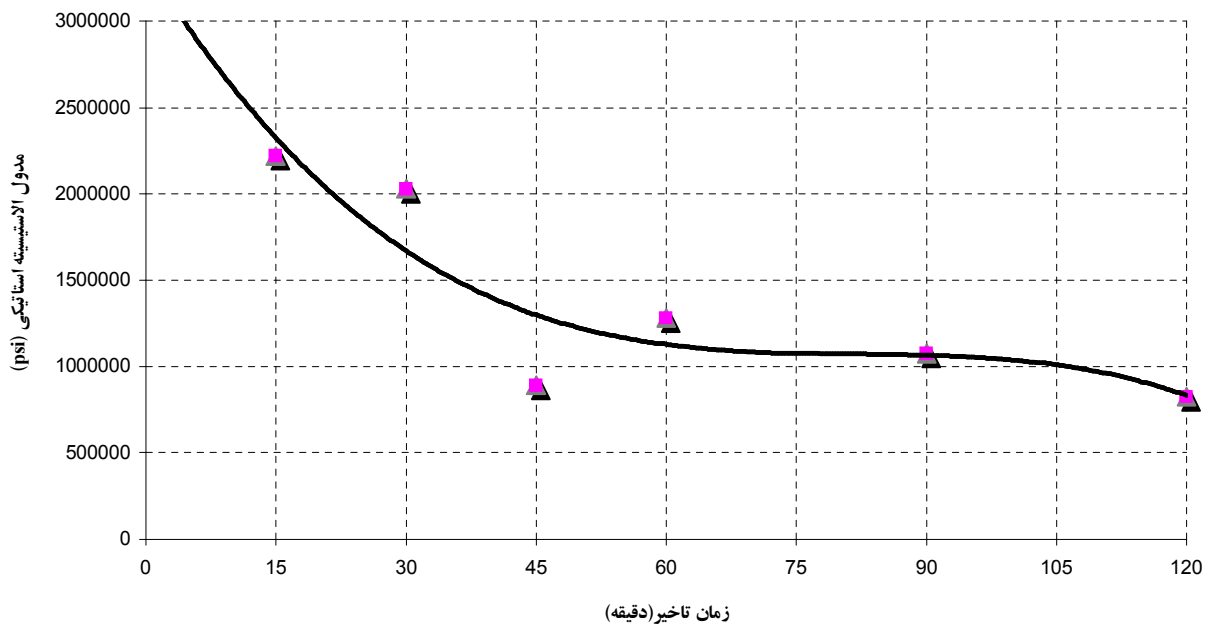
شکل ۷-۱، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه‌های حاوی سیمان تیپ (V) و ۲۰ درصد میکروسیلیس در زمانهای تاخیر متفاوت



شکل ۸-۱، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه‌های حاوی سیمان تیپ ۳۵ درصد تراس در زمانهای تاخیر متفاوت



شکل ۹-۱، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه‌های حاوی سیمان تیپ (V) و ۲۰ درصد سرباره در زمانهای تاخیر متفاوت



شکل ۱۰-۱، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه‌های حاوی سیمان تیپ (V) در زمانهای تاخیر متفاوت

۴،۲- نتایج آزمایشات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن غلتکی در زمانهای تاخیر متفاوت:

در بعضی مواقع اندازه گیری تغییرات تدریجی در رفتار نمونه بتنی مورد نیاز می باشد تا بوسیله آن رفتار افزایشی و یا کاهش چرخه های مکرر یخ زدگی و یا حمله مواد شیمیایی و ... معلوم گردد. این عمل را می توان به وسیله تعیین فرکانس تشدید بنیادی نمونه انجام داد و با استفاده از این فرکانس مدول الاستیسیته دینامیکی بتن را محاسبه نمود. همانطور که بیان گردید مدول الاستیسیته استاتیکی بازتاب تغییر شکل نسبی بتن در برابر تنش اعمال شده و با شدت معین را نشان می دهد، ولی مدول دینامیکی که از ارتعاش نمونه بتنی حاصل می شود، تنش قابل اغماضی را بر نمونه وارد می کند و به علت عدم وجود تنش قابل ملاحظه هیچ گونه ریز ترک در بتن ایجاد نمی شود و بدون صدمه به نمونه (غیر مخرب) می توان مدول دینامیکی را بدست آورد.

ارتعاش را می توان به صورت طولی، عرضی (خمشی) و یا پیچشی اعمال نمود. روش آزمایش در آیین نامه ASTM C215 و بخش ۲۰۹ آیین نامه BS 1881:1990 تجویز شده است. استاندارد اخیر فقط ارتعاش طولی را ارائه نموده است و ارتعاش پیچشی را برای تعیین مدول گسیختگی توصیه می نماید. در این تحقیق نیز مدول الاستیسیته دینامیکی از قرار دادن نمونه های آزمایشگاهی تحت تاثیر ارتعاشات طولی و با فرکانس طبیعی تعیین گردیده است.

جداول ۱-۲ تا ۵-۲ و اشکال ۲-۵ تا ۵-۲ نتایج آزمایشات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن غلتکی را در زمانهای تاخیر متفاوت نشان میدهد. در این جداول نِسْتَه‌ای اختلاط نمونه های بتن غلتکی به همراه مقادیر فرکانس تشدید نمونه های بتن غلتکی آمده است. همانطور که این جداول نشان مدهند، متوسط مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های آزمایشگاهی بتن غلتکی از $9/1 \text{ GPA}$ تا $18/5 \text{ GPA}$ متغیر بوده است که کمترین دامنه تغییرات آن مربوط به نمونه های حاوی سرباره کوره ذوب آهن اصفهان و بیشترین مدول الاستیسیته دینامیکی مربوط به نمونه های حاوی سیمان تیپ V می باشد.

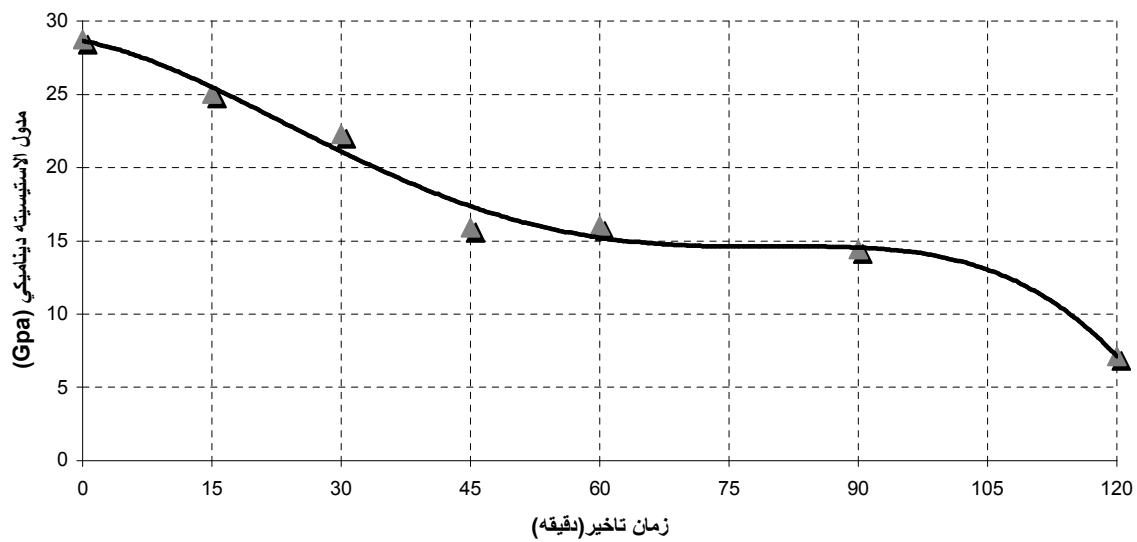
همانطور که از شکل‌های ۱-۲ تا ۵-۲ منحنی های تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی در برابر زمان تاخیر نمونه های بتن غلتکی مشاهده میشود، روند این تغییرات و رفتار منحنی ها یکسان نمی باشد و با توجه به پراکندگی جوابهای حاصله نمی توان نتیجه قابل استنادی را بیان نمود. همانگونه که در این تحقیق در اغلب مشاهدات آزمایشگاهی ملاحظه گردید، بنا بر نوع و درصد مشارکت سیمان و پوزولان مصرفی، منحنی مقاومت ابتدا دارای سیر صعودی و بعد از مدتی روند نزولی را در پیش می گیرد که این موضوع نیز همانگونه که بحث گردید احتمالاً "مربوط به زمان و سرعت تشکیل شبکه اترینگایتی می باشد و چنانچه پروسه تراکم قبل از آنکه مجموع مواد سیمانی تشکیل یک شبکه بهم پیوسته را بدهند انجام پذیرد، عمل تراکم به منسجم کردن این مواد و بهبود بافت و ریز ساختار ناحیه مرزی بین ماتریس سیمان و سنگدانه ها منجر می شود و نهایتاً افزایش مقاومت را در پی خواهد داشت ولیکن پس از تشکیل این شبکه، عمل کوبش به انهدام اتصال بین هیدراتهای یاد شده (ژل C-S-H و اترینگایت) خواهد انجامید و نهایتاً کاهش مقاومت را در پی خواهد داشت. شکی وجود ندارد که مدول الاستیسیته استاتیکی با افزایش مقاومت فشاری بتن زیاد می شود، اما هیچ گونه توافقی و رابطه منطقی در مورد شکل دقیق این ارتباط وجود ندارد. با توجه به این حقیقت که مدول الاستیسیته بتن تحت تاثیر مدول الاستیسیته سنگدانه و نسبت حجمی سنگدانه در بتن قرار می گیرد، این موضوع تعجب آور نمی باشد.

در ارتباط با محاسبه مدول الاستیسیته دینامیکی نیز می توان گفت که همانطور که بیان گردید این آزمایش یک آزمایش غیر مخرب بوده که در آن سرعت امواج طولی (فشاری) که همان سرعت پالس ماورای صوت است، در نمونه تعیین می گردد.

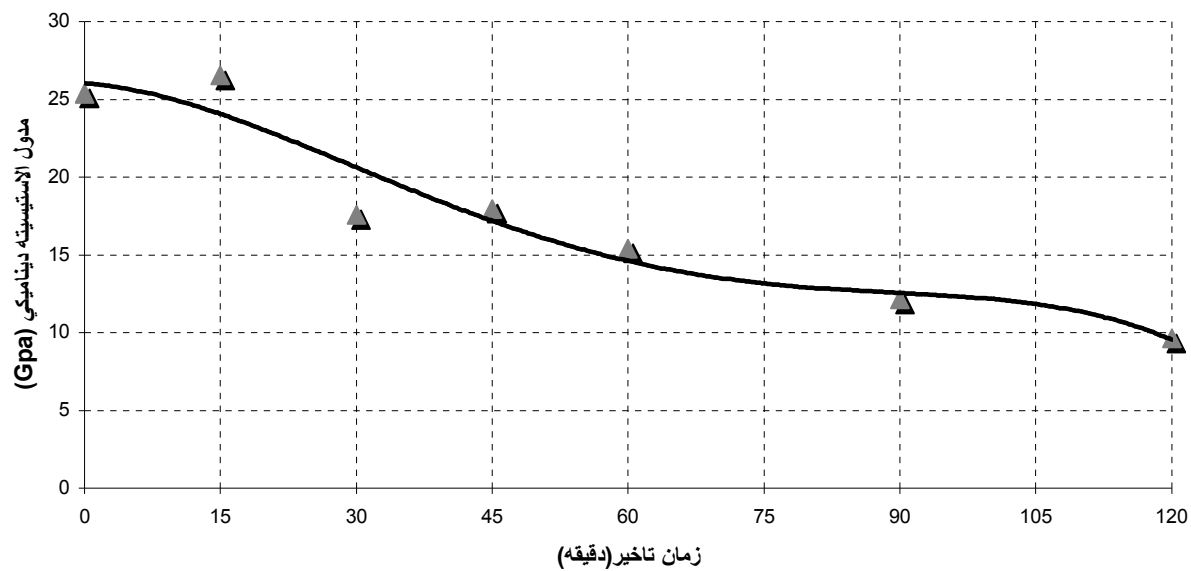
در رابطه با کاربرد سرعت پالس ماورای صوت برای تعیین مقاومت بتن ، باید بیان شود که هیچ گونه رابطه فیزیکی بین این دو پارامتر وجود ندارد. ثابت شده است که سرعت موج ماورای صوت با چگالی بتن رابطه دارد. سرعت پالس ماورای صوت در بتن ، از زمان طی شده توسط پالس برای عبور از میان خمیر سیمان سخت شده و از میان سنگدانه ها ، بدست می آید. با توجه به اینکه ، سرعت پالس در بتن به مدول الاستیسیته سنگدانه های بکار رفته و همچنین مقدار آنها در مخلوط بستگی دارد و مدول الاستیسیته سنگدانه ها به میزان قابل ملاحظه ای متغیر است، لزومی ندارد که مقاومت بتن به میزان چشم گیری تحت تاثیر مقدار و یا مدول الاستیسیته سنگدانه ها قرار گیرد.

در نتیجه هیچ گونه رابطه واحدی بین سرعت پالس ماورای صوت و مقاومت فشاری وجود ندارد. از طرفی دیگر سرعت پالس از میان منافذ پر از آب بیش از سرعت متناظر از میان منافذ پر از هواست. در نتیجه ، وضعیت رطوبتی بر سرعت پالس تاثیر می گذارد ، در حالی که مقاومت بتن در سازه تحت تاثیر این پارامتر قرار نمی گیرد.

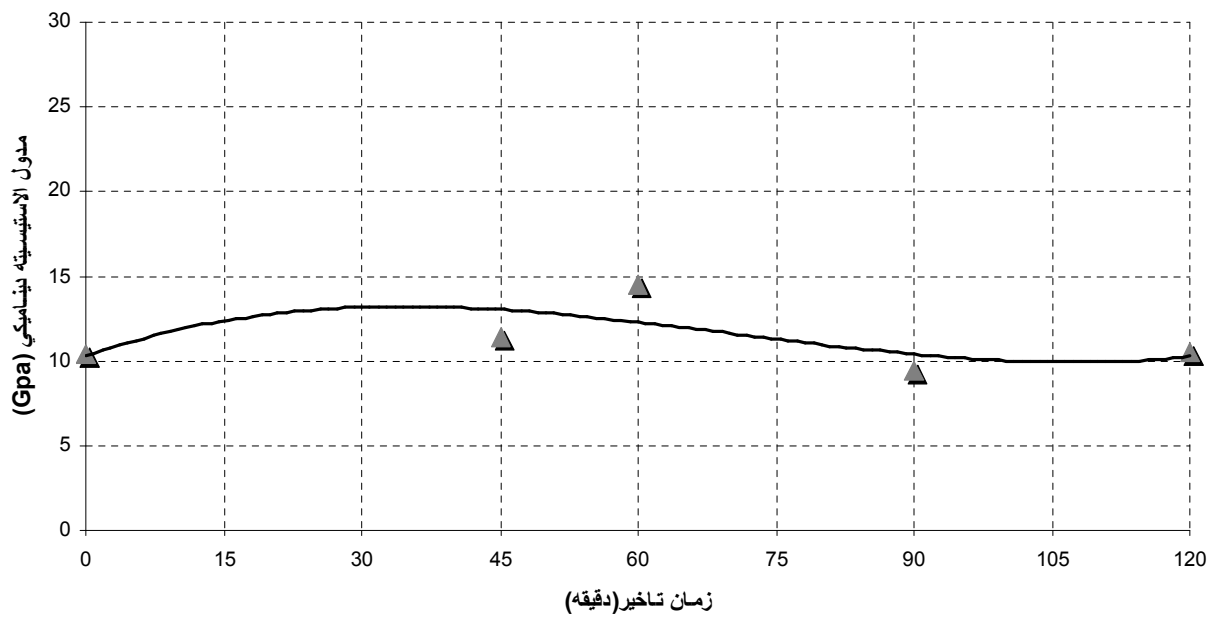
پس در خاتمه می توان گفت که پارامتر زمان تاخیر در پروسه تراکم بتن غلتکی، الزاماً دارای اثر مشابه بر مدول الاستیسیته دینامیکی و مقاومت فشاری بتن غلتکی نمی باشد و رابطه بین این دو پارامتر دارای محدودیتهای است که نباید فراموش شود. علاوه بر موارد مطرح شده در توجیه امر فوق می توان گفت که مدول الاستیسیته (استاتیکی و دینامیکی) بیشتر تابع محتویات درونی نمونه (میزان و نوع مصالح سنگدانه و نسبت حجمی سنگدانه در بتن) ، تخلخل و پوکی نمونه و عوامل محیطی (گفته می شود که آلودگی صوتی در محل انجام آزمایش مدول دینامیکی بر فرکانس تشدید حاصل شده از هر نمونه تاثیر می گذارد) می باشد، در صورتیکه مقاومت فشاری بیشتر به نحوه ارتباط و نوع پیوندهای شیمیایی مصالح سازنده و میزان مصالح سیمانی مصرفی در نمونه وابسته است تا وضعیت ساختار درونی مصالح سنگی تشکیل دهنده.



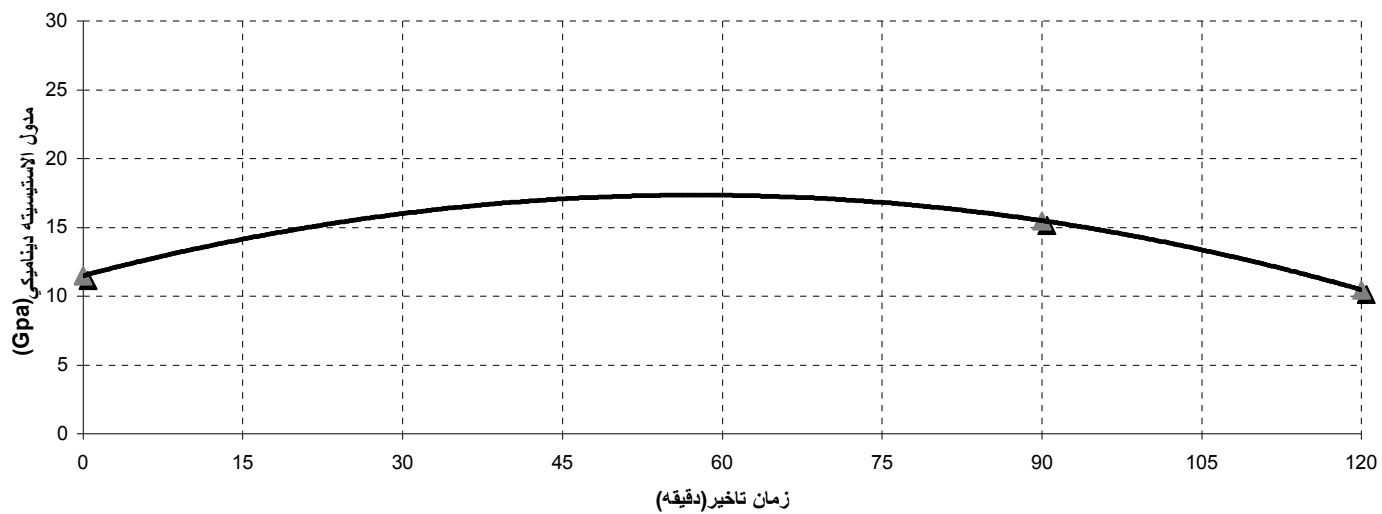
شکل ۱-۲، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های حاوی سیمان تپ (V) در زمانهای تاخیر متفاوت



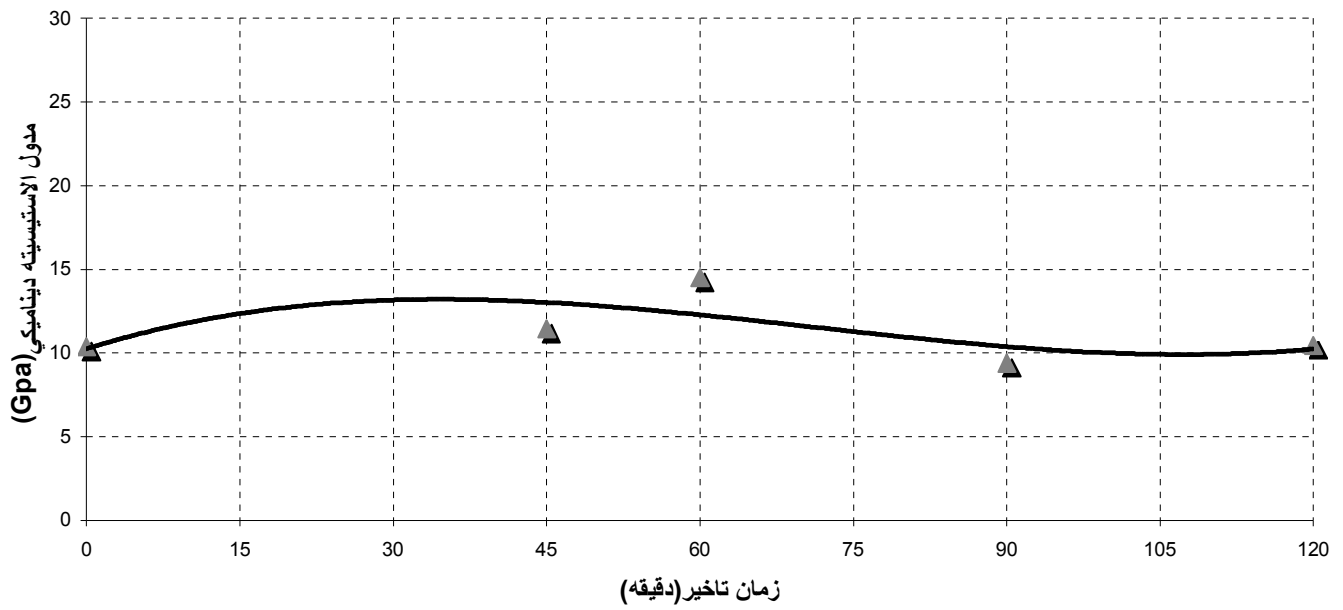
شکل ۲-۲، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های حاوی سیمان تپ (II) در زمانهای تاخیر متفاوت



شکل ۲-۳، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های حاوی ۲۰ درصد سرپاره در زمانهای تاخیر متفاوت



شکل ۲-۴، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های حاوی ۳۵ درصد تراس در زمانهای تاخیر متفاوت



شکل ۲-۵، منحنی تغییرات مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های حاوی ۲۰ درصد میکروسلیس در زمانهای تاخیر متفاوت

جدول ۱-۲، میانگین نتایج مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن غلتکی حاوی ۳۵ درصد تراس جاجرود در زمانهای تاخیر متفاوت

Cement (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	MSA (mm)	Sand (kg)	Gravel (kg)	%Sand	Vebe Time (sec)	Delay Time (min)	Age (days)	Resonance Frequency (Hz)	Density (kg/m ³)	Length (mm)	Dynamic modulus of elasticity (Gpa)
110(V)	60(T)	183	38	840	1260	40	25	0	90	3745	2276	300	11.5
110(V)	60(T)	183	38	840	1260	40	25	15	90	*	2208	301	*
110(V)	60(T)	183	38	840	1260	40	25	30	90	*	2169	300	*
110(V)	60(T)	183	38	840	1260	40	25	45	90	*	2138	302	*
110(V)	60(T)	183	38	840	1260	40	25	60	90	*	2097	300	*
110(V)	60(T)	183	38	840	1260	40	25	90	90	4610	2011.5	301	15.5
110(V)	60(T)	183	38	840	1260	40	25	120	90	3900	1962.5	300	10.74

* با توجه به پراکندگی جوابهای حاصله از هر نمونه نتایج قابل استناد نمی باشد.

Average		Standard Diversion		Coefficient of Variation	
Dynamic modulus of elasticity (Gpa)	Resonance Frequency (Hz)	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency
13.5	4085	2	376.5	14.81	9.2

جدول ۲-۲، میانگین نتایج مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن غلتکی حاوی ۲۰ درصد سرباره در زمانهای تاخیر متفاوت

Cement (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	MSA (mm)	Sand (kg)	Gravel (kg)	%Sand	Vebe Time (sec)	Delay Time (min)	Age (days)	Resonance Frequency (Hz)	Density (kg/m ³)	Length (mm)	Dynamic modulus of elasticity (Gpa)
135(V)	35(SL)	184	38	840	1260	40	25	0	90	3638	2227	301	10.68
135(V)	35(SL)	184	38	840	1260	40	25	15	90	*	2218	301	*
135(V)	35(SL)	184	38	840	1260	40	25	30	90	2200	2146	302	3.8
135(V)	35(SL)	184	38	840	1260	40	25	45	90	4487	2050.5	300	14.85
135(V)	35(SL)	184	38	840	1260	40	25	60	90	*	2048	300	*
135(V)	35(SL)	184	38	840	1260	40	25	90	90	3957	1913	300	10.78
135(V)	35(SL)	184	38	840	1260	40	25	120	90	3580	1935	301	8.98

*با توجه به پراکندگی جوابهای حاصله از هر نمونه نتایج قابل استناد نمی باشد

Average		Standard Diversion		Coefficient of Variation	
Dynamic modulus of elasticity (Gpa)	Resonance Frequency (Hz)	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency
9.81	3572.4	3.58	757.9	36.44	21.21

جدول ۲-۳، میانگین نتایج مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن غلتکی حاوی سیمان تیپ (V) در زمانهای تاخیر متفاوت

Cement (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	MSA (mm)	Sand (kg)	Gravel (kg)	%Sand	Vebe Time (sec)	Delay Time (min)	Age (days)	Resonance Frequency (Hz)	Density (kg/m ³)	Length (mm)	Dynamic modulus of elasticity (Gpa)
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	0	90	5918	2278	300	28.72
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	15	90	5545	2248.5	301	25.05
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	30	90	5275	2210	301	22.28
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	45	90	4592	2081	301	15.90
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	60	90	4630	2061.5	301	16.01
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	90	90	4460	2015	300	14.42
170(V)	-	190	38	840	1260	40	25	120	90	3190	1941	301	7.15

Average		Standard Diversion		Coefficient of Variation	
Dynamic modulus of elasticity (Gpa)	Resonance Frequency (Hz)	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency
18.50	4801.4	6.76	828.97	36.55	17.26

جدول ۲-۴، میانگین نتایج مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن غلتکی حاوی سیمان تیپ (II) در زمانهای تاخیر متفاوت

Cement (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	MSA (mm)	Sand (kg)	Gravel (kg)	%Sand	Vebe Time (sec)	Delay Time (min)	Age (days)	Resonance Frequency (Hz)	Density (kg/m ³)	Length (mm)	Dynamic modulus of elasticity (Gpa)
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	0	90	5545	2277.5	301	25.37
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	15	90	5715	2255.5	300	26.52
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	30	90	4730	2180	300	17.55
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	45	90	4892	2072	301	17.97
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	60	90	4607.5	2002	301	15.40
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	90	90	4160	1935	301	12.13
170(II)	-	190	38	840	1260	40	25	120	90	3760	1891	300	9.62

Average		Standard Diversion		Coefficient of Variation	
Dynamic modulus of elasticity (Gpa)	Resonance Frequency (Hz)	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency
17.79	4772.78	5.83	646.8	32.79	13.55

جدول ۲-۵، میانگین نتایج مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن غلتکی حاوی ۲۰ درصد میکروسلیس در زمانهای تأخیر متفاوت

Cement (kg/m ³)	Pozzolan (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	MSA (mm)	Sand (kg)	Gravel (kg)	%Sand	Vebe Time (sec)	Delay Time (min)	Age (days)	Resonance Frequency (Hz)	Density (kg/m ³)	Length (mm)	Dynamic modulus of elasticity (Gpa)
135(V)	35(SF)	194.3	38	840	1260	40	25	0	90	3545	2295	300	10.38
135(V)	35(SF)	194.3	38	840	1260	40	25	15	90	*	2233	301	*
135(V)	35(SF)	194.3	38	840	1260	40	25	30	90	*	2223	301	*
135(V)	35(SF)	194.3	38	840	1260	40	25	45	90	3855	2127	301	11.45
135(V)	35(SF)	194.3	38	840	1260	40	25	60	90	4425	2058	300	14.50
135(V)	35(SF)	194.3	38	840	1260	40	25	90	90	3640	1946.5	302	9.40
135(V)	35(SF)	194.3	38	840	1260	40	25	120	90	3850	1839.5	300	9.81

* با توجه به پراکندگی جوابهای حاصله از هر نمونه نتایج قابل استناد نمی باشد

Average		Standard Diversion		Coefficient of Variation	
Dynamic modulus of elasticity (Gpa)	Resonance Frequency (Hz)	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency	Dynamic modulus of elasticity	Resonance Frequency
11.10	3863	1.83	305.6	16.5	7.9

۴,۳- نتایج آزمایش نفوذپذیری بتن غلتکی در برابر گاز اکسیژن و آب:

با توجه به اینکه سد بتن غلتکی در حقیقت ساخت سد بتنی با روش های اجرایی سد خاکی است و شکل گیری و توسعه این فناوری حاصل تلاش مهندسین ژئوتکنیک و مهندسین بتن بوده است، لذا نگرش کلی به بتن غلتکی و به تبع آن روش های طرح اختلاط این مصالح نیز بر پایه دو فلسفه بتن و خاک شکل گرفته است. در روش های مبتنی بر فلسفه بتن، خمیر کافی جهت پر کردن کلیه منافذ بین سنگدانه ها مدنظر قرار می گیرد و عامل اصلی تعیین مقاومت، همانند بتن های معمول، نسبت آب به مواد سیمانی ($w/(c+p)$) می باشد. در روش های مبتنی بر فلسفه خاک، پارامتر اصلی جهت دستیابی به مقادیر اجزاء مخلوط، رابطه چگالی - رطوبت می باشد

از دیدگاه بتنی، افزایش مواد سیمانی با حفظ نسبت آب به سیمان به ارتقاء خواص مکانیکی و فیزیکی مخلوط می انجامد. بنابراین انتظار می رود که با افزایش میزان مواد سیمانی شاهد افزایش مقاومت های مکانیکی، دانسیته و مدول

الاستیسیته و کاهش تخلخل و نفوذ پذیری باشیم. از طرفی دیدگاه خاکی در مورد RCC روی میزان آب مخلوط و رطوبت بهینه تاکید دارد، به طوری که افزایش میزان آب از رطوبت بهینه، به کاهش مقاومت های مکانیکی و افزایش نفوذ پذیری می انجامد، گر چه این افزایش با حفظ نسبت آب به سیمان و مقدار مواد سیمانی صورت گیرد.

نکته ای که در اینجا جلب نظر می کند بحث ارتباط بین مساله نفوذ پذیری و روند مشخصات مکانیکی خصوصاً رفتار مقاومت فشاری می باشد. آنچه در مورد بتنهای معمولی شناخته شده می باشد این است که بین نفوذ پذیری و مقاومت های مکانیکی ارتباط منطقی وجود دارد و افزایش مقاومت فشاری کاهش ضریب نفوذ پذیری را به همراه دارد. نتایج تحقیق حاضر این موضوع را در خصوص بتن غلتکی تایید نمی کند و همانطور که از شکلهای ۳-۱ تا ۳-۴ مشاهده میشود، منحنی ضریب نفوذ پذیری نمونه های بتن غلتکی در ابتدا با افزایش زمان تأخیر به شدت سیر صعودی را پیش می برند و تقریباً از زمان ۴۵ دقیقه به بعد سیر منحنی به صورت یک خط مستقیم می شود که نشان می دهد، پس از مدتی با شکل گرفتن پیوندهای کریستاله سیمان و کاهش میزان آب از رطوبت مجاز مخلوط، تأخیر در کوبش و لرزش بتن غلتکی اثر منفی خود را در ریز ساختار بتن گذاشته است و پس از آن ضریب نفوذ پذیری بتن تقریباً ثابت می گردد و افزایش زمان تأخیر اثر قابل توجهی بر ضریب نفوذ پذیری نمونه های بتن غلتکی اعمال نمی کند.

گر چه ممکن است اختلافها، افزایشها و کاهشها در مشخصات مورد نظر چندان معنی دار نباشد، به هر حال این موضوع بر می آید که افزایش سیمان می تواند به ارتقا خواص مکانیکی بیانجامد و در عین حال افزایش آب مخلوط بیش از درصد آب بهینه مخلوط بتن غلتکی به افزایش تخلخل مخلوط منتهی گشته و افزایش نفوذ پذیری را در پی داشته باشد.

در بتنهای معمولی کاهش در نسبت آب به سیمان باعث کاهش ضریب نفوذ پذیری می گردد. در RCC نیز انتظار می رود که کاهش در نسبت آب به سیمان کاهش نفوذ پذیری را در پی داشته باشد. بار دیگر مساله آب بهینه مخلوط در اینجا خود نمایی می کند. کاهش نسبت آب به سیمان به گونه ای که افت رطوبت را به میزان کمتر از رطوبت بهینه مخلوط در پی داشته باشد، موجب افزایش شدید نفوذ پذیری می گردد. نکته دیگری که در اینجا مورد بحث است روند افزایش ضریب نفوذ پذیری در مقایسه با روند کاهش یا افزایش مقاومت های مکانیکی می باشد. بررسی های انجام شده در این تحقیق حکایت از حساسیت شدید مساله نفوذ پذیری به میزان آب مخلوط دارد.

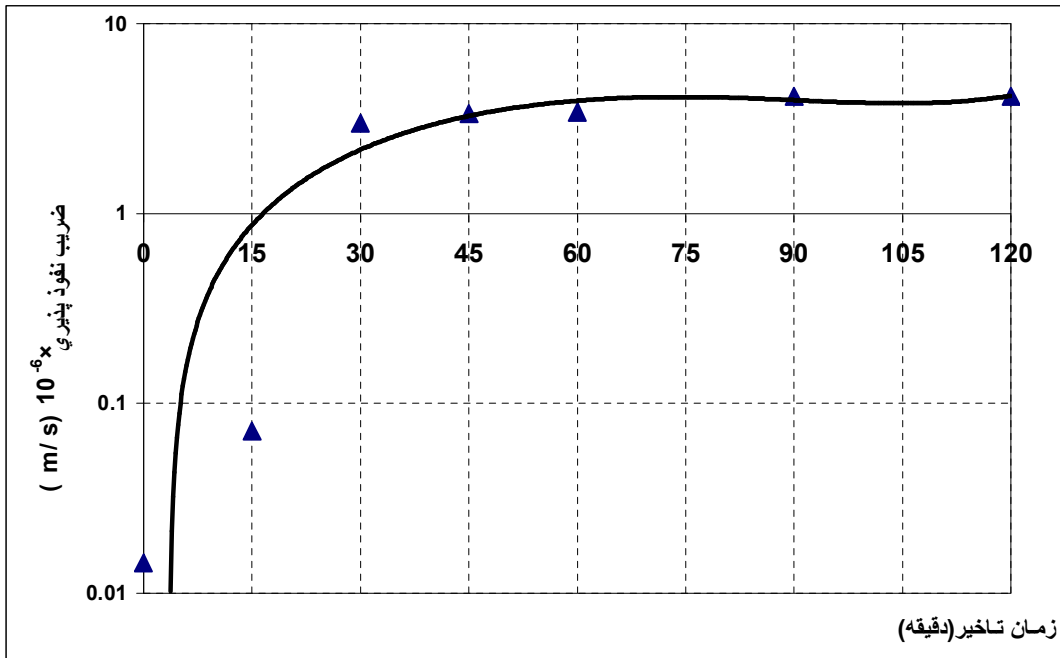
نفوذ سیال از مصالح بتن عمدتاً از طریق منافذ موئینه انجام می پذیرد. با توجه به اینکه افزایش نسبت آب به سیمان موجب افزایش منافذ موئینه در بتن می شود، بنابراین به زیاد شدن ضریب نفوذ پذیری بتن خواهد انجامید. افت درصد رطوبت مخلوط همانطور که در صفحات بعد مشاهده می گردد به کاهش دانسیته و مقاومت های مکانیکی می انجامد اما تاثیر این موضوع بر مساله نفوذ پذیری بسیار قابل ملاحظه است.

در رابطه با تاثیر نسبت جایگزینی پوزولان بحث اکتیویته پوزولان و نسبت بهینه آن مطرح می باشد. در این مورد نیز نمی توان عددی قطعی برای درصد بهینه جایگزینی پوزولان یافت. آنچه انتظار می رود این است که جایگزینی تا درصد بهینه باعث افزایش نفوذ پذیری نمی گردد و حتی به کاهش آن کمک می کند، اما افزایش درصد جایگزینی پوزولان، حداقل در سنین کم به افزایش نفوذ پذیری منجر می گردد. بعد از نمونه های حاوی میکروسلیس، کمترین نفوذ پذیری مربوط به نمونه های بدون پوزولان و حاوی سیمان تیپ (۷) می باشد. با توجه به اینکه عیار پوزولان های مصرفی بر اساس نتایج آزمایشات قبلی بر روند مقاومت فشاری و فرصت مجاز کاری با بتن غلتکی انتخاب گردیده بودند، نمی توان اثر در صد مشارکت پوزولان و درصد بهینه جایگزینی آن را بر نفوذ پذیری بتن غلتکی تعیین نمود.

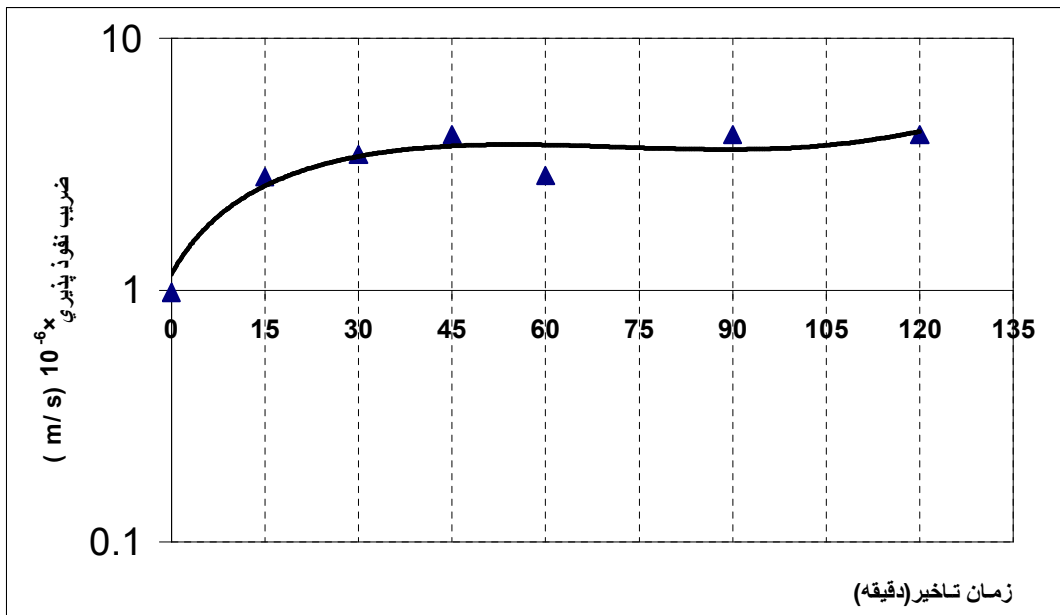
تأثیر سن نمونه هایی در مخلوط های بتن بر مساله نفوذ پذیری در این تحقیق مورد بحث و بررسی قرار نگرفت. ولی اصولاً با گذشت عمر بتن بر مقاومت آن افزوده می شود و از نفوذ پذیری آن کاسته می شود. استفاده از درصد های زیاد پوزولان، اثر مثبت گذشت زمان بر ضریب نفوذ پذیری را کند می کند، به طوری که در مقایسه با بتن های معمولی و حتی مخلوط های RCC بدون پوزولانها این روند بسیار کند تری را نشان می دهد. همانطور که ذکر گردید در نهایت در مورد تاثیر انواع پوزولانها بر مساله نفوذ پذیری به ویژه در درصد های زیاد، نسبت جایگزینی، بحث اکتیویته پوزولان مطرح می گردد. پیش بینی می گردد که غیر از انواع پوزولان هایی که اثر ویژه ای بر خواص RCC دارند، (همچون دوده سیلیس) پوزولانها در درصد های جایگزینی بهینه به مقادیر مشابهی از ضریب نفوذ پذیری برسند. استفاده از دوده سیلیس، موجب بهبود ریز ساختار بتن و خصوصاً افزایش تراکم سیلیکات کلسیم هیدراته در ناحیه مرزی ماتریس سنگدانه می شود که این موارد کاهش ضریب نفوذ پذیری را به همراه خواهد داشت. اما در مورد استفاده از درصد های بیش از درصد بهینه، نحوه تاثیر باید بررسی گردد.

همانگونه که در جداول مشاهده می شود میزان ضریب نفوذ پذیری نمونه های آزمایشگاهی بتن غلتکی در حد m/s^{-6} ۱۰ می باشد. شکل ۲-۵، نتایج آزمایش نفوذ پذیری در محل انجام شده، بر روی ۴۹ سد بتن غلتکی که در ۱۸ کشور مختلف جهان ساخته شده اند نشان می دهد، نتایج حاصله از m/s^{-6} ۱۰ تا m/s^{-13} ۱۰ متغیر بوده است، که نشانگر طیف بسیار وسیع خواص قابل حصول از بتن غلتکی می باشد. تاثیر بسیار قابل ملاحظه مقدار مواد سیمانی روی نفوذ پذیری نیز در شکل ۲-۵، قابل مشاهده است. در این تحقیق با توجه به اینکه مصالح سیمانی (سیمان بعلاوه پوزولان) برای تمام مخلوط ها یکسان بکار برده شده است، میزان متوسط ضریب نفوذ پذیری کلیه نمونه های آزمایشگاهی بتن غلتکی در حدود m/s^{-6} ۱۰ بوده است. هانسن و راینهارد معتقد است، هر گونه سازه ای که قرار است آب را در پشت خود ذخیره کند باید نفوذ پذیری حداقلی برابر cm/sec^{-4} ۱۰ داشته باشد. نظر به اینکه جریان کلی از سازه ها بستگی به ارتفاع آب دارد، سدی به ارتفاع ۵۰ متر به حداقل نفوذ پذیری cm/sec^{-7} ۱۰، به ارتفاع ۱۰۰ متر cm/sec^{-4} ۱۰ و به ارتفاع ۲۰۰ متر، cm/sec^{-9} ۱۰ نیاز دارد. اداره عمران ایالت متحده آمریکا (USBR) مقدار cm/sec^{-9} ۱۰/۵ را به عنوان حدی قابل قبول برای سدهای بتنی معمولی تعریف کرده است. قابل ذکر است که نمونه های آزمایشگاهی سد بتن غلتکی جگین که دارای میزان مصالح سیمانی kg/m^3 ۲۰۰ می باشد در انستیتوی مصالح ساختمانی دانشکده فنی، تحت آزمایش نفوذ پذیری قرار گرفتند که متوسط ضریب نفوذ پذیری این نمونه ها در حد m/s^{-8} ۱۰ بوده است.

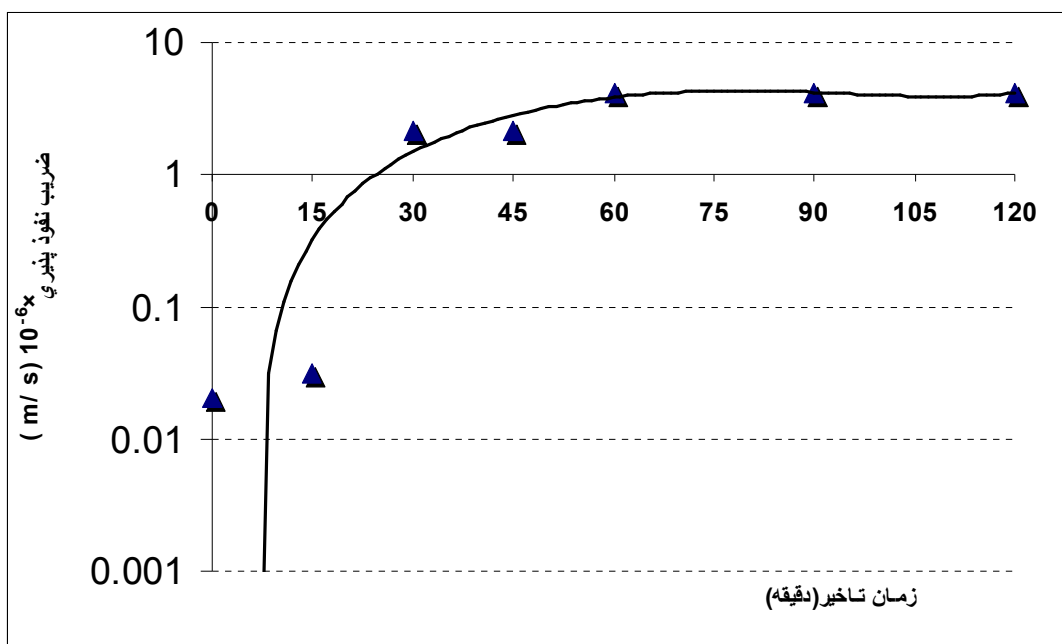
در خاتمه می توان گفت که ظاهراً نمی توان افزایش نفوذ پذیری را ناشی از به هم ریختگی و درهم شکستگی ماتریس درونی و هیدرات های تشکیل شده سیمان دانست، چرا که نتایج مقاومت فشاری با این موضوعات مغایرت دارد و نکته ای که در اینجا جلب نظر می کند باز هم حاکی از این مطلب است که افت ناچیز آب از درصد بهینه اثر تضعیفی بر مقاومت ندارد، با این وجود تاثیر این مساله بر ضریب نفوذ پذیری کاملاً بارز و قابل ملاحظه می باشد و حاکی از حساسیت شدید ضریب نفوذ پذیری به میزان آب مخلوط دارد و در نتیجه تاخیر در کوبش و لرزش بتن غلتکی باعث کاهش چسبندگی لیفت اجرایی شده و نفوذ پذیری بتن غلتکی را افزایش می دهد و هر قدر وقفه زمانی بین اجرای دو لایه بتن غلتکی بیشتر گردد و پروسه متراکم نمودن بتن غلتکی دیرتر انجام شود به همان نسبت از کیفیت درز اجرایی بین دو لایه و در نتیجه از کیفیت بتن غلتکی کاسته خواهد شد. چنانچه سرعت اجرای کار بگونه ای باشد که نتوان جبهه پیشروی بتن ریزی را زنده نگهداشت و به موقع مخلوط بتن غلتکی تازه ریخته نشود و عمل متراکم نمودن بتن غلتکی در فاصله زمانی کوتاه معمول و مجاز انجام نگردد، صفحه ضعیف و تراوایی بین دو لایه بتن ریزی ایجاد خواهد شد که نفوذ پذیری بتن غلتکی را بشدت افزایش می دهد.



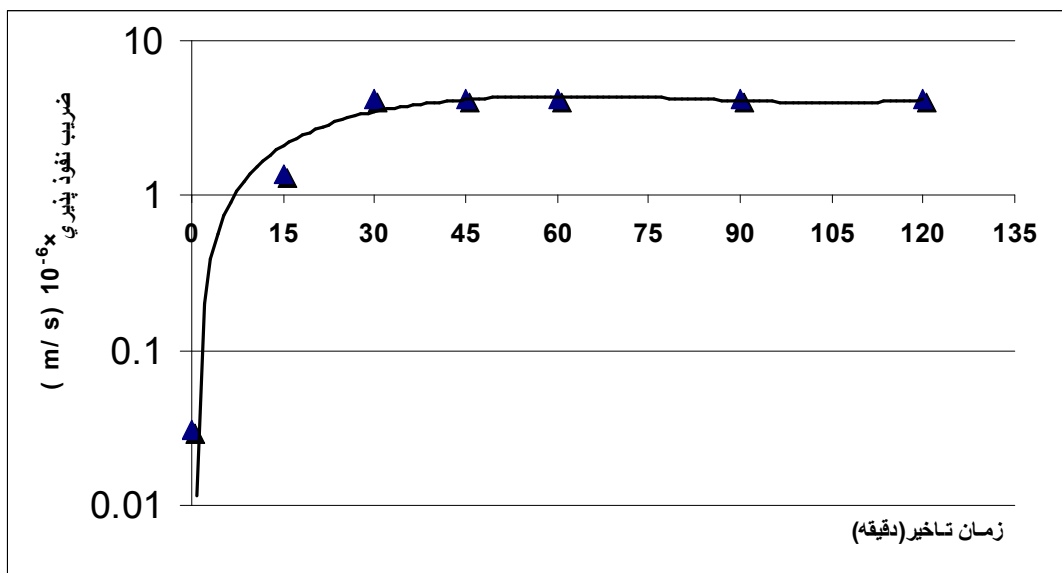
شکل ۳-۱، منحنی تغییرات ضریب نفوذ پذیری نمونه های حاوی تیپ V در زمانهای متفاوت



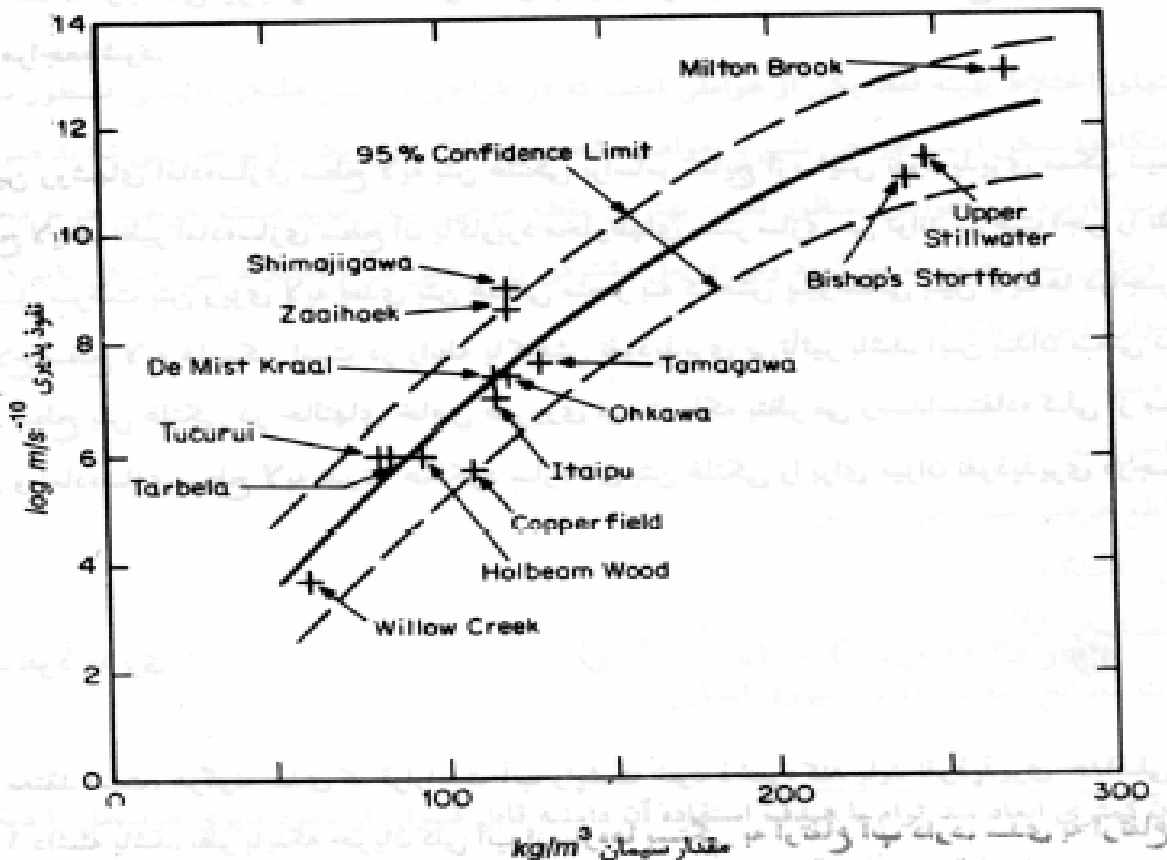
شکل ۳-۲، منحنی تغییرات ضریب نفوذ پذیری نمونه های حاوی ۳۵ درصد تراس در زمانهای متفاوت



شکل ۳-۳، منحنی تغییرات ضریب نفوذپذیری نمونه های حاوی ۲۰ درصد سرباره در زمانهای متفاوت



شکل ۳-۴، منحنی تغییرات ضریب نفوذپذیری نمونه های حاوی ۲۰ درصد میکروسیلیس در زمانهای متفاوت



شکل ۳-۵، رابطه بین نفوذ پذیری و مقدار سیمان

۴،۴- کاربرد بتن غلتکی کوبیده (RCC) برای بازسازی سد:

این گزارش فنی به منظور تأمین اطلاعات دستور العمل‌های لازم برای پیمانکاران، مهندسین و کارفرمایان آماده شده است که از بتن غلتکی کوبیده (RCC) برای بازسازی سد استفاده می‌کنند. برخلاف منابع دیگری از این دست که روی طراحی RCC تأکید می‌کنند، این گزارش فنی به جنبه‌های علمی ساخت و اجرای بتن RCC و موضوعات مطرح در این زمینه می‌پردازد.

RCC، امروزه یکی از رایج‌ترین شیوه‌های ساخت برای بازسازی سدهای بتنی و خاکی بشمار می‌رود. در RCC، در نوسازی سدها نیز کاربرد دارد. در سدهای خاکی این نوع بتن برای حفاظت از سد در شرایط آب‌گذری (روگذری) از روی بدنه استفاده می‌شود و در سدهای بتنی با اضافه کردن یک پشتیبان در پائین دست (از نوع بتن RCC) آن را تقویت می‌کنند. دو دلیل اصلی استفاده گسترده از RCC، افزایش ارتفاع سد و در نتیجه افزایش ظرفیت مخزن و پایداری سازه‌ای سدهای قدیمی است که کم بودن هزینه و ساخت سریع سازه را به همراه دارد. این دو دلیل مستقل از هم نیستند چرا که ساخت سریع منجر به کاهش هزینه خواهد شد. بعلاوه، سیمان کم و امکان استفاده از سنگدانه کم هزینه در مخلوط RCC و نیاز کم، یا عدم نیاز به قالب بندی (Forming) و میلگرد جهت تسلیح بتن در این نوع بتن، سبب پائین آمدن هزینه‌های آن شده است. RCC هنگام قرار گرفتن در معرض جریان آب، خواص مقاومتی، سایشی و فرسایشی عالی دارد.

و می تواند با هر مقاومت فشاری مطلوب تولید شود، تا نیازهای هیدرولیکی و سازه ای پروژه را برآورده کند. در بررسی پروژه های بازسازی شده با RCC که هم اکنون در حال بهره برداری هستند روشن می شود که این سدها کاملاً پایدارند و نیاز کمی به تعمیر و نگهداری دارند و یا اصلاً نیازی به نگهداری ندارند. (هانسن ۱۹۸۹). امتیازات دیگر این شیوه های بازسازی به عملیات ساختمانی در پائین دست بر می گردند. در اغلب حالات نیازی به پائین آوردن سطح آب مخزن برای نوسازی سد نیست و اثرات زیست محیطی و کاری آن حداقل و محدود به سد و نواحی پنجه پائین دست می باشد.

۵. منابع و مآخذ

الف) منابع فارسی

- ۱) مهندسی مشاور قدس نیرو، «گزارش مطالعاتی مرحله اول سد رودبار لرستان»، ۱۳۷۸.
- ۲) دفتر کارخانه فروآلیاژ ازنا (فروآلیاژ ایران) در تهران «گزارشاتی راجع به مشخصات فنی میکروسیلیس»، ۱۳۸۰.
- ۳) ارزیابی پوزولانهای ایران، مهندس اسد... قاضی مرادی - دکتر علی اکبر رمضانپور (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن - نشریه شماره ۱۵۳ - ۱۳۷۱).
- ۴) رحیمی حسن «استفاده از خاکستر پوسته برنج در بتن غلتکی» پروژه تحقیقاتی، دانشگاه تهران - دانشکده آبیاری، ۱۳۷۲.
- ۵) تکنولوژی بتن، دکتر علی اکبر رمضانپور و دکتر محمد رضا شاه نظری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران (چاپ پنجم ۱۳۷۶).
- ۶) شیمی و فیزیک سیمان، ترجمه مهندس عزیزیان، چاپ آشنا (چاپ دوم ۱۳۷۰).
- ۷) مواد افزودنی و پوزولانی و کاربرد آن در بتن، نشریه ۲۴۱ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن دکتر علی اکبر رمضانپور و دکتر طاهری (۱۳۷۶).
- ۸) سیمان، دکتر عباس طایب و فرشته کوهی، انتشارات مرکز تحقیقات سیمان دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۷۴).
- ۹) مواد جایگزین سیمان در بتن، نشریه شماره ۲۷۲ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۷).
- ۱۰) استاندارد ویژگیهای سیمانهای سرباره‌ای، استاندارد ۳۵۱۷ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- ۱۱) سیمان سرباره‌ای، دکتر علیرضا طاهری‌نیا، انتشارات سیمان سپاهان، (۱۳۶۹).
- ۱۲) پوزولانها و سیمانهای پوزولانی، دکتر علی جهانگیری، انتشارات شرکت سیمان سپاهان (۱۳۷۲).
- ۱۳) پوسته برنج و خاکستر آن در صنعت ساختمان، دکتر علی اکبر رمضانپور، انتشارات مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی، (۱۳۷۵).
- ۱۴) داسمه اردشیر، شکرچی زاده محمد، فاخر علی، «عوامل مؤثر بر فرصت کاری بتن غلتکی» پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی عمران، ۱۳۷۸.
- ۱۵) سیمانهای طبیعی، استاد احمد حامی، انتشارات مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی، ۱۳۷۱.
- ۱۶) رهایی علیرضا، رزقی قمی مجید، بیات حبیب...، «بررسی طرح بهینه مخلوط بتن غلتکی» پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر، دانشکده عمران، ۱۳۷۳.
- ۱۷) نویل ا.م. «بتن شناسی»، ترجمه دکتر هرمز فامیلی، جهاد دانشگاهی علم و صنعت ایران، ۱۳۷۵.
- ۱۸) سدهای بتن غلتکی، نشریه شماره ۱۴، انتشارات وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۷۶.
- ۱۹) فصلنامه داخلی انجمن بتن ایران، مهندس دالی بندار، ۱۳۸۱.

- ۲۰) مهندسین مشاور مهتاب قدس «گزارش فنی سد مخزنی جگین»، ۱۳۷۸.
- ۲۱) مهندسین مشاور آب فن - پژوهاب، «گزارش مطالعاتی سد زیردان»، ۱۳۷۷.
- ۲۲) مهندسین مشاور مهتاب قدس، «گزارش فنی سد تنظیمی پای پل»، ۱۳۷۶.
- ۲۳) مهندسین مشاور دزآب، «گزارش مطالعات مرحله پیش توجیهی سد مخزنی زالکی»، ۱۳۸۰.
- ۲۴) اسکروچی علیرضا، عرب داوود رضا، «مقایسه سدهای بتن غلتکی با سدهای خاکی سنگریزه‌ای از نظر ساخت، اجرا و مسائل اقتصادی با ذکر مطالعه موردی» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۲.
- ۲۵) کوه بز ن شاهین، علی فاخر، «مطالعه موردی متغیرهای اجرایی در بتن R.C.C سد تنظیمی - انحرافی کرخه (پای پل)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، ۱۳۸۰.
- ۲۶) رمضانپور علی اکبر، رهنورد افشین، «بررسی خواص مکانیکی بتن ساخته شده از مخلوط چند یوزولان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۷۷.
- ۲۷) توکلی، مصطفی و ظفرعزیزی، فرزین «تاثیر دیرکرد بتن ریزی بر مقاومت فشاری بتن» کنفرانس بین‌المللی بتن، دانشگاه تهران، ۱۳۷۱.
- ۲۸) وفائیان محمود، میرطلانی کمال، هادی‌زاده یزدی محمد سعید، «بررسی تجربی خواص بتن غلتکی با استفاده از مواد یوزولانی» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۴.
- ۲۹) باقری علیرضا «بررسی استفاده از دوده سیلیس روی خواص مکانیکی بتن غلتکی» طرح پژوهشی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۷۸.
- ۳۰) امینی روح‌ا...، نورزایی جمال‌الدین «آنالیز حرارتی سدهای بتن غلتکی» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۱.
- ۳۱) احمدی نجل علی، غروی مجتبی، «بررسی اثر یوزولان ترکیبی بر مشخصه‌های فیزیکی مخلوط بتن غلتکی» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۹.
- ۳۲) ابنزارعمومی تحقیق، فاخر علی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۸.
- ۳۳) هومن قاسمی، شکرچی‌زاده محمد، فاخر علی «بررسی عوامل مؤثر بر نفوذپذیری بتن کوبیده غلتکی» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.
- ۳۴) سیمان پرتلند، نشریه شماره ۱۰۵، مترجم نرمین سیدعسگری، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۲).
- ۳۵) مجموعه مقالات کارگاه آموزشی تخصصی سدهای بتن غلتکی، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، اسفند ۱۳۸۱.
- ۳۶) بتن غلتکی در سدسازی، ترجمه دکتر محمد شکرچی‌زاده و مهندس هومن قاسمی، انتشارات دانشگاه تهران چاپ اول زمستان ۱۳۸۱.
- ۳۷) مهندسی پیشرفته در طراحی، ساخت و بازسازی سدها، ون ناسترند راینهودل، نیویورک (جلد دوم)، ناشر وزارت نیرو. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، اسفند ۱۳۷۷.

(ب) منابع لاتین:

- 38-ICOLD “Roller Compacted Concrete For Gravity Dam” –Bulltin 75, 1988
- 39-Dunstan M.R.H , “Recent Development in R.C.C dams “ ,International Journal on Hydropwer & Dams Issue one. Volume six, 1998
- 40- American standard test Method (ASTM): (ASTMC618, C117, C136, C566, D3017, D2922, C150, C595, C295, C535, C131, C29, C128,C127, C33, C88, C40, D1557)
- 41-Hansen K.D & Reinhard W.G “Roller compacted concrete Dams” , MC grawhill Inc 1991.
- 42) Journal of Hydropower & Dams world Atlas, 2001.
- 43) Water power journal, year book 2001.
- 44)”Roller compacted concrete” U S Army corps of engineers,1985.
- 45)Schrader E.K. “Roller compacted concrete dams- properties and cracking Myths, Miscoceptions, New and controversial issues “International Scientific workshop on R.C.C, University of Laval GIK7p4,November,1994.
- 46) Dunstan M.R.H “The State-of-the –Art R.C.C dams “.The first Portuguese conference on Roller compacted concrete, lisbon,1996.
- 47)ACI “Roller compacted concrete “ACI 207. 5R –89,Reapporved1997.
- 48) Tayabji S.D and Dolen T.P “Bond strength of Roller compacted concrete “Roller compacted concrete IIASCE, Newyork,1998.
- 49) Schrader.E.K “Discussion of article “ Degin consideration for Roller compacted concrete and Roolcrete Dams” by R. Canaon, concrete International,1986.
- 50) Zipparo v. j & Hansen H. ”Roller compacted concrete Dams “Davis Hand book of Applied Hydraulics, Mc grawhill, fourth Edition1993.
- 51) Schader E.K “Roller compacted concrete for dams ,the state of the arts, ”Advances in concrete Technology, canmet E ditor Malhotra V.M,1992.
- 52) Dunstan M.R.H “personales communication”2001.
- 53) Schrader E.K “ Shear Strength and life joint of R.C.C “Hydropower &Dams, Issues one,1999.
- 54) Banthia N.& Pigeon M. “Permeability of R.C.C “journal of materials In civil Engineering, Vol.4,Issue1,1991
- 55) Springenschmid R. & Ardonnewald P. “Permeability frost and crack prevention of Roller compacted concrete”,15th ICOLD,Lausanne,switzerland,1985.
- 56)”International symposium on Roller compacted concrete dams” santaoler,1985.
- 57)”Roller compacted concrete “proceeding of the conference, Sandi ego, California, 1992.
- 58)”Kahir II Roller compacted concrete dams report on dynamic Analysis “motor Columbus co, 1988.
- 59)”International symposium on Roller compacted concrete dam “china ,1999.
- 60)”Embankment Dams. ”HD Sharma.1991.
- 61)J.M Raphael, ”The optimum Gravity Dam,” proceedings ,conf .on Rapid construction of concrete Dams ,New York, American society of civil Engineers(1970).
- 62) Shekarchi M., Debiki G., clastres P., and Billard y., “ influence of Silica Fume on Permeability of concrete to oxygen for temperatures up to 500°C “ , Sixth CANMET, ACI International conference on fly Ash ,Silica Fume ,slag and Natural Pozzolan in concrete, Bangkok, Thailand 1998.

Abstract:

RCC construction method is one of the most advanced methods which have been introduced in dam industry. During the past decades, roller compacted concrete (RCC) has been increasingly used in dam construction as a result of its rapid construction rate and low overall cost in comparison with conventional concrete.

RCC can be defined as a very dry concrete with zero slump compaction by rollers induces a low working time, of between 30 to 45 minutes. It is noted that this short time is defined as a general guide and it actual it depends on a number of parameters such as the chemical and physical properties of cementitious materials, the water content of the mix, and the ambient conditions: temperature, relative humidity and wind velocity. It is obvious that observing such a short time is difficult, especially at mountainous sites, leading to a high total cost for site mobilization and road access.

In the literature, the effects of different variables on the allowable working time have not n been fully reported. To study the effect of delay time on the mechanical and permeability properties of RCC and the effect of the type and dosage of pozzolans, a research project has been undertaken in Iran and supported by applied research plan division of Iran water resources management company (WRMC). In this project, the tests were carried out on 380 samples of different RCC mix containing Portland cement and natural and artificial pozzolans with different dosages. In addition, in this research the permeability tests as well as dynamic and static modulus of RCC in different delay time from 15 to 120 minutes has been considered. A large reduction of mechanical properties was observed with increase of compaction delay time for RCC mix. A comparison was made between effects of pozzolans, both natural and artificial, showing variation in mechanical properties of RCC. Hence, this research concludes that the construction methods considering rapid compaction is not the best alternatives in to some certain extend.

The results of this research are given in the 3 different technical reports and 4 papers published in the RCC international conferences.