

## مطالعه تاثیر نوع سنگدانه بر مقاومت و نفوذپذیری بتن

محمود نادری<sup>۱\*</sup>، رضوان ولی بیگی<sup>۲</sup>، سید محمد میر صفی<sup>۳</sup>

۱- استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیر گروه مهندسی عمران، آموزشکده فنی (پردیس وزارت راه و شهرسازی)، لوشان، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

### چکیده

نفوذ پذیری یکی از عوامل مهم و تاثیر گذار بر دوام بتن می باشد. از اینرو در این مقاله به بررسی تاثیر عواملی نظیر مقاومت بتن، جذب آب، چگالی و مقاومت سنگ بر نفوذ پذیری بتن پرداخته شد. در ساخت بتن های مورد مطالعه بطور مجزا از هشت نوع سنگ با ویژگی های متفاوت به نام های سیلیس، مرمیت، آندزیت، آهک، تراورتن، توف، توف متراکم و گرانیات استفاده گردید. همچنین جهت تعیین نفوذ پذیری بتن از روش ابداعی محفظه استوانه ای و برای تعیین مقاومت بتن و صخره سنگ از روش مقاومت فشاری تک محوره و روش ابداعی پیچش استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که ارتباط بین مقاومت و نفوذ پذیری بتن، با ضریب همبستگی بین ۰٫۶۷ تا ۰٫۷۷، بیش از ضریب همبستگی سایر عوامل مانند جذب آب، چگالی و مقاومت صخره با نفوذ پذیری بتن می باشد. همچنین بتن بدست آمده از سنگدانه های تراورتن دارای بیشترین و بتن بدست آمده از سنگدانه های گرانیات دارای کمترین مقدار نفوذ آب بوده و نفوذ پذیری بتن حاصل از سنگدانه های اندزیت و توف، با گذشت زمان مشابه می باشد. با مشاهده روند نفوذ آب در بتن، مشاهده شد که نفوذ پذیری بتن بدست آمده از سنگدانه آهک، ۱/۸ برابر نفوذ پذیری بتن بدست آمده از سنگدانه گرانیات می باشد.

کلمات کلیدی: نفوذ پذیری، بتن، روش پیچش، محفظه استوانه ای، جذب آب، صخره سنگ.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2017.81402.1134	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.81402.1134	۱۳۹۷/۰۳/۳۰	۱۳۹۶/۰۳/۲۵	۱۳۹۶/۰۳/۲۴	۱۳۹۶/۰۳/۱۵	۱۳۹۶/۰۱/۱۷
محمود نادری				*نویسنده مسئول:		
naderi-m@ikiu.ac.ir				پست الکترونیکی:		

## Investigating the effect of type of aggregate on strength and permeability of concrete

Mahmood Naderi<sup>\*1</sup>, Rezvan Valibeigi<sup>2</sup>, Seyed Mohammad Mirsafi<sup>3</sup>

1- Professor, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, International Imam Khomeini University, Qazvin, Iran

2- MSc of Civil Engineering, Head of Civil Engineering Department., Technical College (Ministry of Road and Urban Development Campus), Lowshan, Iran

3- MSc of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

### ABSTRACT

Permeability is one of the most important factors affecting in the durability of concrete. So in this article, the effect of concrete strength, water absorption, density and strength of rock on the permeability of concrete studied. In the Studied concrete used separately from eight type's rock with different characteristics namely silica stone, marble, andesite, limestone, travertine, tuff, dense tuff, granite. To determine the permeability of concrete used "cylindrical chamber" method. Also, to study the strength of concrete and rock used the "Twist-off" and uniaxial compressive strength methods. The results shown that the relationship between concrete strength and permeability of concrete with correlation between 0.67 to 0.77 is over than the correlation of other factors such as water absorption, density and strength of rock. Also, the concrete made with the travertine aggregates had highest and the concrete made with the granite aggregates concrete had lowest amount of water permeability. The Concrete made with dense tuff and marble aggregates had the relatively similar conditions in the amount of water permeability. Also, studies show that the permeability of concrete resulted from andesite and tuff aggregates is similar. Permeability of The concrete made with limestone aggregates was 11.8 times of permeability of concrete made with granite aggregates.

### ARTICLE INFO

Received: 06/04/2017

Revised: 05/06/2017

Accepted: 14/06/2017

### Keywords:

Permeability

Twist

Cylindrical chamber Water absorption

Parent rock

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.81402.1134

\*Corresponding author: Mahmood Naderi.

Email address: naderi-m@ikiu.ac.ir

دوام از مهمترین ویژگی‌های بتن بوده و در بسیاری از شرایط محیطی از اهمیت برجسته‌ای برخوردار است بطوریکه برای بسیاری از شرایط رویارویی سازه‌های بتنی، هر دو خاصیت مقاومت و دوام باید به وضوح در نظر گرفته شود. بطور کلی دوام ناکافی به شکل از هم پاشیدگی در بتن دیده می‌شود که می‌تواند یا در اثر عوامل خارجی و یا به دلیل عوامل داخلی موجود در خود بتن باشد. همچنین این عوامل را می‌توان در دسته‌های فیزیکی، شیمیایی یا مکانیکی طبقه بندی نمود که خسارت مکانیکی ممکن است در اثر ضربه، سایش، خلا زایی یا فرسایش باشد. عوامل شیمیایی از هم پاشیدگی شامل واکنش‌های قلیایی-سیلیسی و قلیایی-کربناتی می‌باشند. حمله شیمیایی از بیرون، عمدتاً از طریق اثر یون‌های مهاجم مانند کلرایدها، سولفات‌ها یا دی اکسید کربن، و همچنین بسیاری از مایعات طبیعی یا صنعتی و گازها رخ می‌دهد. اثر مخرب می‌تواند انواع مختلف داشته باشد که ممکن است مستقیم یا غیر مستقیم باشد. از طرفی دیگر، عوامل فیزیکی از هم پاشیدگی، شامل اثرات دمایی زیاد یا تفاوت در انبساط حرارتی سنگدانه‌ها و خمیر سیمان سخت شده می‌باشد. همچنین یک علت مهم خسارت، یخ زدن و آب شدن متناوب بتن و اثرات مربوط به نمک‌های یخ زدا است [۱].

باید متذکر شد که فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی از هم پاشیدن می‌تواند توأماً عمل نماید. در این مرحله شایان توجه است که از هم پاشیدگی بتن به ندرت ناشی از یک عامل منفرد می‌باشد؛ اغلب، بتن می‌تواند علی‌رغم برخی از خصوصیات نامطلوب آن رضایت بخش باشد، اما با اضافه شدن یک عامل نامساعد، خسارت اتفاق خواهد افتاد. به این دلیل، در بعضی از مواقع به زحمت می‌توان از هم پاشیدگی بتن را به یک عامل ویژه ارتباط داد، اما در معنی کلی کلمه، کیفیت بتن با توجه خاص به نفوذ پذیری، تقریباً همیشه در صحنه ظاهر می‌شود. در حقیقت، به استثنای خسارت مکانیکی، کلیه اثرات نامطلوب بر دوام، در بر گیرنده جابجایی مایعات از میان بتن است [۱]. به عبارت بهتر، نفوذپذیری نقش مهمتر و بیشتری در بین عوامل موجود دارد و در حقیقت نفوذپذیری، مقدار خسارت تحت عوامل خارجی را تعیین می‌کند [۲]. به این دلیل ملاحظات دوام نیاز به درک پدیده‌های مربوطه دارد که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

بتن ساخته شده از سیمان پرتلند دارای منافذ مویینه، حفرات هوا و فضاهای بین لایه‌ای در خمیر سیمان سخت شده می‌باشد. این فضاهای خالی دارای اندازه‌های مختلف بوده که در کنار هم چیده شده و به یکدیگر متصل می‌گردند. اندازه منافذ خمیر سیمان در محدوده نانومتری تا حفرات هوای میکرومتری قرار می‌گیرد. همچنین گفته شده است که، ریز ساختار بتن بسیار پیچیده تر از خمیر سیمان است که دلیل آن، ویژگی‌های ناحیه انتقالی بین ماتریس و سطح سنگدانه‌ها می‌باشد [۳].

در تحقیقی دیگر عنوان شده است که، مقاومت و دوام بتن مستقیماً متأثر از تعداد، نوع، اندازه و توزیع درصد منافذ در خمیر سیمان، سنگدانه و سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه است. به عنوان مثال، مقاومت و مدول الاستیسیته بتن تحت تاثیر کل حجم منافذ موجود در بتن قرار دارد [۴]. در حالی که نفوذ پذیری وابسته به تخلخل و اتصال منافذ موجود در خمیر سیمان و ریزترک‌های موجود در بتن، خصوصاً در سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه می‌باشد [۵].

با بکارگیری سه نوع شکل سنگدانه (با درجه گردی متفاوت) این نتیجه حاصل شده است که هر چه میزان گردی سنگدانه افزایش یابد بطور متناظر میزان نفوذپذیری بتن نیز افزایش می‌یابد همچنین عنوان شده که، نرخ کاهش نفوذپذیری بتن با افزایش در نسبت آب به سیمان برای سنگدانه‌های با درجه گردی بالاتر، بیشتر است [۶]. با افزایش درجه زبری سطحی و نسبت تحدب (گردی) سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن افزوده می‌شود [۷].

یکی از مهمترین خواص پوزولان (نانو سیلیکات‌ها) به عنوان جایگزین سیمان، توانایی قابل ملاحظه آن در کاهش منافذ بزرگ و نفوذ پذیری بتن است. واکنش‌های سیلیسی پوزولان و آهک ناشی از هیدراسیون سیمان، خاصیت پرکنندگی داشته و موجب کاهش منافذ بزرگ و کاهش نفوذ پذیری و افزایش دوام بتن است [۸-۱۱].

همچنین مقاومت و نفوذپذیری بتن وابسته به عوامل گوناگونی است که یکی از مهمترین آنها نسبت آب به سیمان است. نسبت آب به سیمان که از آن به عنوان پارامتر حاکم در مقاومت و دوام بتن یاد می‌شود، عامل تعیین کننده درصد تخلخل خمیر سیمان است [۱۲]. با

افزایش نسبت آب به سیمان مقدار نفوذ پذیری بتن افزایش می‌یابد. عیار سیمان نیز در کنار نسبت آب به سیمان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت و دوام بتن دارد بطوریکه با افزایش عیار سیمان و ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان، از مقدار آن کاسته می‌شود [۱۳]. همچنین مشاهده شده که با افزایش عیار سیمان از ۳۵۰ به ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و کاهش نسبت آب به سیمان به ترتیب از ۰/۶ تا ۰/۴، مقدار جذب آب بتن به میزان ۴۲/۷٪ کاهش می‌یابد [۱۴]. مقدار مناسب سیمان در بتن با نسبت کم آب به سیمان باعث می‌شود تا غلظت خمیر سیمان بیشتر گردد و فضای کمتری برای آب موجود باشد و در نتیجه نزدیک شدن ذرات سیمان به یکدیگر، پس از هیدراسیون، منافذ ریزتری در بتن ایجاد گردد که بر اثر ادامه واکنش هیدراسیون این منافذ ریز هم مسدود می‌گردد. از طرف دیگر مقدار مناسب سیمان در مخلوط سبب تراکم بهتر و عدم جداسدگی دانه‌ها می‌شود و نفوذپذیری کاهش می‌یابد [۱۵]. همچنین عمل آوری در هوای آزاد در مقایسه با عمل آوری با آب، بر میزان جذب آب بتن می‌افزاید در صورتیکه بر نفوذ پذیری بتن به میزان ۳۴۵/۳٪ افزوده می‌شود همچنین با افزایش مقاومت فشاری بتن از مقدار جذب آب بتن کاسته شده و با افزایش میکروسیلیس از مقدار جذب آب و نفوذ پذیری بتن کاسته می‌شود [۱۴].

در عمل داده‌های حاصل از نتایج آزمایش‌های اخیر نشان داده است که نفوذ پذیری بتن در مقایسه با خمیر سیمان خالص با نسبت آب به سیمان و درجه بلوغ یکسان بیشتر است و اضافه نمودن سنگدانه به خمیر سیمان نفوذ پذیری را به مقدار زیادی افزایش داده است [۱۶ و ۱۷]. اختلاف بین نفوذپذیری خمیر سیمان و بتن حاوی همان خمیر با همان نسبت آب به سیمان از اینجا سر چشمه می‌گیرد که نفوذپذیری سنگدانه‌ها بر عملکرد بتن تأثیر می‌گذارد. اگر چنانکه نفوذپذیری سنگدانه‌ها خیلی کم باشد، وجود سنگدانه‌ها در بتن باعث کاهش سطح موثر جریان آب می‌گردد که بدلیل دور زدن سنگدانه‌ها توسط جریان، طول مسیر جریان افزایش می‌یابد و نهایتاً بدلیل قطع جریان داخل شبکه مویینه خمیر سیمان، اثر سنگدانه‌ها در کاهش نفوذ پذیری بتن چشمگیر خواهد بود. به عبارت دیگر در یک بتن کاملاً متراکم شده، بواسطه احاطه شدن سنگدانه‌ها توسط خمیر سخت شده سیمان، نفوذپذیری خمیر سیمان بیشترین نقش را در نفوذپذیری بتن خواهد داشت که این موضوع با فرض اینکه نفوذ از منطقه مرز مشترک بین سنگدانه و خمیر سیمان اتفاق نمی‌افتد، مطرح شده است [۱].

در تحقیقی دیگری عنوان گردیده است که با کاهش جذب آب بتن با رده‌های مقاومتی C20 تا C30 نفوذپذیری اکسیژن در آن کاهش می‌یابد و همچنین با بررسی انواع سنگ گرانیات با جذب آب‌های متفاوت، این نتیجه حاصل گردیده که در نمونه‌های نفوذپذیر و با جذب آب پایین تر سنگ، میزان نفوذ کاهش می‌یابد [۱۸]. در شرایط عمل آوری متفاوت، مقدار جذب آب سطحی بتن بیشتر از جذب اشباعی آن می‌باشد اما مقدار جذب آب سطحی و جذب اشباعی، ارتباط واضحی با مقاومت فشاری بتن ندارد که نشان می‌دهد مقاومت نمی‌تواند به سادگی مقدار جذب آب را تخمین بزند. اساساً نفوذ پذیری به جذب آب سطحی بتن بستگی دارد و با جذب آب سطحی بیشتر در بتن، مقاومت آن در مقابل حمله سولفات‌ها افزایش می‌یابد [۱۹].

اندازه سنگدانه تأثیر به‌سزایی در نفوذپذیری و دوام بتن دارد بطوریکه مشاهده گردیده است که با کاهش اندازه سنگدانه، از میزان نفوذپذیری بتن نیز کاسته می‌شود [۶]. همچنین گفته شده است که با افزایش نسبت سنگدانه به سیمان، مقدار نفوذپذیری بتن افزایش می‌یابد [۲۰]. در تحقیق دیگری دلیل بهبود پارامترهای مربوط به نفوذ پذیری بتن، بهبود خواص ناحیه انتقال و کاهش میزان خلل و فرج در سیستم منافذ بتن عنوان گردیده است [۲۱].

نوع کانی سنگدانه‌ها نیز در میزان نفوذپذیری بتن تأثیر به‌سزایی دارد. بعضی سنگدانه‌ها مانند بازالت و کوارتز در مقایسه با بعضی دیگر از جمله دولومیت پیوستگی کمتری با خمیر سیمان ایجاد می‌کنند و بر اثر جمع شدگی و یا تغییرات دما و رطوبت در بتن، ریز ترکها در نواحی پیوستگی خمیر و سنگدانه به سرعت گسترش می‌یابد و باعث افزایش نفوذپذیری می‌گردد. ذرات با اشکال پولکی و طولی می‌توانند به نحو نامطلوبی روی دوام بتن اثر بگذارند زیرا دانه‌های پولکی تمایل به فرار گرفتن در یک جهت دارند و سبب آب انداختگی بتن می‌شود و همچنین منافذ هوا در زیر این سطوح جمع می‌شوند [۲۲].

دانه بندی مناسب سنگدانه‌ها نیز از عوامل مهم در نفوذپذیری بتن می‌باشد، بطوریکه با کاهش یا عدم استفاده از ریز دانه (ماسه)، نفوذ پذیری بتن افزایش می‌یابد [۲۳].

در ارتباط با شکل سنگدانه‌ها، دانه‌های گرد شن و ماسه طبیعی از دانه‌های زاویه دار به دست آمده از سنگ‌های خرد شده متمایزند.

اتصال سنگدانه به سیمان به ویژگی‌های مکانیکی همچون بافت سطحی سنگدانه مربوط است بطوریکه ملات سیمان چسبندگی بهتری با سنگدانه‌های زیر در مقایسه با سنگدانه‌های صاف و صیقلی دارد. این اتصال هیچ گاه پیوسته و مطلوب نبوده و آثار موضعی و ناپیوستگی‌ها همواره نمایان است. به عنوان مثال سطح سنگدانه‌های بازالت بسیار کم توسعه یافته و متبلور است و این یکی از دلایلی است که موجب می‌شود اتصال سنگدانه‌های بازالت به ماتریس معمولاً در مقایسه با سنگ‌هایی نظیر ماسه سنگ، آهک و ... ضعیف بوده و ترک‌ها بیشتر آماده توسعه در سطح مشترک باشند. در سنگدانه‌های متخلخل ضمن جذب آب بیشتر، دوام بتن در مقابل تر و خشک شدن متناوب و یخ زدن و ذوب شدن یخ، کاهش می‌یابد [۲۲].

از آنجا که تحقیقات صورت گرفته روی اثرات نوع و ویژگی‌های سنگدانه بر جنبه‌های مختلف و همزمان بتن نظیر مقاومت فشاری و پیچشی و نفوذپذیری محدود بوده و روی سنگ‌های به خصوص و انگشت شماری کار شده است لذا در این مقاله به بررسی و مقایسه همزمان تاثیر تعداد هشت نوع از سنگدانه‌های بدست آمده از صخره سنگ‌هایی به نام: توف، توف متراکم، سیلیس، آندزیت، آهک، تراورتن، گرانیت و مرمریت، جهت ساخت بتن، روی عوامل یاد شده پرداخته شد. لازم به ذکر است که جهت تعیین نفوذپذیری بتن از روش درجای محفظه استوانه ای و برای تعیین مقاومت فشاری و پیچشی بتن به ترتیب از روش مقاومت فشاری و روش درجای پیچش بهره گرفته شد که در ادامه به تشریح این دو روش ابداعی پرداخته شده است. همچنین جهت انجام مقایسه، طرح اختلاط بصورت ثابت بوده و از روش حجمی بدست آمده است. از نکات مهم در این مقاله، استفاده از روش‌های پیچش و محفظه استوانه ای بوده که دارای قابلیت انعطاف و کاربرد در اکثر شرایط موجود در محل پروژه و در آزمایشگاه می‌باشد و با دقت بالا، کمترین هزینه، سریعترین زمان، کمترین خرابی، کمترین مهارت، استفاده از ساده ترین ابزارها و ... می‌توان به نتایج قابل اطمینان و دقیقی دست یافت که مطلوب تمامی پروژه‌ها می‌باشد.

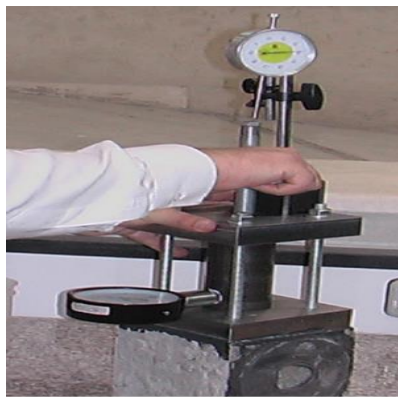
## ۲- تعیین نفوذ پذیری با استفاده از روش محفظه استوانه ای

به طور کلی، آزمایش‌های نفوذ پذیری بتن استاندارد نشده اند [۱] و از طرف دیگر، نتایج حاصل از روش‌های متداول تعیین نفوذ پذیری بتن که در آزمایشگاه و روی نمونه های بتنی از قبل آماده شده انجام می‌پذیرد، عمدتاً کیفی و مقایسه‌ای می‌باشد. از این رو در سال ۲۰۱۱ توسط نادری روشی با کاربردی گسترده و دقیق، جهت تعیین مقدار نفوذ پذیری بتن و دیگر مصالح ساختمانی ابداع گردید. این روش در تمامی شرایط آزمایشگاهی، مخصوصاً در محل پروژه و در تمامی سطوح افقی، عمودی، سقفی و مورب به سادگی، با کمترین آموزش، بدون نیاز به مغزه گیری و تخریب سازه اصلی و ... قابل انجام می‌باشد [۲۴] که نتایج را بصورت کمی بیان می‌کند. همچنین این روش قادر است ترک‌های ریز و موئین بر روی سطح بتن حتی در محیط آزمایشگاه را نیز بررسی نماید [۲۵، ۲۶]. نحوه انجام این روش بدین شرح است که در ابتدا سطح بتن را کاملاً خشک و تمیز نموده و در ادامه صفحه فلزی دستگاه را که در مرکز آن دارای سوراخ دایره ای شکل می‌باشد با چسب به سطح بتن چسبانده می‌شود. جهت جلوگیری از بروز خطا، چسب اضافی از محل اعمال تنش آبی (سوراخ دایره ای) برداشته می‌شود. پس از اطمینان از به مقاومت رسیدن چسب، قطعه دیگر دستگاه به صفحه فلزی چسبانده شده به بتن، متصل می‌گردد. سپس محفظه دستگاه را پر از آب و هواگیری کرده و با پیچاندن اهرم دستی، فشار ثابت آب مورد نظر تامین می‌گردد که توسط فشار سنج عقربه ای قابل مشاهده است. مقدار نفوذ آب، با رویت میکرومتر عقربه ای، در زمان‌های مختلف ثبت می‌گردد. دستگاه محفظه استوانه ای بسته شده روی نمونه بتنی، در شکل ۱ نشان داده شده است.

## ۳- آزمایش پیچش (Twist-off)

در سال ۲۰۰۶ توسط نادری روشی تحت عنوان "پیچش" جهت سنجش مقاومت درجای مصالح ساختمانی از جمله بتن و ملات ابداع گردید [۲۷] که بدلیل موفقیت در کسب نتایج دقیق [۳۰-۲۸]، از آن می‌توان در فعالیت‌های پژوهشی نیز بهره گرفت. این روش جزء روشهای با خرابی جزئی بوده و از مزایای دیگر آن می‌توان به دقت، سرعت انجام، هزینه پایین، نیاز به کمترین آموزش، تکرار پذیری

آزمایش و تعمیر خرابی جزئی با ملات اشاره نمود. تنها محدودیت در این روش حساسیت چسب به رطوبت و زمانی حدود ۲۴ ساعت برای سخت شدن چسب می‌باشد که این زمان با پیشرفت روز افزون در تکنولوژی تولید چسب، قابل کاهش است [۳۱]. شیوه اعمال روش به این طریق است که پس از اطمینان از خشک و تمیز بودن سطح نمونه‌ها، اقدام به چسباندن استوانه فلزی مربوط به این روش توسط چسب اپوکسی به بتن می‌گردد. سپس جهت جلوگیری از خطا در نتایج، چسب اضافی توسط کاردک برداشته شده و پس از اطمینان از به مقاومت رسیدن چسب، در موعد مقرر اقدام به نصب دستگاه ترکمتر (پیچش سنج) در شیار تعبیه شده استوانه فلزی می‌گردد. در ادامه نیرویی یکنواخت و آهسته به ترکمتر اعمال شده و مقدار گشتاور نهایی اعمالی در لحظه شکست نمونه بتنی ثبت می‌گردد. در این روش، دو طرف مقابل هر نمونه، مورد آزمایش قرار گرفته است که برای هر نوع بتن ۶ نتیجه و در مجموع تمامی آزمایش‌ها ۴۸ نتیجه در دست می‌باشد.



شکل ۱: دستگاه محفظه استوانه ای بسته شده روی مکعب بتن.

#### ۴- مراحل تحقیق

در این مقاله تاثیر مقاومت فشاری و پیچشی بتن و همچنین مقاومت فشاری و پیچشی، جذب آب و چگالی صخره سنگ بر نفوذ پذیری بتن بررسی شده است. در تهیه بتن از سنگدانه‌های حاصل از هشت نوع سنگ با ویژگی‌های متفاوت به نام‌های سیلیس، مرمیت، آندزیت، آهک، تراورتن، توف، توف متراکم و گرانیت استفاده گردیده است.

پس از انتخاب و جمع آوری سنگ‌ها از معادن و سنگ بری‌ها، جذب آب آنها تعیین شد. سپس توسط دستگاه کرگیر، نیم مغزه-های استوانه ای به قطر ۵۰ میلی‌متر و عمق ۵۰ میلی‌متر در سنگ ایجاد شده و تحت آزمایش پیچش قرار گرفتند (شکل ۲). در ادامه مغزه-هایی به ارتفاع ۵۰ mm و قطر ۵۰ mm طبق استاندارد ASTM D4543 [۳۲] تهیه و آزمایش مقاومت فشاری تک محوره روی آنها انجام پذیرفت (هر نوع سنگ ۳ نیم مغزه و ۳ مغزه). در شکل ۳ مراحل آماده سازی مغزه‌های سنگی و در جدول ۱ مشخصات آن‌ها نشان داده شده است. در ادامه جذب آب سنگ طبق استاندارد ASTM D2216 [۳۳] و وزن مخصوص سنگ طبق استاندارد ASTM D7263 [۳۴] تعیین شد. سپس هر نوع سنگ بطور مجزا خرد و طبق استاندارد ASTM C136-06 [۳۵] دانه بندی (نمودار ۱) گردید. در مرحله بعد بطور مجزا از سنگدانه‌های حاصل از صخره سنگ و برای هر روش آزمایش حداقل ۳ مکعب بتنی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر ساخته شد (۲۴) آزمونه جهت آزمایش فشاری و ۲۴ آزمونه جهت آزمایش پیچش). در شکل ۴، شکست مکعب بتنی ساخته شده از سنگ مرمیت زیر جک فشاری نشان داده شده است. در این بررسی از سیمان تیپ ۲ خزر لوشان مطابق با استاندارد ASTM C150 [۳۷] و فوق روان ساز Glenium 51P مطابق با استاندارد ASTM C-494 Type B, D, G [۳۸]، میکروسیلیس شرکت فرو سیلیس ازنا و آب شرب شهر تاکستان با PH برابر ۷ در ساخت بتن استفاده گردیده است. آنالیز شیمیایی میکروسیلیس، سیمان و فوق روان ساز مورد استفاده، به ترتیب در جداول ۲، ۳ و ۴ آورده شده است. مقاومت نمونه‌های بتنی ساخته شده در سن ۲۸ روز با روش‌های فشاری و پیچش (Twist-Off) اندازه گیری شد که نتایج بدست آمده در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. همچنین نفوذ پذیری با روش درجای محفظه استوانه ای، تحت فشار ثابت ۵ بار انجام پذیرفت که نتایج آن در نمودارهای ۲، ۴، ۵ و ۶ قابل ملاحظه است. در این مقاله جهت حاصل شدن یک بتن متراکم و با مقاومت بالا و

ملاحظه تاثیر مقاومت سنگدانه‌های مختلف در مقاومت بتن لازم بود که مقاومت خمیره سیمان افزایش داده شود از اینرو نسبت آب به سیمان کاهش و دوده سیلیسی و فوق روان کننده در اختلاط استفاده گردید. همچنین جهت مقایسه تاثیر مقاومت انواع مختلف سنگدانه روی مقاومت و نفوذ پذیری بتن‌های بدست آمده از آن، طرح اختلاط بتن ثابت در نظر گرفته شد (جدول ۵). با توجه به اینکه طرح اختلاط بصورت حجمی در نظر گرفته شده است از اینرو نوع کانی سنگدانه، در قالب وزن مخصوص، در طرح اختلاط تاثیر گذار بوده و مقدار وزنی سنگدانه‌ها متفاوت بدست آمده است. همچنین نسبت ماسه به شن ثابت و برابر ۰/۶۷ بوده و برای تمامی نمونه‌های بتنی، شرایط عمل آوری یکسان و بصورت غرق در حوضچه آب می‌باشد. حداکثر اندازه سنگدانه‌های مورد استفاده در بتن ۱۹ میلی‌متر بوده و سنگدانه‌ها بصورت اشباع با سطح خشک در مخلوط بتن استفاده شدند. در ادامه به بررسی تاثیر عواملی مانند: جذب آب، چگالی و مقاومت فشاری و پیچشی صخره سنگ، مقاومت فشاری و پیچشی بتن بر نفوذ پذیری بتن پرداخته شده است. همچنین در بحث و نتیجه گیری، مشاهدات حاصل از شکل و بافت سطحی سنگدانه‌ها پس از شکسته شدن و محل شکست بتن نیز مورد توجه قرار گرفته است. لازم به ذکر است که کلیه مراحل انجام آزمایشات، در آزمایشگاه مکانیک خاک و بتن دانشگاه آزاد اسلامی تاکستان انجام پذیرفته است.



(پ)



(ب)



(الف)

شکل ۲: نمایی از اعمال روش پیچش: (الف) استوانه فلزی مربوط به روش پیچش چسبانده شده روی نیم مغزه‌های ایجاد شده در سنگ، (ب) نحوه اعمال روش، (ج) خرابی جزئی ایجاد شده پس از اعمال روش روی نمونه‌های بتنی.



(پ)



(ب)

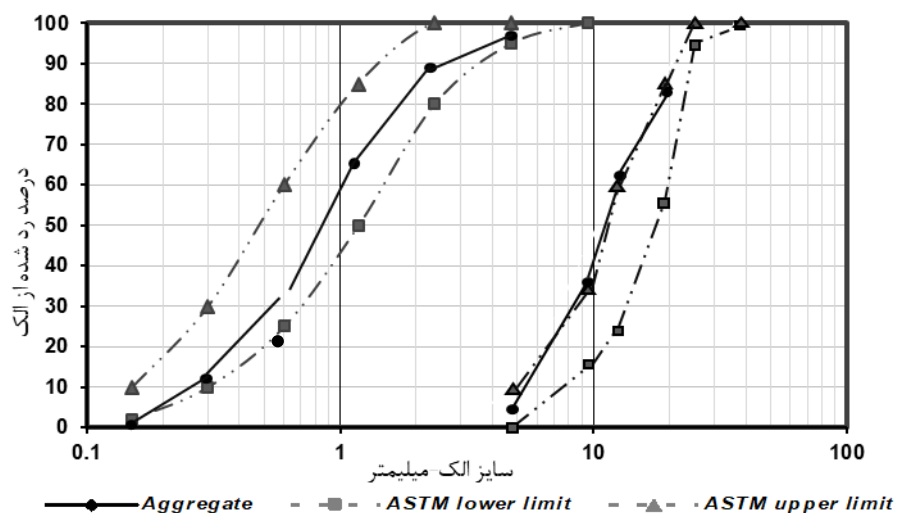


(الف)

شکل ۳: مراحل آماده سازی مغزه‌های سنگی: (الف) مغزه گیری از سنگ، (ب) برش مغزه‌ها توسط اره الماسه، (پ) تسطیح و تراز کردن سطح مغزه‌ها توسط دستگاه تراشکاری.

جدول ۱: مشخصات مغزه‌های سنگی.

تراورتن	سیلیس	توف	توف متراکم	آندزیت	مرمریت	گرانیت	آهک	نام سنگ
۴/۷۹	۳/۲۷	۳/۳۳	۰/۷۸	۰/۹۴	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۳۷	جذب آب (درصد)
۲/۱۲	۲/۳۷	۲/۴۵	۲/۶۱	۲/۷۱	۲/۷۷	۲/۷۵	۲/۷۴	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )



نمودار ۱: منحنی دانه بندی ریز دانه و درشت دانه طبق استاندارد ASTM C33/C33M [۳۶].



شکل ۴: شکست مکعب بتنی ساخته شده از سنگ مرمریت زیر جک فشاری.

جدول ۲: آنالیز شیمیایی میکروسلیس.

عناصر تشکیل دهنده	H <sub>2</sub> O	Sic	C	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CL
درصد وزنی	۰/۰۸	۰/۵	۰/۳	۹۶/۴	۰/۸۷	۱/۳۲	۰/۴۹	۰/۹۷	۰/۳۱	۱/۰۱	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۴

جدول ۳: آنالیز شیمیایی سیمان تپ ۲ خزر.

عناصر تشکیل دهنده	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	F.CaO	C <sub>3</sub> A	L.O.I.	SO <sub>3</sub>	In.R.
درصد وزنی	۲۱	۳/۸	۴/۷	۶۲	۳/۶	۱/۵	۶	۱/۶	۲/۳	۰/۴

جدول ۴: آنالیز شیمیایی فوق روان ساز Glenium 51P.

مصلح تشکیل دهنده	رنگ	وزن مخصوص (kg/liter)	کلورین (%)	آلکالین (%)
بر پایه پلی کربوکسیلیک اتر	کهربایی	۱/۰۸۲ - ۱/۱۴۲	< ۰/۱	< ۳



جدول ۵: طرح اختلاط بتن (Kg/m<sup>3</sup>).

نوع سنگدانه	G	S	A	W	SP	SF	C	SF/C	W/(C+SF)	SP/(C+SF)
آهک	۹۰۲	۶۰۵	٪۲/۵	۲۰۰	۹/۹۴	۱۱۱	۵۵۷	٪۲۰	۰/۳	٪۱/۵
گرانیت	۹۰۶	۶۰۷								
مرمریت	۹۱۲	۶۱۱								
اندزیت	۸۹۶	۶۰۰								
متراکم توف	۸۶۰	۵۷۶								
توف	۸۰۳	۵۲۸								
سیلیس	۷۶۶	۵۱۳								
تراورتن	۶۹۵	۴۶۶								

G=Gravel S=Sand A=Air W=Water SP=Super Plasticizer SF=Silica Fume C=Cement

### ۵- نتایج بدست آمده و تحلیل آنها

طبق روابط مقاومت مصالح، تنش برشی ناشی از پیچش، از رابطه ۱ بدست می‌آید.

$$\tau = \frac{T.C}{J}$$

(رابطه ۱)

که در آن: T برابر با حداکثر لنگر پیچشی اعمالی (نیروی مقاوم پیچشی)، C و J به ترتیب برابر با شعاع و ممان اینرسی قطبی نیم مغزه‌های سنگی می‌باشد.

به دلیل اینکه ابعاد نیم مغزه‌ها برای تمامی هشت نوع سنگ یکسان می‌باشد، از اینرو رابطه ۱ به رابطه ۲ تبدیل می‌شود که K عددی ثابت است و می‌توان تمامی بررسی‌ها را بجای مقاومت برشی، روی نتایج ثبت شده از پیچش سنج (نیروی مقاوم پیچشی) نیز متمرکز کرد. با توجه به ابعاد نیم مغزه، مقدار K برابر با ۰/۰۴۰۷ بدست می‌آید.

$$\tau = k.T$$

(رابطه ۲)

با توجه به متفاوت بودن زمان‌های نفوذ آب در نمونه‌های بتنی و جهت انجام مقایسه، لازم است که ایستگاه‌های زمانی انتخاب گردد. با در نظر گرفتن این مساله که تمام حجم آب موجود در مخزن دستگاه محفظه استوانه ای در زمان ۳۰ دقیقه در بتن حاصل از تراورتن نفوذ کرده است و اینکه زمان پایان نفوذ آب در بتن حاصل از سیلیس ۱۲۰ دقیقه می‌باشد لذا زمان‌های ۳۰ و ۱۲۰ دقیقه انتخاب و زمان ۶۰ دقیقه نیز جهت مطالعه بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در زمان ۳۰ دقیقه تمامی نمونه‌های بتنی مورد مقایسه قرار گرفته و در دیگر زمانها نمونه بتنی حاصل از تراورتن کنار گذاشته شده است. همانگونه که از نمودار ۲-الف قابل مشاهده می‌باشد، بین مقدار نفوذ آب در بتن و چگالی سنگ در زمانهای ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه ارتباطی ضعیف برقرار است. همچنین در نمودار ۲-ب هیچ ارتباطی بین مقدار نفوذ آب با جذب آب سنگ برقرار نمی‌باشد.

در نمودار ۲-پ تاثیر مقاومت فشاری سنگ و نفوذ آب در بتن نشان داده شده است که بر اساس آن هیچ ارتباطی بین آن دو برقرار نمی‌باشد. در نمودار ۲-ت، نتایج حاصل از ارتباط بین نیروی مقاوم پیچشی سنگ با نفوذ پذیری بتن مشابه نتایج حاصل از روش فشاری می‌باشد. همچنین نمودار ۲-ث نشان می‌دهد که مقاومت فشاری بتن بیشترین و تنها عامل تاثیر گذار در بین عوامل مورد بررسی در این مقاله بر نفوذ پذیری بتن بوده بطوریکه ضریب همبستگی در زمان ۳۰ دقیقه برابر ۰/۷۲۶ می‌باشد. این ارتباط با گذشت زمان کاهش می‌یابد و ضریب همبستگی برای زمان‌های ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه به ترتیب ۰/۷۰۳ و ۰/۶۶۸ بدست می‌آید. در نمودار ۲-ج دیده می‌شود که نیروی مقاوم پیچشی بتن نیز ارتباط خوبی با مقدار نفوذ آب در بتن دارد و بحث‌های مطرح شده در روش فشاری (نمودار ۲-ث) در اینجا نیز قابل تعمیم و برقرار می‌باشد با این تفاوت که در روش پیچش ارتباط قویتری نسبت به روش فشاری برقرار بوده بطوریکه ضریب

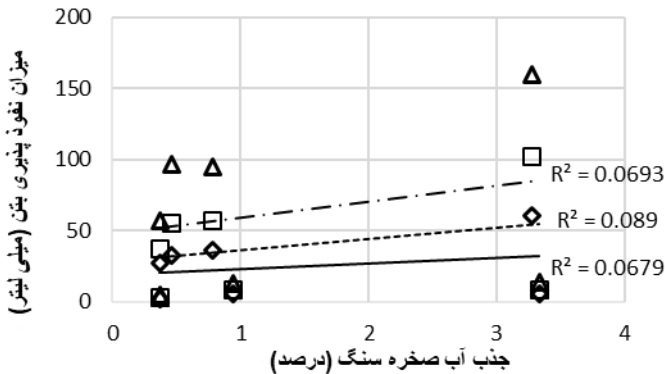
همبستگی در ایستگاه‌های زمانی ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه به ترتیب برابر ۰/۷۷۱، ۰/۷۶۷ و ۰/۷۱۴ حاصل گردیده است. در نمودار ۲-ث و ۲-ج دیده می‌شود که بطور عمومی در بتن‌هایی که مقاومت فشاری و پیچشی بالاتری دارند مقدار نفوذ بالاتری نیز بدست آمده است. در نمودار ۳، دیده می‌شود که ارتباطی قوی بین مقاومت فشاری و نیروی مقاوم پیچشی بتن برقرار بوده بطوریکه با وجود سنگدانه‌های با ویژگی‌های متفاوت، ضریب همبستگی در حالات خطی، منحنی درجه ۲ و لگاریتمی، عدد ۰/۸۲ حاصل گردیده است. بطوریکه می‌توان نتایج بدست آمده از روش پیچش را با دقت خوبی به مقاومت پیچشی و برشی بتن تبدیل نمود.

با توجه به جدول ۲ و شکل ۲، در سنگ‌هایی که جذب آب بالایی دارند مانند: تراورتن (۰/۴/۷۹)، توف (۰/۳/۳۳) و سیلیس (۰/۳/۲۷)، پس از شکسته شدن سطحی زیر حاصل گردیده است. که این مساله نشان دهنده وجود حفرات بیشتر و بزرگتر در اینگونه سنگ‌ها می‌باشد. سنگدانه تراورتن و توف به شکل مکعبی شکسته شده در صورتیکه سنگدانه سیلیس به شکل متمایل به ورقه ای و پولکی می‌باشد. در سنگدانه تراورتن، حفرات داخلی به قدری بزرگ بود که با چشم غیر مسلح قابل رویت می‌باشد. که این مساله باعث شده است که نفوذ پذیری و مقاومت فشاری و پیچشی بتن بدست آمده از سنگدانه تراورتن و مقاومت فشاری و پیچشی سنگ، پایین ترین مقدار در بین بقیه نمونه‌ها باشد. بتن حاصل از سنگدانه‌های سیلیس در رده دوم بیشترین میزان نفوذپذیری و بتن حاصل از سنگدانه توف در رده ششم می‌باشد.

در بین سنگ‌های با جذب آب پایین شامل: آهک (۰/۳۷)، گرانیت (۰/۳۷) و مرمریت (۰/۴۶)، بتن حاصل از سنگدانه گرانیت کمترین میزان نفوذ آب را به میزان ۹ میلی متر مکعب در مدت ۳۶۰ دقیقه داشته است که شکل مکعبی، ساختار بلوری، زبر و دندانه دار سطح سنگدانه باعث ایجاد پیوستگی مطلوب در ناحیه انتقال گشته و نتیجتاً باعث نفوذ پذیری پایین بتن حاصله گردیده است. این در حالی است که سنگ مرمر با جذب آب مشابه، سطح صاف و صیقلی سنگدانه و متمایل به ورقه ای بودن شکل سنگدانه‌ها، دارای نفوذ پذیری بالای آب، به میزان ۱۴۰ میلی لیتر می‌باشد. همچنین مشاهدات حاکی از آن است که شکست بتن حاصل از سنگدانه مرمریت، از ناحیه مرز سنگدانه و سیمان حادث گردیده است که این مساله نشان از نفوذ پذیری از ناپیوستگی‌های این ناحیه می‌باشد.

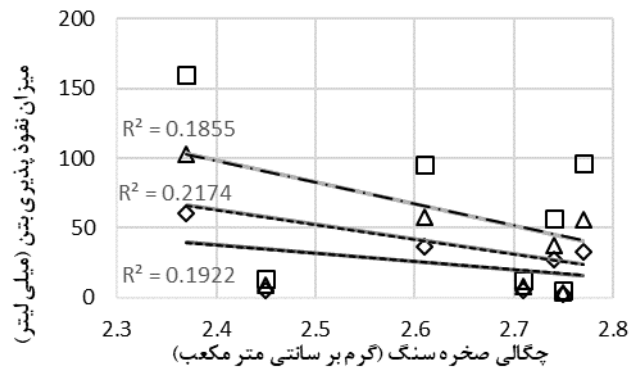
جدول ۲: نتایج آزمایشات نیروی مقاوم پیچشی و فشاری بتن و صخره سنگ، نفوذ پذیری بتن، جذب آب و چگالی صخره سنگ.

نام سنگ	جذب آب (درصد)	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	متوسط نیروی مقاوم پیچشی سنگ (نیوتن-متر)	متوسط مقاومت فشاری سنگ (مگا پاسکال)	متوسط نیروی مقاوم پیچشی بتن (نیوتن-متر)	متوسط مقاومت فشاری بتن (مگا پاسکال)
آهک	۰/۳۷	۲/۷۴	۲۳۳	۱۹۶	۱۰۸	۵۷
گرانیت	۰/۳۷	۲/۷۵	۲۸۳	۱۵۳	۱۰۶	۴۵
مرمریت	۰/۴۶	۲/۷۷	۱۱۵	۹۰	۱۰۰	۵۲
اندزیت	۰/۹۴	۲/۷۱	۲۰۱	۱۶۰	۱۱۲	۵۶
توف متراکم	۰/۷۸	۲/۶۱	۳۴۹	۲۱۹	۱۱۶	۶۱
توف	۳/۳۳	۲/۴۵	۱۳۳	۱۴۷	۹۶	۵۰
سیلیس	۳/۲۷	۲/۳۷	۱۸۰	۱۳۷	۱۱۹	۶۷
تراورتن	۴/۷۹	۲/۱۲	۷۰	۲۳	۸۶	۴۵



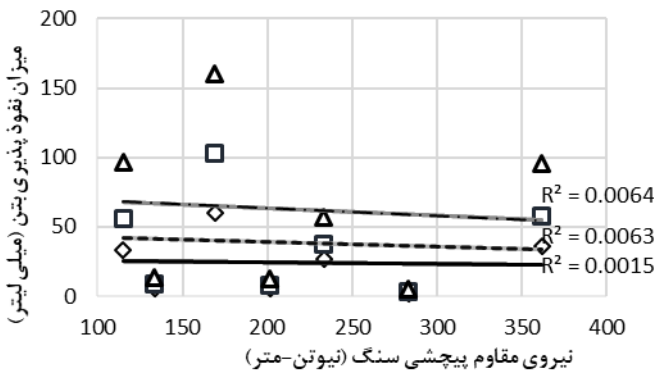
مقدار نفوذ 120 دقیقه اول ▲ مقدار نفوذ 60 دقیقه اول □ مقدار نفوذ 30 دقیقه اول ◆

(ب)



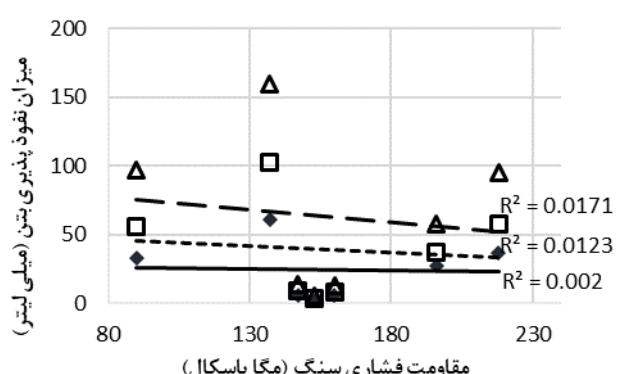
مقدار نفوذ 120 دقیقه اول □ مقدار نفوذ 60 دقیقه اول ▲ مقدار نفوذ 30 دقیقه اول ◆

(الف)

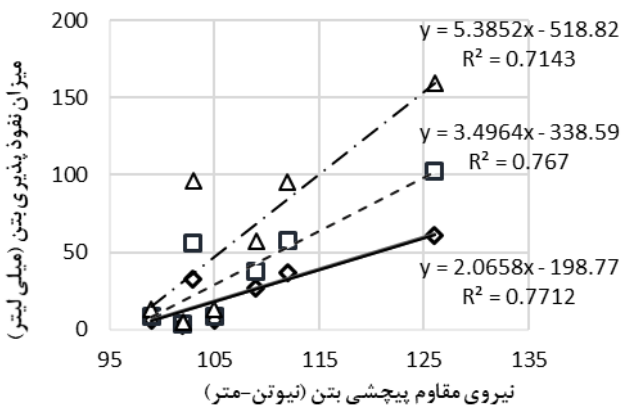


مقدار نفوذ 120 دقیقه اول ▲ مقدار نفوذ 60 دقیقه اول □ مقدار نفوذ 30 دقیقه اول ◆

(ت)

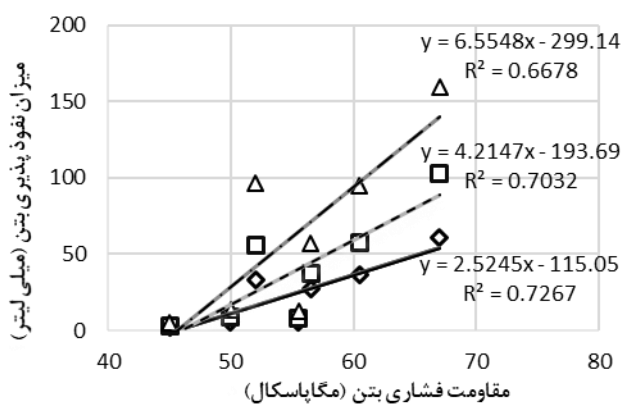


(پ)



مقدار نفوذ در 120 دقیقه اول ▲ مقدار نفوذ در 60 دقیقه اول □ مقدار نفوذ در 30 دقیقه اول ◆

(ج)



مقدار نفوذ در 120 دقیقه اول ▲ مقدار نفوذ در 60 دقیقه اول □ مقدار نفوذ در 30 دقیقه اول ◆

(ث)

نمودار ۲: میزان نفوذ پذیری آب در بتن در مقابل: (الف) چگالی سنگ، (ب) جذب آب صخره سنگ، (پ) مقاومت فشاری سنگ، (ت) نیروی مقاوم پیچشی سنگ، (ث) مقاومت فشاری بتن و (ج) نیروی مقاوم پیچشی بتن.



(ب) مرمیت



(ب) گرانیت



(الف) آهک



(چ) آندزیت



(ث) سیلیس



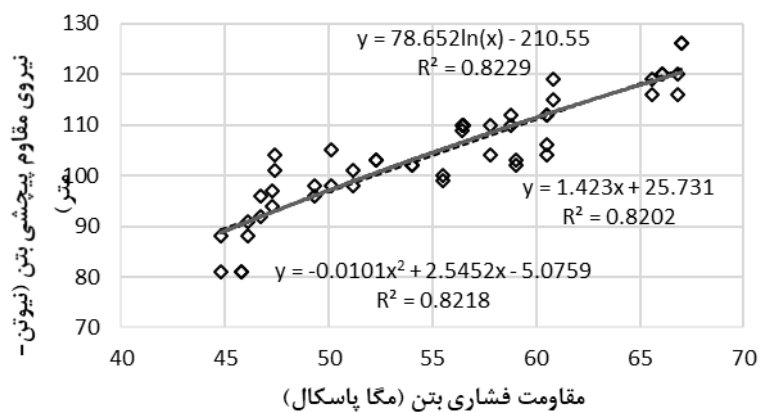
(ت) توف



(چ) تراورتن

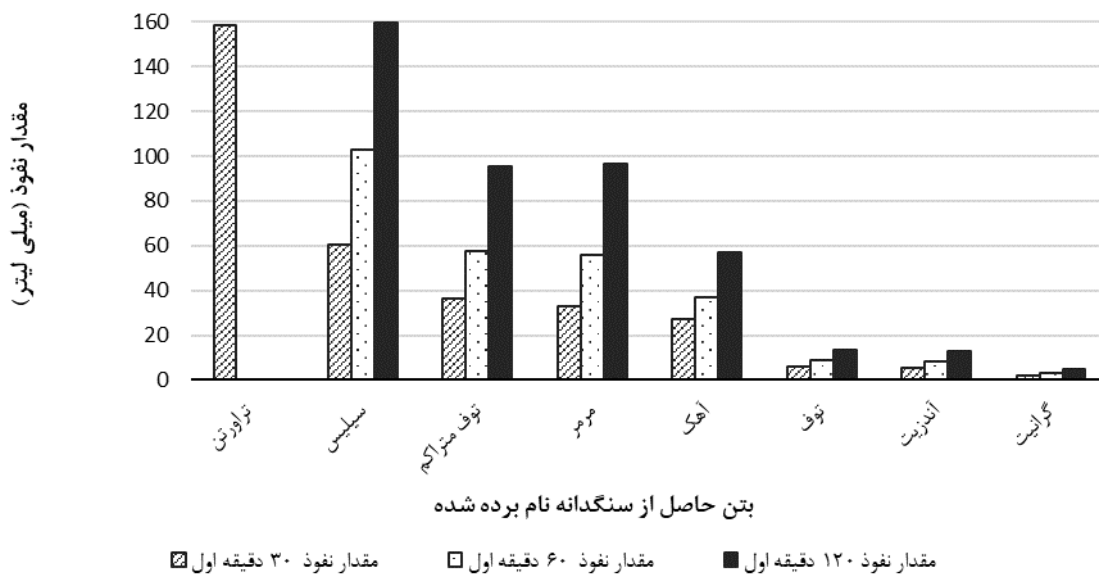


(ج) توف متراکم



نمودار ۳: نمودار ارتباط بین مقاومت فشاری و پیچشی بتن.

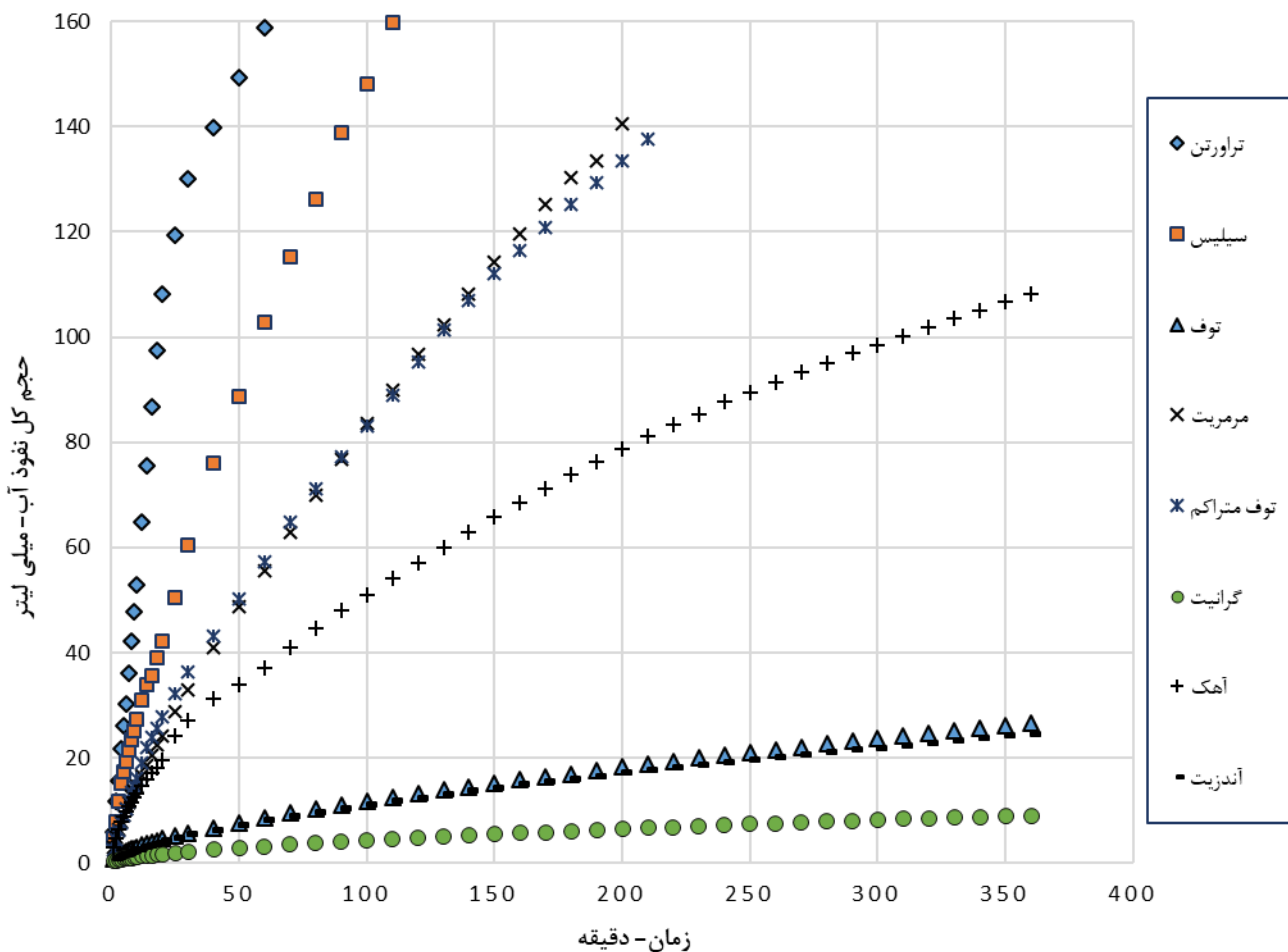
همانگونه که در نمودار ۴ قابل مشاهده می‌باشد، ۱۰۰ درصد نفوذ آب در نمونه تراورتن در ۳۰ دقیقه اول رخ داده و این عدد برای سیلیس ۳۷/۷ درصد می‌باشد. برای بقیه نمونه‌ها در حدود ۲۱/۵ تا ۲۶/۵ درصد ثبت شده است. همچنین در نمونه بتنی با سنگدانه سیلیسی این مقدار ۶۳/۸ درصد و در بقیه موارد بین ۳۲/۵ تا ۴۱/۷ درصد ثبت گردیده است.



نمودار ۴: میزان نفوذ آب در بتن حاصل از سنگدانه‌های متفاوت در ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه اول.

سنگدانه توف متراکم، با وجود دارا بودن بیشترین مقاومت در سنگ، دارای رده دوم مقاومتی در بتن بدست آمده می‌باشد که این مساله ناشی از این است که سنگدانه مذکور به شکل متمایل به مکعبی شکسته شده بطوریکه دانه‌های پولکی زیادی نیز در آن مشاهده گردید. از اینرو آب به فضای محبوس شده در زیر سنگدانه‌های پولکی نفوذ کرده و مقدار نفوذ پذیری را بالا برده است.

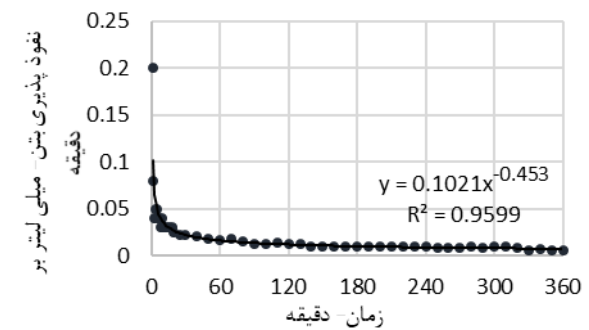
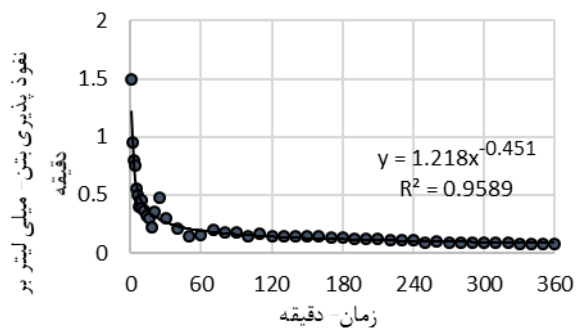
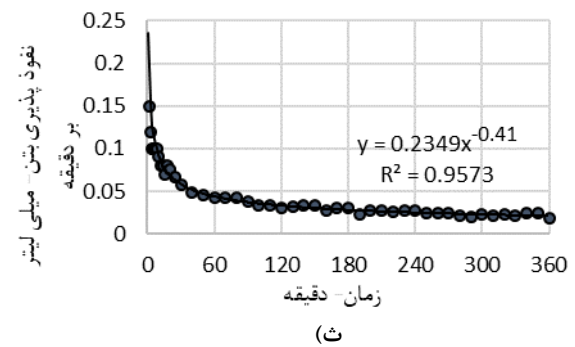
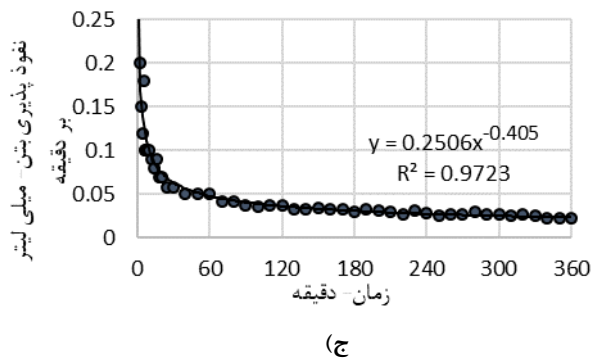
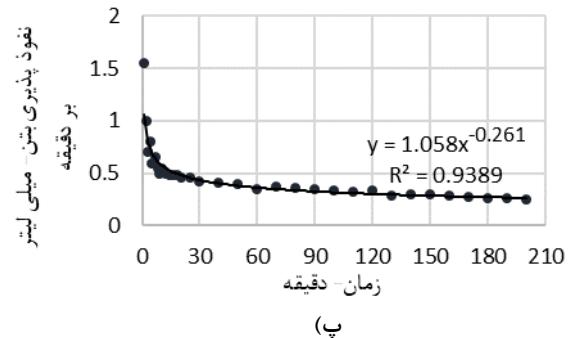
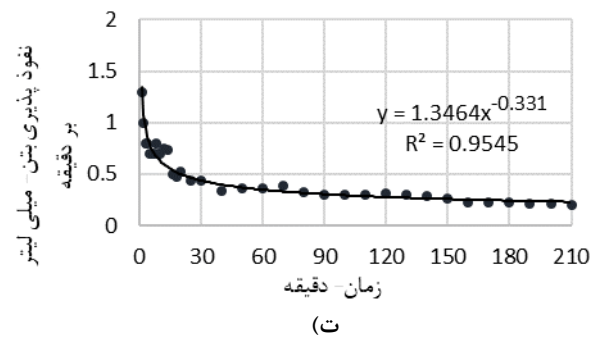
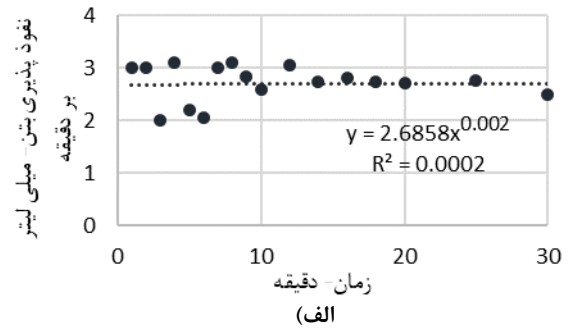
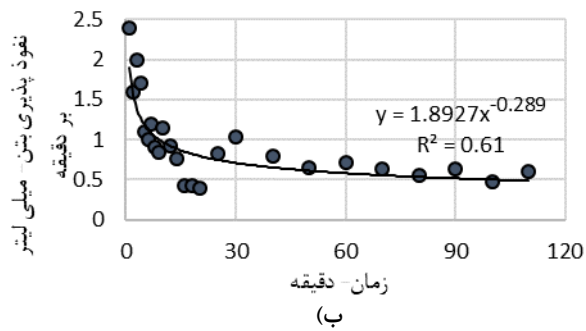
نمودار ۵ جهت مشاهده نفوذ کل آب در بتن بر حسب زمان ترسیم گردیده است که بر اساس آن علاوه بر مقدار نفوذ آب در بتن، عامل زمان و سرعت نفوذ، که همان شیب نمودار می‌باشد، نیز دارای اهمیت است. بر این اساس بتن‌های حاصل از سنگدانه‌های تراورتن، سیلیس به ترتیب دارای رده اول و دوم سرعت (شیب نمودار) در نفوذ آب بوده و نمونه گرانیتی در رده آخر قرار دارد. همانگونه که قابل مشاهده می‌باشد، در حدود ۳۰ دقیقه تمامی آب موجود در مخزن دستگاه در بتن حاصل از سنگدانه تراورتن نفوذ می‌کند و بیشترین سرعت نفوذ را دارد. این زمان برای بتن حاصله از سیلیس در حدود ۱۲۰ دقیقه می‌باشد. در بتن حاصل از سنگدانه‌های مرمیت و توف متراکم، با گذشت ۲۱۰ دقیقه از انجام آزمایش کل میزان حجم آب نفوذی حدود ۱۴۰ میلی لیتر می‌باشد. و نیز با گذشت ۳۶۰ دقیقه، میزان نفوذ برای بتن حاصل از سنگدانه آهک ۱۰۸، توف ۲۶/۶، آندزیت ۲۴/۷ و گرانیت ۹ میلی لیتر به ثبت رسیده است.



نمودار ۵: میزان حجم نفوذ آب بر حسب زمان.

نمودار ۶ جهت نمایش نفوذ آب در بتن بر حسب میلی لیتر بر دقیقه نسبت به زمان برای بتن ساخته شده از سنگدانه‌های مورد مطالعه ترسیم گردیده است که بر طبق آن در نمودار ۶-الف نوسانات شدید نفوذ آب در بتن حاصل از سنگدانه تراورتن قابل رویت سنگدانه عنوان نمود. همچنین این نوسان در بتن ساخته شده از سنگدانه‌های سیلیس (نمودار ۶-ب) نیز قابل مشاهده است که باعث ایجاد ضریب همبستگی ضعیفتر نسبت به بقیه بتن‌های حاصله گردیده است. قابل ذکر است که، شکل سنگدانه سیلیس متمایل به ورقه ای و پولکی مشاهده گردید.

همانگونه که در نمودارهای ۴، ۵ و ۶ دیده می‌شود بتن حاصل از سنگدانه‌های مرمریت و توف متراکم، تا حدود ۱۲۰ دقیقه، دارای شرایط نسبتاً مشابهی در میزان نفوذ آب بوده و نمودارها با اختلاف جزئی بر هم منطبق هستند. اما از این زمان به بعد شیب نمودار (سرعت نفوذ آب در بتن) مربوط به بتن حاصل از توف متراکم نسبت به بتن حاصل از مرمریت با نرخ بیشتری رو به کاهش می‌باشد که شکل متمایل به ورقه ای و سطح صاف و صیقلی سنگدانه مرمریت در مقایسه با شکل متمایل به مکعبی و سطح زیر سنگدانه توف متراکم در این امر موثر می‌باشد. همچنین در نمودار مربوط به بتن حاصل از سنگدانه‌های آندزیت و توف انطباق خوبی از ابتدا تا انتهای آزمایش قابل مشاهده می‌باشد. این در حالی است که تمامی ویژگی‌های آنها شامل: مقاومت بتن و جذب آب، وزن مخصوص و مقاومت سنگ با یکدیگر متفاوت است همچنین شکل و سطح سنگدانه‌ها در مرمریت و توف متراکم نیز با هم دارای تفاوت می‌باشند. همچنین از مقایسه دو نمودار ۶-ج و ۶-ح می‌توان به این موضوع پی برد که نفوذ پذیری بتن حاصل از سنگدانه آهک حدود ۱۱/۸ برابر بیشتر از نفوذ پذیری بتن حاصل از سنگدانه گرانیت می‌باشد.



نمودار ۶: نفوذ آب در بتن بر حسب میلی لیتر بر دقیقه نسبت به زمان برای بتن ساخته شده از سنگدانه: الف) تراورتن، ب) سیلیس، پ) مرمیت، ت) توف متراکم، ث) آندزیت، ج) توف، چ) گرانیت و ح) آهک.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از ۸ نوع سنگدانه متفاوت بدست آمده از سنگ‌هایی به نام: توف، توف متراکم، سیلیس، آندزیت، آهک، تراورتن، گرانیت و مرمریت، اقدام به ساخت بتن بصورت جداگانه گردید. در این میان ویژگی‌های سنگ‌های مورد استفاده همانند: جذب آب، مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت پیچشی اندازه گیری شد. در ادامه به بررسی مقاومت فشاری و پیچشی و نفوذ پذیری بتن‌های بدست آمده از هر نوع سنگدانه، در سن ۲۸ روز، پرداخته شد. جهت تعیین نفوذ پذیری بتن از روش ابداعی و درجای محفظه استوانه ای و برای تعیین مقاومت فشاری و پیچشی بتن به ترتیب از روش مقاومت فشاری و روش ابداعی و درجای پیچش بهره گرفته شد. از نقاط قوت روش‌های ابداعی مورد استفاده در این مقاله، می‌توان به قابلیت انعطاف و کاربرد در اکثر شرایط موجود در محل پروژه و در آزمایشگاه اشاره نمود. همچنین با کمترین هزینه، سریعترین زمان، کمترین خرابی، کمترین مهارت و تخصص و ... می‌توان به نتایج قابل اطمینان و دقیقی با استفاده از روش‌های مذکور دست یافت که مطلوب تمامی پروژه‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که جهت انجام مقایسه بین بتن‌های حاصل از سنگدانه‌های مختلف، طرح اختلاط بصورت ثابت لحاظ و از روش حجمی استفاده شده است. با توجه به مطالب ارائه شده، می‌توان نتایج اصلی را به شرح ذیل بیان نمود:

- ۱- در نمودار مربوط به نفوذ آب در بتن در مقابل زمان، بیشترین مقدار و سرعت نفوذ آب در بتن بدست آمده از سنگدانه تراورتن به ثبت رسید.
- ۲- در نمودار مربوط به نفوذ آب در بتن در مقابل زمان، کمترین مقدار و سرعت نفوذ آب در بتن بدست آمده از سنگدانه گرانیت مشاهده گردید.
- ۳- با مشاهده روند نفوذ آب در بتن، در نمودار نفوذ آب در مقابل زمان، مشاهده شد که نفوذ پذیری بتن بدست آمده از سنگدانه آهک، ۱۱/۸ برابر نفوذ پذیری بتن بدست آمده از سنگدانه گرانیت می‌باشد.
- ۴- در نمودار مربوط به نفوذ آب در مقابل زمان، بتن بدست آمده از سنگدانه‌های آندزیت و توف، دارای شرایط مشابه نفوذ آب در زمان‌های مختلف می‌باشند.
- ۵- در سنگ‌هایی مانند: توف، سیلیس و تراورتن که جذب آب بالای ۲٪ وزن خود داشتند، مشاهده گردید که پس از شکسته شدن، سطوح زیر یا نسبتاً زبری حاصل گردیده بطوریکه سطح پیوستگی خوبی در ناحیه مرز خمیره سیمان و سنگدانه برقرار نمودند که در اینجا مقاومت بتن و شکل متمایل به ورقه ای سنگدانه نقش تعیین کننده ای در نفوذ پذیری بتن حاصله بازی می‌کند.
- ۶- سنگ مرمریت پس از شکسته شدن دارای سطحی صاف و صیقلی بوده و شکست بتن حاصل از این سنگدانه، از مرز بین سنگدانه و خمیره سیمان مشاهده گردید.
- ۷- با وجود استفاده از سنگدانه‌های با ویژگی‌های متفاوت در ساخت بتن، اما ضریب همبستگی بین مقاومت بتن با استفاده از روش‌های پیچش و فشاری همچنان قوی بوده و این ضریب همبستگی با استفاده از روابط خطی، منحنی درجه ۲ و لگاریتمی، عدد ۰/۸۲ می‌باشد و به عبارت دیگر می‌توان نتایج بدست آمده از روش پیچش در بتن را با دقت خوبی به نتایج روش فشاری تبدیل نمود.

## مراجع

- [1] Neville, A.M. (2011). *Property of concrete* (5th Ed. ), Prentice Hall Pub.
- [2] Mehta, P.K. Monteiro, P.J.M. *Concrete: Micro-structure, properties and materials* (3th Ed. ), Mc Graw-Hill, New York.
- [3] Yang, C. C. Cho, S.W. (2003). Influence of aggregate content on the migration coefficient of concrete materials using electrochemical method. *Materials Chemistry and Physics*, vol. 80, pp. 752–757.



- [4] Basheer, L. Kroop, J. and Cleland, D.J. (2001). Assessment of durability of concrete from its permeation properties: A Review. *Construction and building materials*, No. 15, pp. 93 – 103.
- [5] Banthia, N. Biparva, A. and Mindess, S. (2005). Permeability of concrete under stress. *Cement and Concrete Research*, No. 35, pp. 1651 – 1655.
- [6] Jain, A.K. Chauhan, J.S. Goliya, S.S. (2011). Effect of shape and size of aggregate on permeability of pervious concrete. *Journal of Engineering Research and Studies*, Vol. II, October–December, pp 48-56.
- [7] Özen, M. (2007). *Investigation of relationship between aggregate shape parameters and concrete strength using imaging techniques*. Thesis MS.c. in Civil Engineering, University of Murat Özen, Turkey.
- [8] Final Report National concrete pavement technology center. (2009). *Investigation into freezing-thawing durability of low-permeability concrete with and without air entraining agent*. Tehran.
- [9] Tao, Ji. (2005). Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-sio2. *Cement and Concrete Research*, No. 35, PP. 1943-1947.
- [10] Building and housing research center. (2004). *Researches First international concrete and development conference*. Tehran: Building and housing research center pub.
- [11] Montes, P. Bremmer, T.W. and Castellanos, F. (2006). Interactive effects of fly ash and CNI on corrosion of reinforced high-performance concrete. *Materials and Structures*, Vol. 39, Issue 2, pp 201–210.
- [12] Koliass S. and Georgiou C. (2005). The effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete. *Journal of Cement & Concrete Composites*, No. 27, pp 211-216.
- [13] Ahmad, S. Azad, A.K. and Loughlin, K.F. (2005). A study of permeability and tortuosity of concrete. *30th Conference on Our World in Concrete & Structures*, Singapore, 23 - 24 August.
- [14] Hefnawy, E.El. Ibrahim, A.A. R.A. F. (2014). Comparative study on strength, permeability and sorptivity of concrete and their relation with concrete durability. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, Vol. 4, Issue 4. Pp. 123-131.
- [15] Building and Housing Research Center, (2014). *National durability of concrete code in Persian Gulf and Oman Sea*, Issue: 428. Tehran. Building and Housing Research Center pub. P.P. 34-35.
- [16] Minnesota Department of Transportation, (2009). *Effect of concrete materials on permeability of concrete mixes used in MINNESOTA department of transportation paving projects*. U.S. state of Minnesota. Minnesota highway research pub.
- [17] Mehta, P.K. Kumar, P. Monteiro, P.J.M. (2006). *Concrete microstructure, properties and materials: Advanced Concrete Technology*, Mc-Grow Hill.
- [18] Gomes, J.P.C.L.A. de Oliveira, P. and Perei, C.N.G. (2002). Discussion of aggregate and concrete water absorption and permeability testing methodology. *World Congress on Housing Construction- An Inter- disciplinary Task*, September 9-13, Coimbra, Portugal.
- [19] Zhang, S.P. and Zong, L. (2014). Evaluation of relationship between water absorption and durability of concrete materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 8 pages.
- [20] Zhang, F. Guo, L. and Chi, N.M.X. (2014). Coarse aggregate effects on compressive strength and permeability coefficient of non-fine concrete. *EJGE*, Vol. 19, PP.8905-8913.
- [21] Ghiasvand, e. Zareee, b. Sharifi, p. Sarae, e. (2015). Effect variation of maximum of size of aggregate on permeability of common concretes”, *7th annual national concrete conference*, Tehran.
- [22] Naderi, M. (2009). Ways to improve and determine of laboratory *and in-situ strength of concrete*, (first vol.), published Roozbehan, Tehran.
- [23] Ammar, Y. and Kabagire K. (2014). New approach to proportion pervious concrete. *Construction and Building Materials*, vol. 62:38-46.
- [24] Naderi, M. (2010). Registration of Patent in Companies and industrial property Office. Determine of concrete, stone, mortar, brick and other construction materials permeability with cylindrical chamber method. Reg. N. 67726. Iran.
- [25] Taheri, M. (2011). *Laboratory measurement of concrete permeability with cylindrical chamber method*. MS.c. Thesis, International Imam Khomeini University.
- [26] Naderi, M. and et. al. (2011). Laboratory determined permeability of concrete with cylindrical chamber method. *First international conference of un-permeable concrete- Drinking water of storage tanks*, Water and sewer, Guilan, Iran.
- [27] Naderi, M. (2002). Registration of Patent in Companies and industrial property Office, *Twist-off method*, Iran.
- [28] Naderi, M. and Hajinasri, S.A. (2013). Using Twist-off Method for Measuring CFRP/Concrete Adhesion when Exposed to Cyclic Temperature Changes, Wet-Dry and Freeze-Thaw. *The Journal of Adhesion*, Vol. 89 (7), pp. 559-577.
- [29] Naderi, M. (2007). New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 35, No. 6, pp. 602-608.
- [30] Naderi, M. (2011). Using Twist-Off Method for Measuring Surface Strength of Concretes Cured under Different Environments, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 23 (4), pp. 121-133.

- [31] Naderi, M. (2006). Assessing the in situ strength of concrete, using new Twist-Off method. *International journal of civil engineering*, vol.4, No.2., pp. 146-155.
- [32] ASTM D4543-08, Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances.
- [33] ASTM D2216-10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
- [34] ASTM D7263-09, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens.
- [35] ASTM C136-06, Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.
- [36] ASTM C33 / C33M-11, Standard Specification for Concrete Aggregates.
- [37] ASTM C150 / C150M-09, Standard Specification for Portland cement.
- [38] ASTM C494 / C494M Type B, D & G., Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.