Journal of Structural and Construction Engineering, 8(11), 2022, pp. 142-157

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

The Effects of Using Wastewater Effluent on Efficiency, Permeability, and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete

Rahim Dardaei[1], Sadegh Dardaei[2*], Ali Foroughi-asl[3]

1- M.Sc., Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran
2- Assistant Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3-Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran

ABSTRACT

With the growth of different uses of water and its conversion into wastewater, a large volume of various types of wastewater enters the environment. Therefore, the need for wastewater treatment and optimal use of its effluent can be considered an important step towards environmental protection. Considering the construction industry uses a significant part of nature's raw water for producing different materials, it can be expressed that using the effluent of the wastewater treatment plant is a valuable step in environmental protection. Self-compacting concrete (SCC) is a flowing concrete that does not require vibration and, indeed, should not be vibrated. It uses superplasticizers and stabilizers to significantly increase the ease and rate of flow. In this study, the effects of using the effluent of the wastewater treatment plant on mechanical properties, efficiency, and permeability of Self-Compacting Concrete specimens cured for 7, 14, and 28 days have been investigated. It should be noted that tap water has been used to make control samples. The results of the experiments show a slight decrease in compressive and tensile strength of the effluent samples compared to the control samples. Also, according to the results obtained from the efficiency experiments, it can be concluded that the effluent self-compacting concrete samples and the control samples are in the same classification. They take. On the other hand, according to the results of permeability experiments, it can be concluded that the samples of effluent self-compacting concrete have an increase in permeability compared to the control samples and the amount of permeability decreases with increasing concrete age.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 16 January 2021
Revise Date: 23 April 2021
Accept Date: 14 May 2021

Keywords:
Self-Compacting Concrete
Mechanical properties
Permeability
Wastewater treatment effluent
Tap water

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.268824.2339

*Corresponding author: Sadegh Dardaei.
Email address: dardaei@modares.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

بررسی آزمایشگاهی خواص مکانیکی، کارایی و نفوذپذیری بتن خودتراکم ساخته شده با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری

رحیم دردائی[۱]، صادق دردائی[۲*]، علی فروغی اصل[۳]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز، تبریز، تیران

۲- عضو هیات علمی دانشکده علوم و فناوریهای بین رشته ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- عضو هیات علمی دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

با رشد مصرف آب و تبدیل آن به فاضلاب، حجم بالائی از انواع فاضلاب‌ها وارد محیط‌زیست می‌شود. لذا استفاده بهینه از پساب فاضلاب می‌تواند گام مهم و ارزشمندی در جهت حفظ محیط‌زیست قلمداد گردد. ازآنجایی‌که صنعت ساختمان با تولید مصالح مختلف، بخش قابل توجهی از آب خام طبیعت را مورد استفاده قرار می‌دهد اگر بتوان به جای آب خام، از پساب فاضلاب تصفیه شده، نیاز این صنعت را تأمین نمود می‌توان ادعا کرد که قدم ارزشمندی در حفظ محیط زیست برداشته شده‌است. در این پژوهش اثرات استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب بر روی خواص مکانیکی و نفوذپذیری بتن خودتراکم بررسی گردیده‌است. برای ساخت نمونه‌های بتن ویژه خود تراکم از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری استفاده شده و نتایج خواص مکانیکی، کارائی و نفوذپذیری نمونه‌ها در مدت زمان‌های عمل آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه با نمونه‌های بتن خودتراکم ساخته شده با استفاده از آب شبکه شهری (به عنوان نمونه‌های شاهد) مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج بررسی‌های انجام شده کاهش ناچیز مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های پسابی را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان می‌دهد، همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش کارایی می‌توان نتیجه گرفت بتن خودتراکم پسابی و بتن شاهد در یک کلاس‌بندی قرار می‌گیرند. از طرفی با توجه به نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری می‌توان عنوان کرد نمونه‌های بتن خودتراکم پسابی در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارای افزایش نفوذپذیری می‌باشند که میزان آن با افزایش سن بتن کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، خواص مکانیکی، نفوذپذیری، پساب تصفیه خانه فاضلاب، آب شهری.

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۹/۱۰/۲۷	۱۴۰۰/۰۲/۰۳	۱۴۰۰/۰۲/۲۴	۱۴۰۰/۰۲/۲۴	۱۴۰۰/۱۱/۳۰	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.268824.2339
					doi: 10.22065/jsce.2021.268824.2339

*نویسنده مسئول: صادق دردائی

پست الکترونیکی: dardaei@modares.ac.ir

۱- مقدمه

بتن خودتراکم، که برای اولین بار توسط محققین و مهندسین ژاپنی ابداع شد یک نوع بتن با کارایی بالا با مقاومت در برابر جداشدگی و تغییرشکل‌پذیری بالا است. این نوع بتن، بدون نیاز به ویبره تحت وزن خود متراکم می‌شود و تمام فضای خالی قالب و بین آرماتورها را بدون اینکه حباب هوا ایجاد گردد، می‌پوشاند و بتنی نسبتاً همگن تولید می‌نماید. حتی در جاهایی‌که امکان دسترسی وجود نداشته باشد و یا تراکم آرماتورها زیاد باشد با طراحی صحیح بتن خودتراکم می‌توان به بتنی متراکم و یکنواخت دست یافت [۱]. بتن خود تراکم در اصول طرح اختلاط و ساختارش تفاوت چندانی با بتن معمولی ندارد، البته موادی برای بهبود خواص آن به جهت نیل به خودتراکم شوندگی به آن افزوده می‌شود. از آن جهت که امروزه از بتن در پروژه‌های مهم عمرانی و در حجم وسیع استفاده می‌شود مطالعه و تحقیق پیرامون بتن خودتراکم به جهت رفع نواقص و مشکلات تولید و کاربرد آن و پیشبرد نقاط قوت، مدنظر محققان در سراسر جهان قرار گرفته است. اکثر مطالعاتی که تاکنون در مراکز تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته مربوط به بررسی خصوصیات بتن تازه خودتراکم بوده چراکه اصلی‌ترین تفاوت بین بتن‌های معمولی و بتن خودتراکم، در ویژگی‌های بتن تازه شناسایی شده است. اولین مقاله درباره بتن خودتراکم در دومین کنفرانس مهندسی سازه و ساختمان آسیای شرقی (EASEC)[1] در سال ۱۹۸۹ ارائه شد [۲]. در سال ۱۹۹۶ چندین کشور اروپایی پروژه مشترکی را تحت عنوان «تولید منطقی و گسترش استفاده از بتن خود تراکم» به منظور مشخص شدن منابع مهم در رابطه با بتن خودتراکم تعریف و به انجام رساندند. در آمریکا صنعت بتن خودتراکم از سال ۲۰۰۰ با کاربرد بیشتر در صنعت بتن پیش ساخته و همچنین در ساخت چندین پروژه تجاری مورد استفاده قرار گرفت [۳]. از آن سال تاکنون تحقیقات متعددی در مورد شناسایی و بررسی خصوصیات این بتن انجام گردیده است. از طرفی در خصوص استفاده از آب غیرآشامیدنی برای ساخت بتن نیز تحقیقات متعددی انجام شده است. به عنوان نمونه Sandrolini و Franzoni در سال ۲۰۰۱ از بتن با آب شست و شوی کامیون و آب لوله کشی (مخلوط این دو آب) برای تولید بتن و ملات استفاده کردند[۴]. Su و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی‌های خود نشان دادند که استفاده کامل آب لجن در آب مخلوط بتن کارخانه‌ای از لحاظ کاهش هزینه دفع و حفاظت از محیط زیست بسیار مهم است [۵]. Mekki و همکاران (۲۰۰۶) به مطالعه ی جایگزینی فاضلاب ناشی از کارخانه تولید روغن زیتون بجای آب شیرین مصرفی پرداختند. آن‌ها در این آزمایش‌ها به نتایج قابل قبولی از رفتار فیزیکی بتن دست یافتند [۶]. Ismail و Al-Hashmi به ارزیابی قابلیت جایگزینی فاضلاب صنعتی به جای آب شیرین در بتن میکس شده و کاربرد فاضلاب رزین استات پی وی سی پرداختند که نتایج حاکی از آن است که این نوع از بتن دارای افزایش در مقاومت فشاری به مقدار اندک و همچنین افزایش در مقادیر چگالی نسبت به بتن عمل‌آوری شده با آب شیرین در مدت زمان ۷ روزه و ۲۸ روزه است [۷]. Al-Jabri و همکاران درسال ۲۰۱۱ به بررسی تاثیر استفاده از فاضلاب بر خواص مقاومت بالای بتن پرداختند [۸]. در سال ۲۰۱۴ خوشروش و همکاران در پژوهشی تأثیر استفاده از خاکستر لجن فاضلاب با و بدون ذرات نانو سیلیس بر خصوصیات مواد مبتنی بر سیمان خود متراکم را ارائه نمودند [۹]. اسدالهی فردی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به مطالعات تجربی و آماری بر روی استفاده از آب شست‌وشوی کامیون‌های بتن آماده میکس، بچینگ در تولید بتن تازه پرداختند. در این تحقیق امکان تجربی و آماری استفاده از بتن با آب شست‌وشو در تولید بتن تازه بررسی شد [۱۰]. Rala و همکاران (۲۰۱۵) امکان استفاده‌ی دوباره از دوغاب مرمری برای جایگزین کردن سیمان در محصولات بتنی را بررسی کردند و دریافتند که به ازای ۱۰ درصد دوغاب مرمری جایگزین سیمان درصد بهینه در محتوا بوده و مقاومت لازم تأمین شده و نیز دوام آن افزایش می‌یابد [۱۱]. در سال ۲۰۱۹ Aamer Najim و همکاران تاثیر استفاده از پساب‌های بیمارستانی در ساخت انواع مختلف بتن را بررسی نمودند[۱۲]. در تحقیق دیگری در سال ۲۰۲۰ یحیایی و همکاران کارایی، خواص مکانیکی و دوام بتن خود متراکم با استفاده از فاضلاب تصفیه شده را بررسی نموده‌اند [۱۳]. با توجه به مطالب عنوان شده از آنجاییکه صنعت ساختمان با تولید مصالح مختلف بخش عظیمی از آب خام طبیعت را مورد استفاده قرار می‌دهد اگر بتوان به جای آب خام، از پساب فاضلاب تصفیه شده این نیاز را تأمین نمود می‌توان ادعا کرد که قدم ارزشمندی در حفظ محیط‌زیست برداشته شده است. در این پژوهش تلاش گردیده‌است اثر استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز برای ساخت نمونه‌های بتن ویژه خود تراکم مورد بررسی قرار گیرد. بر این اساس نمونه‌های ساخت شده از بتن

1 (EASEC): Eastern Asia Structure Engineering Conference

خودتراکم با آب شهری به عنوان نمونه شاهد مدنظر قرار گرفته و نتایج آزمایشهای نمونه‌های ساخته شده با پساب فاضلاب شهری با آن مقایسه گردیده است.

۲- مواد و روش انجام تحقیق

در این پژوهش تلاش شده است که مصالح به کار رفته جهت ساخت نمونه‌ها با توجه به محدودیت‌های استاندارد ASTM باشد و در طرح اختلاط بتن خوتراکم از توصیه‌های آیین نامه EFNARC 2005 [۱۴] استفاده شده است. با بررسی‌های مختلف و کلی، مصالح مورد استفاده برای تهیه نمونه های بتنی عبارتند از : ۱) آب از شبکه آبرسانی، ۲) پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر تبریز، ۳) سیمان تیپII ، ۴) میکروسیلیس از شرکت، ۵) فوق‌روان‌کننده بر پایه پلی کربوکسیلات، ۶) ماسه، ۷) پودر سنگ آهک، ۸) شن نخودی و شن بادامی

۲-۱- آب از شبکه آبرسانی

آب شبکه آبرسانی تبریز در ساخت نمونه‌های شاهد استفاده گردیده‌است. در جدول(۱) آنالیز شیمیایی آب شبکه آبرسانی تبریز که در این تحقیق استفاده شده است ارائه می‌گردد.

جدول ۱: آنالیز شیمیایی آب شرب تبریز[۱۵]

سختی	اختصار	مقدار
سختی کل	HT	۲۱۸/۰۶
سختی کلسیمی	HCa	۱۳۸/۲۲
سختی منیزیمی	HMg	۸۰/۳۸
هدایت الکتریکی	EC	۳۴۸
کل مواد جامد	TDS	۲۲۲/۷۲

۲-۲- پساب فاضلاب

در این تحقیق از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر تبریز برای ساختن نمونه‌های بتن خودتراکم استفاده شده‌است. در ایران به دلیل نداشتن تصفیه‌خانه‌های پیشرفته نمی‌توان از پساب دوباره در آب شهری استفاده کرد لذا پساب تصفیه‌خانه به رود آجی‌چای ریخته می‌شود. همانطور که در شکل(۱) مشاهده می‌شود رنگ پساب نسبت به آب شهری کدرتر است. مشخصات شیمیایی پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر تبریز در جدول (۲) آمده‌است.

۲-۳- سیمان

به دلیل رایج بودن مصرف سیمان تیپ دو در سازه‌های هیدرولیکی از این نوع سیمان در تهیه نمونه‌ها استفاده شده است. مشخصات سیمان تیپ دو کارخانه سیمان صوفیان مطابق جدول(۳) می‌باشد. همچنین لازم به‌ذکر است به دلیل تاثیر سیمان در به‌دست آوردن نمونه‌های بتنی با مشخصات ثابت، تلاش شده‌است سیمان استفاده شده در تمام نمونه‌ها باید دارای خصوصیات یکسان باشد.

شکل ۱: پساب مورد استفاده و مقایسه رنگ آن با آب آشامیدنی

جدول۲: آنالیز پساب (میلی گرم بر لیتر) [۱۶]

کل مواد جامد محلول	TDS	۱۰۱۵
هدایت الکتریکی	EC	۱۳۲۹
غلظت یون هیدرونیوم	PH	۷/۲
دما بر حسب سانتی گراد	T	۱۸/۸
آمونیاک	NH3	۱/۵۸
نیترات	NO_3	۱۲/۷
فسفات	PO_4	۱/۵۵
مواد معلق تبخیر شده	VSS	۸/۶
کل مواد معلق جامد	TSS	۲۳/۱
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	COD	۳۹
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	BOD_5	۲۳

جدول۳: مشخصات سیمان تیپ دو کارخانه سیمان صوفیان

سیمان	سطح مخصوص(gr/cm^2)	گیرش(دقیقه)		آب مصرفی برای غلظت نرمال ٪
		اولیه	نهایی	
پرتلند تیپ II	۳۰۴۹	۱۵۴	۱۸۱	۲۳/۸

۲-۴- مواد پوزولانی

معمولاً در بتن خودتراکم برای دستیابی به خواص رئولوژی موردنظر، از مواد پوزولانی استفاده می‌شود. این مواد در بهبود و حفظ انسجام و مقاومت در برابر جداشدگی مؤثرند. همچنین مواد پوزولانی می‌توانند درکاهش عیار سیمان و در نتیجه دمای هیدراتاسیون و ترکهای حرارتی مؤثر باشند. در این تحقیق از پودر میکروسیلیس یا سیلیکافوم با مشخصات ذیل استفاده شده است.

جدول ۴: آنالیز شیمیایی میکروسیلیس [۱۷]

آب	H_2O	۰/۰۸ درصد
کاربید سیلیسیوم	SiC	۰/۵ درصد
کربن	C	۰/۳ درصد
سیلیس	SiO_2	۹۶/۴
اکسید آهن	Fe_2O_3	۰/۸۷
اکسید آلومینیوم	Al_2O_3	۱/۳۲
آهک	CaO	۰/۴۹
اکسید منیزیم	MgO	۰/۹۷
اکسید سدیم	Na_2O	۰/۳۱
اکسید پتاسیم	K_2O	۱/۰۱
پنتا اکسید فسفر	P_2O_5	۰/۱۶
تری اکسید گوگرد	SO_3	۰/۱
کلر	Cl	۰/۰۴

جدول ۵: مشخصات میکروسیلیس[۱۸]

شکل ذرات	اندازه ذرات (micron)	دانسیته فله ای (kg/m^3)	سطح ویژه (gr/m^2)	وزن مخصوص (kg/m^3)
کروی	۰/۲ – ۰/۳	۲۰۰ - ۳۰۰	۱۴ - ۲۰	۴۰۰ - ۶۰۰

۲-۵- مواد پودری

کربنات کلسیم یا همان پودر سنگ آهک که بر پایه پرکننده معدنی است به‌طور گسترده در بتن خودتراکم استفاده می‌شود که برای بهبود خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم مناسب هستند. مقدار پودر سنگ بخشی از مقدار کل پودر بتن را شامل می‌شود. مقدار پودر به نوع بتن خودتراکم بستگی دارد.

۲-۶- فوق روان کننده

مواد مضاف کاهنده آب در حد بالا[2]، که به نام فوق‌روان‌کننده نیز خوانده می‌شوند، موادی هستند که اگر به بتن اضافه شوند، بدون نیاز به افزایش آب، به مقدار قابل توجه روانی و کارایی (اسلامپ) بتن را افزایش می‌دهند. در این پروژه از فوق‌روان‌کننده بر پایه پلی-کربوکسیلات استفاده شده است که مشخصات آن در جدول (۶) ارائه شده‌است.

جدول ۶: مشخصات فنی فوق‌روان‌کننده[۱۸]

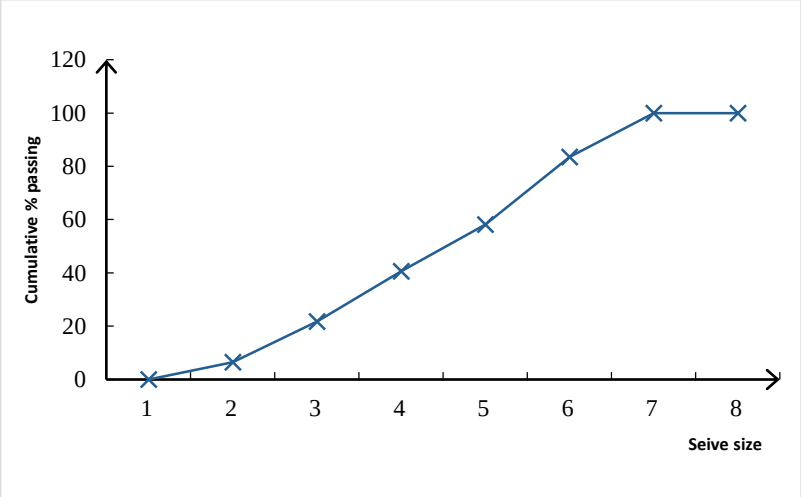
نام محصول	POWER PLAST-RM
حالت فیزیکی	مایع
رنگ	زرد روشن
وزن مخصوص	۱,۱۲ گرم بر سانتی متر مکعب
یون کلر	ندارد (کمتر از استاندارد BS 5075)
نوع ماده مضاف بر اساس استاندارد ASTM C 494	F

[2] HRWR: High Range Water Reducers

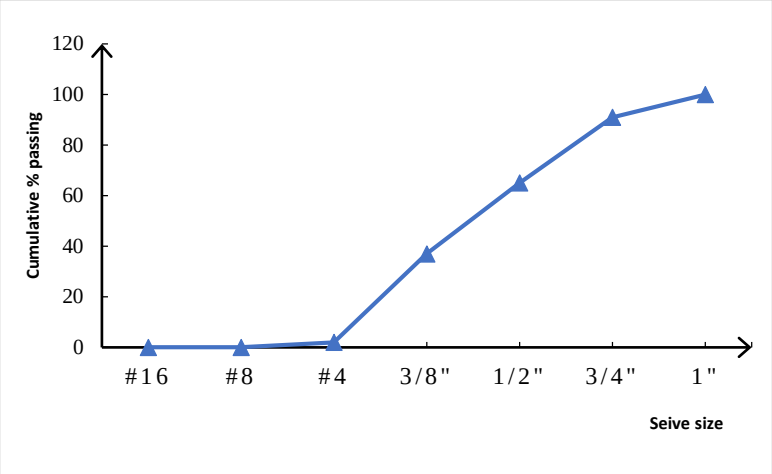
۲-۷- سنگدانه ها

مخلوط‌های بتن خودتراکم نیاز به توجه ویژه به دانه‌بندی دارند تا با استفاده از دانه‌بندی مناسب آب کمتری به کار برده شود و کارایی نیز در حد قابل‌قبول حفظ شود. به همین دلیل باید حدود بالایی و پایینی دانه‌بندی به دقت رعایت شود. دانه‌بندی سنگدانه‌ها عامل تعیین کننده‌ای در مقدار کارایی مخلوط بتن می‌باشد، کارایی به نوبه خود بر مقدار آب و سیمان لازم در مخلوط اثر می‌گذارد، جداشدگی و آب انداختگی بتن را کنترل می‌کند و به نحوه‌ی جاگذاری و پرداخت سطح بتن اثرگذار است. نمودار دانه‌بندی ماسه بعد از اصلاح در شکل (۲) ارائه گردیده‌است. در خصوص دانه‌بندی شن بایستی عنوان نمود که برای کاهش جداشدگی درشت‌دانه‌ها باید دانه‌ها به سایزهای مختلف تقسیم و به مقدار مورد نیاز از هر کدام استفاده کرد. در این پژوهش شن ریز (نخودی) و شن درشت (بادامی) به‌طور جدا بررسی و ترکیب مناسبی از آن‌ها در طرح اختلاط لحاظ شد. با توجه به کنترل‌های انجام شده بر اساس دانه‌بندی مطلوب درشت‌دانه پیشنهادیASTM C33، بهترین نسبت وزنی ۷۰ درصد شن نخودی، ۳۰ درصد شن بادامی حاصل شد. نمودار دانه‌بندی شن (درشت‌دانه) در شکل(۳) نشان داده شده‌است. بر اساس بررسی انجام شده رطوبت حالت SSD (اشباع با سطح خشک) مصالح با نمونه‌گیری از مصالح و قرار دادن نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب به شرح جدول (۷) تعیین گردید.

لازم به ذکر است دانسیته هر یک از مصالح درشت‌دانه و ریزدانه در حالت خشک با استفاده از ترازوهای مربوطه و مطابق با استانداردهای موجود اندازه‌گیری و تعیین گردید که نتایج حاصل در جدول (۸) آورده شده است.



شکل ۲: نمودار دانه‌بندی ماسه



شکل ۳: دانه‌بندی شن (درشت‌دانه)

جدول۷: رطوبت حالت SSD مصالح

نوع مصالح	درصد رطوبت حالت (ssd)
شن نخودی فتح المبین	۱/۲
شن بادامی‌فتح المبین	۰/۸
ماسه سرام	۱/۹۱

جدول ۸: تعیین دانسیته مصالح

نوع مصالح	چگالی در حالت خشک
شن نخودی	۲/۶۲
شن بادامی	۲/۶۳
ماسه	۲/۶۰

۲-۸- مراحل طرح اختلاط

در طرح اختلاط بتن، آیین‌نامه EFNARC 2005 [۱۴] ملاک عمل قرار گرفته و فرآیند بر اساس مراحل زیر و به روش وزنی انجام شده است.

مرحله اول: در مرحله اولیه برای بتن معمولی با اسلامپ ۷۵ میلی‌متر و مقاومت فشاری ۲۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب و بدون فوق‌روان‌کننده، به استناد روش ACI-211 و ACI-318 با توجه به مقادیر Dmax و FM تعیین شده برای سنگدانه‌ها، طرح اختلاط مناسب ارائه شده و ۷ الی ۸ درصد سیمان نیز با میکروسیلس جایگزین شد. نسبت آب به سیمان در این مرحله ۰/۶۳ در نظر گرفته شده بود[۱۹]، [۲۰].

مرحله دوم: در مراحل بعدی با کاهش گام به گام نسبت آب به سیمان و افزودن فوق روان‌کننده اسلامپ و روانی مخلوط بتنی افزایش داده شده است. این مرحله به صورت آزمون و خطا بوده و با تکرار چندین باره‌ی آزمایشات، نوع و میزان روان کننده مصرفی مشخص می‌شود. باید انتخاب روان کننده به نحوی باشد که نتایج آزمایشات انجام شده روی بتن تازه و بتن سخت شده در محدوده قابل قبول باشند، چراکه استفاده از روان‌کننده نامناسب و یا مقادیر بیشتر یا کمتر از مقدار بهینه‌ی آن تاثیرات منفی قابل توجهی بر مشخصات بتن خواهد گذاشت. برای کنترل مشخصات بتن تازه بلافاصله بعد از تهیه‌ی مخلوط بتنی، آزمایش اسلامپ، قیف V و جعبه L انجام شد تا محدوده مجاز راهنمای EFNARC 2005 را برآورده سازد و در نهایت نسبت‌های مناسب مصالح مصرفی به دست آمد.

مرحله سوم: بعد از رسیدن به پارامترهای رئولوژیکی مورد نظر EFNARC 2005 در این مرحله تهیه نمونه‌های اصلی طرح انجام گرفت. با استفاده از مصالح انتخابی و بدست آمده از طرح اختلاط، نمونه‌های شاهد(با آب شهری) و نمونه‌های آزمایشی(با پساب تصفیه‌خانه) (با ثابت نگه داشتن تمام پارامترهای طرح اختلاط و فقط با جایگزینی آب شهری با پساب تصفیه‌خانه در نمونه‌های آزمایشی) تهیه، قالب-گیری و برای مدت زمان‌های ۷، ۱۴، ۲۸ روزه در آب معمولی عمل‌آوری شده و مورد آزمایش‌های مختلف خواص مکانیکی و نفوذپذیری قرار می‌گیرند. نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش فشاری نمونه‌های مکعبی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر بوده و نمونه‌های آزمایش نفوذپذیری و کششی نمونه استوانه‌ای ۳۰۰×۱۵۰ میلی‌متر می‌باشند. لازم به ذکر است برای هر آزمایش سه نمونه ساخته شده و مقادیر ارائه شده در بخش نتایج میانگین مقادیر نمونه‌هاست. طرح اختلاط نهایی بتن خودتراکم به‌دست آمده در جدول (۹) ارائه شده‌است.

جدول ۹: طرح اختلاط ارائه شده برای بتن خودتراکم

عنوان	مقدار
آب	۱۹۷/۸ kg/m3
مواد سیمانی	۴۳۰ kg/m3
سیمان	۳۸۷ kg/m3
میکروسیلیس	۴۳ kg/m3
نسبت آب به سیمان	۰/۴۶
ماسه	۱۳۰۰ kg/m3
شن ریز (نخودی)	۳۳۵ kg/m3
شن درشت (بادامی)	۱۲۰ kg/m3
پودرسنگ	۲۵ kg/m3
درصد فوق روان‌ساز	۰/۰.۸

بعد از ساخت بتن، بتن تهیه شده در قالب‌های از پیش آماده شده ریخته می‌شود. این نوع بتن نیاز به تراکم ندارد و به علت روانی و کارایی بالا به راحتی قالب را در برگرفته و پر می‌کند. سپس سطح رویی بتن را صاف نموده و قالب‌ها را به‌مدت ۲۴ ساعت روی سطح صاف قرار داده می‌شود. طبق توصیه‌ی استاندارد ASTM C192 نمونه بتنی باید بعد از ۲۴ ساعت از قالب باز گردند. قالب‌ها طبق توصیه ASTM از قالب باز شده و به محل حوض عمل‌آوری نمونه انتقال داده می‌شوند و تا زمان آزمایش (۷، ۱۴، ۲۸ روزه) نمونه‌ها در آب عمل‌آوری می‌شوند. در ادامه تعدادی از نمونه‌های ساخته شده نشان داده شده‌اند.

شکل ۴: مراحل قالب‌گیری، باز نمودن قالب و عمل‌آوری نمونه‌ها

۳- بررسی و تحلیل نتایج

در این قسمت نتایج آزمایش‌های مربوط به بتن خودتراکم تازه که عبارتند از آزمایش جریان اسلامپ، آزمایش V Funnel و آزمایش L Box و آزمایش‌های مربوط به بتن سخت شده شامل آزمایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی و آزمایش نفوذپذیری ارائه و مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۱- نتایج آزمایش های مربوط به کارایی بتن خودتراکم

با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته از بتن شاهد تازه در هر مرحله از تهیه نمونه‌های بتنی، با در نظر گرفتن کلاس بندی نتایج آزمایش‌های بتن خودتراکم توسط آیین‌نامه EFNARC 2005 نتایج جدول (۱۰) حاصل شده است.

جدول۱۰: نتایج آزمایش های بتن خودتراکم در حالت تازه

عنوان	کلاس بندی	بتن شاهد	بتن پسابی
جریان اسلامپ (mm)	SF2	۶۹۰	۷۰۵
T_{500}(sec)	VS2	۳	۳
قیف V (sec)	VF2	۱۰/۲	۹/۸
قیف $V_{5'}$ (sec)	-	۱۳/۲	۱۴
جعبه L (H_2/H_1)	PA2	۰/۸۰ ≅ ۰/۷۹۷ (H_1 =۷/۹، H_2 =۶/۳)	0/83 (H_1 =۷/۸، H_2 =۶/۵)

شکل۵: انجام آزمایش جریان اسلامپ

شکل ۶: انجام آزمایش قیفV

شکل ۷: انجام آزمایش جعبه L

۳-۲- بحث در مورد نتایج به دست آمده از آزمایش های کارایی

بر اساس EFNARC 2005 کلاس‌بندی SF2 بتن خودتراکم مناسب برای اکثر کاربردهای عمومی همانند بتن‌ریزی ستون‌ها و دیوارهای برشی است. همچنین VS2/VF2 محدودیت گروه VS1/VF1 را از لحاظ خطر آب انداختگی و جداشدگی ندارد ولی با افزایش زمان جریان، احتمال بروز تاثیرات تیکسوتراپیک[3] را دارد که می‌تواند در کاهش فشار قالب موثر باشد یا باعث بهبود مقاومت در برابر جداشدگی شود. کلاس‌بندی PA2 برای سازه‌هایی با فواصل میلگرد ۶۰ تا ۸۰ میلی‌متر (سازه‌های مهندسی عمران) کاربرد دارد. با توجه به خروجی به‌دست آمده از آزمایش‌های بتن خودتراکم ، بتن شاهد و پساپی در یک کلاس‌بندی قرار گرفته است لذا از تاثیر استفاده از پساب در کیفیت بتن خودتراکم تازه می‌توان چشم‌پوشی کرد.

۳-۳- نتایج آزمایشهای تعیین مقاومت مکانیکی و نفوذپذیری

در این بخش نتایج آزمایش‌های مقاومت مکانیکی شامل مقاومت فشاری و مقاومت کششی نمونه‌ها به تفکیک آورده شده و در ادامه نتایج آزمایش نفوذپذیری بیان می‌شود.

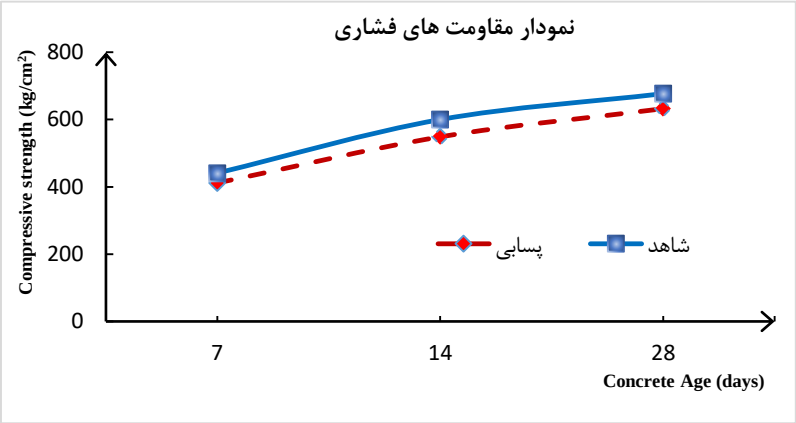
۳-۳-۱- بررسی مقاومت فشاری نمونه‌ها

مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ میلی‌متری با استفاده از آب شهری و نمونه‌های ساخته شده با استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب با طرح اختلاط یکسان و شرایط عمل‌آوری برابر در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج میانگین بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع در جدول (۱۱) و نمودار شکل (۸) نشان داده شده‌است. بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار مقاومت فشاری نمونه‌های پسابی کمتر از مقدار متناظر در نمونه‌های شاهد می‌باشد میزان تفاوتها در جدول (۱۲) ارائه گردیده‌است.

جدول ۱۱: میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن خودتراکم (kg/cm^2)

نمونه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
شاهد	۴۴۱	۶۰۰	۶۷۷
پسابی	۴۱۲	۵۵۵	۶۳۲

[3] thixotropic



شکل ۸: تغییرات میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد و پسابی در سنین مختلف

جدول ۱۲: مقدار کاهش میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن خودتراکم (kg/cm^2)

سن نمونه‌های بتنی (روز)	۷	۱۴	۲۸
مقدار کاهش مقاومت(درصد)	۶/۵	۷/۵	۶/۶

بررسی مقادیر بدست آمده برای مقاومت فشاری نمونه بتن خودتراکم شاهد نشانگر مقدار با تحقیقات پیشین من الجمله تحقیقات یحیایی و همکاران [۱۳] می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج مقاومت فشاری به‌دست آمده از آزمایش که در جدول و نمودارهای فوق بدان اشاره شد، مشخص می گردد که مقاومت فشاری به دست آمده در نمونه‌های بتن خودتراکم پسابی در سنین مختلف۶/۵ الی ۸ درصد کمتر از نمونه‌های بتن خودتراکم شاهد بوده است. تخریب و گسیختگی نمونه‌ها در آزمایش تعیین مقاومت فشاری مطابق شکل (۹) است.

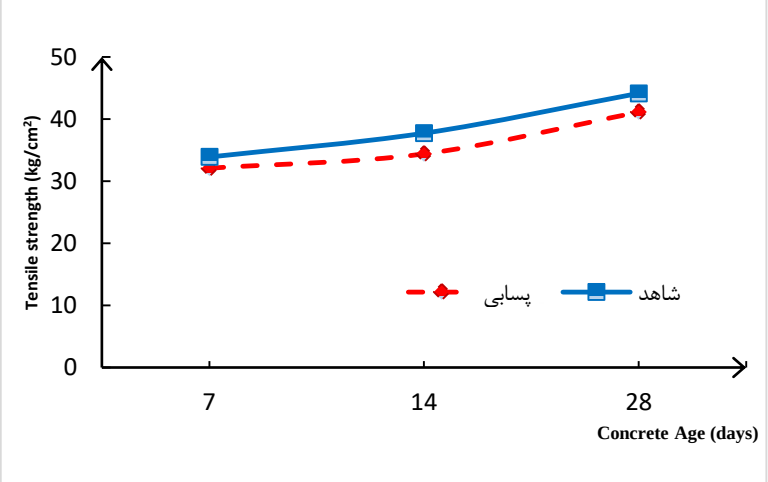
شکل ۹: نمونه‌های آزمایش شده بتن پسابی و بتن شاهد

۲-۳-۳- بررسی مقاومت کششی نمونه‌های بتن خودتراکم

برای تعیین مقاومت کششی نمونه‌های بتنی از قالب‌های ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متری استفاده شده که دو سری نمونه با استفاده از آب شهری (نمونه‌های شاهد) و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز تهیه و بعد از عمل‌آوری به مدت ۷، ۱۴ و ۲۸ روز تحت آزمایش تعیین مقاومت کششی به روش آزمایش برزیلی قرار گرفت که نتایج کلی آن در جدول (۱۳) درج شده است. شکل (۱۰) روند تغییرات میانگین مقاومت کششی نمونه‌ها نسبت به زمان و شکل (۱۰) مقایسه میانگین مقاومت کششی نمونه‌های شاهد و پسابی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳: میانگین مقاومت کششی نمونه‌های بتن خودتراکم (kg/cm^2)

نمونه	۷ روزه	۱۴روزه	۲۸ روزه
شاهد	۳۳/۹	۳۷/۷۳	۴۴/۱۴
پسابی	۳۲/۰۷	۳۴/۳۹	۴۱/۱۲



شکل ۱۰: روند تغییرات میانگین مقاومت کششی نمونه‌ها

بررسی مقادیر بدست آمده برای مقاومت کششی نمونه بتن خودتراکم شاهد نشانگر مقدار با تحقیقات پیشین من الجمله تحقیقات یحیایی و همکاران [۱۳] می‌باشد. با توجه به نتایج آزمایش‌های مندرج تمامی نمونه‌های بتن پسابی در مقایسه با نمونه‌های بتنی شاهد در سنین یکسان دارای کاهش مقاومت کششی می‌باشد. کاهش مقاومت کششی در نمونه‌های بتن پسابی نسبت به نمونه‌های شاهد در سنین مختلف به شرح جدول (۱۴) می‌باشد:

جدول ۱۴: مقدار کاهش مقاومت کششی نمونه‌های پسابی نسبت به نمونه‌های شاهد

سن نمونه‌های بتنی (روز)	۷	۱۴	۲۸
مقدار کاهش مقاومت(درصد)	۵/۵۵	۸/۸۳	۶/۸۳

همچنین با توجه به جدول (۱۴) بیشترین مقدار کاهش مقاومت کششی نمونه‌های بتن خودتراکم پسابی در سن ۱۴ روزه و کمترین مقدار کاهش مربوط به سن ۷ روزه می‌باشد. همچنین رفتار مقاومت کششی نمونه‌های بتن خودتراکم پسابی مشابه نمونه‌های شاهد می‌باشد. شکافت نمونه‌های پسابی در آزمایش شکافت مشابه نمونه‌های بتنی شاهد است، با این تفاوت که شکافت در نمونه‌های پسابی محسوس‌تر و با درز و بازشدگی بیشتری همراه می‌باشد. تصاویر مربوط به شکافت نمونه‌ها در شکل (۱۱) آمده است.

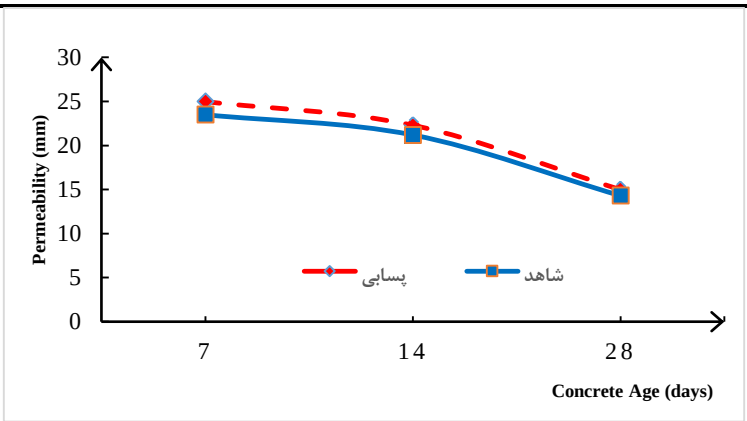
شکل ۱۱: مقایسه شکافت کششی نمونه شاهد و نمونه پسابی

۳-۳-۳- بررسی نفوذپذیری نمونه‌های بتن خودتراکم

برای تعیین نفوذپذیری نمونه‌های بتن خودتراکم، نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵۰×۳۰۰ میلی متری با استفاده از آب شهری (نمونه شاهد) و نمونه‌های دیگر به همان اندازه و مشخصات از پساب تصفیه‌خانه شهر تبریز (نمونه پسابی) ساخته شد و بعد از عمل آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه مورد آزمایش نفوذپذیری قرار گرفت که مقادیر میانگین نمونه‌ها در جدول (۱۵) درج و در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۱۵: مقادیر نفوذپذیری نمونه‌های بتنی بر حسب میلی متر

نمونه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
شاهد	۲۳/۵	۲۱/۲	۱۴/۳
پسابی	۲۵	۲۲/۳	۱۵



شکل ۱۲: روند تغییرات نفوذپذیری نمونه‌های شاهد و پسابی با افزایش سن نمونه‌ها

با توجه به نتایج آزمایش‌ها می‌توان عنوان کرد تمامی‌نمونه‌های بتن خودتراکم پسابی در مقایسه با نمونه‌های بتن خودتراکم شاهد دارای افزایش نفوذپذیری می‌باشد. همچنین میزان افزایش نفوذپذیری با افزایش سن بتن کاهش می‌یابد. افزایش نفوذپذیری در نمونه‌های بتن پسابی نسبت به نمونه‌های شاهد در سنین مختلف به شرح جدول (۱۶) می‌باشد:

جدول (۱۶) مقدار افزایش نفوذپذیری نمونه‌های پسابی نسبت به نمونه‌های شاهد

سن نمونه‌های بتنی (روز)	۷	۱۴	۲۸
مقدار افزایش نفوذپذیری (درصد)	۶	۴/۹۳	۴/۶۶

رفتار نفوذپذیری نمونه‌های پسابی مشابه نمونه‌های شاهد می‌باشد. شکل و عمق نفوذ آب در نمونه‌های پسابی مشابه نمونه‌های بتنی است. تصویر نفوذ آب در نمونه‌های پسابی و شاهد در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

شکل ۱۳: نفوذپذیری آب در نمونه‌های پسابی و نمونه‌های شاهد

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، مطالعات آزمایشگاهی جهت بررسی اثرات استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلابی بر روی خواص مکانیکی و نفوذپذیری بتن خودتراکم صورت گرفت. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌ها و بررسی آن‌ها می‌توان عنوان کرد:

- بتن‌های تازه ساخته شده از آب شهری و پساب تصفیه خانه فاضلاب در یک کلاس‌بندی قرار گرفته‌اند و از تاثیر استفاده از پساب در کیفیت بتن خودتراکم تازه می‌توان چشم‌پوشی کرد.
- مقدار کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های پسابی در مقایسه با نمونه‌های شاهد در سنین ۷و ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب ۶/۵ درصد، ۷/۵درصد و ۶/۶ درصد به‌دست آمد که نشانگر میزان ناچیز تفاوت مقاومت فشاری در نمونه‌های شاهد و پسابی است.
- مقدار کاهش مقاومت کششی نمونه‌های پسابی در مقایسه با نمونه‌های شاهد در سنین ۷و ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب ۵/۵ درصد، ۸/۸ درصد و ۶/۸ درصد بدست آمد که نشان دهنده تفاوت اندک نمونه های پسابی و شاهد می‌باشد.
- بر اساس پژوهش انجام شده، مقدار افزایش نفوذپذیری نمونه‌های پسابی در مقایسه با نمونه‌های شاهد در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه به ترتیب برابر: ۶ درصد، ۴/۹۳ درصد و ۴/۶۶ درصد حاصل شد. با توجه به نتایج می‌توان عنوان کرد نمونه‌های بتن خودتراکم پسابی در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارای افزایش نفوذپذیری (هرچند اندک) می‌باشند که میزان آن با افزایش سن بتن کاهش می‌یابد.

مراجع

[1] Okamura H., 1997, Self-compacting high-performance concrete. Concr Int Design Constr.
[2] Ozawa K., 1989, Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures. EASEC-2.
[3] Shi C et al., 2005, Design and application of self-compacting lightweight concrete, 1st international symposium on design, performance and use of self-consolidating concrete. RILEM Publications SARL.

[4] Sandrolini, F., Franzoni, E., 2001, Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants, Cement. Concrete. Research; 31(3): 485–489.
[5] Su, N., Miao, B., Liu, F., 2002, Effect of wash water and underground water on properties of concrete. Cement and Concrete Research; 32(3) 777–782.
[6] Mekki, H., Anderson, M., Ammar, E., Sherrat, G., Benzina, M., 2006, Mill wastewater as a replacement for fresh water in the manufacture of fried clay Olive oil bricks. Journal of Chemical Technology and Biotechnology;81(4): 1414-1419.
[7] Ismail, Z., Enas, A., Al-Hashmi A., 2010, Assessing the recycling potential of industrial wastewater to replace fresh water in concrete mixes: application of polyvinyl acetate resin wastewater: Journal of Cleaner Production; 19(3): 197-203.
[8] AL-JABRI, K.S., AL-SAIDY, A.H., TAHA R., and AL-KEMYANI, A.J., 2011, Effect of using Wastewater on the Properties of High Strength Concrete: Procedia Engineering; 14, k370–376.
[9] A. Khoshravesh; h. bahadori; A. Manafpour, 2014, The Effect of Using Sewage Sludge Ash with and without Nano Silica Particles on Properties of Self-Compacting Cement Based Materials, Volume 25, Issue 4, September and October 2014, Pages 66-75, Journal of water and wastewater
[10] Asadollahfardi, G., Asadi, M., Jafari, H., Moradi, A., Asadollahfardi, R., 2015 Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete: Construction and Building Materials; k98(3): 305–314.
[11] Rala, A., Kalla, P., Csetenyi, L.J., 2015. Sustainable use of marble slurry in concrete. J. Clean. Prod., j. jclepro; 94(2): 304-311.fficiency improvement of heat-resistant concrete through the use of sludge.
[12] Aamer Najim Abbas, Lubna M. Abd, Muhannd W. Majeed, 2019, Effect of Hospital Effluents and Sludge Wastewater on Foundations Produced from Different Types of Concrete, Civil Engineering Journal, Vol 5, No 4,
[13] Yahyaei B., Asadollahfardi Gh., Salehi A., 2020, Workability, mechanical, and durability properties of self-compacting concrete using the treated wastewater; Structural Concrete.;1–12 ;DOI: 10.1002/suco.201900447
[14] EFNARC, 2005, Specification and guidelines for Self-Compacting Concrete, Association Hous.
[15] Faculty of Chemistry, University of Tabriz, 2017, Report of Tabriz Urban Water Survey.
[16] Faculty of Chemistry, University of Tabriz, 2017, Tabriz Urban Wastewater Survey Report.
[17] Saraposh Company, 2017, Material Specification Report, Manufacturer and Supplier of Concrete Admixtures and Building Chemicals.
[18] Abadgaran Company, 2017, Report of production materials specifications, design and production of advanced types of concrete engineering materials.
[19] ACI 211.1-91, 2002, Standard Practice for Selecting Propertions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, American Concrete Institute, Reapproved.
[20] ACI 318M-02: C, 2002, Building Code Requirements for Structural Concrete", American Concrete Institute.