بررسی تاثیرعمل‌آوری در پساب ناشی از شستشوی کامیون‌های حمل بتن بر خواص مکانیکی بتن معمولی و الیافی

غلامرضااسدالله فردی[۱]، امیرمسعودصالحی[۲]، مریم تقی زاده[۳]

۱- استاد دانشگاه خوارزمی تهران

۲- استادیار دانشگاه خوارزمی تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد

Std_taghizadeh@khu.ac.ir

چکیده

امروزه کاربرد بتن به علت در دسترس بودن، سهولت در اجرا ، مقاوم بودن و شکل پذیری آن در صنعت ساخت‌وساز روبه افزایش است.از سوی دیگر ، باتوجه به کمبود منابع آب شیرین در ایران و اینکه کشورمان جزو کشورهای گرم و خشک محسوب می‌شود بحران آب شرب در سال‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. در همین راستا ، پژوهش با هدف بررسی تاثیر استفاده از پساب ناشی از شستشوی کامیون‌های حمل بتن و کارخانه تولید بتن در عمل‌آوری آن بر خواص مکانیکی بتن الیافی و معمولی صورت گرفت. برای این منظور ، ضمن اندازه‌گیری خواص شیمیایی پساب ، مقاومت فشاری ۷، ۲۸ ،۵۶ و ۹۰ روزه نمونه‌های بتنی مکعبی ۱۵ سانتی‌متری تهیه و مورد آزمون قرار گرفت. همچنین نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵*۳۰ سانتی‌متر برای آزمایش مقاومت کششی و تیرهای با ابعاد ۵۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متر برای آزمایش مقاومت خمشی تهیه و بررسی گردید. نتایج نشان داد استفاده از پساب ناشی از شستشوی ماشین‌آلات تهیه بتن در عمل‌آوری آن نه تها موجب کاهش مقاومت فشاری ، کششی و خمشی نمی‌شود بلکه باعث افزایش آن نیز می‌شود. این افزایش در مقاومت فشاری برای بلندمدت (۹۰روز) محسوس‌تر و در سایر سنین تقریبا بی‌تاثیر است. همچنین این نوع عمل‌آوری مقاومت کششی ۲۸ روزه را تا ۱۵ درصد و مقاومت خمشی را تا ۷ درصد بهبود می‌بخشد. بطورکلی استفاده از این نوع پساب در نگهداری نمونه‌های بتنی در مناطقی که با محدودیت آب شرب برای عمل‌آوری بتن بدون ایجاد اثر منفی بر خواص مکانیکی توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی:عمل‌آوری، خواص‌مکانیکی، بتن‌الیافی، بتن‌معمولی،پساب

مقدمه

از گذشته‌های دور انسان‌ها و آب پیوندی مستحکم داشته‌اند. منابع آب در شکل‌گیری اکثر تمدن‌ها دارای نقش مهم و حیاتی داشته به‌گونه‌ای که بخشی از آئین‌ها و مراسم ملل مختلف درباره این مایع مهم و حیاتی است. امروزه ۱/۱ میلیارد نفر در جهان به آب شیرین و سالم دسترسی ندارند و در هر ۲۰ ثانیه یک انسان در اثر بیماری‌های مربوط به آب، جان خود را از دست می‌دهد که ۹۹٪ آن‌ها کودکان زیر ۵ سال می‌باشند[۱]. یکی دیگر از چالش‌های عمده در خصوص منابع محدود آب، افزایش جمعیت جهان است که همگان نیاز به آب شیرین دارند . در کشورهای حاشیه جنوبی خلیج‌فارس مانند کویت، روزانه حدود ۲ میلیون دلار جهت تهیه ۱،۱ میلیون مترمکعب آب آشامیدنی از آب دریا هزینه می‌شود[۲]. بعد از آب، بتن پرمصرف‌ترین ماده توسط انسان است [۳]که با دقت درروند تهیه و تولید آن می‌توان اثرات مخربی که ممکن است بر محیط‌زیست داشته را پیش‌بینی کرد. سالیانه در حدود ۶ میلیارد تن بتن در

جهان مصرف می‌شود که میزان مصرف این ماده در ساخت‌وسازها ۱۰ برابر مصرف فولاد است[۴]که پتانسیل بالقوه‌ای جهت استفاده از روش‌هایی که اثرات زیست‌محیطی فرآیند بتن را کاهش دهند احساس می‌شود. از یک‌سو استانداردهای اجرای ساختمان، استفاده از آب قابل شرب که مواد جامد آن به‌ندرت بیش ازppm ۲۰۰۰ و به‌طورمعمول کمتر از ppm ۱۰۰۰ باشد، را برای ساخت و عمل‌آوری بتن توصیه نموده‌اند[۵]. و ازطرف دیگر، برای ساخت هر مترمکعب بتن حدوداً ۱۵۰ لیتر آب موردنیاز است که با توجه به کم‌آبی‌های کشورمان ، مقدار زیادی محسوب می‌شود. از طرفی برای هرماشین حمل و اختلاط بتن بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ گالن آب مصرف می‌شود[۶]. افزایش تقاضا برای آب با رشد جمعیت و صنعتی‌تر شدن روبه گسترش است و همین امر باعث کاهش آب شیرین در دسترس شده است. درعین‌حال، امروزه بیش از هر زمان دیگری ، فاضلاب تولید می‌شود و مواد زائد مختلف از طریق پساب دفع می‌گردد. اگر این پساب به‌طور مناسبی دفع نگردد، محیط‌زیست و افرادی که در مجاورت آن هستند را در معرض خطر قرار خواهد داد[۷] . معضل آب و ورود فاضلاب‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی به محیط‌زیست مشکلات جدیدی را مطرح کرده است. یکی از طرح‌های جدیدی که اخیرا ذهن محققان و دوستداران محیط‌زیست را مشغول ساخته، استفاده از پساب ناشی از شستشوی کامیون‌های حمل بتن و کارخانه‌های تولید بتن در ساخت و عمل‌آوری بتن است. برآوردشده است که پس از استفاده از بتن تهیه‌شده در یک کامیون حمل بتنی با گنجایش ۹ مترمکعب بتن تازه (تقریباً ۲۲۰۰۰ کیلوگرم بتن)، حدود ۴۰۰-۲۰۰ کیلوگرم بتن باقی می‌ماند که معمولاً با ۷۰۰ تا ۱۳۰۰ لیتر آب شستشو می‌شود و پساب تولیدی شامل سنگ‌دانه‌ها و آبی با قلیایی‌ات بالا، ذرات جامد محلول و معلق است و خاصییت قلیایی زیادی دارد [۸]. اگر آب ناشی از شستشوی بتن دوباره استفاده شود، به این معنی خواهد بود که میلیون‌ها مترمکعب آب آشامیدنی ذخیره می‌شود و دفع بی‌خطری نیز صورت گرفته است[۹]. در سال ۱۳۸۸ مهردادی و همکاران بر روی استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری در تهیه و نگهداری بتن مطالعاتی را انجان داده و بیان داشتند درصورتی‌که تصفیه ثانویه بر روی فاضلاب شهری انجام شود و مواد آلی به حد مطلوب در آب اختلاط برسد کاهش مقاومت آن نسبت به مقاومت بتن تهیه‌شده از آب آشامیدنی کمتر از ۱۰ درصد خواهد بود و روی مقاومت ۷ روزه بتن تاثیر محسوس‌تری نسبت به مقاومت ۲۸ روزه بتن می‌گذارد[۱۰].در همان سال در پژوهش دیگری که توسط خضری و همکاران تحت عنوان تولید بتن از لجن فاضلاب شهری صورت گرفت آمده است که بهترین درصد جایگزینی لجن با آب اختلاط بتن ۲۵ و ۵۰ ٪ است ، چراکه در درصدهای بالاتر(۷۵ و ۱۰۰٪) به دلیل افزایش میزان ناخالصی‌ها بخصوص ناخالصی‌های آلی مقاومت فشاری کاهش می‌یابد بطوری که با در نظرگرفتن اختلاف متوسط مقاومت فشاری این نمونه‌ها با متوسط مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد ، مطابق با استانداردهای آمریکا (ACI) و انگلستان (BS) در محدوده اختلاف ۱۰٪ قرار نمی-گیرد[۱۱]. در سال ۱۳۹۷ امامی و همکاران به بررسی استفاده از پساب تصفیه‌شده صنعتی در تهیه و عمل‌آوری بتن غیرمسلح پرداختند، نتایج آنان حاکی از این بود که استفاده و ترکیب پساب صنعتی با آب شرب در تهیه و نگهداری بتن موجب افزایش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ برای پساب صنعتی به ترتیب ۲۷,۲ و ۹,۴ درصد و در نمونه‌های حاوی ترکیب پساب و آب شرب به ترتیب ۴۸,۲ و ۷۱,۴ درصد شد[۱۲]. به همین منظور امکان‌سنجی استفاده از پساب ناشی از شستشوس کامیون های حمل بتن و کارخانه تولید بتن در عمل‌آوری بتن معمولی و الیافی در دانشکده فنی دانشگاه خوارزمی مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۱- مواد و روش انجام آزمایش

پساب مورد استفاده در این تحقیق که برای عمل‌آوری نمونه‌های بتنی استفاده شد ، پساب ناشی از شستشوی کامیون‌های حمل بتن است که از کارخانه تولید بتن سپهر بتن وندیداد نظرآباد طی ۱ ساعت جمع‌آوری شده و در مدت زمان کمتر از ۲۴ ساعت مورد آنالیز قرار گرفته‌است. جدول ۱ نتایج آنالیز پساب مصرفی را ارائه می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی پساب مصرفی

پارامتر	نماد	مقدار بر حسب ppm
قدرت شیمیایی	pH	۱۱/۲۲
کل مواد جامد محلول	TDS	۱۸۷۲
کلر	CL(-)	۳۰/۲
سولفات	$SO_4(2-)$	۵۰/۹

سیمان مصرفی در این پژوهش ، پرتلند تیپ ۲ آبیک قزوین بوده ، که جدول ۲ آنالیز شیمیایی و جدول ۳ خصوصیات فیزیکی آن را نشان می‌دهد. سنگدانه بکار رفته در تهیه مخلوط بتنی از نوع شن بادامی ، شن نخودی و ماسه منطقه هشتگرد استان البرز است که با نسبت حجمی ۱:۲:۲ ترکیب شدند و در جدول ۴ خصوصیات فیزیکی آن آورده شده‌است.

جدول ۲-ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند مصرفی

عنوان ترکیب و یا ویژگی	درصد
SiO_2	۲۷,۵۲
Al_2O_3	۱,۵۸
Fe_2O_3	۶,۶۸
CaO	۸۲,۲۶
MgO	۶,۶۲
SO_3	۹,۶۲
K_2O	۷,۸۶
Na_2O	۷,۶۵
پسماند نامحلول[1]	۰,۶۹
افت سرخ شدن[2]	۰,۸۵

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی سیمان مصرفی

عنوان ویژگی	واحد	مقدار
انبساط اوتوکلاو (سلامت سیمان)	٪	۰/۰۸
نرمی	Cm^2/g	۳۱۷۰
مقومت فشاری ۳ روزه	Kg/cm^2	۲۰۹
مقاومت فشاری ۷ روزه	Kg/cm^2	۳۸۲
مقاومت فشاری ۲۸ روزه	Kg/cm^2	۴۳۱
زمان گیرش اولیه	min	۱۱۵
زمان گیرش نهایی	min	۲۵۰
چگالی سیمان ۳۲۰۰ Kg/cm^3	گزارش شده‌است.	

[1] Insoluble Residue

[2] Loss of Ignition

جدول۴- خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی

نام سنگدانه	حداکثر اندازه دانه (mm)	جذب آب (٪)	وزن مخصوص (Kg/ cm^3)
شن بادامی شکسته	۱۹	۱,۸	۲,۶۹
شن نخودی	۱۲,۵	۱,۱	۲,۶۷
ماسه	۵	۳,۶	۲,۵۳

پس از انجام آزمایش دانه‌بندی سنگدانه‌ها منطبق با استاندارد ASTM C۱۳۶ [۱۰] (نمودار ۱) و مشخص شدن حجم و وزن هریک از مصالح اقدام به توزین به جهت اجرای طرح اختلاط شد. ساخت و عمل آوری نمونه‌های آزمایشی بتن در آزمایشگاه طبق استاندارد ایران۵۸۱ [۱۱] و در دمای محیط انجام گردید و مخلوط بتنی مطابق با طرح مخلوط ارائه در جدول ۵ تهیه شد. در ادامه نمونه برداری از بتن تازه طبق استاندارد ۳۲۰۱ ایران سال ۱۳۷۰ [۱۲] انجام شده است. مخلوط بتنی در سه لایه و هرلایه ۲۵ ضربه توسط کوبه مخصوص در قالب‌ها ریخته و متراکم گردیده و سطح آنها تسطیح شد. در مجموع ۲۴ نمونه‌های مکعبی ۱۵*۱۵ برای بررسی مقاومت فشاری ، ۶ تیر ۱۰*۱۰*۵۰ جهت بررسی مقاومت خمشی و ۴ نمونه استوانه‌ای ۱۵*۳۰ برای آزمایش مقاومت کششی تهیه شدند و پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و به درون پساب قرار داده‌شدند. در گام بعدی نمونه‌های مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ۶۰۴۸ [۱۳] و ASTM C ۳۹ [۱۴] ، مقاومت کششی بتن به روش دو نیم نمودن آزمونه‌های استوانه ای قالب‌گیری شده مطابق استاندارد ۶۰۴۷ ایران سال ۱۳۸۲ [۱۵] و ASTM C۴۹۶ [۱۶] و مقاومت خمشی بتن مطابق با استاندارد ۴۹۰ ایران(۱۳۸۶) [۱۷] و ASTM C۷۸ [۱۸] انجام گرفت.

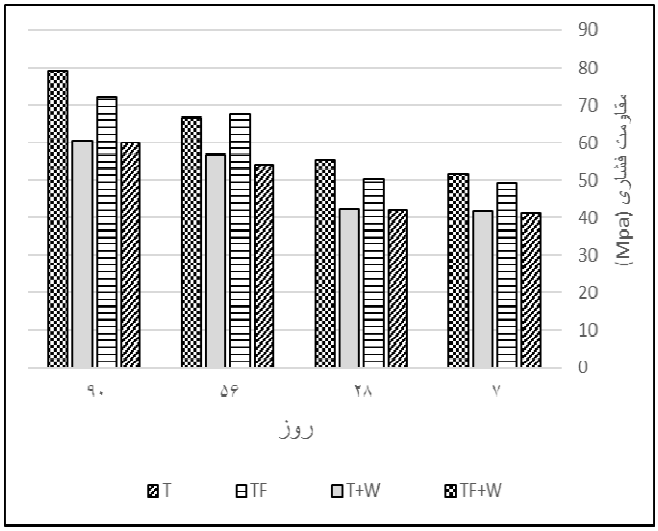
جدول ۵- طرح های اختلاط بتن

نام‌طرح	سیمان (kg)	آب شرب (L)	نسبت آب به سیمان (W/C)	ماسه (kg)	شن ریز (kg)	شن درشت (kg)
T	٤۰۰	۱۸۸	۰,٤۷	۸۹٤,۵	٤۸۳	٤۱۱,۵

لازم به ذکر است که در نمونه‌های حاوی الیاف در مخلوط بتنی فوق‌الذکر به ازای هر متر مکعب بتن ۰,۷۳ درصد الیاف فلزی اضافه شده‌است.دو دلیل برای بررسی بتن الیاف فولادی در این تحقیق مورد نظر بوده است. ابتدا با توجه تمرکز تحقیق بر روی خواص خمشی و کششی بتن (و نیز آزمایش چقرمگی که نتایج آن در تحقیق حاضر ارائه نشده است)، هدف تولید بتن هایی با مقاومت خمشی و کششی بالا مورد نظر بوده است. علاوه بر این، با بررسی چشمی الیاف بکار رفته در بتن، میزان خوردگی الیاف فولادی در بتن با پساب و بدون آن مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین جهت تمایز نمونه‌ها، نمونه‌های فاقد الیاف به اختصار T و نمونه‌های حاوی الیاف با نشان Tf بیان شده‌اند که هر دو نوع در آب شرب عمل‌آوری شدند. نمونه‌های بتن معمولی بوده و بتن الیافی که در پساب نگهداری شدند نیز به ترتیب با نشان T+W و TF+W نمایش داده‌شدند.

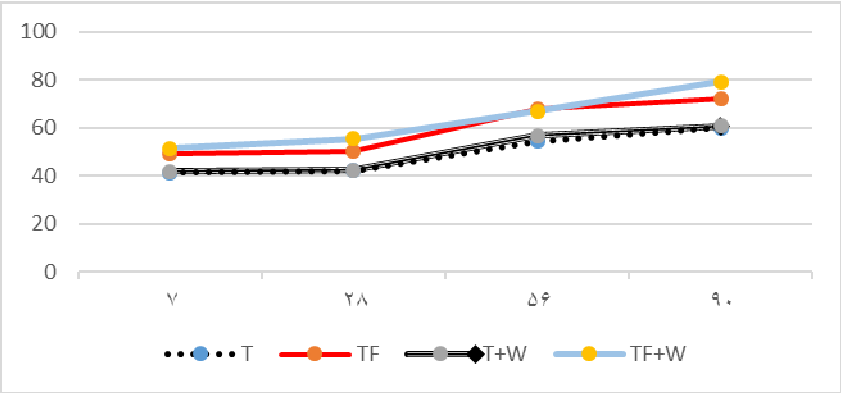
بحث و بررسی

نتایج حاصل از شکست نمونه‌ها در سنین ۷ ، ۲۸ ، ۵۶ و ۹۰ روزه پس از میانگین‌گیری از سه آزمونه به ترتیب در شکل ۲ نشان داده شده است . با مقایسه نتایج حاصل از شکست نمونه‌های کنترل و نمونه‌هایی که در پساب نگهداری شدند مشاهده می‌شود که با گذشت زمان نرخ افزایش مقاومت فشاری افزایشی و در نگاه کلی ثابت است.



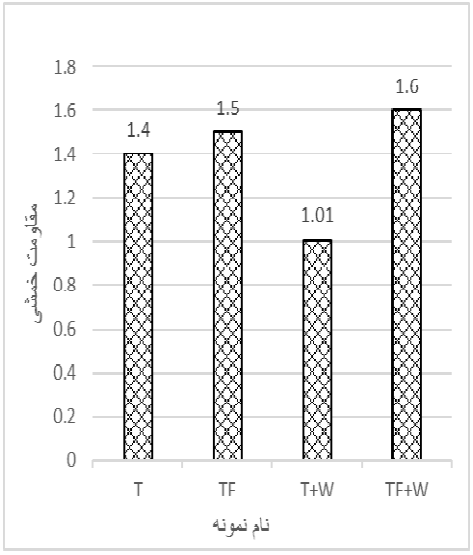
شکل۲- مقایسه مقاومت فشاری

مقاومت فشاری نمونه‌های نوع TF، T+W و TF+W به ترتیب طی ۹۰ روز در مقایسه با نمونه‌های نوع شاهد ۲۰ ، ۱,۲ و ۳۱,۸ درصد افزایش داشتند. افزودن الیاف و نگهداری نمونه‌ها در پساب باعث بهبود در مقاومت شده‌است. بطوری که مقاومت فشاری گزارش شده برای نمونه حاوی الیافی که در پساب عمل‌آوری شدند ۷۹,۱ مگاپاسکال و برای نمونه‌های نوع TF ۷۲ مگاپاسکال می‌باشد که ۹,۸ درصد افزایش را نشان می‌دهد.



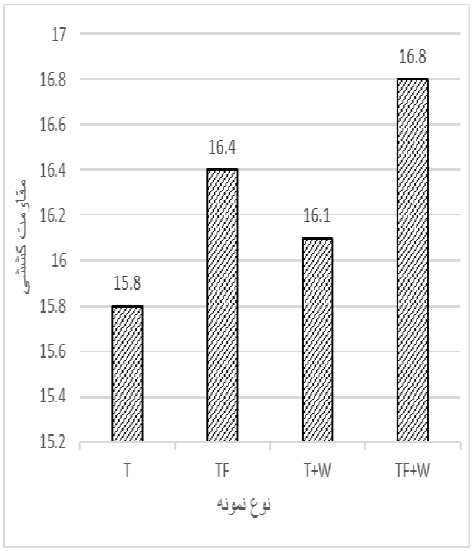
شکل۳-نرخ رشد مقاومت فشاری

بطورکلی عمل‌آوری در پساب باعث شده تا نمونه‌های بتنی همواره رشد مقاومت فشاری را نشان دهند و همانگونه که از شکل برمی‌آید نمونه‌های مذکور درصورتی که با الیاف فلزی نیز تقویت شوند حتی مقاومت بیشتری در مقایسه با نمونه‌هایی که در آب شرب نگهداری شدند از خود نشان می‌دهند. با دقت در شکل ۳ ، می‌توان بیان داشت که نوع آبی که نمونه‌های بتن معمولی در آن قرار داشتند در میزان مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه اثر چندانی نداشته - است. در بین نمونه‌های بتن الیافی ، عمل‌آوری با پساب همواره اثر مثبتی داشته و باعث افزایش مقاومت فشاری شده –ست. لازم به ذکر است که نرخ کسب مقاومت، خصوصا پس از سن ۲۸ روز در بین آزمونه‌های الیافی بیشتر است. می‌توان گفت چنانچه مقاومت ۲۸ روزه مد نظر باشد نوع عمل‌آور تاثیر چشمگیری بر مقاومت فشاری نخواهد داشت و در دراز مدت اثر مثبت خود را نشان می‌دهد.



شکل۳- مقاومت خمشی

همچنین نمونه‌ها بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری مورد آزمایش مقاومت خمشی نیز قرار گرفتند. از هر نوع بتن سه نمونه در پساب و سه نمونه در آب شرب قرار داده‌شدند و سپس میانگین مقاومت‌های خمشی بدست آمده گزارش گردید. نمونه‌هایی که در پساب عمل‌آوری شده و شامل دو نوع بتن الیافی و یتن فاقد الیاف است مقاومت خمشی ۱,۶و ۱,۰۱ مگاپاسکال و آزمونه‌هایی که در آب شرب نگهداری شدند به ترتیب ۱,۵ و ۱,۴ مگاپاسکال را تحت آزمایش داشتند. باتوجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات، می‌توان بیان داشت که درصورت مقایسه نمونه‌های بتن الیافی و بتن معمولی، بکارگیری الیاف فلزی در مخلوط بتنی و یا نگهداری در پساب باعث افزایش ۷,۱ ٪ مقاومت خمشی می‌گردد. این در حالی‌است که استفاده توام از الیاف و پساب جهت عمل‌آوری نمونه‌ها اثر مثبت در مقاومت داشته و آن را تا حدود ۱۵ ٪ بیشتر می‌کند.



شکل۴- مقاومت کششی

مقاومت کششی نیز مشابه مقاومت خمشی انجام گرفت . پس از انجام آزمون دو نیم شدن ، مقاومت کششی نمونه های بتن فاقد الیافی که به عنوان شاهد مد نظر قرار گرفتند و در آب شرب و پساب قرار داشتند به ترتیب ۱۵٫۸ و ۱۶٫۴ مگاپاسکال و نمونه‌های بتن الیافی به ترتیب ۱۶٫۱ و ۱۶٫۸ مگاپاسکال گزارش گردید که با مقایسه نتایج استفاده از الیاف و پساب په بصورت منفرد و چه بصورات توام باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود.

باتوجه به آنالیز پساب مورد استفاده ، مقدار pH پساب ۱۱٫۲۲ ذکر شده و با توجه به نتایج آمده در پژوهشی تحت عنوان تاثیر استفاده از آب‌های قلیایی به عنوان آب مخلوط بتنی بر خواص مکانیکی ملات سیمانی نوشته کوماک ، عمل‌آوری نمونه‌های بتنی در آبی که خاصییت قلیایی دارد به افزایش مقاومت فشاری کمک کرده و حتی استفاده از آن در مخلوط بتنی اثری مثبت بر خواص مکانیکی بتن دارد ؛ که این موضوع با نتیجه بدست آمده در پژوهش حاضر مطابقت دارد[۱۹]. از جمله دلایل بهبود مقاومت، هیدراسیون مناسب تر محصولات سیمانی در محیط های قلیایی و نیز ترکیب پایدارتر هیدروکسید کلسیم ذکر شده است.

در مطالعه‌ای که توسط مهردادی و همکارانش با موضوعیت استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری در تهیه و نگهداری بتن انجام شده ذکر شده که در نمونه‌هایی که آب نگهداری از نوع پسابی است مقاومت فشاری مطلوب‌تری بدست آمده‌است[۸]. در این بتن ها نیز با توجه به فرایند تصفیه فاضلاب شهری، این آب دارای pH بالاتر از ۷ بوده و محیط هیدراسیون محصولات سیمانی را قلیایی تر نموده است و باعث بهبود محصولات هیدراسیون شده است.

در مطالعات امامی و همکارانش که به بررسی استفاده از پساب تصفیه شده صنعتی در تهیه و عمل‌آوری بتن غیرمسلح پرداختند نیز بیان گردیده که استفاده از آب ترکیبی و پساب صنعتی به‌جای آب شرب باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها شده است، بنابراین استفاده از این آبهای نامتعارف، محدودیتی برای ساخت بتن غیرمسلح به وجود نیاورد[۹]. در کلیه این پساب ها، قلیایی بودن آب ها مهم می باشد و در صورت که پساب بکار رفته محیط را به سمت اسیدی شدن ببرد، علاوه بر کیفیت کمتر محصولات هیدراسیون، پس از مدتی باعث تسریع در خوردگی میلگردها می گردد.

محدودیت تحقیق

یکی از مشکلات مهم تولید بتن های بازیافتی که حاصل از مصرف ضایعات در بتن می باشد. در تحقیقات حاضر با برداشت پساب بتن در بازه های مختلف زمانی و در شرایط مختلف سعی گردید پساب بتن مصرفی بگونه ای باشد که تغییرات احتمال در کیفیت پساب در تحقیق در نظر گرفته شود. با این حال بر اساس مروری بر تحقیقات گذشته، pH پساب مصرفی مهم بوده و قلیایی بودن آن در بیشتر موارد باعث بهبود نسبی خواص می گردد.

نتیجه‌گیری

نمونه‌های بتنی در دو نوع بتن الیافی و فاقد الیاف با استفاده از آب شرب ساخته شده و نیمی از نمونه‌ها در پساب و نیم دیگردر آب شرب عمل‌آوری شدند.جهت تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه و نمونه‌های استوانه‌ای و تیرها جهت آزمایش مقاومت کششی و خمشی در سن ۲۸ روز مورد آزمون قرار گرفتند و نتایج آن به شرح زیر گزارش گردید:

1- استفاده از پساب برای عمل‌آوری نمونه‌های بتن الیافی و معمولی باعث افزایش مقاومت فشاری در بلند مدت می‌شود و در مقاومت ۲۸ روزه تاثیر چشمگیری ندارد.

2- مقاومت کششی و خمشی نمونه‌هایی که در پساب عمل‌آوری شدند به ترتیب ۱۵تا۱۶ درصد و حدودا ۷ درصد افزایش یافته و تاثیر مثبتی بر این مقاومت ها داشت.

3- بطورکلی استفاده از پساب ناشی از شستشوی کامیون‌های حمل بتن و کارخانه تولید بتن در عمل‌آوری نمونه‌ها باعث بهبود خواص مکانیکی بتن می‌شود.

مراجع

[۱]- WHO (World Health Organization) (۲۰۰۲),Health through safe drinking water and basic sanitation, <http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg۱/en/>, visited on January ۱۴, ۲۰۱۴.

[۲]- Al-Ghusain, I., & Terro, M. (۲۰۰۳). Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait. Kuwait Journal of Science and Engineering, ۳۰(۱), ۲۱۳-۲۲۸.

[۳]- Neville A, Brooks J (۱۹۸۷) Concrete Technology. Longman, UK.

[۴]- Asadollahfardi, G., Asadi, M., Jafari, H., Moradi, A., & Asadollahfardi, R. (۲۰۱۵). 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, ۹۸, ۳۰۵-۳۱۴.

[۵]- Silva, M., & Naik, T. R. (۲۰۱۰, June). Sustainable Use of Resources–Recycling of Sewage Treatment Plant Water in Concrete. In Proceeding of the Second International Conference on Sustainable Materials and Technologies (pp. ۱۷۳۱-1740).

[۶]- Khatib,J. ۲۰۰۹. Sustainability of building materials. Woodhead Publishing in Materials .

[۷]- Chatveera, B., & Lertwattanaruk, P. (۲۰۰۹). Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture. Journal of environmental management, ۹0(5), 1901-1908.

[۸]- مهردادی, اکبریان, افروز, & حق‌اللهی. (۱۳۸۸). استفاده از پساب تصفیه‌شدهٔ فاضلاب شهری در تهیه و نگهداری بتن. محیط شناسی, ۳۵(۵۱).

[۹]- امامی،خ.،کابوسی،ک.،فدوی، م.،(۱۳۹۷). "بررسی استفاده از پساب تصفیه‌شده صنعتی در تهیه وعمل‌آوری بتن غیرمسلح".دومین کنگره علوم مهندسی آب و فاضلاب ایران ،۲۲ الی ۲۴ آبان

[10]- ASTM C۱۳۶. (۲۰۰۴), Standard method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

[۱۱]- استاندارد ۵۸۱ (۱۳۸۳)، بتن – ساخت و عمل آوری آزمونه‌های بتن در آزمایشگاه آیین کار، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران، ایران.

[۱۲]- استاندارد ۳۲۰۱-۱ (۱۳۸۸)، بتن تازه - قسمت ۱- نمونه برداری، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران، ایران.

[۱۳]- استاندارد ۶۰۴۸ (۱۳۸۹)، بتن - تعیین مقاومت فشاری آزمونه های استوانه ای - روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران، ایران.

[۱۴]- ASTM C۳۹. (۲۰۰۴), Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

[۱۵]- استاندارد ۶۰۴۷ (۱۳۸۲)، بتن ـ تعیین مقاومت کششی دو نیم نمودن آزمونه های استوانه ای ـ روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران، ایران.

[۱۶]- ASTM C۴۹۶. (۲۰۰۴), Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

[۱۷]- استاندارد ۴۹۰ تجدید نظر یکم (۱۳۸۶)، بتن-مقاومت خمشی بتن(با استفاده از میله سه شاخه ای)-روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران

[18]- ASTM C۷۸. (۲۰۰۲), Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

[۱۹]- Çomak, B. (۲۰۱۸). Effects of use of alkaline mixing waters on engineering properties of cement mortars. European Journal of Environmental and Civil Engineering, ۲2(6), 736-754.