

Proposing New Equations Using Friction Transfer Novel Method to Estimate the Compressive Strength of Different Stones and mortars

Mahmood Naderi¹, Ali Saberi Varzaneh^{2*}, Abolfazl Rashvand Aveh³

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

2- PhD, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3- Master, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

ABSTRACT

Most of the methods for estimating the strength are either destructive or have expensive and imported equipment. Some of them also indirectly measure the strength. Therefore, a test that has cheap, simple and available equipment, with high accuracy, can be applied in all conditions, has minor damage and can be performed both in the laboratory and on the project site, it is required. Therefore, in this article, the compressive and tensile strength of different mortars and stones have been measured using a in-situ method with cheap and available equipment called "friction transfer" test. In this test, first a partial core with a diameter of 50 mm is created on the surface of the sample, and then the friction transfer device is fixed on the core and using a normal torque meter, a torsional anchor is applied to the core until it fails. be made Then, by determining the surface resistance obtained from the friction transfer test and comparing the obtained results with standard tests, the equations obtained to convert the results from the "friction transfer" test into the uniaxial compressive strength of the materials are presented. Tests were performed on seven different types of stone and cement mortars that are used in normal repair works. The obtained results show the high accuracy of the friction transfer test in measuring the strength of stones and mortars. The coefficient of determination between the results of the friction transfer test and the uniaxial compressive strength of the stones was found to be 93.2%, and according to the calibration curve, by using the friction transfer test, the compressive strength of the stones can be determined using the equation $y=1.67x+90.8$ measured. Also, by using the friction transfer test, the compressive and tensile strength of mortars can be measured with an accuracy of about 94%.

ARTICLE INFO

Receive Date: 18 October 2022

Revise Date: 12 December 2022

Accept Date: 03 January 2023

Keywords:

Surface Failure
Novel Method
Compressive Strength
Tensile Strength
Calibration Diagrams

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.365788.2952>

*Corresponding author: Ali Saberi Varzaneh.

Email address: ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir

پیشنهاد معادلات جدید با بکارگیری آزمون نوین "انتقال اصطکاک" جهت تخمین

مقاومت فشاری ملات‌ها و سنگ‌ها

محمود نادری^۱، علی صابری ورزنه^{۲*}، ابوالفضل رشوند آوه^۳

۱- استاد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲- دکتری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳- کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

چکیده

اکثر روش‌های موجود جهت تخمین مقاومت مصالح، یا به صورت مخرب بوده یا دارای تجهیزات گران قیمت و وارداتی هستند. برخی از آن‌ها نیز به طور غیر مستقیم مقاومت مصالح را اندازه‌گیری می‌نمایند. لذا آزمونی که دارای تجهیزات ارزان، ساده و در دسترس، دارای دقت بالا، قابل اعمال در تمامی شرایط (خشک، مرطوب، زیر آب و تحت هر دمایی)، دارای خرابی سطحی و جزئی و قابل انجام هم در آزمایشگاه و هم در محل پروژه باشد، مورد نیاز می‌باشد. لذا در این مقاله با استفاده از روشی ساده، درجا و با تجهیزات ارزان و در دسترس به نام آزمون "انتقال اصطکاک" اقدام به اندازه‌گیری مقاومت فشاری و کششی ملات‌ها و سنگ‌های مختلف شده است. در آزمون انتقال اصطکاک ابتدا یک مغزه جزئی به قطر ۵۰ و ارتفاع ۲۵ میلی‌متر روی سطح نمونه ایجاد نموده و سپس دستگاه انتقال اصطکاک روی مغزه تثبیت شده و با استفاده از یک ترکمتر معمولی، به مغزه لنگر پیچشی اعمال می‌گردد تا دچار شکست گردد. سپس با تعیین مقاومت سطحی حاصل از آزمون انتقال اصطکاک و مقایسه نتایج به دست آمده با آزمون‌های استاندارد، معادلات به دست آمده جهت تبدیل نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" به مقاومت فشاری تک محوری مصالح ارائه شده است. آزمون‌ها بر روی هفت نوع سنگ مختلف و ملات‌های سیمانی که در کارهای عادی تعمیراتی بکار می‌روند انجام پذیرفت. نتایج حاصله بیانگر دقت بالای آزمون انتقال اصطکاک در اندازه‌گیری مقاومت سنگ‌ها و ملات‌ها می‌باشد. ضریب تعیین بین نتایج آزمون انتقال اصطکاک با مقاومت فشاری تک محوری سنگ‌ها برابر ۹۳/۲ درصد بدست آمد که با توجه به منحنی کالیبراسیون می‌توان با بکارگیری آزمون انتقال اصطکاک، مقاومت فشاری سنگ‌ها را با استفاده از معادله $y=1.67x+90.8$ اندازه‌گیری نمود. همچنین با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک، مقاومت فشاری و کششی ملات‌ها را نیز می‌توان با دقت حدود ۹۴ درصد اندازه‌گیری نمود.

کلمات کلیدی: خرابی سطحی، آزمون درجا، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، نمودارهای کالیبراسیون.

doi:	سابقه مقاله:				شناسه دیجیتال:
	دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	
https://doi.org/10.22065/jsce.2023.365788.2952	۱۴۰۱/۰۷/۲۶	۱۴۰۱/۰۹/۲۱	۱۴۰۱/۱۰/۱۳	۱۴۰۱/۱۰/۱۳	۱۴۰۲/۰۷/۳۰

*نویسنده مسئول:

علی صابری ورزنه
ali.saberi@edu.ikiu.ac.ir

پست الکترونیکی:

۱- مقدمه

راهسازی، حفر تونل، معادن زیرزمینی و روباز مرتبط با مصالح سنگی می‌باشند. لذا اندازه‌گیری پارامترهای مکانیک سنگی موثر در پروژه‌های فوق، نقش اساسی در طراحی صحیح آن‌ها دارد. متأسفانه با توجه به اینکه، تا کنون انجام آزمایش‌های درجا به راحتی امکان‌پذیر نبوده و هزینه بسیار بالایی را در بر داشته، در نتیجه به منظور شناسایی خواص مکانیکی سنگ‌ها از آزمایش‌های آزمایشگاهی و مخرب استفاده می‌شود. همچنین برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری مصالح سیمانی نیز می‌بایست یا از آزمون‌های مخرب استفاده نمود یا از آزمون‌های درجا که دارای تجهیزات گران قسمت و وارداتی است بهره گرفت. مقاومت فشاری تک محوری سنگ‌ها از اصلی‌ترین پارامترهای مکانیکی سنگ است که به طور وسیعی در طراحی‌ها از آن استفاده می‌شود [۱]. اطلاع از مقاومت فشاری سنگ‌ها در به سرانجام رساندن بهتر عملیات‌های پایدارسازی دیواره ی تونل سازی، حفاری و چاه‌های نفتی تاثیر زیادی دارد. آزمایش مذکور بر خلاف سادگی در فهم و درک نتایج آن، گران‌قیمت و مستلزم صرف زمان بسیاری است. یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌هایی که این آزمایش با آن رو به رو است، تهیه نمونه‌های استاندارد به جهت انجام آزمایش‌ها می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری، مغزه‌های حفاری سالم و با شکل هندسی خاصی مورد نیاز است.

همچنین برای اندازه‌گیری مستقیم مقاومت فشاری مصالح سیمانی از جمله ملات‌ها و بتن‌ها نیز باید از کرگیری استفاده نمود [۲]. این آزمون در رده آزمون‌های مخرب می‌باشد. در تحقیقی مشاهده شده است که مقاومت فشاری حاصل از نمونه‌های کرگیری شده کمتر از مقاومت واقعی مصالح است [۳]. آزمون "بیرون کشیدن" نیز یکی دیگر از روش‌های مخرب است که آسیب آن به نمونه‌ها بسیار زیاد می‌باشد [۴]. اخیراً، با عنایت به معایب روش‌های مخرب، برخی از پژوهشگران، روش‌های ساده‌ای را جهت تخمین غیر مستقیم مقاومت پیشنهاد نموده‌اند [۵-۸]. از آزمایش‌هایی که با بکارگیری آن‌ها، مقاومت فشاری تک محوری به طور غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود می‌توان به آزمایش نفوذ میخ [۹]، آزمایش فشارنده مغزه [۱۰]، آزمایش بارگذاری روی مغزه‌های بازسازی شده از تکه‌های حفاری [۱۱] و اندازه‌گیری غیرمستقیم مقاومت فشاری تک محوری با استفاده از خصوصیات سنگ شناسی [۱۲] اشاره نمود. یکی از روش‌های نیمه مخرب، آزمون "کشیدن از سطح" می‌باشد که جهت تخمین مقاومت فشاری بتن و ملات به کار برده می‌شود [۱۳]. البته تجهیزات این روش بصورت وارداتی و بسیار ارزان قیمت می‌باشد اما تحقیقات ثابت نموده است که این آزمون دارای دقت مناسبی است [۱۴]. از آزمون‌های غیر مخرب می‌توان به "اولتراسونیک" و "چکش اشmitt" اشاره نمود که البته آرماتور، ترک‌ها و حفره‌ها در نتایج حاصله موثر واقع می‌گردند [۱۵-۱۶].

از روش‌های جدید جهت اندازه‌گیری مقاومت مصالح، روش‌های "انتقال اصطکاک" و "پیچش" [۱۷-۱۸] می‌باشد. از آزمون‌های فوق برای پژوهش‌های زیادی استفاده شده است. در یک پژوهش برای ارزیابی مقاومت فشاری بتن‌های معمولی و بتن‌های حاوی الیاف از آزمون پیچش استفاده شد که نتایج حاصله بیانگر این بود که با استفاده از این آزمون می‌توان با دقت بالای ۹۵ درصد، مقاومت فشاری بتن‌های مذکور را اندازه‌گیری نمود [۱۹-۲۰]. در تحقیقی دیگر از آزمون انتقال اصطکاک برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن‌های پوزولانی مسلح به الیاف استفاده شد که نتیجه گرفته شد با بکارگیری آزمون انتقال اصطکاک و استفاده از معادله $y=5.86x^{1.33}$ می‌توان مقاومت فشاری بتن‌های پوزولانی مسلح به الیاف را با دقت بالا ارزیابی نمود [۲۱]. در تحقیقی دیگر نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک با آزمون استاندارد کشیدن از سطح مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج نشان داد همبستگی بالایی بین این دو آزمون وجود دارد که نشان از دقت بالای آزمون انتقال اصطکاک می‌باشد [۲۲]. از آزمون پیچش نیز برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌های اصلاح شده با پلیمر استفاده شده است که نتایج حاصله نشانگر دقت بالای ۹۴ درصد برای اندازه‌گیری مقاومت ملات‌های مذکور توسط آزمون پیچش می‌باشد [۲۳]. در تحقیقی دیگر با بکارگیری آزمون پیچش برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری سنگ‌ها مشخص گردید که ضریب همبستگی حدود ۹۰ درصد بین نتایج حاصل از آزمون پیچش با مقاومت فشاری سنگ‌ها وجود دارد [۲۴-۲۵]. در یک تحقیق با عنوان مطالعه تاثیر نوع سنگدانه بر مقاومت و نفوذپذیری بتن، با استفاده از آزمون پیچش اقدام به اندازه‌گیری مقاومت فشاری سنگ‌ها شد که نتایج نشان دادند که ضریب تعیین بالای ۸۲ درصد بین نتایج آزمون پیچش با مقاومت فشاری سنگ‌ها وجود دارد [۲۶]. در تحقیقاتی دیگر روی مشخصات مکانیکی

ملات‌های مسلح به الیاف و بدون الیاف با استفاده از آزمون پیچش مشخص گردید که این آزمون دارای همبستگی بالای ۹۲ درصد با آزمون‌های استاندارد می‌باشد [۲۷-۲۸].

با توجه به توضیحاتی که ارائه شد، حفظ یکپارچگی و عدم آسیب رساندن به نمونه‌ها از مهمترین عوامل توسعه روز افزون بکارگیری روش‌های درجا در رشته‌های مهندسی به خصوص در دانش زمین‌شناسی، عمران و معدن می‌باشد. اکثر روش‌های موجود برای ارزیابی مقاومت بتن‌ها، ملات‌ها و سنگ‌ها، یا به صورت مخرب می‌باشند یا دارای وسایل گران قیمت هستند. برخی از آن‌ها نیز به طور مستقیم مقاومت را اندازه‌گیری نمی‌کنند. لذا آزمونی که دارای تجهیزات ارزان، ساده و در دسترس، دارای دقت بالا، قابل اعمال در تمامی شرایط (خشک، مرطوب، زیر آب و تحت هر دمایی)، دارای خرابی سطحی و جزئی و قابل انجام هم در آزمایشگاه و هم در محل پروژه باشد، مورد نیاز می‌باشد. با توجه به توضیحات ارائه شده، در تحقیقات قبلی از آزمون‌های نوین پیچش و انتقال اصطکاک برای ارزیابی برخی مشخصات بتن‌ها، سنگ‌ها، ملات‌ها و مصالح دیگر استفاده شده است. در این تحقیق با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک، اقدام به اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری سنگ‌ها و ملات‌های تعمیراتی که در کارهای معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرد شده است. با توجه به اینکه این آزمون در خود جسم مورد آزمایش انجام می‌شود لذا نتایج حاصل از آن، در مقایسه با روش‌هایی که بصورت غیر مستقیم مقاومت را تخمین می‌زند دارای دقت بالاتری است. این آزمون هیچ نیازی به افراد متخصص نداشته و تجهیزات آن ارزان و در دسترس می‌باشد.

در این مقاله با بکارگیری آزمون انتقال اصطکاک که روشی درجا، نوین و با خرابی بسیار جزئی می‌باشد اقدام به ارزیابی مقاومت فشاری سنگ‌های مختلف با نام‌های اندزیت، گرانیت، ریولیت، تراورتن، مرمریت، توف سبز بلورین، بازالت، آهک و توف سبز سنگی و ملات‌های تعمیراتی شده است. همچنین مقاومت فشاری مصالح مذکور با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی استاندارد نظیر آزمون مقاومت فشاری تک محوری و آزمون کششی ملات‌ها نیز تعیین گردیده است. در ادامه نتایج حاصله با نتایج بدست آمده از روش انتقال اصطکاک مقایسه شده است. با ارائه فرمول‌ها و منحنی‌های کالیبراسیون مورد نیاز، نتایج روش انتقال اصطکاک به راحتی قابل تبدیل به مقاومت فشاری ملات‌ها و سنگ‌ها می‌باشد.

۲- کارهای آزمایشگاهی

۲-۱- الگوریتم روش تحقیق و ساخت نمونه‌ها

در این تحقیق با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک اقدام به ارزیابی مقاومت فشاری و کششی ملات‌های معمولی و سنگ‌های مختلف شده است. برای اعمال آزمون انتقال اصطکاک روی ملات‌ها از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵ سانتی‌متر استفاده شده است. برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌ها نیز از نمونه‌های مکعبی ۵ سانتی‌متر استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی ملات‌ها نیز اقدام به ساخت نمونه‌های بریکت شد. سپس نتایج حاصل از آزمون انتقال اصطکاک با نتایج به دست آمده از آزمون‌های استاندارد مورد مقایسه قرار گرفته و معادلات مورد نیاز به دست آمده است. برای اعمال آزمون انتقال اصطکاک روی سنگ‌ها نیز از ۹ تعداد سنگ مختلف برای انجام آزمایشات استفاده شد. سنگ‌های ریولیت، اندزیت، گرانیت، تراورتن و بازالت از نوع آذرین، سنگ مرمریت از نوع دگرگونی و سنگ‌های توف سبز بلورین و توف سبز سنگی از نوع آذر آواری می‌باشند.

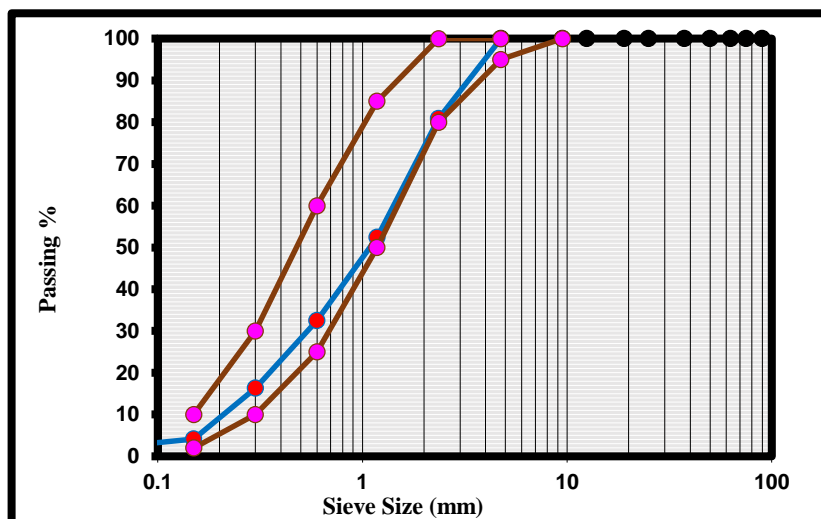
۲-۲- مصالح مصرفی

سیمان استفاده شده در ساخت ملات‌ها از نوع تیپ ۲ با چگالی ۳۰۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. در جدول ۱ مشخصات شیمیایی سیمان مذکور قابل مشاهده است.

جدول ۱: مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

مشخصات شیمیایی	وزن (%)
SiO ₂	۲۱/۰۵
Fe ₂ O ₃	۳/۸۴
CaO	۶۲/۴۴
Al ₂ O ₃	۴/۸۱
K ₂ O	۰/۲۶
Na ₂ O	۰/۷۴
MgO	۳/۲۰
SO ₃	۱/۹۹
C ₃ A	۶/۲۵
LOI	۱/۸۹

ماسه استفاده شده در ملات‌ها دارای اندازه‌ی حداکثر ۴/۷۵ میلی‌متر بوده و دانه‌بندی آن‌ها طبق استاندارد ASTM C136 [۲۹] انجام پذیرفت. جذب آب ماسه بر اساس استاندارد ASTM C127 [۳۰] برابر ۳/۲ درصد می‌باشد. چگالی ماسه در حالت اشباع با سطح خشک برابر ۲۵۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. نمودار دانه‌بندی ماسه‌ها در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱: دانه بندی ماسه‌ها

مشخصات فیزیکی سنگ‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲: مشخصات سنگ‌های مختلف

سنگ	وزن اشباع (gr)	حجم اشباع (cm ³)	چگالی $\frac{Kg}{m^3}$	جذب آب (%)
گرانیت	۵۴۸/۲	۲۰۸/۸	۲/۶۱۵	۰/۴۰۳
مرمریت	۶۲۱/۸	۲۳۶/۷	۲/۶۱۰	۰/۱۶۲
اندزیت	۵۸۸/۱	۲۱۹/۹	۲/۵۴۵	۱/۶۶۴
ریولیت	۴۰۳/۳	۱۵۰/۴	۲/۵۹۳	۲/۳۶۰
توف سبز بلورین	۶۲۱/۴	۲۴۲/۸	۲/۴۹۵	۲/۵۴۱
توف سبز سنگی	۴۶۷/۲	۱۹۸/۷	۲/۲۲	۵/۸۲۱
تراورتن	۶۸۷/۷	۲۶۷/۱	۲/۵۳۵	۱/۵۵۱
آهک	۶۲۰/۸	۲۳۴	۲/۶۳۰	۰/۸۶۱
بازالت	۶۱۲/۱	۲۲۸	۲/۶۲۰	۰/۵۵

طرح مخلوط ملات‌های تعمیری در جدول ۳ نشان داده شده است. ملات‌ها تحت عمل‌آوری‌های مختلف قرار گرفته و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفته است.

جدول ۳: طرح مخلوط ملات‌های

ردیف	نسبت مصالح به سیمان		
	سیمان	ماسه	آب
۱	۱	۲	۰/۴
۲	۱	۲	۰/۵

در خصوص انتخاب طرح مخلوط ملات‌ها، در برخی مراجع [۳۱-۳۲] ذکر شده است که ملات‌های سیمانی از اختلاط نسبت‌های معین ماسه، سیمان و آب به دست می‌آید که در آن نسبت‌های ماسه به سیمان از ۲ به ۱ تا ۶ به ۱ متفاوت می‌باشد. نسبت آب به سیمان نیز در حدود ۰/۴ تا ۰/۵۵ می‌باشد. همچنین در اکثر استانداردها برای اندازه‌گیری برخی مشخصات ملات‌ها مانند جمع‌شدگی از نسبت‌های ماسه به سیمان برابر ۲ به ۱ استفاده می‌شود. لذا در این تحقیق، از ملات‌های با طرح اختلاط‌های ذکر شده در جدول ۳ استفاده گردید.

۲-۳- روش "انتقال اصطکاک"

برای انجام آزمون انتقال اصطکاک روی ملات‌های تعمیری و انواع صخره سنگ‌ها، ابتدا مطابق شکل ۲-الف با دستگاه کرگیری، یک مغزه جزئی به قطر ۵۰ میلی‌متر و عمق ۲۵ میلی‌متر در سطح نمونه ایجاد می‌گردد. سپس دستگاه "انتقال اصطکاک" بر روی مغزه جزئی تثبیت می‌شود (شکل ۲-ب، ج). برای تثبیت دستگاه فلزی انتقال اصطکاک، از پیچ‌های اطراف آن استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در اطراف دستگاه به طور متقارن دارای پیچ می‌باشد لذا در هنگام سفت نمودن پیچ‌ها، هیچ لنگر اضافی به مغزه‌ها وارد نمی‌گردد. در ادامه مطابق شکل ۲-د به وسیله یک پیچش‌سنج معمولی، به دستگاه فلزی انتقال اصطکاک، لنگر پیچشی وارد می‌گردد تا زمانی که مغزه جزئی دچار شکست گردد. با ثبت مقدار لنگر پیچشی وارده، و مقایسه‌ی آن با مقاومت فشاری نمونه‌ها، نمودارهای کالیبراسیون رسم می‌گردد.



ب: قرارگیری دستگاه روی مغزه سنگی



الف: ایجاد مغزه



د: تثبیت دستگاه روی ملات



ج: قرارگیری دستگاه روی مغزه نمونه ملات

شکل ۲: آزمون انتقال اصطکاک

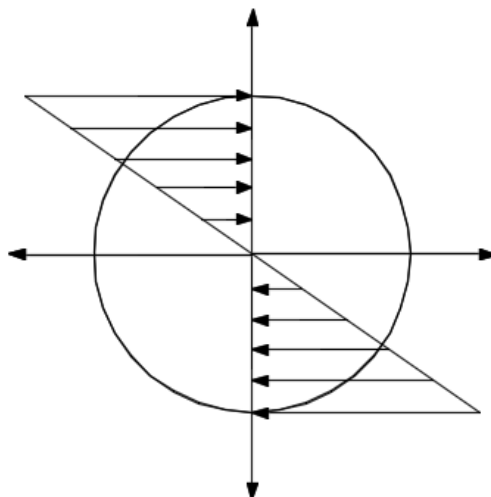
تئوری آزمون "انتقال اصطکاک"

در شکل ۳ مغزه شکسته شده توسط آزمون انتقال اصطکاک نشان داده شده است.



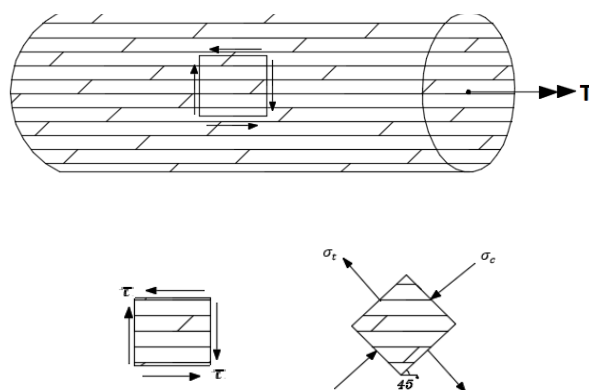
شکل ۳: مغزه شکسته شده در آزمون انتقال اصطکاک

با عنایت به اینکه مغزه سنگ‌ها در روش انتقال اصطکاک به صورت استوانه با سطح مقطع دایره‌ای می‌باشد لذا مطابق شکل ۴ در اثر اعمال لنگر پیچشی، تنش برشی عمود بر شعاع دایره ظاهر می‌گردد. تنش برشی متناسب با فاصله از مرکز دایره است و بیشترین تنش برشی روی محیط دایره که بیشترین فاصله از مرکز دایره را دارا می‌باشد رخ می‌دهد.



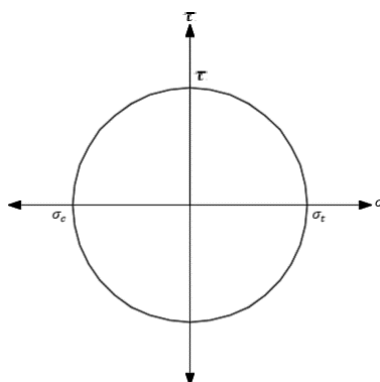
شکل ۴: تنش‌های برشی بوجود آمده در اثر اعمال لنگر پیچشی

در شکل ۵ استوانه‌ای با مقطع دایره (مانند مغزه در آزمون انتقال اصطکاک) تحت اثر لنگر پیچشی قابل مشاهده است. وقتی بر این استوانه فقط لنگر پیچشی اعمال می‌گردد، در المان‌های مقطع شرایط برش خالص حاکم می‌گردد. با توجه به دایره موهر المان، حداکثر تنش‌های کششی و فشاری بوجود آمده در استوانه تحت پیچش برای المان سطح استوانه در شکل ۵ نشان داده شده است.

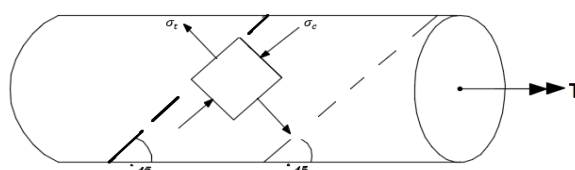


شکل ۵: المان استوانه‌ای تحت برش خالص

با توجه به شکل دایره موهر (شکل ۶- الف) دیده می‌شود که تنش برشی، تنش کششی و تنش فشاری حداکثر، هر سه مورد مقداری به اندازه شعاع دایره موهر دارند. در نتیجه تنش اصلی کششی و فشاری با افق دارای زاویه ۴۵ درجه می‌باشد. مواد شکننده مانند سنگ و ملات دارای شکست کششی هستند. طبق شکل ۶- ب صفحه شکست در این مورد، عمود بر راستای کششی ظاهر می‌گردند.



الف) دایره موهر در حالت برش خالص

ب) راستای صفحات شکست
شکل ۶: راستای تنش‌های ایجاد شده

همانگونه که در شکل ۳ مشاهده شد، ملاحظه می‌گردد که شکست مغزه‌های استوانه‌ای در روش انتقال اصطکاک نیز دارای زاویه ۴۵ درجه با افق است که دلیل آن در بالا ذکر شد.

۲-۴- آزمون‌های استاندارد

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌ها، از استاندارد ASTM C109 [۳۳] استفاده شد (شکل ۷-الف). در این خصوص نمونه‌های مکعبی ۵۰ میلی‌متری ساخته و در زیر جک بتن شکن قرار گرفت. برای هر نوع ملات، ۶ نمونه مکعبی ۵۰ میلی‌متری ساخته شد. مقاومت فشاری آنها در سنین مختلف اندازه‌گیری و متوسط نتایج ۶ نمونه به عنوان مقاومت فشاری مد نظر قرار گرفت. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی ملات‌ها نیز با ساخت نمونه‌های بریکت و با استفاده از استاندارد ASTM C190 [۳۴] اقدام شد. (شکل ۷-ب). متوسط ۳ نمونه برای اندازه‌گیری مقاومت کششی مد نظر قرار گرفت و متوسط نتایج ۳ نمونه به عنوان مقاومت کششی ملات‌ها در نظر گرفته شد.



ب) مقاومت کششی ملات‌ها



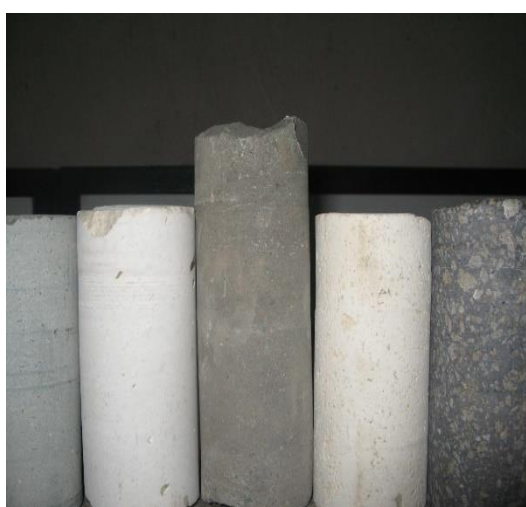
الف) مقاومت فشاری ملات‌ها

شکل ۷: اندازه‌گیری مشخصات مکانیکی ملات

در شکل ۸-الف نیز سنگ‌های مغزه‌گیری شده برای انجام آزمون مقاومت فشاری تک محوری قابل مشاهده است. برای انجام آزمون مقاومت فشاری تک محوری، بار روی نمونه سنگی باید صورت پیوسته و با نرخ فشار ثابت ۱ Mp/s اعمال شده و حداکثر بار باید با تقریب ۱۰ KN ثبت گردد (شکل ۹-ب).



ب: مغزه‌ها در زیر جک فشاری



الف: مغزه‌های گرفته شده از سنگ‌ها

شکل ۸: آزمون مقاومت فشاری روی سنگ‌ها

۳- نتایج و تحلیل آن‌ها

۳-۱- رابطه مشخصات مکانیکی ملات‌ها با نتایج آزمون "انتقال اصطکاک"

۳-۱-۱- مقاومت فشاری ملات تعمیراتی

در این بخش مقاومت فشاری ملات‌ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و در عمل‌آوری‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از انجام روش درجی "انتقال اصطکاک" با مقاومت فشاری ملات‌ها با طرح اختلاط‌های مختلف در جدول‌های ۴ و ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از مقاومت فشاری و اعمال آزمون "انتقال اصطکاک" روی ملات‌های ۱-۲-۰/۵ (مگاپاسکال)

روش آزمایش	روزه ۷			روزه ۲۸			روزه ۹۰		
	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد
مقاومت فشاری	۳۴/۱	۳۰/۲	۲۰/۹	۴۷/۶	۴۰/۹	۲۸/۶	۵۴/۴	۴۵/۱	۳۲/۱
"انتقال اصطکاک" ملات ۱-۲-۰/۵	۳/۶۱	۳/۰۵	۲/۳۱	۴/۶۹	۳/۸۴	۲/۹۷	۵/۶۴	۴/۵۶	۳/۵۵

جدول ۵: نتایج حاصل از مقاومت فشاری و اعمال آزمون "انتقال اصطکاک" روی ملات‌های ۱-۲-۰/۴ (مگاپاسکال)

روش آزمایش	روزه ۷			روزه ۲۸			روزه ۹۰		
	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد
مقاومت فشاری	۴۰/۶	۳۶/۱	۲۴/۸	۵۶/۲	۴۸/۶	۳۳/۷	۶۴/۷	۵۳/۱	۳۷/۶
"انتقال اصطکاک" ملات ۱-۲-۰/۴	۴/۰۹	۳/۴۵	۲/۶۱	۵/۲۹	۴/۳۸	۳/۳۷	۶/۴۳	۵/۱۳	۳/۹۸

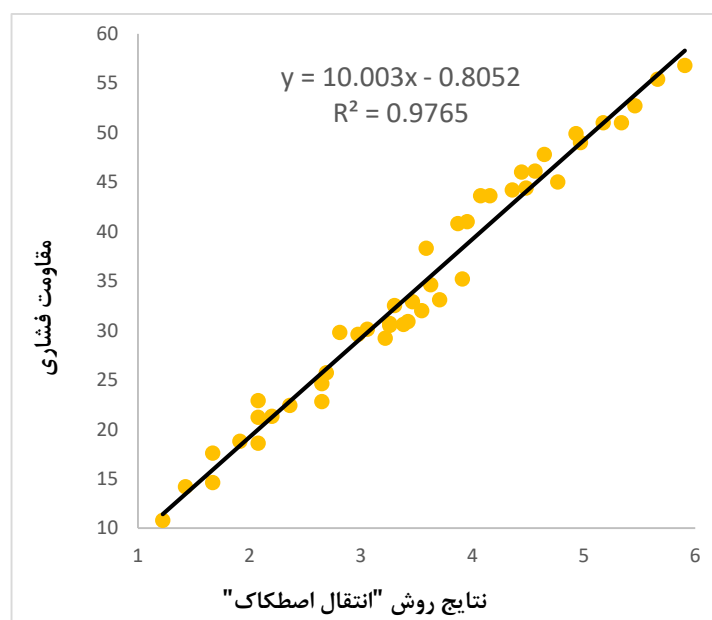
از جدول ۴ مشاهده می‌شود که عمل‌آوری سبب افزایش مقاومت فشاری ملات‌ها شده است که علت آن تکمیل فرآیند هیدراسیون سیمان در ملات به علت جلوگیری از خارج شدن رطوبت ملات می‌باشد. مقاومت فشاری ۹۰ روزه ملات تعمیری در عمل‌آوری با آب و با مواد عمل آورنده به ترتیب ۱/۶ و ۱/۵ برابر مقاومت فشاری ۷ روزه ملات‌ها می‌باشد. اما نمونه‌هایی که در فضای آزاد قرار گرفته‌اند، طی گذشت زمان، مقاومت فشاری کمتری کسب کرده‌اند که به علت خروج رطوبت از ملات و ناقص ماندن فرآیند هیدراسیون در داخل آن می‌باشد. هیدراسیون سیمان پرتلند شامل واکنش کلسیم سیلیکات هیدراته نشده و فاز آلومینات با آب می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" نیز همین روند افزایشی را دارا می‌باشد. همین روند برای سنین دیگر نیز وجود دارد به گونه‌ای که برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب، مقدار مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۱/۶۳ و ۱/۶۶ برابر مقاومت فشاری ملات رها شده در فضای آزاد می‌باشد. برای نمونه‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل آورنده نیز در سنین مذکور مقدار افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های رها شده در فضای آزاد به ترتیب برابر ۱/۴۴ و ۱/۴۳ می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک"، روی نمونه‌های عمل‌آوری شده نیز با گذشت زمان همین روند افزایشی را دارند به گونه‌ای که مقاومت حاصل از روش "انتقال اصطکاک" در سن ۹۰ روز نسبت به سن ۳ روز در ۳ عمل‌آوری ذکر شده به ترتیب برابر ۲/۳۹، ۲/۴۱ و ۲/۴۷ می‌باشد.

با توجه به جدول ۵ مربوط به ملات ۱-۲-۰/۴ ملاحظه می‌شود مقاومت فشاری ملات‌های عمل‌آوری شده داخل آب و با مواد عمل آورنده بیشتر از ملات‌های رها شده در فضای آزاد می‌باشد که علت آن تکمیل فرآیند هیدراسیون سیمان در داخل ملات به دلیل جلوگیری نمودن از خارج شدن رطوبت داخل ملات می‌باشد. هیدراسیون سیمان پرتلند شامل واکنش کلسیم سیلیکات هیدراته نشده و فاز آلومینات با آب می‌باشد. برای ملات‌های عمل‌آوری شده در آب و با مواد عمل آورنده نسبت به ملات‌های رها شده در فضای آزاد، مقاومت

فشاری ۹۰ روزه به ترتیب ۱/۷۲ و ۱/۴۱ برابر شده است. همین روند برای سنین دیگر نیز وجود دارد به گونه‌ای که برای نمونه‌های عمل آوری شده در آب، مقدار مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۱/۶۴ و ۱/۶۷ برابر مقاومت فشاری ملات رها شده در فضای آزاد می‌باشد. برای نمونه‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل آورنده نیز در سنین مذکور مقدار افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های رها شده در فضای آزاد به ترتیب برابر ۱/۴۶ و ۱/۴۴ می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک"، روی نمونه‌های عمل‌آوری شده نیز با گذشت زمان همین روند افزایشی را دارند به گونه‌ای که مقاومت حاصل از روش "انتقال اصطکاک" در سن ۹۰ روز نسبت به سن ۳ روز در ۳ عمل-آوری ذکر شده به ترتیب برابر ۲/۳۶، ۲/۴ و ۲/۴۶ می‌باشد.

در تحقیقی دیگر با استفاده از آزمون پیچش مشاهده شد که نتایج حاصله از آزمون پیچش برای سن ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۶/۰۴، ۷/۵۸ و ۹/۱۸ مگاپاسکال می‌باشد [۲۷]. در این تحقیق نیز موارد مذکور برای آزمون انتقال اصطکاک برابر ۳/۶۱، ۴/۶۹ و ۵/۶۴ مگاپاسکال می‌باشد. مشاهده می‌شود که نتایج حاصله به یکدیگر نزدیک می‌باشد. البته مقدار نتایج آزمون پیچش بیشتر از آزمون انتقال اصطکاک می‌باشد که دلیل آن به علت عدم انجام کرگیری در آزمون پیچش می‌باشد. در نتایج به دست آمده از مقاومت فشاری هر دو ملات مشاهده می‌شود که عمل آوری باعث افزایش مقاومت فشاری شده است. کاربرد عمل آوری به این خاطر است که هیدراسیون سیمان تنها در منافذ مویینه پر از آب اتفاق می‌افتد لذا باید از افت آب ناشی از تبخیر آن جلوگیری نمود تا فرآیند هیدراسیون کامل گردد که این امر با اعمال عمل آوری، قابل دستیابی است. در تحقیقی که روی مقاومت فشاری ملات‌ها صورت پذیرفت مشاهده شد که مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات حدود ۳۷ درصد بیشتر از مقاومت فشاری ۷ روزه آن می‌باشد [۳۵]. همچنین در تحقیق دیگری برای ملات‌های عمل‌آوری شده در آب، مقدار مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۵۴ درصد بیشتر از مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه می‌باشد [۳۶]. در این تحقیق نیز مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات تحت عمل آوری با آب حدود ۴۰ درصد بیشتر از مقاومت فشاری نمونه ۷ روزه می‌باشد.

در شکل ۹ رابطه همبستگی بین مقاومت فشاری ملات‌ها و نتایج حاصل از آزمون "انتقال اصطکاک" قابل مشاهده است.



شکل ۱۰: رابطه مقاومت فشاری ملات با نتایج "انتقال اصطکاک"

از شکل شماره ۹ مشاهده می‌شود که نتایج روش "انتقال اصطکاک" با مقاومت فشاری ملات‌ها دارای ضریب تعیین ۹۷ درصد و ضریب همبستگی ۹۸ درصد می‌باشد. با توجه به همبستگی بالا بین مقاومت فشاری ملات‌ها و نتایج آزمون انتقال اصطکاک، لذا به راحتی می‌توان با استفاده از آزمون درجای فوق و با معادله $y = 10x - 0.805$ مقاومت فشاری ملات‌ها را اندازه‌گیری نمود.

۳-۱-۲- مقاومت کششی ملات‌ها

در این بخش مقاومت کششی ملات‌ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و در عمل‌آوری‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از انجام روش درجای "انتقال اصطکاک" با مقاومت کششی ملات‌ها با طرح اختلاط‌های مختلف در جدول‌های ۶ و ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۶: نتایج مقاومت کششی و روش "انتقال اصطکاک" برای ملات ۱-۲-۰/۵ (مگاپاسکال)

روش آزمایش	روزه ۷			روزه ۲۸			روزه ۹۰		
	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد
مقاومت کششی	۲/۸۲	۲/۳۵	۱/۴۹	۳/۷۴	۳/۰۷	۱/۸۷	۴/۴۵	۳/۵۵	۲/۲۷
"انتقال اصطکاک"	۳/۶۱	۳/۰۵	۲/۳۱	۴/۶۹	۳/۸۴	۲/۹۷	۵/۶۴	۴/۵۶	۳/۵۵

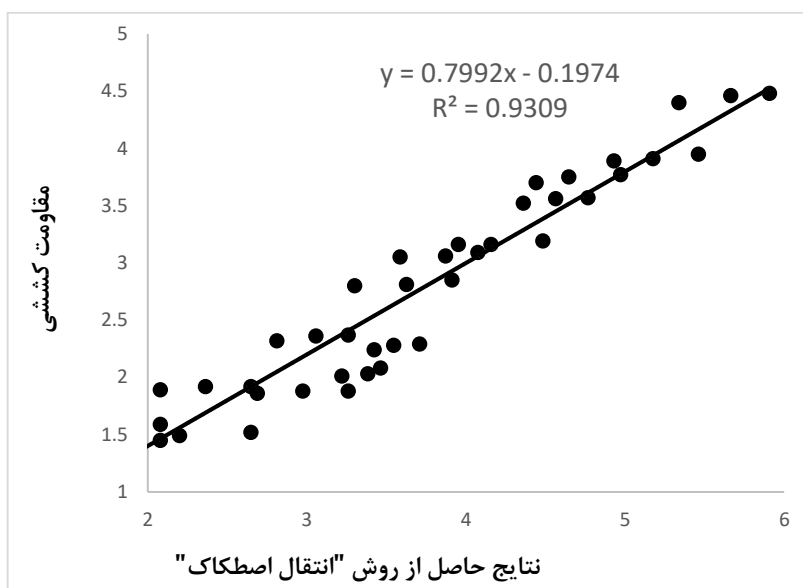
جدول ۷: نتایج مقاومت کششی و روش "انتقال اصطکاک" برای ملات ۱-۲-۰/۴ (مگاپاسکال)

روش آزمایش	روزه ۷			روزه ۲۸			روزه ۹۰		
	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد	آب	مواد عمل آورنده	فضای آزاد
مقاومت کششی	۳/۴۵	۲/۹۲	۱/۸۳	۴/۶۴	۳/۷۹	۲/۲۸	۵/۴۴	۴/۳۷	۲/۷۹
"انتقال اصطکاک"	۴/۰۹	۳/۴۵	۲/۶۱	۵/۲۹	۴/۳۸	۳/۳۷	۶/۴۳	۵/۱۳	۳/۹۸

از جدول ۶ مشاهده می‌شود که عمل‌آوری باعث افزایش مقاومت کششی ملات‌ها گردیده است که علت آن تکمیل فرآیند هیدراسیون سیمان در ملات به علت جلوگیری از خارج شدن رطوبت ملات می‌باشد. مقاومت کششی ۹۰ روزه ملات‌ها در عمل‌آوری با آب و با مواد عمل آورنده به ترتیب ۱/۵۸ و ۱/۵۱ برابر مقاومت کششی ۷ روزه ملات‌ها می‌باشد. اما نمونه‌هایی که در فضای آزاد رها شده‌اند، طی گذشت زمان، مقاومت کششی کمتری کسب نموده‌اند که به علت خروج رطوبت از ملات و ناقص بودن فرآیند هیدراسیون در آن می‌باشد. نتایج روش "انتقال اصطکاک" نیز همین روند افزایشی را نشان داده است. با توجه به جدول ۷ برای ملات‌های ۱-۲-۰/۴ عمل‌آوری شده در آب و با مواد عمل آورنده نسبت به ملات‌های رها شده در فضای آزاد، مقاومت کششی ۹۰ روزه به ترتیب ۱/۹۵ و ۱/۵۷ برابر شده است. همین روند برای سنین دیگر نیز وجود دارد به گونه‌ای که برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب، مقدار مقاومت کششی ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۱/۸۹ و ۲/۰۴ برابر مقاومت کششی ملات رها شده در فضای آزاد می‌باشد. برای نمونه‌های عمل‌آوری شده با مواد عمل آورنده نیز در سنین مذکور مقدار افزایش مقاومت کششی نسبت به نمونه‌های رها شده در فضای آزاد به ترتیب برابر ۱/۵۹ و ۱/۶۶ می‌باشد.

جمع شدگی ملات‌های عمل‌آوری شده داخل آب دارای کمترین مقدار بوده و بیشترین مقدار جمع شدگی مربوط به نمونه‌های رها شده در فضای آزاد می‌باشد. جمع شدگی بر اثر خروج رطوبت از ملات سخت شده اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه در منافذ موئینه سیمان هیدراته شده، آب وجود دارد، لذا به محض خروج آب از این منافذ موئینه، باعث از بین رفتن آب جذب سطحی شده و جمع شدگی حاصل می‌گردد [۳۷]. از نتایج حاصله مشاهده می‌شود به طور میانگین مقاومت کششی حدود ۷/۶۴ درصد مقاومت فشاری ملات‌ها می‌باشد. در تحقیقی دیگر روی مقاومت کششی ملات‌ها مشخص گردید که نسبت مقاومت کششی ملات‌ها به مقاومت فشاری آن‌ها برابر ۷ درصد می‌باشد [۳۸].

در شکل ۱۰ رابطه همبستگی بین مقاومت کششی ملات‌ها و نتایج روش "انتقال اصطکاک" نشان داده شده است.

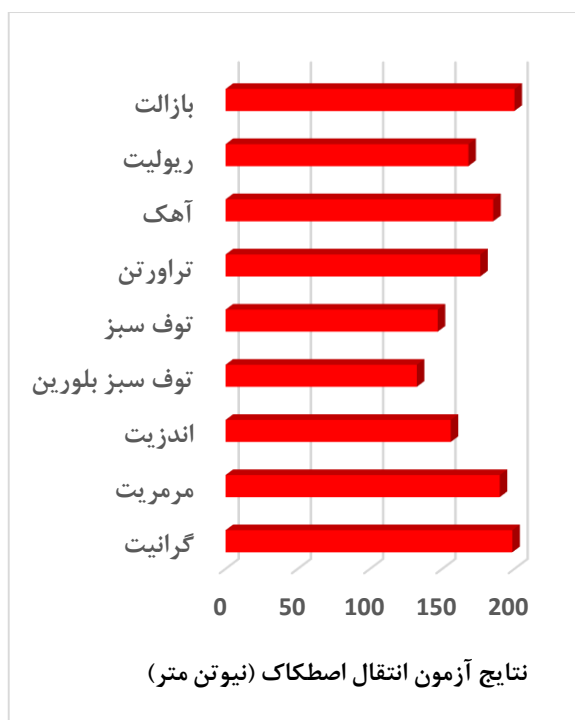


شکل ۱۰: رابطه مقاومت کششی ملات‌ها با روش "انتقال اصطکاک"

از شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که نتایج روش "انتقال اصطکاک" با مقاومت کششی ملات‌ها دارای ضریب تعیین ۹۳ درصد و ضریب همبستگی ۹۶ درصد می‌باشد. با توجه به همبستگی بالا بین مقاومت کششی ملات‌ها با نتایج آزمون انتقال اصطکاک، به راحتی می‌توان با استفاده از آزمون درجای فوق و با استفاده از معادله $y = 799x - 0.197$ مقاومت کششی ملات‌ها را اندازه‌گیری نمود.

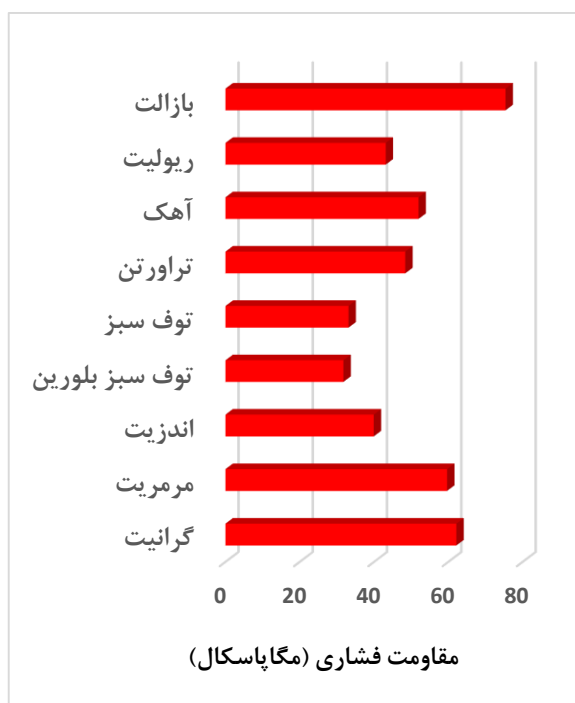
۲-۳ رابطه مقاومت فشاری سنگ‌ها و روش "انتقال اصطکاک"

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری سنگ‌ها می‌توان از کرگیری سنگ به طور مستقیم استفاده نمود. مغزه‌ها توسط دستگاه کرگیری گرفته می‌شود. لذا یک نمونه استوانه‌ای حاصل می‌گردد که سطوح انتهایی آن تخت نمی‌باشد. پس در نتیجه مغزه‌ها باید کلاهک گذاری شود [۳۹] و در محیطی مرطوب آزمایش شوند یا بنابر آنچه ACI318 [۴۰] توصیه می‌کند، در حالت خشک آزمایش شوند. برای تعیین مقاومت فشاری مغزه‌ها از جک فشاری هیدرولیکی با دقت ۰/۱ تن استفاده گردیده است. در شکل ۱۱ نمودار نتایج انجام آزمون انتقال اصطکاک روی سنگ‌های مختلف قابل مشاهده است.



شکل ۱۱: مقاومت سنگ‌ها حاصل از روش انتقال اصطکاک

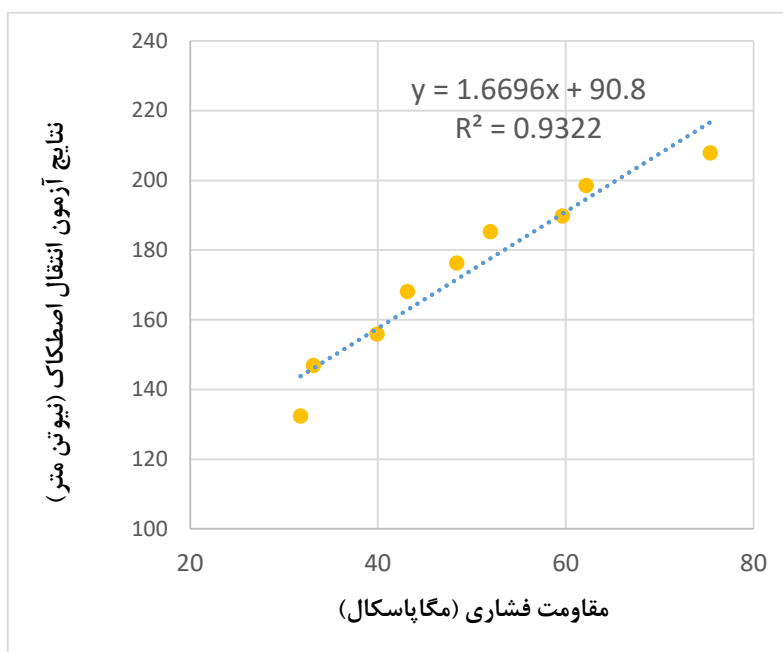
در شکل ۱۲ نیز نمودار نتایج انجام آزمون مقاومت فشاری تک محوری روی سنگ‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۲: مقاومت فشاری یک محوری مغزه سنگ‌ها

در شکل ۱۱ که در خصوص مقاومت سنگ‌های مختلف حاصل از آزمون انتقال اصطکاک است مشاهده می‌گردد که بیشترین مقاومت بدست آمده از آزمون انتقال اصطکاک، برای سنگ بازالت و کمترین مقاومت نیز برای سنگ توف می‌باشد. مقاومت فشاری سنگ‌های مختلف بدست آمده از آزمون انتقال اصطکاک به ترتیب از زیاد به کم برای سنگ‌های بازالت، گرانیت، مرمریت، آهک، تراورتن، ریولیت، اندزیت، توف سبز سنگی و توف سبز بلورین می‌باشد. از شکل ۱۲ نیز مشاهده می‌گردد که بیشترین مقاومت فشاری تک محوری برای سنگ بازالت و کمترین مقاومت برای سنگ توف بدست آمده است. مقاومت فشاری تک محوری سنگ‌ها به ترتیب از زیاد به کم برای سنگ‌های بازالت، گرانیت، مرمریت، آهک، تراورتن، ریولیت، اندزیت، توف سبز و توف سبز بلورین می‌باشد.

برای مقایسه نتایج بدست آمده از روش درجای انتقال اصطکاک و آزمون مغزه‌گیری، شکل ۱۳ ارائه شده است.



شکل ۱۳: رابطه نتایج روش انتقال اصطکاک با آزمون مغزه‌گیری

از شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که یک رابطه خطی بین مقاومت فشاری تک محوری بدست آمده از آزمون مغزه‌گیری با نتایج حاصل از روش انتقال اصطکاک وجود دارد که برابر با $y=1.67x+90.8$ است. مطابق شکل ۱۳ ضریب تعیین برابر با $93/2$ درصد است. در نتیجه می‌توان با استفاده از روش انتقال اصطکاک، ساده و به صورت درجا مقاومت فشاری انواع سنگ‌ها را اندازه‌گیری نمود. در تحقیقی دیگر با بکارگیری آزمون پیچش برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری سنگ‌ها مشخص گردید که ضریب همبستگی حدود 90 درصد بین نتایج حاصل از آزمون پیچش با مقاومت فشاری سنگ‌ها وجود دارد [۲۴-۲۵].

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با بکارگیری آزمون درجا و نوین انتقال اصطکاک اقدام به ارزیابی مقاومت فشاری سنگ‌های مختلف و ملات‌ها شده است. همچنین مقاومت فشاری این مصالح با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی و استاندارد نیز اندازه‌گیری شده و نتایج بدست آمده با نتایج آزمون درجای انتقال اصطکاک مقایسه گردیده است. نتایج حاصله عبارتند از:

- ۱- با توجه به ضریب تعیین بالای ۹۳ درصد بین نتایج روش انتقال اصطکاک و مقاومت فشاری ملات‌ها، لذا می‌توان با استفاده از معادله $y = 799x - 0.197$ و منحنی کالیبراسیون، با بکارگیری روش انتقال اصطکاک، نسبت به اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌ها اقدام نمود.
- ۲- رابطه‌ی خطی قوی با ضریب تعیین بالای ۹۵ درصد میان مقاومت فشاری تک محوری حاصل از روش مغزه‌گیری با نتایج آزمون انتقال اصطکاک وجود دارد. لذا می‌توان با استفاده از آزمون انتقال اصطکاک، مقاومت فشاری سنگ‌ها را با استفاده از معادله $y = 1.67x + 90.8$ اندازه‌گیری نمود.
- ۳- روش درجای انتقال اصطکاک با کاربری گسترده و دارای دقت بالا می‌تواند برای تخمین مقاومت فشاری ملات‌ها و سنگ‌های مختلف استفاده شود. خرابی حاصل از این روش روی نمونه‌ها بسیار جزئی می‌باشد.
- ۴- با عنایت به این موضوع که مغزه سنگ‌ها و ملات‌ها در روش انتقال اصطکاک به شکل استوانه‌ای با سطح مقطع دایره است لذا در اثر وارد نمودن لنگر پیچشی، بیشترین تنش برشی بر روی محیط دایره که بیشترین فاصله از مرکز را دارا می‌باشد رخ می‌دهد. لذا شکست مغزه‌ها در روش انتقال اصطکاک با زاویه ۴۵ درجه اتفاق می‌افتد که با توجه به دایره موهر این نوع شکست‌ها صحیح است.
- ۵- مقاومت فشاری سنگ‌های مختلف بدست آمده از آزمون انتقال اصطکاک به ترتیب از زیاد به کم برای سنگ‌های بازالت، گرانیت، مرمریت، آهک، تراورتن، ریولیت، اندزیت، توف سبز سنگی و توف سبز بلورین می‌باشد.

مراجع

- [1] Bieniawski, Z.T. (1974). Estimating the strength of rock materials. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 74(2), p. 312-320.
- [2] ACI Committee 214. (2003). Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. Report 214.4R-03, American Concrete Institute, p. 16.
- [3] Masi, A. Digrisolo, A. and Santarsieo, G. (2003). Experimental evaluation of drilling damage on the strength of cores extracted from RC buildings. in *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 7(7), p. 749.
- [4] ASTM C900-15. (2015). Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, p. 10.
- [5] Rabe, C. Silva, G. Lopes, AL. Nunes, S. and Silva, CG. (2018). Development of a new correlation to estimate the unconfined compressive strength of a Chicontepec Formation. *Int J Geomech* 18(8), p. 1-17.
- [6] Jalali, Sh. Heidari, M. and Zarrinshoja, M. (2019). Predicting of uniaxial compressive strength of some igneous and metamorphic rocks by block punch index and cylindrical punch index tests. *Int J Rock Mech Min Sci*, 119(3), p. 72-80.
- [7] Kahraman, S. Fener, M. and Kilic, CO. (2016). A preliminary study on the conversion factor used in the prediction of the UCS from the BPI for pyroclastic rocks. *Bull Eng Geol Environ* 75 (1), p. 771-780.
- [8] Kumar, R. Bhargava, K. and Choudhury, D. (2017). Correlations of uniaxial compressive strength of rock mass with conventional strength properties through random number generation. *Int J Geomech* 17(2), p. 14-25.
- [9] Kayabali, K. and Selcuk, L. (2010). Nail penetration test for determining the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 47(2), p. 265-271.
- [10] Yilmaz, I. (2009). A new testing method for indirect determination of the unconfined compressive strength of rocks. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46(3), p. 1349-1357.
- [11] Mehrabi, S. Haftani, M. Bohlooli, B. and Cheshomi, A. (2012). Measurement of uniaxial compressive strength of rocks using reconstructed cores from rock cuttings. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 12(1), p. 1-14.
- [12] Alber, M. and Kahraman, S. (2009). Prediction the Uniaxial Compressive Strength and Elastic Modulus of a fault Breccia from Texture coefficient. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 42(4), p. 117-127.
- [13] ASTM C1583/C1583M. (2013). Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, p. 17.
- [14] E, Pereira. and M.H.F, Medeiros. (2012). Pull off Test to Evaluate the Compressive Strength of Concrete: an Alternative to Brazilian Standard Techniques. *Ibracon Structures and Materials Journal*. 5(6). p. 757-780.
- [15] ASTM C597-16. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, p. 18.

- [16] ASTM C808/C805M-18. (2018). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, p. 14.
- [17] M, Naderi. (2007). New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete, *Journal of Testing and Evaluation*. 35(6), p. 20-33.
- [18] M, Naderi. (2005). Friction-transfer test for the assessment of in situ strength and adhesion of cementitious materials. *Constr. Build. Mater*, 19(2), p. 454-459.
- [19] A, Saberi Varzaneh. And M, Naderi. (2020). Determination of Compressive and Flexural Strengths of In-situ Pozzolanic Concrete Containing Polypropylene and Glass Fibers Using "Twist-off" Method. *Modares Civil Engineering Journal*, 20(5), p. 54-68.
- [20] M, Naderi. A, Smaili. and A, Saberi Varzaneh. (2021). Assessment of the application "twist-off" method for determining the in situ compressive and flexural strengths in the fiber concrete. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(3), p. 23-41.
- [21] A, Saberi Varzaneh. And M, Naderi. (2021). "Friction-Transfer" Method to Assess the Compressive and Tensile Strengths and Rupture Modulus of Fiber-Reinforced-Pozzolanic Concrete and Mortar/Steel Adhesion. *AUT J. Civil Eng.*, 5(4), 557-576.
- [22] A, Saberi Varzaneh. and M, Naderi. (2020). Analyzing the Effect of Polypropylene Fibers on Compressive Behavior, Shrinkage and Bond Strength of Repair Mortars/Concrete Substrate. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(8), pp. 208-228.
- [23] A, Saberi Varzaneh. and M, Naderi. (2020). NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF SEMI-DESTRUCTIVE TESTS TO EVALUATE THE COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF POLYMER-MODIFIED MORTARS AND THEIR ADHESION TO THE CONCRETE SUBSTRATE. *Revista Română de Materiale / Romanian Journal of Materials*, 50(4), p. 537-544.
- [24] A.R. Kaboudan., M. Naderi, (2022). Effect of aggregates on the compressive strength and permeability of concrete. *Sharif Journal of Civil Engineering*. 127- J30_Volume 37.2_Issue 4.1_Pages 81-92.
- [25] A.R. Kaboudan., M. Naderi, (2021). Experimental study of the effect of aggregate type on concrete strength and permeability. *Journal of Building Engineering* 37 (2021) 101928.
- [26] M, Naderi. R, Valibeigi. and M, Mirsafi. (2017). Investigating the effect of type of aggregate on strength and permeability of concrete. 5(1), 109-126.
- [27] A, Saberi Varzaneh. and M, Naderi. (2021). Determination of shrinkage, tensile and compressive strength of repair mortars and their adhesion on the concrete substrate using "twist-off" and "pull-off" methods. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng*, 45(2), p. 2377-2395.
- [28] A, Saberi Varzaneh. and M, Naderi. (2022). Using "twist-off" and "pull-off" tests to investigate the effect of polypropylene fibers on the bond of mortar/concrete and to evaluate their in-situ compressive strength. *Amirkabir Civil Engineering Journal*, 54(5), p. 1-14.
- [29] ASTM C136-01. (2001). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. American Society for Testing and Materials, p. 15.
- [30] ASTM C127. (2012). Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials, p. 20.
- [31] H, Sadeghi. (2010). Construction and Laboratory Materials, Imam Hossein (AS) University, Tehran, Iran, ISBN: 9789644522147.
- [32] Publication 101 General Specifications of Roads, (2012), Vice President of Strategic Planning and Supervision, Tehran, Iran.
- [33] ASTM C109. (2013). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens), American Society for Testing and Materials, p.21.
- [34] ASTM C190. (1985). Standard test method for tensile strength of hydraulic cement mortars (Withdrawn 1990), American Society for Testing and Materials, p. 14.
- [35] O, Cakir, and F, Akoz. (2008). Effect of Curing Condition on the Mortars With and Without GGBFS. *Construction and Building Materials* 22, 308-314.
- [36] V. Han, S. Ros, and H. Shima. (2014). Effects of Content, Superplasticizer Dosage, and Mixing Time on Compressive Strength of Mortar. *ACI Material Journal*.
- [37] A. M. Neville, (2012). Properties of concrete. 5 Edition. Harlow, United Kingdom.
- [38]. G, Tir. (2004). "Still, Strength of cementitious mortars: a literature review with special reference to weak mortars in tension" United Kingdom, University of Warwick, Coventry, CV4 7AL.
- [39] British Standard Institution. (2008).. method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cores, BSI 1881: Part 120: 1983.
- [40] ACI Committee 318. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute, Report 318R-19.