

مقایسه مقاومت‌های فشاری ۷ و ۲۸ روزه آزمایشگاهی بتن کارگاهی با پیش‌بینی مبحث نهم (مطالعه موردی بتن ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز)

علیرضا خالوا، مسعود پوربابا^۲، حسن پناهپور^۳

۱- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

۳- دانشجوی دکتری ژئوتکنیک دانشگاه تبریز

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (mpourbaba@yahoo.com)

چکیده

سازه‌های بتنی همواره بر اساس مقاومت فشاری ۲۸ روزه حاصل از نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد طراحی می‌شوند. به دلیل زمان‌بر بودن این پروسه، این مقاومت اغلب با بدست آوردن مقاومت فشاری ۷ روزه بتن و با استفاده از روابط متعدد موجود در آیین‌نامه‌ها تخمین زده می‌شود. مقاومت‌های بدست آمده از مصالح محلی به دلیل وجود تفاوت در ویژگی‌های مصالح مصرفی هر منطقه نسبت به منطقه دیگر، از جمله نوع سیمان مصرفی و طرح اختلاط استفاده شده، ممکن است دقیقاً منطبق بر روابط تبدیل مقاومت‌های فشاری ۷ روزه به مقاومت فشاری ۲۸ روزه در آیین‌نامه‌ها و استانداردها نباشد. به این منظور در تحقیق حاضر با استفاده از نتایج حاصل از ۳۴۵ آزمایش مقاومت فشاری بتن کارگاهی در شهر تبریز روابط بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه و ۷ روزه محاسبه شده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. طبق نتایج حاصل، ضریب تبدیل مقاومت ۲۸ روزه به ۷ روزه در مبحث نهم، ۲۶/۵ درصد بیشتر از نتایج تحقیق حاضر می‌باشد.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری بتن، سن ۲۸ روزه، سن ۷ روزه، مصالح محلی تبریز، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران

۱. مقدمه

بتن ماده‌ای است که از نقطه نظر مقاومت، در دسترس بودن، دوام و اقتصاد دارای مزیت‌های فراوانی است. در طراحی یک المان سازه‌ای بتنی، مقاومت فشاری بتن از جمله عوامل اساسی می‌باشد. مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن معمولاً به عنوان مقاومت طرح در نظر گرفته می‌شود. بدست آوردن این مقاومت و اطمینان از صحت آن ۲۸ روز به طول می‌انجامد که این مدت زمان از لحاظ روند کنترل کیفیت اختلاط بتن، بتن‌ریزی، متراکم‌سازی، عمل‌آوری و غیره بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی طرح اختلاط بتن شامل روندی است که معمولاً به صورت آیین‌نامه‌ای آماده شده و با تجربه مهندس مربوطه مخلوط می‌شود. در این میان ممکن است به دلیل وجود خطاهایی در طرح اختلاط و یا به هنگام مخلوط بتن در کارگاه، مقاومت فشاری بتن به مقاومت فشاری طرح نرسیده و آزمایش انجام شده غیر قابل قبول بوده و در نتیجه نیاز به تکرار تمامی مراحل انجام شده باشد که خود حداقل ۲۸ روز به طول می‌انجامد. بنابراین برای تخمین مقاومت ۲۸ روزه بتن در سنین اولیه آن نیاز به یک روش جایگزین می‌باشد [۱ و ۲] و بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ایران، در صورتیکه آگاهی از کیفیت بتن در موعدهای خاصی مانند زمان باز کردن قالب‌ها و غیره ضرورت داشته باشد، علاوه بر آزمون‌های متعارف ارزیابی و روش عمل آوردن و مراقبت بتن آزمون‌هایی از بتن گرفته و در موعدهای مورد نظر تحت آزمایش قرار می‌دهند. این آزمون‌ها را آزمون‌های آگاهی می‌نامند. از جمله نمونه‌های آگاهی عبارتند از نمونه‌های با سنین ۳، ۷ و ۱۴ روزه [۳].

از جمله موارد استفاده آزمون‌های آگاهی، تخمین و پیش‌بینی مقاومت ۲۸ روزه بتن از روی مقاومت آزمون‌های آگاهی با سنین کمتر است. از جمله مزایای این امر آن است که در صورت بروز اشکال در مقاومت بتن، مدیران و مهندسان کارگاه و دستگاه نظارت می‌توانند در زمان‌های زودتر از این امر آگاهی یافته و هرچه زودتر از ادامه مشکل پیشگیری کرده و در جهت تصحیح و اصلاح امر اقدام کنند [۳].

در استانداردهای مختلف معتبر دنیا و همچنین آیین‌نامه بتن ایران به روابط و ضرایب مختلفی برای تبدیل مقاومت فشاری بتن در سنین اولیه به مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن اشاره شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که به دلیل تفاوت مصالح مصرفی در ساخت بتن، نوع طرح اختلاط، روش ساخت و اجرا، نگهداری و همچنین رفتار پیچیده بتن، روابط ارائه شده توسط منابع علمی سایر کشورها، با نتایج موجود در کشور ایران هماهنگی نداشته و تخمین مقاومت فشاری به کمک این روابط ممکن است خطاهای جبران ناپذیری را در پی داشته باشد. در نتیجه در این تحقیق با استفاده از نتایج مقاومت‌های فشاری بدست آمده از بتن‌های ساخته شده با مصالح محلی تبریز (اکثراً بصورت بتن آماده از کارخانه و بندرت بتن‌های ساخته شده با بتونیر)، روابط و ضرایبی برای تبدیل مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ۷ روزه بدست آمده و با روابط موجود در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران مقایسه گردیده است [۳ و ۴].

۲. مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری بتن نه تنها به عنوان مهم‌ترین خصوصیت مکانیکی بتن، بلکه به عنوان یکی از مهم‌ترین خواص رفتاری بتن شناخته می‌شود. مقاومت فشاری بتن ممکن است بر اساس نمونه استوانه‌ای و یا نمونه مکعبی سنجیده شود. نمونه استوانه‌ای به صورت استاندارد، قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر دارد. همچنین ابعاد نمونه مکعبی به صورت استاندارد برابر ۱۵۰ میلی‌متر و یا ۲۰۰ میلی‌متر است. هر نمونه در سه لایه و با ۲۵ بار میله زدن با میله‌ای به قطر ۱۶ میلی‌متر برای تراکم هر لایه، ریخته شده و به مدت ۲۸ روز در زیر آب و یا در اتاقی با رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد و در دمایی در محدوده ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد مراقبت می‌شود. آن‌گاه نمونه‌ها تحت سرعت بارگذاری مشخص (0.15-0.34 MPa/sec) بر اساس استاندارد ASTM C39 و تا نقطه شکست (خرابی) بارگذاری می‌شوند. مقاومت حاصله برای نمونه استوانه‌ای با f'_c و برای نمونه مکعبی با f'_{cu} نمایش داده می‌شود [۴ و ۵].

قابل ذکر است که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی و استوانه‌ای با هم متفاوت بوده، بطوریکه مقاومت نمونه استوانه‌ای حدود ۸۰ درصد نمونه مکعبی است. برای توجیه این تفاوت مقاومت دلایل مختلفی ذکر شده از جمله اینکه در نمونه استوانه‌ای جهت بتن‌ریزی و اعمال تنش یکی است. در حالیکه در نمونه مکعبی، معمولاً جهت وارد کردن تنش عمود بر جهت بتن‌ریزی است. همچنین در هنگام وارد کردن فشار بر این نمونه‌ها، امکان تمرکز تنش در نمونه استوانه‌ای بیشتر است. در ایران محاسبات بتن‌آرمه اکثراً بر اساس آیین‌نامه‌های آمریکایی و مقاومت بتن بر اساس نمونه استوانه‌ای ملاک عمل قرار می‌گیرد. ولی در نمونه‌گیری‌های کارگاهی اغلب از نمونه‌های مکعبی استفاده می‌شود، به همین جهت در مورد تبدیل مقاومت فشاری مکعبی به استوانه‌ای، باید دقت کافی مبذول نمود [۴ و ۵]. لازم بذکر است که اغلب برای بتن‌های با مقاومت بالا از نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر استفاده می‌گردد که این موضوع بدلیل ظرفیت‌های محدود دستگاه‌های پرس تعیین مقاومت فشاری صورت می‌پذیرد [۶].

۳. تاثیر زمان و نوع سیمان در مقاومت فشاری بتن بر اساس آیین‌نامه بتن ایران

با توجه به ساختار بتن، روند کسب مقاومت بتن‌هایی که با شرایط یکسان، ولی با انواع مختلف سیمان پرتلند ساخته می‌شوند

یکسان نیست. ولی در عین حال، مقاومت ۹۰ روزه تمامی آن‌ها با یکدیگر برابر بوده و مساوی ۱/۲ برابر مقاومت نمونه ۲۸ روزه‌ای است که با سیمان نوع یک ساخته شده است. در صورت استفاده از انواع سیمان‌های پرتلند استاندارد می‌توان با اجازه دستگاه نظارت و هماهنگی با مشاور یا طراح پروژه، مقاومت‌های فشاری مشخصه مورد انتظار را با استفاده از جدول ۱ به دست آورد. با توجه به اینکه نوع سیمان مصرفی در نمونه‌های مورد بررسی در این تحقیق سیمان تیپ II می‌باشد، انتظار می‌رود نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه به مقاومت فشاری ۷ روزه برابر طبق مبحث نهم، مقدار حاصل از معادله ۱ باشد [۳].

$$\frac{f'_c(28\text{-days})}{f'_c(7\text{-days})} = \frac{0.9}{0.56} = 1.607 \quad (1)$$

جدول ۱- تاثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن [۳]

مقاومت فشاری (به صورت نسبی)				نوع سیمان
روزه ۹۱	روزه ۲۸	روزه ۷	روزه ۱	
۱/۲۰	۱/۰۰	۰/۶۶	۰/۳۰	سیمان نوع I
۱/۲۰	۰/۹۰	۰/۵۶	۰/۲۳	سیمان نوع II
۱/۲۰	۱/۱۰	۰/۷۹	۰/۵۷	سیمان نوع III
۱/۲۰	۰/۷۵	۰/۴۳	۰/۱۷	سیمان نوع IV
۱/۲۰	۰/۸۵	۰/۵۰	۰/۲۰	سیمان نوع V

۴. مقاوت‌های فشاری حاصل از آزمایش عملی

به منظور بررسی نسبت مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه به بتن ۷ روزه، نتایج حاصل از مقاومت فشاری بدست آمده از ۱۱۵ نمونه در آزمایشگاه خاک آژند تحکیم مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نمونه‌های آزمایشگاهی مورد بررسی با استفاده از مصالح محلی شهر تبریز و در ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر بوده و سیمان مورد استفاده در آن‌ها، سیمان تیپ II می‌باشد. مقاومت طرح هر یک از این نمونه‌ها ۲۴ مگاپاسکال می‌باشد. نتایج مقاومت‌های بدست آمده از ۱۱۵ نمونه در جدول ۲ نشان داده شده است. برای بدست آوردن مقاومت‌های فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه در هر مورد از سه نمونه استفاده شده است؛ بطوریکه یک نمونه از هر حالت در سن ۷ روزه تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته است. در ستون دوم از این جدول نتایج مقاومت‌های فشاری نمونه‌های ۷ روزه درج شده است. از طرفی بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، مقصود از هر نمونه‌برداری از بتن، تهیه حداقل دو آزمونه یکسان، که در زمان و شرایط یکسانی تولید و نگهداری شده‌اند، می‌باشد. به عبارت دیگر، نمونه‌برداری عبارت است از میانگین نتایج دو یا چند آزمونه مشروط بر آنکه این آزمونه‌ها همزمان تهیه و در شرایط یکسان نمونه‌گیری و متراکم و عمل‌آوری شده و تحت آزمایش قرار گرفته باشند. همچنین نتایج آزمونه‌ها می‌باید به اندازه کافی به یکدیگر نزدیک بوده و بیش از حد مشخصی از یکدیگر دور نباشد [۳ و ۴]. به این منظور، برای بدست آوردن مقاومت فشاری ۲۸ روزه دو نمونه از سه نمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرند که نتایج حاصل در ستون‌های سوم و چهارم جدول ۲ درج شده است. مقدار متوسط مقاومت‌های فشاری ۲۸ روزه نیز در هر نمونه محاسبه شده است.

در آزمایش‌های تعیین مقاومت بتن، اگر اختلاف بین دو آزمونه کمتر از ۵ درصد میانگین آن دو باشد، در این صورت متوسط آن‌ها را محاسبه کرده و به عنوان یک نمونه‌گیری گزارش می‌کنند. در غیر اینصورت نتیجه آزمونه سوم تعیین‌کننده خواهد بود. اگر در مراحل این نمونه‌گیری تا انجام آزمایش یک نمونه، وضعیتی مغایر با شرایط لازم بوجود آید، نتیجه آن آزمونه قابل استناد نبوده و نباید در میانگین‌گیری وارد شود [۳].

جدول ۲- نتیجه آزمایشگاهی ۱۱۵ سری مقاومت فشاری بتن کارگاهی (شامل ۳۴۵ نمونه)

ردیف	مقاومت فشاری (بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)				نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ۷ روزه	ردیف	مقاومت فشاری (بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)				نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ۷ روزه
	۷ روزه	۲۸ روزه (۱)	۲۸ روزه (۲)	میانگین ۲۸ روزه			۷ روزه	۲۸ روزه (۱)	۲۸ روزه (۲)	میانگین ۲۸ روزه	
1	185.6	235.3	244.6	239.95	1.29	59	194.13	242.49	253.16	247.83	1.28
2	124.8	211.91	231.47	221.69	1.78	60	248.89	279.47	306.4	292.94	1.18
3	189.51	228.98	246.76	237.87	1.26	61	222.22	256.36	248.53	252.45	1.14
4	191.29	222.21	235.02	228.62	1.2	62	216.18	267.02	265.96	266.49	1.23
5	244.62	329.24	297.96	313.6	1.28	63	249.6	328.53	299.38	313.96	1.26
6	177.78	242.84	247.11	244.98	1.38	64	190.22	236.53	251.2	243.87	1.28
7	160	222.22	245.3	233.76	1.46	65	212.62	245.65	256.53	251.09	1.18
8	227.2	294.76	296.18	295.47	1.3	66	304.71	365.56	354.25	359.91	1.18
9	209.78	240.71	265.3	253.01	1.21	67	161.42	235.65	238.58	237.12	1.47
10	180.98	256	243.2	249.6	1.38	68	171.73	245.65	241.21	243.43	1.42
11	187.73	245.33	238.93	242.13	1.29	69	232.18	267.65	276.85	272.25	1.17
12	189.87	268.44	274.49	271.47	1.43	70	231.47	267.02	269.51	268.27	1.16
13	177.42	217.24	200.17	208.71	1.18	71	189.51	240.71	236.44	238.58	1.26
14	170.31	228.98	230.04	229.51	1.35	72	204.09	233.96	243.2	238.58	1.17
15	201.96	244.27	241.07	242.67	1.2	73	175.64	214.76	219.02	216.89	1.23
16	158.58	239.64	217.34	228.49	1.44	74	180.98	210.13	221.87	216	1.19
17	175.29	269.87	268.44	269.16	1.54	75	173.51	211.2	223.29	217.25	1.25
18	170.67	268.09	265.96	267.03	1.56	76	177.07	238.58	232.53	235.56	1.33
19	166.76	286.93	289.42	288.18	1.73	77	180.27	235.38	242.13	238.76	1.32
20	145.78	259.91	270.58	265.25	1.82	78	245.33	286.22	315.73	300.98	1.23
21	190.58	242.13	243.91	243.02	1.28	79	147.2	222.22	223.29	222.76	1.51
22	140.44	198.6	217.6	208.1	1.48	80	199.11	254.93	273.07	264	1.33
23	148.62	218.31	224	221.16	1.49	81	199.47	225.78	213.62	219.7	1.1
24	214.04	251.38	274.49	262.94	1.23	82	163.91	210.49	201.96	206.23	1.26
25	217.96	270.22	263.11	266.67	1.22	83	172.09	212.62	202.02	207.32	1.2
26	210.49	257.78	265.6	261.69	1.24	84	179.56	201.24	215.47	208.36	1.16
27	180.98	216.18	231.47	223.83	1.24	85	162.84	209.4	231.11	220.26	1.35
28	189.87	259.2	267.73	263.47	1.39	86	223.22	284.44	309.77	297.11	1.33
29	153.24	224.71	218.67	221.69	1.45	87	157.87	167.11	182.04	174.58	1.11

30	183.47	254.58	252.09	253.34	1.38	88	155.73	171.02	185.96	178.49	1.15
31	238.22	248.3	273.42	260.86	1.1	89	156.44	185.6	198.04	191.82	1.23
32	217.6	241.42	252.8	247.11	1.14	90	196.27	220.8	222.22	221.51	1.13
33	164.62	210.3	229.33	219.82	1.34	91	188.76	226.56	235.65	231.11	1.22
34	175.64	205.51	205.16	205.34	1.17	92	194.27	268.44	256.22	262.33	1.35
35	176.71	225.07	207.29	216.18	1.22	93	186.56	245.54	234.59	240.07	1.29
36	198.04	218.67	214.4	216.54	1.09	94	199.11	245.33	238.25	241.79	1.21
37	171.38	206.3	222.58	214.44	1.25	95	168.58	217.95	212.26	215.11	1.28
38	179.56	204.09	185.96	195.03	1.09	96	171.23	224.54	229.95	227.25	1.33
39	165.33	293.33	289.78	291.56	1.76	97	169.95	225.58	212.45	219.02	1.29
40	155.73	229.33	217.24	223.29	1.43	98	176.85	205.51	205.15	205.33	1.16
41	177.07	239.29	231.11	235.2	1.33	99	182.59	225.06	208.58	216.82	1.19
42	152.53	225.78	228.27	227.03	1.49	100	186.58	236.33	241.51	238.92	1.28
43	168.18	234.31	245.69	240	1.43	101	188.09	242.84	223.64	233.24	1.24
44	204.09	254.93	231.9	243.42	1.19	102	176	265.24	244.27	254.76	1.45
45	160.71	226.3	208.71	217.51	1.35	103	157.87	202.67	199.82	201.25	1.27
46	186.67	237.16	242.49	239.83	1.28	104	155.73	194.84	193.78	194.31	1.25
47	229.33	257.78	270.22	264	1.15	105	156.44	205.16	198.04	201.6	1.29
48	230.76	289.42	274.13	281.78	1.22	106	222.22	228.80	231.82	230.31	1.04
49	188.85	248.56	238.56	243.56	1.29	107	199.47	202.31	223.1	212.71	1.07
50	215.11	274.13	248.18	261.16	1.21	108	160.36	198.04	180.6	189.32	1.18
51	189.87	230.4	240.71	235.56	1.24	109	185.24	217.96	212.27	215.12	1.16
52	211.2	264.5	268.95	266.73	1.26	110	174.93	169.96	159.6	164.78	0.94
53	191.25	239.53	242.2	240.87	1.26	111	196.98	208.55	205.6	207.08	1.05
54	252.8	333.51	315.73	324.62	1.28	112	158.93	234.67	242.84	238.76	1.5
55	180.62	219.73	214.4	217.07	1.2	113	188.44	249.24	259.2	254.22	1.35
56	173.16	218.31	212.27	215.29	1.24	114	200.53	232.53	233.96	233.25	1.16
57	306.84	337.07	323.56	330.32	1.08	115	133.69	208.55	210.66	209.61	1.57
58	203.38	246.04	243.91	244.98	1.2						

۵. ارزیابی مقاومت‌های بدست آمده

نسبت میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه به مقاومت فشاری ۷ روزه هریک از نمونه‌های بتنی در ستون آخر جدول ۲ درج شده است. دامنه تغییرات نسبت مقاومت ۲۸ روزه به ۷ روزه بتن کارگاهی بین ۱/۰۸ و ۱/۸۲ قرار گرفته است. مقدار متوسط این نسبت (نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه به مقاومت فشاری ۷ روزه) برابر ۱/۲۷، انحراف از معیار آن برابر ۰/۱۵ و ضریب پراکندگی آن ۰/۱۲ می‌باشد.

بر اساس مقادیر بدست آمده (جدول ۲)، مقادیر میانگین مقاومت‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه به ترتیب برابر با ۱۸۸/۵۷ و ۲۴۰/۰۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

همچنین نظر به اینکه مقاومت طرح در تمامی این آزمایش‌ها ۲۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد، نسبت مقاومت طرح به مقاومت فشاری میانگین ۲۸ روزه به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\frac{f'_c(\text{design})}{f'_c(28\text{-days})} = \frac{240}{240.01} = 1.00 \quad (2)$$

همانگونه که قابل مشاهده است مقاومت فشاری میانگین ۲۸ روزه بسیار نزدیک به مقاومت طرح می‌باشد. لازم بذکر است در دو مورد از نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه، اختلاف بین مقاومت دو آزمون به بیش از ۵ درصد میانگین آن دو بود که طبق مبحث نهم، آن نتایج از جدول حذف شدند و در میانگین گیری وارد نشدند.

۶. نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی‌های انجام گرفته در بندهای قبلی و با لحاظ مقادیر مندرج در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان نتایج زیر بدست آمده‌اند:

۱.۶ طبق نتایج آزمایشگاهی ضریب تبدیل مقاومت ۷ روزه به ۲۸ روزه برابر ۱/۲۷ بدست آمده است در صورتیکه این ضریب در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمانهای بتن‌آرمه ۱/۶۱ (حاصل تقسیم ۰/۹ به ۰/۵۶) نوشته شده است و به میزان ۲۶/۷۷ درصد از عدد بدست آمده تجربی زیادتر است. لذا استفاده از ضریب ۱/۶۱ جهت تبدیل مقاومت فشاری ۷ روزه به ۲۸ روزه طبق مبحث نهم صحیح نمی‌باشد.

۲.۶ طبق نتایج آزمایشگاهی بدست آمده متوسط مقاومت ۷ روزه به مقاومت طرح ۷۸ درصد بدست آمده که این درصد در مبحث نهم برابر ۵۶ درصد عنوان شده است و نشان دهنده ضریب اطمینان بالای مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان می‌باشد. این بدین معنی است که اکثر بتن‌های ساخته شده در سن ۷ بیشتر از ۰/۵۶ مقاومت طرح، مقاومت فشاری کسب نموده‌اند. شایان ذکر است که ضریب حاصله نشانگر مقاومت بالاتر در سنین اولیه می‌باشد که عمدتاً مرتبط با مصرف سیمان بیشتر از مقدار مورد نیاز با توجه به طرح اختلاط و دانه‌بندی و مقدار غیرمتعارف سنگدانه‌ها نسبت به استانداردهای جهانی می‌باشد.

۷. قدردانی

بدینوسیله از همکاری صمیمانه کادر آزمایشگاه خاک آژند تحکیم در انجام این تحقیق تشکر و قدرانی می‌کنیم.

۸. مراجع

- [1] Kabir, A., Hasan, Md., and Miah, K., (2012), "Predicting 28 Days Compressive Strength of Concrete from 7 Days Test Result" International Conference on Advanced in Design. DOI: 02.ADCS.2012.1.
- [2] Hasan, M., Kabir, A., (2011), "Prediction of compressive strength of concrete from early age test result", 4th Annual Paper Meet and 1st Civil Engineering Congress, Dhaka, Bangladesh
- [۳] وزارت راه و شهرسازی، (۱۳۹۲)، "مبحث نهم، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه"، دفتر مقررات ملی ساختمان، ایران، تهران.
- [۴] مستوفی نژاد، د. (۱۳۸۷)، "سازه‌های بتن‌آرمه" انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ایران
- [۵] خالو، ع.، ایراجیان، م.، (۱۳۹۰)، "طراحی و کنترل مخلوط‌های بتن" انتشارات نگارنده دانش، تهران، ایران
- [۶] جغتایی، ع.، پوربابا، م.، (۱۳۹۵)، "ساخت آزمایشگاهی بتن الیافی با کارایی بسیار بالا (UHPFRC) با مصالح ریزدانه بومی کشور و ارائه طرح اختلاط بهینه در ایران"، اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت، ۲۰ مهر، تهران