

# تخمین نفوذپذیری محیط متخلخل بتن برای مشتقات نفتی با استفاده از روش «محفظه‌ی سیلندری»

محمود نادری\* (استاد)

یژن ملکی (استادیار)

اسد فلاح امینی (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

مهندسی عمران شریف، (بهار ۱۳۹۶)  
دوری ۲-۳۳، شماره ۱/۱، ص ۸۹-۹۳، (پادداشت فنی)

دوام و پایداری بتن در برابر نفوذ مایعات همواره از بتن انتظار می‌رود. برای هرگونه ارزیابی دوام، باید نفوذپذیری و مقاومت بتن ارزیابی شود. بر این اساس در این نوشتار، اندازه‌گیری نفوذپذیری با استفاده از روش «محفظه‌ی سیلندری» صورت گرفته است. این روش که قابلیت انجام در محل را دارد، قبلاً برای تعیین نفوذ در برابر آب مورد استفاده قرار گرفته است. در نوشتار حاضر، کاربرد روش مذکور برای نخستین بار برای مشتقات نفتی (نفت سفید و بنزین) به‌کار رفته و با آب مقایسه شده است. میزان نفوذپذیری در برابر مایعات مذکور در بتن، با مقاومت‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مگاپاسکال اندازه‌گیری شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش مقاومت فشاری، مقاومت سطحی و مقاومت در برابر نفوذ سیال در شرایط آزمایشگاهی خشک افزایش می‌یابد. همچنین تفاوت معناداری بین گرانروی سیالات و میزان نفوذپذیری آن در بتن مشاهده می‌شود.

واژگان کلیدی: محیط متخلخل، نفوذپذیری، محفظه‌ی سیلندری، مشتقات نفتی، بتن.

## ۱. مقدمه

در سازه‌های بتنی صنعت نفت، ویژگی‌های قابلیت استفاده از نظر محدودیت تغییر مکان‌ها و ترک‌خوردگی، دوام، و تراوایی پایین هر سه به یک میزان اهمیت دارند. در سازه‌های بتنی، که در تماس با آب یا فاضلاب سبک و یا نفت و مواد نفتی هستند، باید: ۱. کاملاً متراکم و نفوذناپذیر باشند، تا آلودگی را به میزان کمینده برسانند، ۲. در مقابل مواد شیمیایی طبیعی یا فرآوری شده، بیشینه‌ی مقاومت را داشته باشند، ۳. برای به‌کمینه‌رساندن مقاومت جریان باید، سطوح صاف داشته باشند.<sup>[۱]</sup> مطالعات نشان داده است که نفوذپذیری لایه‌ی سطحی بتن برای دوام آن، اهمیت ویژه‌ی دارد.<sup>[۲]</sup> بعضی از پژوهشگران معتقدند که برای مطالعه‌ی دوام بتن، یکی از بهترین روش‌ها، بررسی نفوذپذیری در جای بتن است.<sup>[۳]</sup> روش‌های متفاوتی برای تعیین نفوذپذیری وجود دارد که می‌توان مورد بررسی قرار داد.<sup>[۴-۵]</sup> در این میان، یکی از مشکلات اساسی در حصول نتایج، تغییر در رطوبت بتن نمونه است.<sup>[۶-۱۱]</sup> براساس گزارشی در سال ۲۰۰۳،<sup>[۱۲]</sup> تأثیرگذارترین عامل در نفوذپذیری بتن، نسبت آب به سیمان بتن است. در ارتباط با این موضوع، مطالعات دیگری بر روی سیستم‌های متافذ مویینه‌ی بتن صورت گرفته است، که بیان‌گر کاهش نسبت آب به سیمان تحت نفوذ محلول‌های یونی خارجی است.<sup>[۱۵]</sup>

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱۴، اصلاحیه ۱۳۹۴/۳/۲۳، پذیرش ۱۳۹۴/۵/۱۴.

drmahmoodnaderi@yahoo.com  
maleki@eng.ikiu.ac.ir  
fallahamini@org.ikiu.ac.ir

از آنجایی که سازه‌های بتنی در صنایع نفت شرایط بهره‌برداری خاصی دارند، طراحی و ساخت آنها باید با دقت زیادی انجام شود. مرغوبیت بتن اهمیت زیادی دارد و در طی ساخت، نیاز به کنترل کیفیت دقیق است تا بتن متراکم به‌دست آید. نفت و مشتقات آن از مهم‌ترین مایعات صنعت هستند. با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی، این مایعات قابلیت نفوذ در منافذ و ترک‌های ریز و موئین را دارند. از دیگر خصوصیات این مایعات، امکان حل شدن بسیاری از ترکیب‌های معدنی و آلی در آنهاست، که قابلیت انتقال از یک بخش به دیگر قسمت‌های یک محیط را فراهم می‌سازد.

پژوهش‌های کمی در مورد تأثیر مواد نفتی در بتن، از اولین روزهای ساخت و عمل‌آوری تا مراحل نهایی انجام شده است. نفت به ۲ صورت به بتن آسیب می‌رساند: ۱. خوردگی آرماتورهای فولادی بتن، که باعث کاهش سطح مقطع مؤثر فولاد در بتن می‌شود و ممکن است میلگردهای باقی‌مانده توان انجام وظایف مربوط را حتی با ضرایب اطمینان بالا نداشته باشند. ۲. ماهیت سیال نفت در حل کردن مواد مضر بتن مانند: انواع کلریدها، سولفات‌ها، اسیدها، و سایر مواد شیمیایی، باعث سرعت واکنش زنگ‌زدن آرماتورهای بتن می‌شود، که این امر کاهش دوام و زمان طول عمر بتن در سازه‌های بتن‌آرمه را به همراه دارد.<sup>[۱۶]</sup>

در دانشگاه کپ تاون آفریقای جنوبی، مطالعاتی جهت بررسی عملکرد و دوام



شکل ۱. دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری با روش محافظه‌ی سیلندری. [۲۱]



شکل ۲. نمونه‌ی بتن متصل‌شده به صفحه و آماده برای آزمایش. [۲۱]



شکل ۳. نصب دستگاه اندازه‌گیری بر روی نمونه‌ی آزمایش. [۲۱]

۵. یک پیچ جابه‌جایی و یک سیلندر برای تزریق مایعات با نرخ ثابت یا اختلاف فشار ثابت مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً این سیلاب‌زنی در نرخ جریان ثابت انجام می‌شود، به طوری که فشار ورودی ثبت‌شده و فشار خروجی معمولاً فشار جو است.
۶. افت فشار درون نمونه با استفاده از یک گیج فشار کنترل می‌شود.
۷. میزان فشار وارده و مدت زمان انجام آزمایش باید با توجه به سن بتن، مقاومت مشخصه، و پارامترهای دیگر تعیین شود.

بتنی که در معرض نفت خام قرار دارد، صورت گرفته، [۱۷] و نشان داده شده است که با توجه به تمامی مکانیزم‌های ممکن برای نفوذ نفت خام به داخل بتن و همچنین با توجه به دمای محیط از ۲۰ تا ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، نفت خام هیچ اثر مخربی نخواهد داشت، مگر آنکه استری داشته باشد که گزارش نشده باشد.

براساس پژوهش‌های دیگری مشخص شده است که فراورده‌های نفتی وقتی که بدون افزودنی‌های چرب نفت یا سایر مواد اسیدی بالقوه هستند، معمولاً برای بتنی که تقریباً به مقاومت نهایی خود رسیده است، زیان‌آور نیستند، ولی با وجود این برخی از آنها تغییر رنگ نامطلوبی در بتن به وجود می‌آورند. [۱۸]

براساس یک پژوهش مشابه، بتنی که مستقیماً در معرض نفت خام قرار گیرد، باید دست‌کم از رده‌ی C۵۰ باشد. [۱۹] در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. [۲۰]

## ۲. روش محافظه‌ی سیلندری

ارزیابی نفوذپذیری را می‌توان با روشی به نام «محفظه‌ی سیلندری» انجام داد. این روش را دکتر نادری در سال ۱۳۸۹ ابداع کرده است. روش «محفظه‌ی سیلندری» می‌تواند کاربرد وسیعی در تعیین نفوذپذیری بتن و سایر مصالح ساختمانی در آزمایشگاه و همچنین در محل اجرای پروژه‌ها داشته باشد. با استفاده از این دستگاه می‌توان میزان نفوذپذیری انواع قطعات بتنی را قبل و بعد از نصب آنها اندازه‌گیری کرد. از مزایای این روش، هزینه‌ی اندک انجام آزمایش، دقت بالا، خرابی ناچیز سطح بتن، و سرعت عمل بالا در حدود چند ساعت است، که این روش را نسبت به سایر آزمایش‌ها ممتاز می‌سازد. تعیین نفوذپذیری بتن تحت روش محافظه سیلندری، که برای اولین بار مورد استفاده قرار می‌گیرد، جزء آزمایش‌های با خرابی جزئی طبقه‌بندی می‌شود. در این نوشتار نفوذپذیری بتن نسبت به مشتقات نفتی شامل نفت سفید و بنزین با طرح‌های اختلاط متفاوت بتن بررسی شده است. در این راستا، طرح‌های اختلاط بتن مخازن نفتی با مقاومت‌های مشخصه‌ی مختلف بدون پوزولان بررسی و مقاومت فشاری و ضرایب نفوذپذیری آنها ثبت شده است. تأثیرات فیزیکی و شیمیایی سیال در نتایج آزمایش‌ها تأثیر مهمی دارد، به خصوص گرانروی که ارتباط مستقیمی با میزان نفوذ سیالات مختلف در بتن دارد. در این پژوهش از تأثیرات دمایی صرف‌نظر شده است. همچنین عمل‌آوری بتن در میزان مقاومت و تراوایی آن تأثیر مستقیمی دارد، لذا عمل‌آوری تاحد امکان به صورت مناسب و یکسان بر روی نمونه‌ها انجام شده است.

### ۱.۲. مراحل اجرا

مایعات مورد استفاده در اندازه‌گیری تراوایی شامل: آب، نفت سفید، و بنزین هستند. مراحل انجام اندازه‌گیری تراوایی مطلق با استفاده از دستگاه محافظه‌ی سیلندری به این صورت است (شکل ۱):

۱. ابعاد (طول، عرض و ارتفاع) نمونه‌ی مکعبی ثبت می‌شود.
۲. با استفاده از برس و سنباده، یک لایه‌ی سیمانی کم‌مقاومت، که بر روی سطح نمونه وجود دارد، از سطح بتن جدا می‌شود.
۳. یک صفحه‌ی زیرسری به کمک چسب اپوکسی بر روی سطح بتن چسبانده می‌شود (شکل ۲).
۴. قسمت فوقانی دستگاه که شامل محافظه‌ی فشاری به همراه گیج اندازه‌گیری فشار و میکرومتر است، بر روی صفحه‌ی زیرسری با پیچ محکم می‌شود (شکل ۳).

جدول ۱. نفوذپذیری نمونه‌های ۲۸ روزه بتن با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال در برابر بنزین. [۲۱]

زمان (دقیقه)	شاخص اندیکاتور (mm)	حجم کل نفوذ بنزین (ml)	حجم تفاضلی نفوذ بنزین (ml)	نفوذپذیری (mm/min) کل	نفوذپذیری (mm/min) تفاضلی
۰٫۵	۱٫۱۸	۲٫۳۲	۲٫۳۲	۲٫۳۶	۲٫۳۶
۱۰	۶٫۳۱	۱۲٫۳۸	۰٫۹۸	۰٫۶۳	۰٫۵۰
۲۰	۱۰٫۹۸	۲۱٫۵۵	۱٫۶۵	۰٫۵۵	۰٫۴۲
۳۰	۱۲٫۷۷	۲۵٫۰۶	۱٫۴۷	۰٫۴۳	۰٫۱۵
۵۰	۱۵٫۲۲	۲۹٫۸۷	۱٫۲۴	۰٫۳۰	۰٫۰۶
۱۰۰	۱۸٫۹۳	۳۷٫۱۵	۱٫۷۳	۰٫۱۹	۰٫۰۹
۱۵۰	۲۳٫۳۸	۴۵٫۸۸	۱٫۶۹	۰٫۱۶	۰٫۰۹
۲۰۰	۲۷٫۵۳	۵۴٫۰۳	۱٫۱۰	۰٫۱۴	۰٫۰۶
۲۵۰	۳۱٫۳۵	۶۱٫۵۲	۱٫۰۴	۰٫۱۳	۰٫۰۵
۳۰۰	۳۳٫۸۵	۶۶٫۴۳	۰٫۹۴	۰٫۱۱	۰٫۰۵

۸. در نهایت، تراوایی مطلق نمونه قالب مکعبی با استفاده از معادله‌ی داریسی تعیین می‌شود.

جدول ۳. مقادیر نفوذپذیری بنزین تحت مقاومت‌های مختلف.

مقاومت فشاری (MPa)	مقدار نفوذ بنزین (ml)
۹٫۵۷	۹۷۸٫۲۰
۱۶٫۵۰	۵۳۹٫۲۸
۱۷٫۳۲	۳۶۳٫۹۶
۲۱٫۴۳	۱۴۴٫۲۰
۲۶٫۲۵	۱۰۸٫۹۸
۲۸٫۷۵	۷۳٫۳۴
۳۰٫۵۰	۲۳٫۷۳
۳۷٫۱۰	۱۶٫۷۸
۴۱٫۴۰	۱۴٫۹۸
۴۲٫۵۵	۴٫۱۹
۴۸٫۷۰	۳٫۰۰

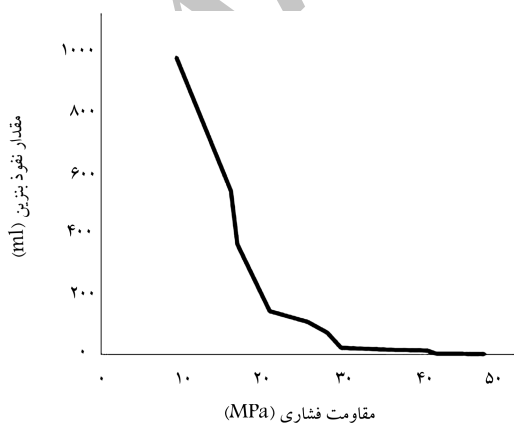
### ۳. اثر مقاومت در نفوذپذیری بتن

تغییرات نسبت آب به سیمان تأثیر به‌سزایی در عمق نفوذ و میزان نفوذپذیری دارد، لذا در تهیه‌ی نمونه‌های این پژوهش از مخلوط‌های بتن حاوی نسبت آب به سیمان کمتر از ۰٫۴، که به نفوذپذیری کمی در بتن منجر می‌شوند، استفاده شده است. برای تعیین نفوذپذیری بر حسب مقاومت، جدولی برای هر یک از طرح‌های اختلاط، تحت تأثیر سیالات مختلف تنظیم و سپس نمودار کلی نتایج ترسیم شده است. به منظور بررسی و مقایسه‌ی نمونه‌ها با مقاومت‌ها و زمان متفاوت، نیاز به معرفی رابطه‌ی در بازه‌ی زمانی معین بوده است. از آنجا که زمان انجام آزمایش تریقی در نمونه‌ها متفاوت بوده است، لذا یک زمان مرجع انتخاب شده است تا میزان نفوذ به‌ازاء زمان تریقی، در سنین مختلف بتن به‌دست آید. نمودار تغییرات این مقادیر بر حسب مقاومت فشاری ترسیم شده است. برای این کار، ابتدا با جمع مقادیر مختلف نفوذ در زمان ۳۰۰ دقیقه و تعیین مقاومت فشاری هر نمونه، جدولی مانند جدول ۱ و مشابه آن برای کلیه‌ی نمونه‌ها و تحت نفوذ سیالات مختلف تهیه شده است.

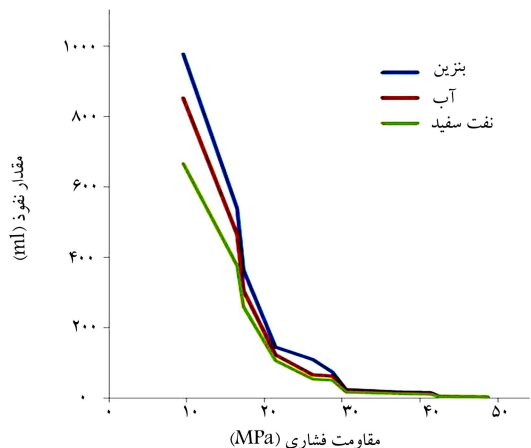
در جدول ۲، مقادیر نفوذپذیری بر حسب مقاومت نهایی ۳۰ مگاپاسکال در نمونه‌های بتنی برای بنزین آمده است. به همین ترتیب مقدار نفوذپذیری برای نمونه‌ها با مقاومت‌های فشاری مختلف در برابر بنزین تعیین شده است، که به طور خلاصه در جدول ۳ ارائه شده است، که بر حسب آن، نمودار نفوذپذیری بتن با طرح‌های اختلاط متفاوت در برابر بنزین ترسیم شده است (شکل ۴).

جدول ۲. نفوذپذیری طرح اختلاط بتن با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال در برابر بنزین. [۲۱]

سن بتن (روز)	مقاومت فشاری (MPa)	نفوذ در ۲۰۰ دقیقه (ml)
۷	۱۶٫۵۰	۵۳۹٫۲۸
۱۴	۲۶٫۲۵	۱۰۸٫۹۸
۲۸	۲۸٫۷۵	۷۳٫۳۴



شکل ۴. تغییرات نفوذپذیری بتن در برابر بنزین بر حسب مقاومت فشاری بتن.



شکل ۵. اثر نوع سیال در نفوذپذیری بتن تحت مقاومت‌های مختلف.

متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد و بین صفر و ۱ نوسان دارد، به طوری که هر چه به ۱ نزدیک تر باشد، نشان‌دهنده‌ی مناسب‌تر بودن مدل رگرسیونی برای برازش داده‌هاست. همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، معادله‌ی درجه ۳ بالاترین ضریب همبستگی را دارد و لذا به‌عنوان رابطه‌ی بین نفوذپذیری بتن در برابر بنزین و مقاومت بتن معرفی می‌شود. این آزمایش برای سیال آب و نفت سفید نیز تکرار شده است، که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

برای سیال‌های آب و نفت سفید نیز مناسب‌ترین مدل‌های آماری، معادلات درجه ۳ تعیین شده‌اند. رابطه‌ی ۱ برای سیال آب با ضریب همبستگی ۰٫۹۸۳ و رابطه‌ی ۲ برای نفت سفید با ضریب همبستگی ۰٫۹۸۴ تعیین شده‌اند.

$$Y = -0.033X^3 + 3.975X^2 - 155.560X + 2017.840 \quad (1)$$

$$Y = -0.024X^3 + 2.883X^2 - 115.935X + 1544.710 \quad (2)$$

به منظور نمایش اثر نوع سیال در نفوذپذیری، ۳ نمودار سیال‌های بنزین، آب، و نفت سفید در شکل ۵ (براساس جدول‌های ۳ الی ۵) ترسیم شده‌اند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، روند کلی تغییر نفوذپذیری هر ۳ سیال مشابه هم است. به طوری که به ازاء مقاومت یکسان، بنزین بیشترین و نفت سفید کمترین نفوذپذیری را دارند. همچنین به‌ازاء مقاومت کمتر از حدود ۲۵ MPa، میزان نفوذ زیاد است و به‌ازاء مقاومت بیشتر از حدود ۳۴ MPa، میزان نفوذ بسیار کم می‌شود.

## ۵. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شده است که با افزایش گرانی، نفوذپذیری کاهش می‌یابد، که نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی معکوس بین گرانی و نفوذپذیری است. با انجام آزمایش‌ها ملاحظه شده است که با افزایش مقاومت فشاری و همچنین طول دوره‌ی عمل‌آوری، نفوذپذیری نیز کاهش یافته است. با توجه به داده‌های استخراج شده از میزان نفوذ سیال در بتن، رابطه‌ی درجه ۳ به‌عنوان مناسب‌ترین رابطه‌ی خطی نامناسب‌ترین مدل آماری برای نشان‌دادن این ارتباط معرفی شده است. در نتایج پژوهش توصیه می‌شود که در سازه‌هایی که در معرض نفوذ نفت و مشتقات آن هستند، از بتن با مقاومت کمتر از حدود ۲۵ MPa استفاده نشود و ترجیحاً با مقاومت بیشتر از حدود ۳۴ MPa استفاده شود.

جدول ۴. روابط نفوذپذیری بتن با مقاومت‌های فشاری مختلف تحت نفوذ بنزین.

نوع	رابطه	ضریب همبستگی
نمایی	$Y = 4941.96e^{(-0.16X)}$	۰٫۹۲۳
خطی	$Y = -20.68X + 80.12$	۰٫۶۷۲
لگاریتمی	$Y = -583.90 \ln(X) + 2113.10$	۰٫۸۵۷
سه‌می	$Y = 1.17X^2 - 89.08X + 1646.42$	۰٫۹۵۰
درجه سه	$Y = -0.04X^3 + 2.33X^2 - 171.90X + 2269.50$	۰٫۹۸۰
توانی	$Y = 16319.733X^{-3.88}$	۰٫۸۸۷

جدول ۵. مقادیر نفوذ آب و نفت سفید تحت مقاومت‌های مختلف بتن. [۲۱]

مقاومت فشاری (MPa)	مقدار نفوذ (ml)	
	آب	نفت سفید
۹٫۵۷	۸۵۳٫۰۱	۶۶۶٫۵۹
۱۶٫۵۰	۴۶۴٫۷۴	۳۷۵٫۹۸
۱۷٫۲۳	۳۰۵٫۷۴	۲۵۹٫۵۰
۲۱٫۴۳	۱۲۲٫۴۷	۱۰۶٫۰۶
۲۶٫۲۵	۶۵٫۳۹	۵۳٫۳۲
۲۸٫۷۵	۶۱٫۹۹	۵۰٫۳۲
۳۰٫۵۰	۲۰٫۷۲	۱۶٫۵۸
۳۷٫۱۰	۱۴٫۵۳	۱۲٫۲۶
۴۱٫۴۰	۱۳٫۰۳	۱۰٫۴۱
۴۲٫۵۵	۳٫۵۸	۳٫۰۸
۴۸٫۷۰	۲٫۷۳	۲٫۲۱

## ۴. رابطه‌ی نفوذپذیری بر حسب مقاومت در نمونه‌های

### بتنی

نمونه‌های ساخته‌شده‌ی بتنی شامل مقاومت‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مگاپاسکال هستند. همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، بتن با مقاومت کمتر، نفوذپذیری بالاتری دارد. برای تعیین رابطه‌ی مناسبی بین نفوذپذیری و مقاومت نمونه‌های بتنی، مدل‌های آماری مختلف برای داده‌های جدول ۳ برازش داده شده است. در جدول ۴، مدل‌های مذکور و ضریب همبستگی هر یک از آن‌ها ارائه شده است. همچنین در مدل‌های ذکر شده،  $X$  مقاومت نمونه بر حسب مگاپاسکال و  $Y$  میزان نفوذپذیری بر حسب میلی‌لیتر است. ضریب همبستگی میزان تغییرات وابسته توسط

## منابع (References)

1. Onbolu, O.A. "Some properties of crude oil-soaked concrete", *ACI Material Journal*, **86**(3), pp. 205-213 (May-June 1989).
2. Torrent, R. and Frenzer, G. "A method for rapid determination of the coefficient of permeability of cover-concrete", *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDTCE)*, pp. 985-992 (26-28 September 1995).
3. Basheer, P.A.M., Montgomery, F.R. and Long, A.E. "The 'Autoclam permeability system' for measuring the In-situ permeation properties of concrete", *International Conference on Non Destructive Testing in Civil Engineering*, Liverpool, pp. 235-260 (14-16 April 1993).
4. Montgomery, F.R., Basheer, P.A.M. and Long, A.E. "A comparison between the Autoclam permeability system and the initial surface absorption test", *Proceedings of International Conference on Structural Faults and Repair 93*, Engineering Technics Press, Edinburgh, **3**, pp. 71-77 (1993).
5. Mccarter, W.J.M. "Properties of concrete in the cover zone: Development in monitoring techniques", *Magazine of Concrete Research*, **47**(172), pp. 243-251 (1995).
6. Wilson, M.A., Taylor, S.C. and Hoff, W.D. "The initial surface absorption test (ISAT) an analytical approach", *Magazine of Concrete Research*, **50**(2), pp. 179-185 (1998).
7. Levitt, M. "Non-destructive testing of concrete by the initial surface absorption method", *Proceedings of Symposium on Non-Destructive Testing of Concrete and Timber*, Institution of Civil Engineers, London, pp. 23-36 (1969).
8. Figg, J.W. "Methods of measuring the air and water permeability of concrete", *Magazine of Concrete Research*, **25**(85), pp. 213-219 (1973).
9. Dhir, R.K., Hewlett, P.C. and Chan, N. "Near-surface characteristics of concrete: Assessment and development of in situ test methods", *Magazine of Concrete Research*, **39**(141), pp. 183-195 (1987).
10. Basheer, P.A.M. "Clam permeability test for assessing the durability of concrete", PhD Thesis, Queens University, Belfast (1991).
11. Price, W.F. and Bamforth, P.B. "Initial surface absorption of concrete: Examination of modified test apparatus", *Magazine of Concrete Research*, **45**(162), pp. 17-24 (1993).
12. Dhir, R.K., Hewlett, P.C., Byars, E.A. and Shaabani, I.G. "A new technique for measuring the air permeability of near-surface concrete", *Magazine of Concrete Research*, **47**(171), pp. 167-176 (1995).
13. Claisse, P.A., Elsayad, H.I. and Shaabani, I.G. "Test methods for measuring fluid transport in cover concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, **11**(2) pp. 138-143 (May 1999).
14. Mindess, S., Young, J.F. and Darwin, D., *Concrete*, 2nd Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, N.J., 644 p. (2003).
15. Rangaraju, P.R. "Development of some performance-based material specifications for high-performance concrete pavement", *Journal Transportation Research Board*, **1834**, pp. 69-76 (2003).
16. Matti, M.A., Watson, A.J. and Rawlings, B., *Permeability and the Properties of Oil-Soaked Concrete*, University of Sheffield, Research Report No. R53, pp. 27-44 (Jan 1975).
17. Alexander, M.G. and Stanich, K., *The Performance and Durability of Concrete in Contact with Crude Oil*, A Literature Survey, Department of Civil Engineering, University of Cape Town (Mar. 2003).
18. Hamad, B. S., Rteil, A. A. and El-Fadel, M. "Effect of used engine oil on properties of fresh and hardened concrete", *Construction and Building Materials*, **17**(5), pp. 311-318 (2003).
19. BS 5328 - part 1, *Guide to Specifying Concrete*, British Standard Institution, 22 p. (1997).
20. Khaloo, A. and Skandari Nadaf, H. "Standards for concrete in oil industry", M.Sc. Theses, Civil Eng. Faculty, Sharif Technical University (In Persian) (2004).
21. Amini, A.F. "Measuring the oil permeability of concrete", M.Sc. Thesis, Imam Khomeini Int. Uni. (In Persian) (2012).