

تأثیر استفاده از فاضلاب و لجن بر مقاومت فشاری بتن

عرفان فرزاد^۱، محمد علی دشتی رحمت آبادی^۲

۱- دانشجوی دکتری رشته عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۲- استادیار گروه عمران، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

Dashti@iauyazd.ac.ir

چکیده:

در دنیای امروز آب کالایی کمیاب محسوب میشود. از آنجا که افزایش جمعیت و صنعتی شدن، نیاز به آب فراوان دارد، حجم عظیمی از فاضلاب تولید میشود. فاضلاب های تصفیه شده و حتی تصفیه شده برای موارد بسیاری میتوانند مجدداً مورد بررسی قرار گیرند. این امر نقش بسیار مهمی در پایداری جوامع دارد. از آنجا که میزان مصرف آب تقریباً مشابه مصرف بتن میباشد، صنعت ساختمان سازی یکی از مهمترین عوامل مصرف آب در جوامع در حال توسعه میباشد. از این رو، این مقاله بر مطالعه دقیق مصرف انواع فاضلاب های تصفیه شده و خام در بتن میپردازد. استفاده از بعضی از آنها سبب تضعیف ویژگی های بتن شده در حالیکه در مقابل برخی دیگر سبب بهبود ویژگی های بتن می شود. بطور کلی می توان گفت فاضلاب و لجن خام و ی ا تصفیه شده در بتن های سازه ای و غیر سازه ای می تواند در کاهش مصرف آب شیرین و حفظ منابع آن کمک شایانی کنند.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت فشاری، فاضلاب، لجن

۱-مقدمه :

جمعیت جهان هر روز افزایش می یابد و پیرو آن نیاز به مسکن نیز بیشتر میشود. در این میان بتن یکی از مهمترین مصالح ساختمانی جهت ساخت مسکن به شمار میرود. [۴]. محبوبیت بتن از هزینه مناسب، دسترسی آسان، شکل پذیری و دوام بالا ناشی میشود. یکی از مهمترین اجزا بتن آب است و از سوی دیگر آب اساس زندگی انسان است و تمام حیات بیولوژیکی انسان به آن وابسته است. اگرچه بیشتر مساحت کره زمین را آب فرا گرفته اما آب موجود در دریاها و اقیانوس ها قابل آشامیدن نیست. پس در واقع آب آشامیدنی کمیاب است. فقط حدود ۲٪ آب موجود قابل شرب است که ۹۷٪ آن در کلاهک های قطبی به شکل برف دائمی و در اعماق عمیق زیر زمین بسته شده است. باقیمانده (یعنی ۳٪) از طریق چرخه بارش و فرم تبخیر قابل تجدید است. حتی این آب هنگامی که به آن نیاز داریم در دسترس نخواهد بود. بی توجهی به مسایل مربوط به آب، مصرف بیرویه،

آلوده کردن آب رودخانه ها، دریاچه ها و دیگر منابع از یک سو و افزایش روزافزون جمعیت مصرف کننده ی آب از سوی دیگر، سبب شده است، که کار تأمین آب مورد نیاز در کشور ما دشوارتر شود. بی تردید ادامه ی این روند در آینده بر شدت بحران کم آبی خواهد افزود [۱۲]. تکنولوژی تولید بتن یکی از بزرگترین صنایع است که در حال مصرف مقدار زیادی آب آشامیدنی است. میزان مصرف بتن همانند میزان مصرف آب است. آب یکی از موارد مهم برای تولید بتن است که در مراحل پخت سیمان، شستشوی سنگ دانه ها و تولید تجهیزات بتنی بکار میرود. استفاده از آب برای مخلوط کردن و ساخت بتن باید فاقد مواد شیمیایی مضر باشد زیرا ممکن است بر خصوصیات بتن مانند زمان گیرش، کارایی، مقاومت و دوام بتن تاثیر بگذارد. در عمل معمولاً کنترل بیشتری بر روی سنگ دانه ها و سیمان اعمال میشود و از کیفیت آب غفلت میشود. یک معیار خیلی معمول میگوید که اگر آب برای آشامیدن مناسب باشد میتواند برای بتن نیز مناسب باشد. هر چند این معیار خیلی مناسب به نظر نمیرسد. به عنوان مثال آب دارای میزانی شکر ممکن است برای نوشیدن مناسب باشد اما برای تولید بتن مناسب نیست. و یا بر عکس. آب مناسب برای بتن ممکن است لزوماً برای نوشیدن مناسب نباشد. از این رو به تناسب برنامه و محیط، بررسی دقیق و تهیه یک سند در مورد استفاده از آب غیر شرب در بتن میتواند بسیار راهگشا باشد. [۱] همانطور که در ابتدا اشاره شد جمعیت هر روز افزایش پیدا میکند و روند شهرنشینی و صنعتی شدن نیز افزایش پیدا میکند. این موارد افزایش مصرف آب و افزایش تولید فاضلاب را موجب میشود. دفع فاضلاب تولید شده در کشورها و تصفیه ی آن از مهمترین مشکلات مدیریت و بهداشت میباشد. سالیانه مبالغ بسیاری زیادی جهت احداث تصفیه خانه ها در کشورهای مختلف هزینه میشود. در ایران سالانه نزدیک به ۳۲ میلیارد متر مکعب فاضلاب تولید می شود که از این میزان ۵ میلیارد متر مکعب فاضلاب شهری و ۲۸ میلیارد متر مکعب فاضلاب بخش کشاورزی است. بازگرداندن مجدد فاضلاب به چرخه مصرف میتواند سبب صرفه جویی در آب و حل شدن بسیاری از مشکلات شود و این امر میتواند موجب تحول مخصوصاً در کشورهای گرم و خشک گردد. در تحقیقات سال های اخیر استفاده از فاضلاب های خام و تصفیه شده شهری و صنعتی در ساخت بتن بررسی گردیده است که با توجه به کیفیت فاضلاب و پساب مصرفی و بار آلودگی آن تاثیرات متفاوتی بر روی خواص بتن داشته است. [۲] لجنی که در تصفیه خانه ها تولید میشود حاوی مقدار زیادی آب، مواد آلی و فلزات سنگین میباشد، لذا نیاز به جامد سازی دارد. در صورت استفاده مجدد از این لجن ها، از رها سازی آنها در طبیعت کاسته خواهد شد و مانع از آلوده سازی منابع آب و خاک و در نتیجه حفظ محیط زیست میشود. به عبارت دیگر استفاده از لجن در بتن از آنجا که حاوی حداکثر ۴ درصد مواد جامد و مابقی آب است میتواند منجر به کاهش مصرف آب در بتن شود. [۱۰] استفاده مجدد از فاضلاب های مختلف در صنعت ساختمان می تواند گامی مهم در امر توسعه پایدار این صنعت به حساب آید. [۳].

۲- تحقیقات گذشته بر کیفیت آب در بتن

کیفیت آب در ساخت و سازه های مهندسی عمران عامل مهمی به حساب می آید. آب مورد استفاده در بتن باید کاملاً پاک و عاری از روغن، اسید، قلیایی، مواد آلی یا سایر مواد مضر باشد. استفاده از آب برای مخلوط کردن و عمل آوری بتن، اگر قابل نوشیدن و مناسب برای مصرف انسان باشد، رضایتبخش خواهد بود. آب شرب برای بتن در کلیه کارهای عمرانی مناسب است زیرا مواد شیمیایی آن شناخته شده و تنظیم شده است به همین علت آب آشامیدنی به صورت بی رویه جهت ساخت بتن و عمل آوری آن استفاده میشود. مطابق آیین نامه ایران، آب در صورتی مناسب تلقی میشود که زمان گیرش و مقاومت را نسبت به نمونه هایی که با آب مقطر ساخته میشوند، تغییر معناداری ندهد. مقاومت ۷ و ۲۸ روزه آنها باید ۹۰ درصد نمونه های تهیه شده با آب مقطر باشد. [۱۲] به طور خلاصه جمعی از مطالعاتی که به جایگزینی فاضلاب به جای آب شرب پرداخته اند در زیر آمده است. مهرداد و همکاران در سال ۸۸ از فاضلاب شهری بعد از تصفیه به عنوان آب اختلاط در بتن استفاده کردند،

دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

مقاومت فشاری نمونه های ۷ و ۲۸ روزه نمونه های ساخته شده با فاضلاب با نمونه های ساخته شده با آب مقایسه شدند. استفاده از فاضلاب باعث کاهش مقاومت فشاری گردید. در سال ۹۸، پور قاسمی و همکاران به بررسی اثر پساب تصفیه شده بر ویژگیهای بتن پودری واکنشی ساخته شده از ماسه بادی طبیعی پرداختند و برای این کار از فاضلاب تصفیه شده خروجی تصفیه خانه شهر یزد قبل از کلر زنی استفاده کردند. و به تحلیل مقاومت‌های هفت و بیست و هشت روزه نمونه های ساخته شده از ماسه بادی پرداختند.

Al Jabar و همکاران در سال ۲۰۱۱ اثر استفاده از فاضلاب ایستگاه کارواش ها بر مقاومت فشاری بتن را بررسی نمودند. آنها فاضلاب ایستگاه شستشوی ماشین را با در صدهای مختلف با آب آشامیدنی جایگزین کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از پساب ناشی از شست و شوی خودرو تاثیر ناچیزی بر روی مقاومت فشاری بتن در مقایسه با نمونه ساخته شده با آب شیرین دارد.

Peters و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از فاضلاب صنایع رنگ در مشخصات مکانیکی کاشی و آجر سیمانی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از این نوع فاضلاب تاثیر معناداری بر روی خواص مکانیکی بتن نداشته است.

Asadollahfardi و همکاران در سال ۲۰۱۵ از فاضلاب تصفیه شده شهری، برای ساخت و عمل آوری بتن استفاده کردند، استفاده از این پساب سبب افزایش زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان شد.

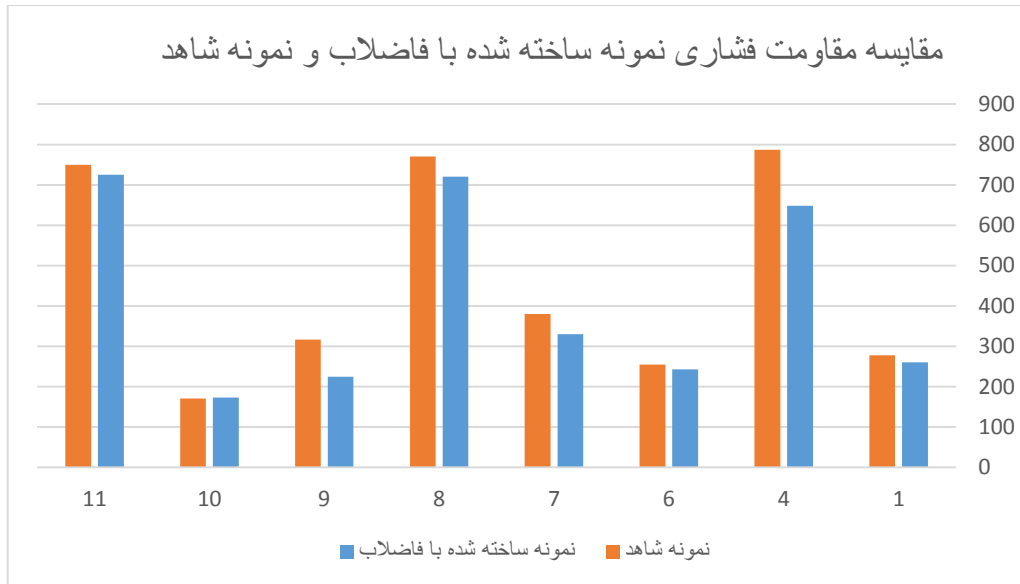
Meena و همکاران در سال ۲۰۱۶ از فاضلاب تصفیه شده برای ساخت بتن استفاده کردند. مشاهده کردند مقاومت فشاری نمونه های حاصل را در دوره های مختلف عمل آوری ۸۵ تا ۹۴ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش می دهد.

همچنین محققانی به آزمایشات لجن در بتن پرداختند به عنوان مثال **Robbie** و همکارانش در سال ۲۰۲۰ از لجن خشک و تر، در بتن استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از لجن تر تاثیر منفی بیشتری به نسبت لجن خشک بر روی مقاومت فشاری بتن دارد. به میزان جایگزینی ۱۵ درصد لجن های خشک و تر با سیمان می تواند گزینه ای مناسب به حساب آید. این در حالیست که جایگزینی ۲۰ درصد لجن های خشک و تر کاهش قابل ملاحظه ای بر مقاومت فشاری را به همراه دارد. شکل ۲ نتایج تاثیر استفاده از لجن را بر روی مقاومت فشاری بتن نشان می دهد. همچنین منصور نژاد و همکاران در سال ۹۶ به بررسی مقاومت فشاری و کششی بتن سبز تولید شده با مواد پوزولانی جایگزین سیمان پرداختند و در این آزمایشات از خاکستر لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری و ضایعات معدن زغال سنگ استفاده نمودند. در این مجموعه آزمایشات از خاکستر لجن در سه نسبت مختلف استفاده شد. به عنوان نمونه دیگر جمشیدی و همکارانش در سال ۱۳۹۰ پس از استفاده از لجن فاضلاب در بتن دریافتند که استفاده از ۵ درصد از لجن فاضلاب به میزان کمی مقاومت فشاری را کاهش میدهد. آنها با افزایش میزان لجن پی بردند که افزایش مقدار آن میتواند در کاهش مقاومت فشاری تاثیر معناداری بگذارد. **Rezaii** و همکاران در سال ۲۰۱۸ نیز با استفاده از لجن های فاضلاب در بتن، مشاهده نمودند که استفاده از آن در بتن بر روی مقاومت ۲۸ روزه تاثیر چندانی ندارد.

۳- نتایج مطالعات گذشته بر مقاومت فشاری بتن

رفتار بتن را تحت فشار با مقاومت فشاری اندازه گیری میکنند. مقاومت فشاری مهمترین مشخصه جهت طراحی است. [۹] در این مقاله، پس از بررسی مقاومت‌های فشاری در مقالات مختلف، نتایج حاصله بر روی نمودار در شکل شماره یک آمده است.

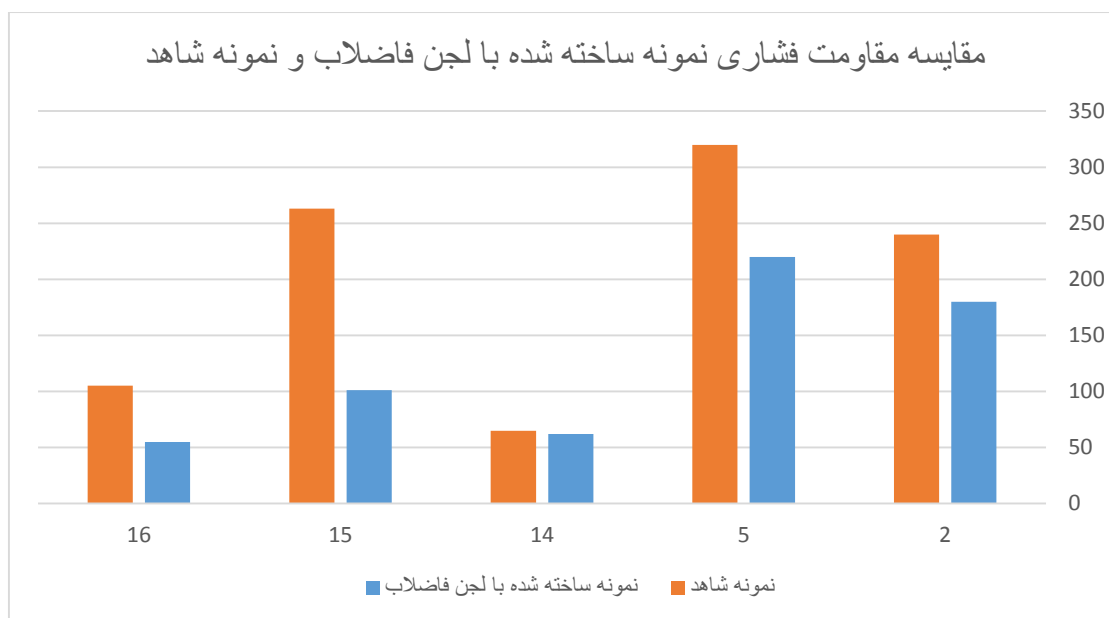
دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل شماره ۱ : مقایسه مقاومت فشاری نمونه ساخته شده با فاضلاب و نمونه شاهد

همانطور که در شکل شماره یک مشخص است در تمام مقالات مقاومت فشاری شاهد از مقاومت فشاری حاصله از نمونه ساخته شده با فاضلاب بیشتر است. این میزان به طور میانگین ۸ درصد کمتر از مقاومت شاهد میباشد. این موضوع برای مقاله شماره شش در حدود ۹۴ تا ۹۷ درصد نمونه شاهد بود. در مقاله شماره ده این مقدار به ۹۸ درصد رسیده بود. در مقاله شماره نه استفاده از فاضلاب نشان داد که حتی عمل آوری نمونه های بتنی با فاضلاب هم میتواند بر روی مقاومت فشاری تاثیر گذار باشد. مقاومت مورد استفاده در نمودار در مورد مقاله شماره نه، نمونه عمل آوری شده با فاضلاب میباشد که مقاومت ۲۲۴ بدست آمده است و در صورت عمل آوری با آب آشامیدنی این مقدار تا ۲۷۱ افزایش میابد. در مقاله شماره یک آزمایش برای فاضلاب در سه مرحله ته نشینی اولیه، ته نشینی ثانویه و پسماند خروجی انجام شد و مرحله عمل آوری نیز برای هر کدام جداگانه انجام گردید. نتایج نشان میدهد که نتیجه آزمایش مقاومت فشاری نمونه حاصل از پسماند خروجی نگهداری شده در آب، تفاوت معناداری با نمونه شاهد ندارد اما نمونه نگهداری شده در پسماند حتی دارای مقاومت بالاتری نسبت به نمونه شاهد میباشد. در مقاله شماره چهار مشخص میشود که استفاده از پساب تصفیه خانه بر روی مقاومت فشاری اثر منفی، اما بر روی مقاومت خمشی اثری مثبت دارد. آزمایش شماره هفت نشان میدهد که جایگزین کردن تمام آب بتن با فاضلاب میتواند ۹ درصد مقاومت فشاری بتن را کاهش دهد. نکته قابل توجه این است که در صورتی که تنها ۲۵ درصد آب آشامیدنی با فاضلاب جایگزین شود مقدار مقاومت فشاری به میزان ۱۳ درصد کاهش پیدا میکند.

دوازدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل شماره ۲: مقایسه مقاومت فشاری نمونه ساخته شده با لجن فاضلاب و نمونه شاهد

استفاده از لجن در ساخت نمونه ای بتنی تاثیر بیشتری بر روی مقاومت های فشاری نمونه ها در مقایسه با نمونه های شاهد دارد. در مقاله شماره پنج خاکستر لجن با سه درصد متفاوت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی نسبت به نمونه شاهد نمونه ها بکار میروند و مشخص میشود مقاومت فشاری نمونه دارای ۱۵ درصد لجن نسبت به ۱۰ درصد و ۲۰ درصد بالاتر است. در مقاله شماره ۱۱ مشاهده میشود که بکار بردن لجن خشک و تر هر کدام تاثیر مستقیمی بر کاهش مقاومت بتن دارد. حتی میزان استفاده از لجن نیز در کاهش مقاومت فشاری بتن مهم است. از نتایج مقاله اینگونه بر می آید که لجن خشک نسبت به لجن تر بیشتر موجب کاهش مقاومت میشود و تا ۱۵ درصد تاثیر چندانی بر مقاومت ندارد اما بیش از آن (به عنوان مثال ۲۰ درصد) مطرح شده در مقاله تاثیر بسیار زیادی بر مقاومت ۲۸ روزه نمونه بتنی دارد. در مقاله شماره ۱۳ مشاهده میشود که استفاده از لجن تر در بتن تا ۱۵ درصد تاثیر معناداری بر مقاومت فشاری نمونه ها ندارد. در مقاله شماره ۱۰ نیز جایگزین کردن آب بتن با لجن مقاومت بتن را تقریباً ۵۰ درصد کاهش میدهد.

۴-نتایج

به طور کلی از این مطالعه میتوان نتایج زیر را استخراج نمود:

- میتوان درصدی از آب بتن را با فاضلاب جایگزین نمود.
- این جایگزینی در اغلب موارد تاثیر قابل توجهی در مقاومت فشاری ندارد.
- میتوان از فاضلاب جهت عمل آوری بتن نیز استفاده کرد.
- این جایگزینی تاثیر مهمی در محیط زیست و پایداری دارد.
- استفاده از لجن تا ۱۵ درصد گزینه مناسبی برای استفاده در بتن است و تاثیر معناداری بر مقاومت بتن ندارد.

فهرست منابع :

- ۱- اسماعیلی، نگار و حیدرزاده، نیما، "مروری بر برر سی امکان استفاده از فاضلاب و لجن در بتن، سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران"، شیراز، ۱۳۹۹
- ۲- پورقاسمی ساغند، علی اکبر و دشتی رحمت آبادی، محمدعلی و پورقاسمی ساغند، محمد، "اثر پساب تصفیه شده بر ویژگی های بتن پودری واکنشی ساخته شده از ماسه بادی طبیعی، دانه بندی شده و شسته شده بومی مناطق کویری ایران"، کنفرانس بین المللی عمران، معماری، توسعه و بازآفرینی زیرساخت های شهری در ایران، تهران، ۱۳۹۹
- ۳- جمشیدی، امیر، مهرداد، ناصر، و جمشیدی، مسعود، "کاربرد لجن خشک تصفیه خانه فاضلاب به عنوان مصالح سنگی در تولید بتن"، محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۹، پاییز ۹۰، صفحه ۱۴، ۱۳۹۰
- ۴- مهرداد، ناصر، اکبریان افروز، و حق الهی، علی، "استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری در تهیه و نگهداری بتن"، محیط شناسی، سال سی و پنجم، شماره ۵۰، پاییز ۸۸، صفحه ۱۲۹، ۱۳۸۸
- ۵- منصورنژاد، علی و بختیاری، سمیه و وحیدی، حسین و عسکری، یوسف، "بررسی مقاومت فشاری و کششی بتن سبز تولید شده با مواد پوزولانی جایگزین سیمان خاکستر لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری و ضایعات معدن زغال سنگ، چهارمین کنفرانس بین المللی فناوری های نوین در مهندسی عمران"، معماری و شهرسازی، ۱۳۹۶

۶- Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Rashnoiee, V., Ghonabadi, N., (۲۰۱۶). Use of treated domestic wastewater before chlorination to produce and cure concrete.

۷- de Matos, P.R., Prudêncio, L.R., Pilar, R., Gleize, P.J.P., Pelisser, F., (۲۰۲۰). Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: Effect on the hydration, fresh and hardened properties.

۸- Al-Jabri, K.S., Al-Saidy, A.H., Taha, R., Al-Kemyani, A.J., (۲۰۱۱). Effect of using wastewater on the properties of high strength concrete,

۹- Meena, K., Luhar, S., (۲۰۱۹). Effect of wastewater on properties of concrete.

۱۰- Mostafa, M.K., Peters, R.W., (۲۰۱۷). Reuse paint wastewater in the manufacture of cement bricks and tiles. J. Mater.

- ۱۱- Harshit Varshney, Research Scholar, Rizwan Ahmad Khan, Iqbal Khaleel Khan,
۲۰۲۱,
Sustainable use of different wastewater in concrete construction
- ۱۲- Carlos Barrera-Díaz, Gonzalo Martínez-Barrera, Osman Gencel, Lina A. Bernal-
Martínez, Witold Brostow, (۲۰۱۱) **Processed wastewater sludge for improvement of
mechanical properties of concretes,**
- ۱۳ -Rabie, G.M., El-Halim, H.A., Rozaik, E.H., (۲۰۱۹). **Influence of using dry and wet
wastewater sludge in concrete mix on its physical and mechanical properties.**
- ۱۴- G.Reddy Babua, B.Madhusudana Reddy, N. Venkata Ramana,(۲۰۱۶), **Quality of
mixing water in cement concrete " A review".**
- ۱۵-Rezaee, F., Danesh, S., Tavakkolizadeh, M., Mohammadi-Khatami, M., (۲۰۱۹).
**Investigating chemical, physical and mechanical properties of eco-cement produced using
dry sewage sludge and traditional raw materials.**