

Investigating The Effect of Replacing Diatomite Powder with Quartz Powder on The Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete

Bahman Shervani Tabar^{1*}, Aslan asadi²

1. Assistant Professor, Department of civil engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
2. M.Sc., Department of civil engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

Abstract

Reactive Powder Concrete (RPC) is recognized as one of the most innovative types of concrete, notable for its exceptional strength and durability. This type of concrete is composed of essential components such as cement, silica fume, quartz powder, silica sand, superplasticizer, and water. Due to its superior mechanical properties, RPC is widely utilized in specialized projects and structures that require outstanding strength and durability. However, the high cost of its components, particularly quartz powder, significantly increases the overall production cost, limiting its widespread application in larger, cost-sensitive projects. Quartz powder is scarce in the Azerbaijan region of Iran and is often sourced from mines in Hamedan and Isfahan. By replacing it with more locally available, affordable materials, final production costs can be reduced. To address this issue and optimize the use of available resources, the possibility of substituting quartz powder with local, cheaper, and more accessible materials has been explored. Micronized quartz powder is crystalline, though some of its finer particles have a minor pozzolanic effect. In contrast, diatomite powder, which contains both amorphous and crystalline particles with a high percentage of amorphous silica, exhibits significantly greater pozzolanic activity. These enhanced reactions contribute to the formation of a denser and stronger concrete matrix, improving its mechanical properties. The purpose of this study was to investigate the feasibility of replacing quartz powder with diatomite powder in different proportions—specifically 25%, 50%, 75%, and 100%. The goal was to evaluate how this substitution affects the concrete's strength while also reducing overall production costs. In this research, concrete samples were tested at various curing ages, including 7, 14, and 28 days. Mechanical tests such as compressive strength and tensile strength were conducted to assess the effects of the substitution on the concrete's performance. Additionally, parameters such as standard water absorption, water absorption during curing, density, and consistency were measured. To simulate real-world construction conditions and avoid the use of specialized equipment, the samples were cured in a water tank at 25°C. This curing method not only eliminated the need for expensive equipment like autoclaves but also made the concrete more applicable to typical site conditions, further lowering production costs. The test results were promising. The strength of the modified concrete mixtures improved significantly when diatomite powder replaced quartz powder. In samples where 100% of the quartz powder was substituted with diatomite, the compressive strength increased from 543 MPa to 806 MPa (approximately 49%), and the tensile strength increased from 543 MPa to 806 MPa (approximately 18%) at 28 days. In addition to the improvements in mechanical properties, the use of diatomite powder offers significant economic advantages. Diatomite is abundantly available in various regions, and its accessibility reduces both production and transportation costs. As a result, the overall production cost of the concrete is significantly lowered, which is especially beneficial for large-scale construction projects where cost efficiency is critical. In conclusion, replacing quartz powder with diatomite powder is a practical solution that brings both technical and economic benefits. The enhanced strength of the concrete, coupled with reduced production costs and the efficient utilization of local resources, makes this approach a practical and effective method for producing high-performance concrete.

Review History

Received: Nov 13, 2024

Revised: Feb 16, 2025

Accepted: Mar 11, 2025

Keywords

Reactive Concrete Powder
Quartz Powder
Diatomite Powder
Compressive Strength
Tensile Strength

* Corresponding Author Email: b.shervani@azaruniv.ac.ir - ORCID: 0009-0007-2690-9609



تاثیر جایگزینی پودر دیاتومیت بمقدار به جای پودر کوارتز بر مشخصات مکانیکی بتن پودری واکنشی

بهمن شروانی تبار^{۱*}، اصلاان اسدی^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۲. کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

چکیده

تاریخچه داوری

بتن پودری واکنشی (RPC) یکی از بتن های با مقاومت و دوام بالا است؛ مواد تشکیل دهنده آن، از جمله پودر کوارتز جزو مواد گران هستند که در منطقه آذربایجان کمیاب بوده و بیشتر از معادن همدان و اصفهان تهیه می شود؛ که می توان با جایگزین کردن مصالح بومی و ارزان تر هزینه های نهایی تولید آن را کاهش داد. پودر میکرونیزه کوارتز، کریستاله است اما بخشی از ذرات بسیار ریز آن اثر جزئی در واکنش های پوزولانی دارد؛ ولی در مقابل، پودر دیاتومیت که هم دارای ذرات آمورف و هم دارای ذرات کریستالی است با درصد بالایی از سیلیس آمورف، واکنش های پوزولانی بیشتری خواهد داشت. در این پژوهش جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز با درصدهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ انجام شد. آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت کششی (آزمایش دونیم شدن) در سنین ۷، ۱۴، و ۲۸ روزه انجام گرفت. همچنین مقادیر جذب آب استاندارد، جذب آب حین عمل آوری، چگالی و روانی اندازه گیری شد. برای آن که عمل آوری شبیه به شرایط کارگاهی و معمولی فصل بتن ریزی باشد، از اتوکلاو استفاده نشد و نمونه های ساخته شده در داخل حوضچه آب در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد عمل آوری شدند. نتایج نشان داد که افزایش مقاومت در نمونه ها اتفاق افتاده است؛ به طوری که در جایگزینی ۱۰۰٪ در سن ۲۸ روزه، مقاومت فشاری را از ۵۴۳ تا ۸۰۶ مگاپاسکال (حدود ۴۹٪) و مقاومت کششی را از ۵۴۳ تا ۸۰۶ مگاپاسکال (حدود ۱۸٪) افزایش داده است. همچنین باید در نظر داشت به دلیل وجود معدن دیاتومیت در منطقه، هزینه نهایی تولید بتن به دست آمده نیز کاهش می یابد.

کلمات کلیدی

بتن پودری واکنشی

پودر کوارتز

پودر دیاتومیت

مقاومت فشاری

مقاومت کششی

۱- مقدمه

ریزآسیاب شده (۰/۴۰ - ۰/۱۵ میلی متر) با حجم مساوی از سنگدانه طبیعی به خوبی درجه بندی شده (با بیشترین اندازه ۸ میلی متر) تغییری در مقاومت فشاری بتن پودری واکنشی، در همان نسبت آب به سیمان، نشان نداده است [2]. پودر کوارتز و ماسه سیلیسی از مهم ترین اجزا این نوع بتن هستند؛ ولی با توجه به تاثیر زیست محیطی و همچنین کمبود این مواد در مناطق مختلف، جایگزینی آن ها با مواد در دسترس تر، ارزان تر و نیز با آثار زیست محیطی کمتر از موضوعات مورد بحث می باشد.

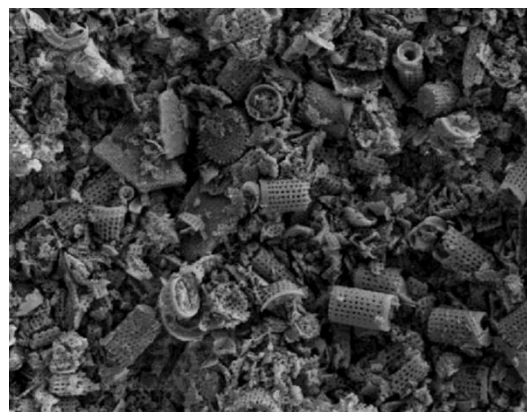
بتن پودری واکنشی نوعی از بتن های با مقاومت بالا و شکل پذیری بالا است که برای کاربردهای خاص تولید شده است. در این نوع بتن با حذف سنگدانه های درشت از بتن، یک ماتریس سیمانی همگن و متراکم بدست می آید که عملکرد مکانیکی بالایی را از خود نشان می دهد [1]. البته بالا بودن مقاومت فشاری در بتن پودری واکنشی تنها به حذف سنگدانه های درشت مربوط نیست؛ چرا که نتایج مطالعات روی جایگزینی انواع ماسه کوارتز

طوری که در حالت عادی دو برابر حجم خود می تواند آب جذب کند؛ این امر باعث کاهش روانی بتن می شود [4].

شکل (۲) نتایج پراش اشعه ایکس (XRD) روی دیاتومیت را نشان می دهد که توسط ابراهیم و سلیم در سال ۲۰۱۲ انجام شده است. همچنین در شکل (۳) الگوی پراش اشعه ایکس روی دوده سیلیسی و پودر کوارتز، انجام شده توسط تاورس و همکاران در سال ۲۰۲۰، قابل مشاهده است.

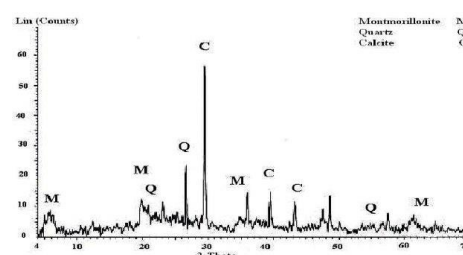
مطابق شکل های (۲ و ۳)، دوده سیلیسی بیشتر دارای ساختار آمورف و پودر کوارتز بیشتر دارای ساختار کریستالی است [6]؛ پودر دیاتومیت نیز هم دارای ذرات آمورف و هم دارای ذرات کریستالی است [7] که با درصد بالایی از سیلیس آمورف، واکنش های پوزولانی بیش تری نسبت به پودر کوارتز خواهد داشت.

فراگلويس و همکاران در سال ۲۰۰۴ میلادی با هدف جایگزینی دیاتومیت به عنوان یک ماده پوزولانی به جای قسمتی از سیمان برای ساخت ملات سیمان، مطالعاتی انجام دادند. در این تحقیق به بررسی دو نوع دیاتومیت رسی و آهکی از دو ناحیه مختلف در مصر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه تجربی نشان داد که با افزایش دیاتومیت، زمان گیرش ابتدایی و نهایی، نیاز به آب و نیز مقاومت بلند مدت همه نمونه ها بیشتر می شود [8]. کاستیس و همکاران در سال ۲۰۰۶ میلادی، اثر افزودن دیاتومیت بر هیدراتاسیون و خواص ملات های سیمانی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد واکنش پوزولانی دیاتومیت باعث تولید بیشتر محصولات هیدراتاسیون سیمان به ویژه در سن ۲۸ روزگی و در نتیجه بهبود خواص مکانیکی ملات های حاوی آن شده است. همچنین افزودن دیاتومیت منجر به افزایش میزان آب مورد نیاز می شود [9]. دیرمنچی و یلماز در سال ۲۰۰۹ میلادی، در تحقیقات خود از پودر دیاتومیت به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در تولید ملات سیمان استفاده کرده و آن را در در مقادیر ۰ و ۵ و ۱۰ و ۱۵ درصد مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران با توجه به نتایج آزمایش، جایگزینی سیمان پرتلند با دیاتومیت را تا ۵ درصد در تولید ملات سیمان پیشنهاد دادند [10]. ارگون در سال ۲۰۱۱ میلادی در تحقیقی روی جایگزینی دیاتومیت به جای بخشی از سیمان، خواص مکانیکی نمونه های بتنی مربوطه را مورد بررسی قرار داد. نتایج بررسی های وی حاکی



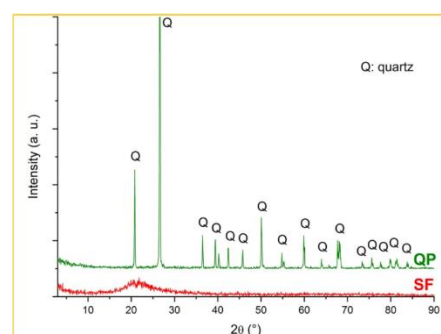
شکل ۱. ساختار ذرات دیاتومیت زیر میکروسکوپ [5].

Fig. 1. SEM images of the surface of diatomite particles [5].



شکل ۲. الگوی XRD برای دیاتومیت [6].

Fig. 2. XRD patterns of diatomite [6].



شکل ۳. الگوی XRD برای دوده سیلیسی و پودر کوارتز [7].

Fig. 3. XRD patterns of quartz powder and silica fume [7].

یکی از مصالح جایگزین پیشنهادی، نوعی پوکه سنگ رسوبی طبیعی با تخلخل بالا و چگالی کم با نام دیاتومیت است. دیاتومیت یک ماده پوزولانی سفید رنگ، حاوی سیلیس آمورف، سیلیس کریستالی و مقادیر جزئی مواد معدنی می باشد [3]؛ اغلب ۸۰ الی ۹۰ درصد آن را دی اکسید سیلیسیوم تشکیل می دهد و نیز دارای مقداری آلومینیوم و آهن است. مطابق شکل (۱) ساختار ذرات دیاتومیت دارای اشکال مختلف با تخلخل درون ذره ای است که باعث بهبود استحکام پیوند در ماتریس بتن می شود؛ همچنین دیاتومیت به علت همین ساختار خود، جذب آب بالایی دارد به

جدول ۱. مشخصات سیمان پرتلند نوع دو صوفیان

Table 1. Properties of Sufian cement of type two

Item	Unit	Value
Fineness (Blaine)	(cm ² / gr)	3230
Residue on 90 μ Sieve	(%)	3.86
Autoclave Expansion	(%)	0.18
Le Chatelier Expansion	(mm)	1.1
Initial Setting Time	(min)	115
Final Setting Time	(min)	185
Density	(gr/ cm ³)	3.16
3 days Compressive Strength	(kgf/ cm ²)	240
7 days Compressive Strength	(kgf/ cm ²)	345
28days Compressive Strength	(kgf/ cm ²)	465
L.O. I	(%)	1.36
Calcium oxide (CaO)	(%)	64.44
Silica (SiO ₂)	(%)	21.70
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	(%)	5.22
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	(%)	3.74
Magnesium oxide (MgO)	(%)	2.22
Potassium oxide (K ₂ O)	(%)	0.58
Sodium oxide (Na ₂ O)	(%)	0.22
Chloride Ion (Cl)	(%)	0.010
Others	(%)	0.51

دوده سیلیسی: دوده سیلیسی استفاده شده از معدن سمنان (کارخانه فروسیلیسیوم ایران) تهیه شده که دارای خلوص بالا می باشد؛ خواص فیزیکی و شیمیایی آن به شرح جدول (۲) است.

پودر کوارتز: پودر کوارتز مصرفی از شرکت معدن گوهرا نیک اصفهان، تهیه شده که مطابق اطلاعات داده شده، از الک شماره ۲۳۰ (۷۵ میکرومتر) عبور داده شده است. همچنین در آزمایشگاه بتن مربوطه، نیز از ریزترین الک موجود یعنی الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرومتر) مجدداً عبور داده شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن مطابق جدول (۳) می باشد.

پودر دیاتومیت: دیاتومیت از میکرو فسیل های سیلیکاتی تک سلولی های آبی به نام دیاتوم تشکیل شده و به صورت پوکه سنگ های رسوبی سفید رنگ و نرم در طبیعت مشاهده می شوند. از ویژگی های دیاتومیت می توان به سطح ویژه زیاد، نفوذپذیری زیاد جذب آب بالای، اندازه ریزذرات، تخلخل زیاد و انتقال گرمایی کم اشاره کرد. دیاتومیت در لایه های نزدیک سطح زمین تشکیل می شود. به سبب نرم بودن آن نیاز به استفاده از مواد منفجره برای

ازافزایش مقاومت فشاری بتن های حاوی جایگزینی سیمان با دیاتومیت ۵٪ و ۱۰٪ است. او به این نتیجه رسید که از نظر اقتصادی و زیست محیطی استفاده از این مواد به عنوان جایگزین سیمان در تولید مخلوط های بتن با دوام تر منطقی است [3]. پوکورنی و همکاران در سال ۲۰۱۹ در تحقیقی نتیجه گرفت که فعالیت پوزولانی بالای دیاتومیت منجر به کاهش تخلخل و افزایش مقاومت فشاری بتن می شود [11]. سعیدی و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی بخاطر نبود دوده سیلیسی و سرباره در استان آچه اندونزی، از پودر خاک دیاتومه کلسینه شده به عنوان جایگزینی جزئی از سیمان استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که میزان اسلامپ با افزایش درصد خاک دیاتومیت کاهش می یابد. آن ها با جایگزین کردن دیاتومیت با ۵٪ و ۱۰٪ از سیمان به این نتیجه رسیدند که باعث کاهش مقاومت فشاری می شود که دلیل آن می تواند به کم شدن عیار سیمان مربوط باشد [12]. در پژوهش لی و همکاران در سال ۲۰۲۳ میلادی از دیاتومیت بازیافتی برای جایگزینی بخشی از سیمان برای ساخت ملات سیمان استفاده کرده اند. با توجه به نتایج مشخص شد با افزایش مقدار دیاتومیت جایگزین، میزان آب و زمان گیرش افزایش می یابد. از نظر مقاومت فشاری، جایگزینی ۱۰ درصد دیاتومیت در ۲۸ روز مقاومت بالاتری داشته اما جایگزینی دیاتومیت ۲۰٪ در ۹۰ روز استحکام بالاتری از خود نشان داد [13].

اهداف پژوهش: از آن جا که دیاتومیت دارای سیلیس آمورف و سیلیس کریستالی است، پس احتمال داده می شود که جایگزین مناسبی برای پودر کوارتز بوده و باعث افزایش مقاومت بتن پودری واکنشی شود. همچنین چون معدن دیاتومیت در منطقه وجود دارد، استفاده از این مصالح بومی، صرفه اقتصادی داشته و موجب کاهش هزینه نهایی تولید بتن پودری واکنشی می شود. این فرضیه در این تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد.

۲- مواد و روش ها

سیمان: سیمان مورد استفاده برای ساخت نمونه ها از کارخانه سیمان صوفیان (در نزدیکی تبریز) تهیه شده است. سیمان مصرفی، سیمان پرتلند نوع دو می باشد که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۵. مشخصات ماسه سیلیسی قوم تپه

Table 5. Properties of silica sand of Qumtapeh

Item	Unit	Value
Density	(gr/ cm ³)	2.63
SSD water absorption	(%)	0.7 - 1
Size	(mm)	<0.6
Color	-	Gray
Moisture	(%)	0.2
Silica (SiO ₂)	(%)	61.84
Aluminium oxide (Al ₂ O ₃)	(%)	15.20
Magnesium Oxide (MgO)	(%)	1.32
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	(%)	3.92
Calcium Oxide(CaO)	(%)	3.51
SO ₃	(%)	<0.05
Na ₂ O	(%)	4.83
K ₂ O	(%)	3.53
MnO	(%)	0.08
FeO	(%)	0.43
Fe ₃ O ₄	(%)	1.37
BaO	(%)	0.11
Fei	(%)	3.73
L.O. I	(%)	3.36
P ₂ O ₅	(%)	0.19
TiO ₂	(%)	0.69

رسیدن به معدن آن نیست و با ماشین آلاتی مانند لودر نیز به راحتی قابل استخراج می باشد. برای تهیه پودر دیاتومیت از معدن دیاتومیت ممقان در نزدیکی شهر ممقان (کیلومتر ۳۵ جاده تبریز - مراغه) استفاده شده است. دیاتومیت موجود در معدن پس از خشک شدن و آسیاب شدن از الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرومتر) رد شده و کاملاً به صورت پودر ریز در نمونه های ساخته شده به کار رفته است. جدول (۴) مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن را نشان می دهد.

ماسه سیلیسی: ماسه مورد استفاده از معدن قوم تپه تبریز

استخراج شده که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۵) ذکر شده است. دانه بندی آن نیز مطابق شکل (۴) می باشد.

همه دانه های این معدن از الک ۶۰۰ میکرون عبور می کند؛ اما در رگه های مختلف این معدن مقدار عبوری از الک ۳۰۰ میکرون متفاوت می باشد. مطابق نمودار دانه بندی ماسه سیلیسی، تقریباً ۱۰۰٪ ماسه از الک شماره ۳۰ رد شده و ۶۵٪ ماسه روی الک شماره ۵۰ مانده است.

جدول ۲. مشخصات دوده سیلیسی

Table 2. Properties of the silica fume

Item	Unit	Value
Shape	-	Amorphous
Particle shape	-	Spherical
specific gravity	(kg/ m ³)	400-600
specific surface area	(m ² / kg)	20000-25000
Colour	-	Gray
Size	(nm)	229
Silica (SiO ₂)	(%)	96.4
Aluminium oxide (Al ₂ O ₃)	(%)	1.32
Magnesium Oxide (MgO)	(%)	0.97
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	(%)	0.87
Calcium Oxide(CaO)	(%)	0.49
Carbon (C)	(%)	0.3
SO ₃	(%)	0.1
Sodium oxide (Na ₂ O)	(%)	0.31
Potassium oxide (K ₂ O)	(%)	1.01
H ₂ O	(%)	0.08

جدول ۳. مشخصات پودر کوارتز

Table3. properties of Quartz powder

Item	Unit	Value
Density	(gr/ cm ³)	2.68
Shape	-	Crystalline
Colour	-	White
L.O. I	(%)	0.28
Calcium oxide (CaO)	(%)	0.7
Silica (SiO ₂)	(%)	96.6
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	(%)	0.23
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	(%)	0.03
Magnesium oxide (MgO)	(%)	<0.1
Potassium oxide (K ₂ O)	(%)	0.02
Sodium oxide (Na ₂ O)	(%)	<0.1
SO ₃	(%)	0.04

جدول ۴. مشخصات پودر دیاتومیت ممقان

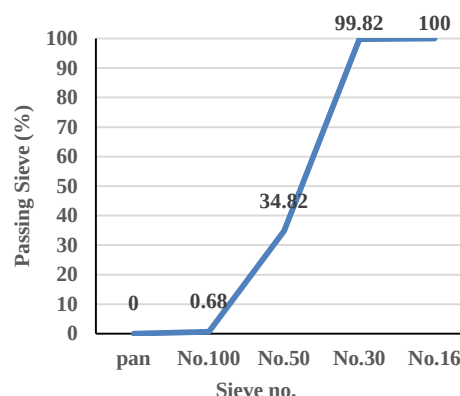
Table 4. Properties of Diatomite powder

Item	Unit	Value
Density	(gr/ cm ³)	2.21
Colour	-	White
L.O. I	(%)	3.04
Calcium oxide (CaO)	(%)	0.98
Silica (SiO ₂)	(%)	90.4
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	(%)	2.15
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	(%)	0.71
Magnesium oxide (MgO)	(%)	0.64
Potassium oxide (K ₂ O)	(%)	0.2
Sodium oxide (Na ₂ O)	(%)	0.45

جدول ۶. مشخصات فنی فوق روان کننده

Table 6. Properties of the superplasticizer

Colour	yellow
Physical state	Liquid
Density	0.02(gr/ cm ³)±1.1
Chloride content	< 1.5 %
Na ₂ O	< 0.1 %
PH	5-7



شکل ۴. نمودار دانه بندی ماسه سیلیسی مصرفی

Fig. 4. Granulation curve of the used Silica sand

جدول ۷. نسبت های مخلوط بتنی برای نمونه ها

Table 7. concrete mix-ratios for the types of samples

Item	Mix-ratios		DP0	DP25	DP50	DP75	DP100	DP75-R	DP100-R
	Unit								
Water/Cement	ratio		0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.273	0.293
Water/Cementitious material	ratio		0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.195	0.209
Cement	kg/m ³		750	750	750	750	750	750	750
Silica fume	kg/m ³		140	140	140	140	140	140	140
Silica sand	kg/m ³		860	860	860	860	860	860	860
Diatomite powder	kg/m ³		0	40	80	120	160	120	160
Quartz powder	kg/m ³		160	120	80	40	0	40	0
Water	kg/m ³		195	195	195	195	195	205	220
Super-plasticizer	kg/m ³		28	28	28	28	28	28	28

کارایی و روانی بتن حاصل کمتر از حالت معمول شد، طرح ها اصلاح شدند که با پسوند R نشان داده شده است. برای هر طرح مخلوط ۱۰ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متر، برای تعیین هر یک از مقاومت های فشاری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه سه نمونه و یک نمونه برای تعیین جذب آب ASTM ساخته شد. همچنین ۹ نمونه استوانه ای با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی متر، برای انجام آزمایش دونیم شدن در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه (برای هر سن سه نمونه) ساخته شده است.

۴- آماده کردن بتن پودری واکنشی و قالب گیری نمونه ها

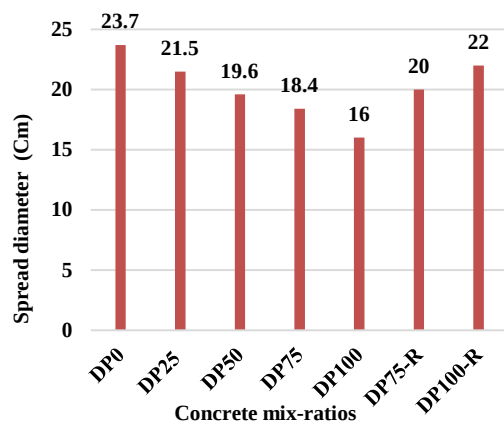
برای مخلوط کردن بتن پودری واکنشی از مخلوط کن استفاده شد که کاملاً به صورت همگن بتن را مخلوط می کند. طبق نیاز و شرایط مصالح از روش ۳ مرحله ای برای مخلوط کردن مصالح استفاده شد. ابتدا یک پنجم هرکدام از مصالح خشک، یعنی ماسه، پودر کوارتز، دیاتومیت، دوده سیلیسی و سیمان داخل مخزن

فوق روان کننده: در این پژوهش از فوق روان کننده شرکت البرزشیمی استفاده شده که مشخصات شیمیایی و فیزیکی آن در جدول ۶ آمده است.

۳- طرح های مخلوط بتن پودری واکنشی

برای دستیابی به یک بتن شاهد با کمترین قیمت و بیشترین ظرفیت های بتن پودری واکنشی ۴ طرح مخلوط با دو نوع فوق روان کننده از دو کارخانه متفاوت ساخته و آزمایش مقاومت فشاری هفت روزه روی آنها انجام شد. با مقایسه نتایج بدست آمده، یک طرح مخلوط به عنوان بتن مبنا یا بتن شاهد انتخاب شد.

مطابق جدول (۷)، تعداد طرح های مخلوط اصلی آزمایش شده در این تحقیق ۷ می باشد که DP0 مربوط به بتن شاهد است. جایگزینی دیاتومیت به جای پودر کوارتز با درصدهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ انجام شد. به دلیل اینکه در جایگزینی های ۷۵ و ۱۰۰٪



شکل ۵. نتایج بررسی روانی نمونه‌های بتنی با آزمایش میزجریان

Fig. 5. Flow table test results for RPC samples

برای افزایش روانی باید یا مقدار آب و یا مقدار فوق‌روان‌کننده را افزایش داد که افزایش آب بدون هزینه‌است. همچنین چون مقدار زیادی سیمان هیدراته نشده در محیط بتن‌پودری واکنشی، وجود دارد (یعنی جدار نازکی از دانه‌ها سیمان هیدراته شده‌اند و در نتیجه سیمان هیدراته نشده زیادی برای واکنش با آب وجود دارد) و بنابراین افزایش آب در این حالت مشکلی از لحاظ مقاومت بتن ایجاد نخواهد کرد. با اصلاح طرح‌های مذکور، قطر پخش شدگی طرح مخلوط جایگزینی ۷۵٪ از ۱۸/۴ سانتی‌متر به ۲۰ سانتی‌متر و جایگزینی ۱۰۰٪ دیاتومیت از ۱۶ سانتی‌متر به ۲۲ سانتی‌متر رسیده است.

هردوی پودرهای دیاتومیت و کوارتز دانه‌ریز بوده و سطح مخصوص بالایی دارند؛ دانه‌های پودر کوارتز دانه‌های توپری هستند ولی دانه‌های پودر دیاتومیت اشکال مختلفی داشته و بیشتر دارای حفره‌های درون ذره‌ای می‌باشند که باعث جذب آب بیشتر پودر دیاتومیت می‌شود. این آب جذب و حبس شده در درون این ذرات، در ادامه کمک شایانی به فرآیند عمل‌آوری نمونه‌های بتنی خواهند کرد. از طرف دیگر مشارکت ذرات پودر دیاتومیت در واکنش‌های پوزولانی نسبت به پودر کوارتز، خیلی بیشتر خواهند؛ بنابراین احتمال زیاد می‌دادیم که مقاومت بالاتر رود که در ادامه مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۵ نتایج آزمایش مقاومت فشاری

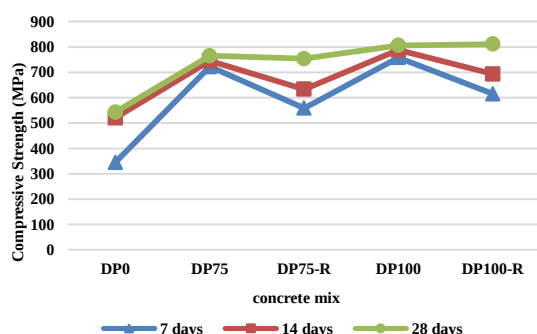
در شکل (۶) یک نمونه بتنی بعد از آزمایش مقاومت فشاری توسط جک هیدرولیکی دیده می‌شود. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول (۸) مشاهده می‌شود.

مخلوط‌کن ریخته شده و این کار ۵ مرتبه تکرار می‌شود تا مصالح لایه لایه پشت سر هم در دیگ مخلوط‌کن ریخته و راحت تر مخلوط شوند. سپس به مدت ۵ دقیقه اختلاط خشک با مخلوط‌کن انجام شد. بعد از آن آب با فوق روان‌کننده مخلوط شده و نصف آن به مخلوط اضافه و ۸ دقیقه مخلوط شدند. در آخر آب باقی‌مانده به مخزن اضافه و ۸ دقیقه دیگر هم‌زدن ادامه یافت. بعد از مخلوط نمودن بتن، ابتدا آزمایش میز جریان برای تعیین روانی بتن انجام شد. سپس بتن در قالب‌های از قبل آماده و روغن‌کاری شده ریخته شد. این کار در ۳ مرحله انجام و با میله کوبی متراکم و سطح بتن‌ها با شمشه مخصوص صاف شد. نمونه‌های داخل قالب، روی میز قرار داده و روی آن‌ها با نایلون و گونی، برای از دست ندادن سریع آب و خشک نشدن سطح آزاد بتن زودتر از داخل آن، پوشانده شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت از بتن‌ریزی، نمونه‌ها از قالب خارج شده و بعد از وزن کردن، در آب با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد عمل‌آوری شدند. قبل از انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی نیز، نمونه‌ها با حوله خشک و در حالت SSD وزن شدند.

۵- بررسی نتایج آزمایش‌ها

۱-۵ نتایج آزمایش میز جریان

برای تعیین میزان کارایی بتن، آزمایش میز جریان طبق ASTM C230 انجام شد که مطابق این استاندارد قطر پخش‌شدگی برای ملات استاندارد در محدوده ۲۱/۵ - ۲۰ سانتی‌متر پیشنهاد شده است؛ این عدد برای بتن پودری واکنشی می‌تواند بیشتر هم در نظر گرفته شود، زیرا اولاً به علت ریزدانه بودن، یکنواختی و پیوستگی زیاد میانه دانه‌ها امکان جداسازی ذرات وجود ندارد؛ همچنین برای بتن‌ریزی در جاهایی که تراکم آرماتور بیشتر است روانی بیش‌تری لازم است. با افزایش میزان جایگزینی پودر دیاتومیت، به دلیل خاصیت جذب آب بالای پودر دیاتومیت، کاهش کارایی محسوس می‌باشد. به طوری‌که برای طرح‌های DP75 و DP100 نیاز به اصلاح کارایی بتن وجود داشت تا به روانی موردنظر برسند. شکل (۵) نتایج ثبت شده از این آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۸. مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌ها با جایگزینی ۷۵ و ۱۰۰٪ پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز، قبل و بعد از اصلاح روانی

Fig. 8. Comparing the compressive strength of the samples with 75 and 100% diatomite powder replacement instead of quartz powder, before and after correction of consistency of Concrete

باتوجه به اینکه روانی و کارایی دو طرح DP75 و DP100 مطلوب نبودند، اصلاحیه طرح‌ها برای روانی بهتر انجام و دو طرح DP75-R و DP100-R ساخته شدند. مطابق شکل ۸، نتایج بررسی آن‌ها نیز در سنین ۲۸ روزه افزایش مقاومت فشاری را نشان داد. DP75-R و DP100-R نسبت به DP75 و DP100 آب بیش‌تری دارند، با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی نیز مقاومت فشاری کاهش خواهد یافت. کاهش مقاومت فشاری مشاهده شده بین دو طرح مذکور در سن ۷ و ۱۴ روز، قبل و بعد از اصلاح روانی، مربوط به افزایش مقدار آب است و مربوط به جایگزینی پودر دیاتومیت نیست. البته در هیچ کدام از این نمونه‌ها مقاومت فشاری نسبت به بتن مبنا کاهش نیافته است و همواره حالت افزایشی دارد. با توجه به اینکه واکنش‌های پوزولانی با تاخیر رخ می‌دهد، از این رو در سن ۲۸ روزه مقاومت فشاری DP75-R تقریباً به مقاومت فشاری DP75 رسیده و مقاومت فشاری DP100-R نیز نسبت به مقاومت فشاری DP100، ۹ درصد افزایش یافته است؛ در این نمونه قابل توجه است که با وجود افزایش نسبت آب به مواد سیمانی افزایش مقاومت فشاری همچنان اتفاق افتاده است. علت این امر را می‌توان اینگونه توضیح داد که ذرات پودر دیاتومیت دارای منافذ درون‌ذره‌ای و در نتیجه، دارای سطح مخصوص و جذب آب خیلی بیش‌تری نسبت به پودر کوارتز است؛ دلیل دیگر آن است که با اصلاح روانی این دو طرح و با افزایش مقدار آب و در نتیجه افزایش نسبت آب به مواد سیمانی، واکنش‌های پوزولانی بین ذرات سیمان و ذرات پوزولان (دوده سیلیسی و دیاتومیت) و CaO و MgO آزاد موجود در سیمان، افزایش یافته است (واضح است که CaO و MgO آزاد موجود در سیمان در هنگام اختلاط به شکل CaOH_2 و MgOH_2 درآمده و یونیزه شده است).



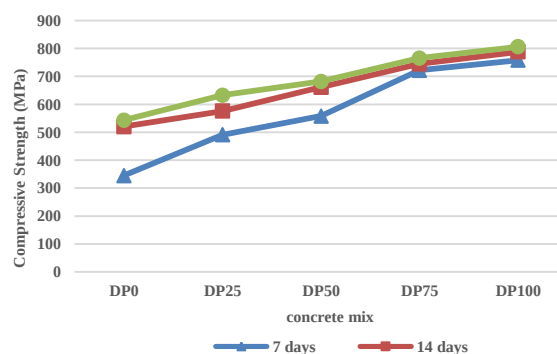
شکل ۶. نمونه بتنی بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری

Fig. 6. Concrete sample after compressive strength test

جدول ۸. مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین مختلف عمل‌آوری

Table 8. Compressive strength of RPC samples at different curing times

Concrete mix-ratios	The compressive strength (MPa)		
	7 days	14 days	28 days
DP0	345	520	543
DP25	491	576	632.5
DP50	558	661	682
DP75	722	745	765.5
DP100	758	788	806
DP75-R	559	633.5	754
DP100-R	615	693	811.5



شکل ۷. مقاومت فشاری نمونه‌ها در زمان‌های مختلف عمل‌آوری

Fig. 7. Compressive strength of RPC samples at different curing times

مطابق شکل (۷) با افزایش درصد جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز، مقاومت فشاری نمونه‌ها به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش دارد. همچنین در تمامی طرح‌ها با افزایش سن نمونه‌ها، مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت؛ به طوری که نمونه DP100 با ۱۰۰٪ جایگزینی در سن‌های ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه به ترتیب ۱۱۹/۷، ۵۱/۵ و ۴۸/۴ درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد (DP0) دارد. از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که امکان جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز وجود دارد.

با افزایش سن نمونه‌ها، به طور معمول، مقاومت کششی نیز افزایش دارد.

مطابق شکل (۱۰) در نمونه DP100-R با ۱۰۰٪ جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه به ترتیب ۱۲۲، ۲۲ و ۱۸ درصد افزایش مقاومت کششی اتفاق افتاده است. با توجه به مقاومت کششی طرح مخلوط DP0 در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه، مقاومت کششی ۷ روزه پایین‌تر از مقاومت ۱۴ و ۲۸ روزه می‌باشد، اما در جایگزینی‌های ۲۵٪ به بعد این فاصله کم‌تر شده است. دلیل این امر آن است که ذرات پودر دیاتومیت مقدار بیش‌تری از آب را در ابتدا به خود جذب کرده و نسبت آب به مواد سیمانی را کاهش داده است. سپس واکنش‌های هیدراتاسیون پیشرفت و کریستال‌ها رشد نموده و فضاهای خالی را پر کرده‌اند که باگذشت زمان آب حبس شده در ذرات دیاتومیت استفاده شده است؛ بنابراین ملاحظه می‌شود که مقاومت کششی ما بین DP0 و DP100 در عمر ۷ روزه اختلاف زیادتری دارند که ۱۱۲٪ افزایش اتفاق افتاده است اما در سنین ۱۴ و ۲۸ روزه، افزایش به ترتیب ۲۲٪ و ۱۸٪ می‌باشد.

چون در داخل بتن پودری واکنشی، دوده سیلیسی به عنوان یک پوزولان قوی وجود دارد پس در بتن شاهد هم ذرات دوده سیلیسی با تاخیر وارد عمل شده‌اند و مقاومت بتن شاهد در عمر ۱۴ روزه و ۲۸ روزه خیلی افزایش یافته است. بنابراین نسبت افزایش مقاومت با جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز در عمر ۷ روزه، خیلی بیشتر است ولی در عمرهای ۱۴ روزه و ۲۸ روزه همانطور که ذکر شد به ترتیب ۲۲٪ و ۱۸٪ می‌باشد.

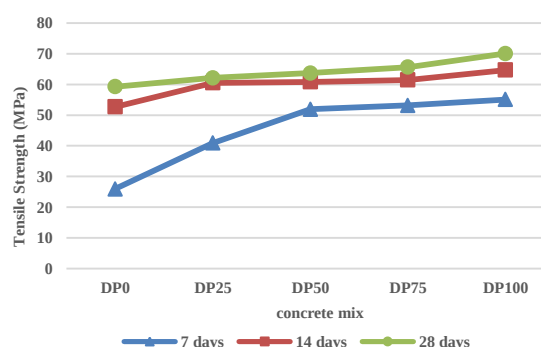
۴-۵- جذب آب طبق استاندارد ASTM

در این قسمت از آزمایش‌ها طبق استاندارد ASTM C1585، نمونه‌های بتنی ۲۸ روزه مورد نیاز است که حجم آن از ۳۵۰ سانتی‌متر مکعب یا وزن آن از ۸۰۰ گرم کم‌تر و نیز حاوی ترک‌های قابل مشاهده و یا جداسدگی و درهم‌شکسته نباشد. برای انجام این آزمایش ابتدا باید وزن خشک نمونه‌های ۲۸ روزه به دست آید که به این منظور نمونه داخل آون با دمای ۱۰۰ الی ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و بعد از ۲۴ ساعت نمونه را از آون خارج و توزین می‌شود؛ اگر وزن آن نسبت به وزن اولیه نمونه تغییری کمتر از ۰/۵ درصد داشته باشد، این وزن ثبت می‌شود. ولی

جدول ۹. مقاومت کششی نمونه‌ها در سنین مختلف عمل‌آوری

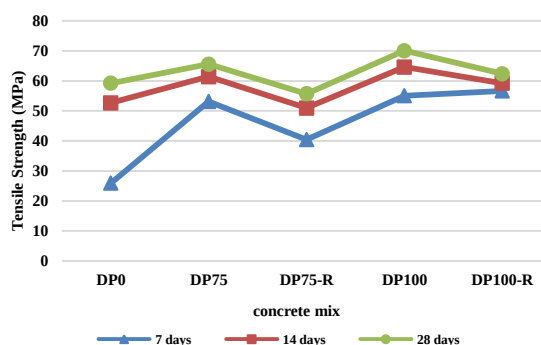
Table 9. Tensile strength of RPC samples at different curing times

Concrete mix-ratios	The Tensile strength (MPa)		
	7 days	14 days	28 days
DP0	25.96	52.71	59.24
DP25	40.92	60.51	62.10
DP50	51.91	60.83	63.69
DP75	53.18	61.46	65.61
DP100	55.10	64.65	70.06
DP75-R	40.45	50.96	55.73
DP100-R	56.69	59.24	62.42



شکل ۹. مقاومت کششی نمونه‌ها در سنین مختلف عمل‌آوری

Fig. 9. Tensile strength of RPC samples at different curing times



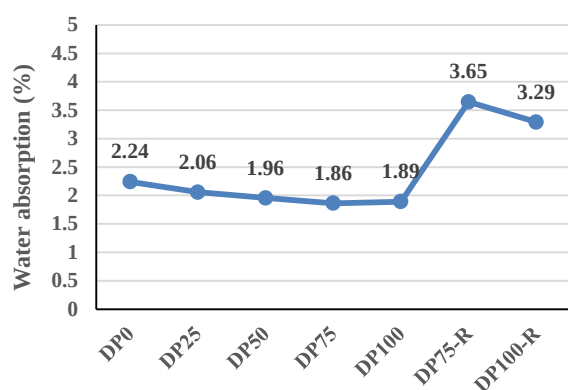
شکل ۱۰. مقایسه مقاومت کششی نمونه‌ها با جایگزینی ۷۵ و ۱۰۰٪ پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز، قبل و بعد از اصلاح روانی

Fig. 10. Comparing the tensile strength of the samples with 75 and 100% diatomite powder replacement instead of quartz powder, before and after correction of consistency of concrete

۳-۵- نتایج آزمایش مقاومت کششی

نتایج آزمایش مقاومت کششی (آزمایش دینیم‌شدن و یا کشش برزیلی)، در جدول (۹) آمده است.

همان‌طور که در شکل (۹) قابل مشاهده است با افزایش جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز مقاومت کششی نیز مانند مقاومت فشاری افزایش یافته است. همچنین در تمامی طرح‌ها



شکل ۱۱. جذب آب استاندارد

Fig. 11. Water absorption (%)



شکل ۱۲. نمونه‌های بتنی مکعبی

Fig. 12. Cubic concrete specimens

۵-۵- جذب آب حین عمل‌آوری

نتایج آزمایش‌های این بخش نمایانگر روند هیدراتاسیون نمونه‌ها می‌باشد. چون آب آزاد نسبت به آب ژل و آب ژل نیز نسبت به آب مولکولی چگالی کمتری دارد؛ لذا با پیشرفت هیدراتاسیون جذب آب ادامه خواهد داشت و باگذشت زمان کندتر خواهد شد. یعنی با افزایش واکنش‌های هیدراتاسیون و تشکیل کریستال‌ها، آب ژل موجود در نمونه به آب مولکولی تبدیل شده و حجم کم‌تری را اشغال می‌کند که منجر به تداوم جذب آب می‌شود و این روند چرخشی تا هیدراتاسیون کامل نمونه‌ها ادامه پیدا می‌کند. برای محاسبه این مولفه، ابتدا نمونه‌ها بعد از باز کردن از قالب، توزین شده و سپس در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه بعد بیرون آوردن از حوضچه با حوله خشک شده (شکل ۱۲) و در حالت SSD با ترازوی دقیق توزین شد؛ در نهایت با استفاده از رابطه (۲) جذب آب حین عمل‌آوری محاسبه شد، نتایج در شکل (۱۳) ارائه شده است.

(۲) درصد جذب آب حین عمل‌آوری

$$= \frac{(\text{جرم قبل از عمل‌آوری} - \text{جرم بعد از عمل‌آوری})}{\text{جرم قبل از عمل‌آوری}} \times 100$$

اگر این امر صادق نباشد ۲۴ ساعت دیگر نمونه در داخل آون قرار داده و تغییرات وزنی مجدداً نسبت به روز قبل محاسبه می‌شود. بعد از به دست آوردن وزن نمونه خشک شده آن را داخل حوضچه با آب عاری از هرگونه ناخالصی و ناپاکی با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده، بعد از ۷۲ ساعت از آب بیرون آورده و با حوله خشک نموده تا وزن SSD (یعنی حالت اشباع با سطح خشک) بدست آید. سپس با استفاده از فرمول ۱ مقدار جذب آب محاسبه می‌شود.

$$(1) \quad \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

درصد جذب آب = $\frac{(B - A)}{A} \times 100$

A: جرم نمونه خشک

B: جرم نمونه اشباع با سطح خشک (SSD)

در شکل (۱۱) نمودار جذب آب ASTM برای درصد‌های مختلف جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز نمایش داده شده است. جذب آب ASTM C1585 نشان‌دهنده تخلخل داخل نمونه (حجم لوله‌های مویینه و حباب‌های اتفاقی) را نشان می‌دهد؛ پس با افزایش جذب آب استاندارد انتظار می‌رود که مقاومت فشاری کاهش یابد. در DP75-R افزایش مقاومت فشاری مربوط به واکنش‌های پوزولانی است که البته تأثیر تخلخل جزئی بوده و اثر واکنش‌های پوزولانی غالب بوده‌اند.

با توجه به نمودار شکل (۱۱) می‌توان نتیجه گرفت که دیاتومیت باعث کاهش تخلخل شده است. افزایش میزان آب در نمونه‌های با طرح مخلوط اصلاح شده (DP75-R و DP100-R) باعث تخلخل بیش‌تری نسبت به نمونه‌های اصلاح نشده، می‌باشد. البته قابل ذکر است که در همان دو طرح مخلوط اصلاح شده هم افزایش درصد دیاتومیت باعث کاهش تخلخل نیز شده است.

برای تحلیل روند کاهش یا افزایش تخلخل با افزایش مقدار جایگزینی دیاتومیت دو طرح مخلوط اصلاح شده باید جدا از نمونه‌های دیگر بررسی شود. با افزایش مقدار آب در نمونه‌های اصلاح شده واضح است که حجم لوله‌های مویینه افزایش خواهد یافت؛ لذا پنج طرح DP0، DP25، DP50، DP75 و DP100 باهم مقایسه می‌شوند که نشان‌دهنده کاهش تخلخل با افزایش مقدار دیاتومیت می‌باشد. در دو طرح مخلوط دیگر نیز همین روند اتفاق افتاده است و با افزایش مقدار دیاتومیت در نمونه‌های اصلاحی تخلخل کم شده است.

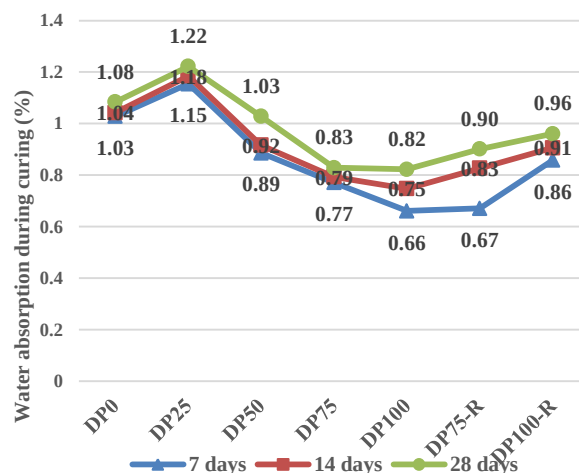
عمل آوری، کاهش یافته است. البته این تغییرات خیلی جزئی هستند مثلاً برای نمونه‌های ۲۸ روزه برای نمونه شاهد جذب آب برابر ۱/۰۸٪ و برای نمونه DP25 برابر ۱/۲۲٪ می‌باشد. یعنی اختلاف آنها ۱۴/۰٪ است.

با اصلاح نسبت آب به سیمان در طرح‌های مخلوط DP75-R و DP100-R شاهد افزایش جزئی هیدراتاسیون نسبت به حالت قبل از اصلاح هستیم. در حالت کلی با توجه به این که با افزایش مقدار جایگزینی، مقاومت فشاری افزایش داشته است بنابراین واکنش‌های هیدراتاسیون نیز در واقعیت افزایشی بوده است. دلیل این امر آن است که مقداری از آب توسط ذرات دیاتومیت جذب شده است و سپس باگذشت زمان در ادامه روند هیدراتاسیون به کار برده می‌شوند چرا که جذب آب ذرات دیاتومیت به دلیل حفره‌های درون ذره‌ای، خیلی بیشتر از پودر کوارتز است. این دو روند هر دو هم‌زمان اتفاق افتاده است.

۵-۶- نتایج وزن مخصوص

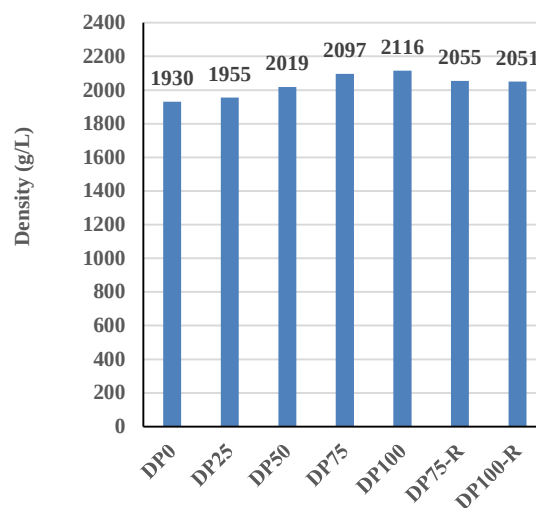
در شکل (۱۴) نتایج وزن مخصوص ارائه شده است. مطابق این شکل، زمانی که پودر دیاتومیت جایگزین پودر کوارتز می‌شود، وزن مخصوص نمونه‌ها افزایش می‌یابد. در نمونه‌های اصلاح شده به دلیل افزایش مقدار آب، وزن مخصوص نسبت به طرح‌های مخلوط اصلاح نشده کاهش می‌یابد. در طرح مخلوط (DP100)، وزن مخصوص ۹/۵ درصد نسبت به (DP0) افزایش یافت. در طرح مخلوط (DP100-R)، وزن مخصوص نسبت به (DP0) ۵/۶ درصد افزایش یافت.

روند افزایشی از DP0 تا DP100 کاملاً مشاهده می‌شود که به احتمال زیاد مربوط به واکنش‌های پوزولانی پودر دیاتومیت با دوده سیلیسی، آب و ذرات سیمان است. دو طرح اصلاحی به خاطر افزایش مقدار آب، اندکی کاهش در چگالی را نشان می‌دهند اما نسبت به بتن شاهد ملاحظه می‌شود که این دو طرح نیز افزایش چگالی دارند. پس جایگزینی پودر دیاتومیت با افزایش واکنش‌های پوزولانی، تراکم و توپری بتن و در نتیجه آن نیز، چگالی را افزایش داده است؛ همچنین مطابق آنچه در بخش (۵-۲) نتایج آزمایش مقاومت فشاری) ملاحظه شد، مقاومت فشاری را نیز افزایش داده است.



شکل ۱۳. درصد جذب آب حین عمل آوری

Fig. 13. Water absorption during curing (%)



شکل ۱۴. وزن مخصوص نمونه‌ها

Fig. 14. Density of the samples

با بررسی نتایج جذب آب حین عمل آوری، می‌توان دریافت که با افزایش سن نمونه‌ها هیدراتاسیون افزایش یافته است. در بحث روند جایگزینی نیز می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل افزایش دیاتومیت هیدراتاسیون کمی کاهش داشته است که احتمالاً علت آن وجود واکنش‌های پوزولانی مابین دیاتومیت، دوده سیلیسی، سیمان و آب و همچنین جذب آب اولیه ذرات پودر دیاتومیت در هنگام اختلاط، باشد؛ که این آب درون ذره‌ای بعداً مورد استفاده واکنش‌های پوزولانی قرار می‌گیرد. در جایگزینی ۲۵٪ که مقدار ذرات پودر دیاتومیت کم است پس آب درون ذره‌ای این‌ها هم کم است و برای نیاز واکنش‌های پوزولانی، جذب آب کمی افزایش یافته است؛ اما با افزایش مقدار پودر دیاتومیت، جذب آب حین

۶- نتیجه گیری

- هدف تحقیق امکان سنجی استفاده از مصالح بومی در ساخت بتن پودری واکنشی، برای کاهش هزینه ها و آثار محیط زیستی در عین افزایش کارایی، بود. از این رو جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز در تولید بتن پودری واکنشی برای صنعت ساخت و ساز و با تاکید بر عمل آوری مشابه کارگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جایگزینی مذکور امکان پذیر بوده و قیمت نهایی بتن پودری واکنشی نیز کاهش می یابد. از مهم ترین نتایج به دست آمده از این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره کرد:
 - در شرایط کارگاهی نیز می توان بتن هایی با مقاومت بالا و فوق توانمند در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد تولید کرد.
 - پودر دیاتومیت جایگزین مناسبی برای پودر کوارتز می باشد چرا که با افزایش درصد جایگزینی بهبود چشمگیر مشخصات مکانیکی بتن پودری واکنشی مشاهده شد؛ علت این امر آن است که درصد بالایی از پودر دیاتومیت به صورت آمورف است و در نتیجه در واکنش های پوزولانی، سهم بیش تری نسبت به پودر کوارتز که اغلب کریستاله است، دارد.
 - با افزایش جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز، به دلیل جذب آب بالای پودر دیاتومیت، بتن برای افزایش کارایی به آب بیش تری نیاز دارد. بنابراین با ثابت نگه داشتن نسبت مقدار آب به سیمان و افزایش هم زمان درصد جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز، روانی بتن کاهش می یابد.
 - جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز باعث افزایش فوق العاده در مقاومت فشاری می شود. به طوری که افزایش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه، در نمونه های شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز به ترتیب برابر ۱۶/۴۸، ۲۵/۶، ۴۰/۹۸ و ۴۸/۴۳ درصد است.
 - در طرح های اصلاحی DP75-R و DP100-R هم که مقدار آب اندکی افزایش یافته است (برای اصلاح روانی DP75 و DP100)، همچنان افزایش مقاومت فشاری در همه سنین وجود دارد. این افزایش مقاومت نسبت به بتن شاهد در نمونه های ۲۸ روزه برای DP75-R و DP100-R به ترتیب ۳۸/۸۶ و ۴۹/۳۶ درصد می باشد. مشاهده می شود در طرح مخلوط (DP100-R) که مربوط به اصلاحیه (DP100) می باشد، که مقاومت فشاری ۲۸ روزه طرح اصلاحی که آب بیش تری نیز داشته است، از مقاومت فشاری قبل از
- اصلاح پیشی گرفته است.
- روند افزایش مقاومت کششی با جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز هم مشابه افزایش مقاومت فشاری است به طوری که افزایش مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه در نمونه های شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی به ترتیب برابر ۴/۸۳، ۷/۵۱، ۱۰/۷۵ و ۲۶/۱۸ درصد است. در دو طرح اصلاح شده DP75-R و DP100-R نیز افزایش مقاومت کششی به ترتیب ۸/۰۵٪ و ۴۲/۲۰٪ می باشد.
- علت افزایش مقاومت در نمونه های اصلاحی، با وجود افزایش نسبت آب به سیمان را می توان اینگونه بیان کرد که پودر دیاتومیت جذب آب بیش تری نسبت به پودر کوارتز دارد؛ در نتیجه آب اضافی مخلوط را در خود نگه داشته و در مراحل سخت شدن آن را به مرور پس می دهد. همچنین در بتن پودری واکنشی، جدار نازکی از ذرات سیمان هیدراته شده و بخش داخلی آن هیدراته نشده است؛ که با افزایش آب، در بخشی از قسمت های هیدراته نشده ذرات سیمان، می تواند واکنش های هیدراسیون انجام گیرد. همچنین احتمال ایجاد واکنش های پوزولانی جدید مابین ذرات سیمان، دوده سیلیسی و پودر دیاتومیت وجود دارد.
- جذب آب نمونه های ۲۸ روزه بر اساس آیین نامه ASTM C1585 بررسی شد و نتایج حاکی از آن است که جذب آب با افزایش درصد جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز کاهش می یابد؛ این موضوع حاکی از کاهش تخلخل و حفره ها در بتن است.
- با افزایش جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز، وزن مخصوص نمونه ها افزایش می یابد که به احتمال زیاد مربوط به واکنش های پوزولانی پودر دیاتومیت با دوده سیلیسی، آب و ذرات سیمان می باشد. دو طرح اصلاحی به خاطر افزایش مقدار آب، اندکی کاهش در چگالی را نشان می دهند اما نسبت به بتن شاهد ملاحظه می شود که این دو طرح نیز افزایش چگالی دارند. پس این موجب افزایش تراکم و توپری بتن و در نتیجه آن نیز، چگالی و مقاومت فشاری بتن شده است.

قدردانی نویسندگان

این تحقیق در آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام گرفته است و از همکاری همه

این مقاله وجود ندارد.

مسئولین مربوطه، مخصوصاً کارشناس محترم آزمایشگاه تشکر و قدردانی می گردد.

سهم نویسندگان

ما نویسندگان این مقاله اعلام می کنیم که همگی در انجام کار پژوهشی منجر به تولید این مقاله به اندازه مساوی (هر کدام ۵۰٪) همکاری داشته ایم و نام هیچ نویسنده ای بدون همکاری موثر در تولید این مقاله قید نشده است.

منابع مالی

هزینه های پژوهش منتج به این مقاله از گرنت استاد راهنما از طریق دانشگاه تامین شده است.

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای «اصلاح اسدی» با عنوان «بررسی تأثیر جایگزینی پودر دیاتومیت به جای پودر کوارتز و تأثیر توأم این روش همراه با جایگزینی ماسه معمولی ریزدانه به جای ماسه سیلیسی در بتن پودری واکنشی (RPC)» می باشد که با راهنمایی «دکتر بهمن شروانی تبار» در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام گرفته است.

تعارض منافع

تعارض منافع بین هیچ یک از عوامل مشارکت کننده در تولید

References

1. Richard, P. & Cheyrezy, M. 1995. Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), pp. 1501-1511.
2. Collepardi, S. et al. 1997. Mechanical properties of modified reactive powder concrete. *ACI Special Publications*, 173, pp. 1-22.
3. Ergün, A. 2011. Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(2), pp. 806-812.
4. Fragoulis, D. et al. 2005. The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), pp. 205-209.
5. Li, X., Sanjayan, J.G. & Wilson, J.L. 2014. Fabrication and stability of form-stable diatomite/paraffin phase change material composites. *Energy and Buildings*, 76, pp. 284-294.
6. Ibrahim, S.S. & Selim, A.Q. 2012. Heat treatment of natural diatomite. *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 48(2), pp. 413-424.
7. Tavares, L.R.C., Tavares Junior, J.F., Costa, L.M., Bezerra, A.C. da S., Cetlin, P.R. & Aguilar, M.T.P. 2020. Influence of quartz powder and silica fume on the performance of Portland cement. *Scientific Reports*, 10, Article 21461. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78580-4>
8. Kastis, D. et al. 2006. Properties and hydration of blended cements with calcareous diatomite. *Cement and Concrete Research*, 36(10), pp. 1821-1826.
9. Duxson, P. & Provis, J. 2008. Low CO2 concrete: are we making any progress? *Environment Design Guide*, pp. 1-7.
10. Degirmenci, N. & Yilmaz, A. 2009. Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars. *Construction and Building Materials*, 23(1), pp. 284-288.
11. Pokorny, J. et al. 2019. Properties of fine-grained concrete with admixture of diatomite powder. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing.
12. Saidi, T. et al. 2020. Mix design and properties of reactive powder concrete with diatomaceous earth as cement replacement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 933(1), p. 012007.
13. Lee, M.-G. et al. 2023. Mechanical and thermal insulation performance of waste diatomite cement mortar. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, pp. 4739-4748.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم؟

Shervani Tabar, B. and Asadi, A. 2025. Investigating The Effect of Replacing Diatomite Powder with Quartz Powder on The Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete. *Modares Civil Engineering journal*, 25(5), pp. 79-91.

DOI: 10.22034/25.5.6

