



www.cpjournals.com

نشریه عمران و پروژه

Civil & Project Journal(CPJ)

Effects of ECC selection "engineered cement composite" in construction project management

Amir Hossein Dalir^{۱*}, Azadeh Alaei^۲, Maryam Ghanbar pour^۳

^{۱*}-Master student of architectural engineering majoring in project management and construction
amirhd۱۲@yahoo.com

^۲-Master student of architectural engineering majoring in project management and construction
alaeiazadeh۴۶۳@gmail.com

^۳-PhD student in Architectural Engineering
maryam_ghanbarpour@yahoo.com

Abstract

Since achieving the goal in implementing construction projects on several bases of management, budget, time, manpower and and this goal is well-done when they have any project benchmark. Then the desired plan and idea of the employer has been viewed and it will be at the discretion of the benefits that are mostly the general public. Management begins with the plan as an idea and then examines in different phases and ultimately its desirability goes. The necessity of using construction systems and new materials has been made to increase the speed of construction, lightness, increase the vitro, as well as the resistant to earthquake buildings.

In this regard, promotion of the scientific and specialized level of country engineering community and familiarity with new construction systems and materials is inevitable. Solving problems such as long run, low useful life, or high cost of running buildings in the housing sector requires providing solutions for practical use of new construction systems and new building materials. To reduce weight, reducing the construction time, more durability and ultimately reduce cost.

This long-term measures will optimise build, increase the housing production in the country and reach the condition of optimal implementation. On the other hand, such developments will extend the underlying investment or all principles in the housing sector, especially by the private sector. This will help the government in reaching its goals in the housing sector. In this study, we try to examine the characteristic of composite engineered in the form of qualitative management guarantee, quality construction project. According to the paper and sample, the research method is used to analyse the methodology and library tools and documents and continuous studies have been used; considering the engineering composite characteristics, we can meet our demands against construction technology.

KEYWORDS: ecc, engineering composite, project management and construction, qualitative management, new technology.

All rights reserved to Civil & Project Journal.



www.cpjournals.com

نشریه عمران و پروژه

Civil & Project Journal(CPJ)

تاثیر انتخاب ECC^۱ کامپوزیت سیمانی مهندسی شده^۲ در مدیریت پروژه ساخت

امیرحسین دلیر^{۱*}، آزاده علائی^۲، مریم قنبرپور^۳

*^۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری گرایش مدیریت پروژه و ساخت

amirhd12@yahoo.com

^۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری گرایش مدیریت پروژه و ساخت

alaeiazadeh463@gmail.com

^۳- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی معماری

marvam_ghanbarpour@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۹

چکیده

از آنجائیکه دستیابی به هدف در اجرای پروژه های عمرانی بر چند پایه محکم، مدیریت، بودجه، زمان، نیروی انسانی و ... واقع گردیده است و این هدف وقتی به خوبی محقق می گردد که هر کدام ویژگی معیار پروژه را داشته باشند، آنگاه طرح مورد نظر و ایده کارفرما در مدت دیده شده به بهره برداری خواهد رسید و در اختیار بهره برداران که عمدتاً عموم مردم هستند قرار خواهد گرفت. مدیریت از آنجا شروع می گردد که طرح به صورت یک ایده مطرح و سپس در فازهای مختلف بررسی و در نهایت مطلوبیت آن مسجل می گردد.

ضرورت استفاده از سیستم های ساختمانی و مصالح جدید به منظور افزایش سرعت ساخت، سبک سازی، افزایش عمر مفید و نیز مقاوم نمودن ساختمان ها در برابر زلزله را بیش از پیش مطرح ساخته است. در این راستا ارتقاء سطح علمی و تخصصی جامعه مهندسی کشور و آشنایی با سیستم ها و مصالح جدید ساختمانی امری اجتناب ناپذیر می باشد. حل مشکلاتی نظیر زمان طولانی اجرا، عمر مفید کم و یا هزینه زیاد اجرای ساختمان ها در بخش مسکن نیازمند ارائه راهکارهایی به منظور استفاده عملی از سیستم های ساختمانی نوین و مصالح ساختمانی جدید جهت کاهش وزن، کاهش زمان ساخت، دوام بیشتر و نهایتاً کاهش هزینه اجرا می باشد. این اقدامات در دراز مدت موجب بهینه سازی ساخت، افزایش تولید مسکن در کشور و رسیدن به شرایط اجرایی مطلوب خواهد شد. از سوی دیگر چنین تحولاتی موجب گسترش سرمایه گذاری های زیر بنایی و یا کلیه اصولی در بخش مسکن علی الخصوص توسط بخش خصوصی خواهد شد این امر دولت را نیز در رسیدن به اهداف خود در بخش مسکن یاری خواهند نمود، در این مطالعه سعی می شود خصوصیت کامپوزیت های سیمانی مهندسی شده در قالب تضمین کیفی مدیریت کیفیت پروژه ساخت ساز مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به نوشتار و نمونه موضوع روش تحقیق مورد استفاده تحلیلی-توصیفی میباشد و از ابزار کتابخانه ای و اسناد و مطالعات پیوسته استفاده گردیده است. با توجه به یافته های نگارشی خصوصیت های کامپوزیت مهندسی شده میتواند خواسته های ما را در برابر یک فناوری ساخت ساز تامین کند.

کلمات کلیدی: ECC کامپوزیت سیمانی مهندسی؛ مدیریت پروژه و ساخت؛ مدیریت کیفیت؛ فناوری های نوین

^۱ Engineered Cementitious Composite

۱- مقدمه

امروزه لزوم برنامه ریزی مناسب به منظور برآورد صحیح از زمان و هزینه انجام پروژه ها و میزان منابع مورد نیاز آنها که تأثیر مستقیم بر اجرا، اداره و بهره برداری مناسب از پروژه‌هایی همانند سدها، بزرگراهها، مجتمع های آپارتمانی و غیره دارند، بر کمتر کسی پوشیده بوده و اصل مهمی در موفقیت پروژه های عمرانی محسوب میشود. در فضایی که رقابت شرکتهای روز به روز نزدیکتر می شود و تفاوت های کوچک در ارائه قیمت در مناقصه ها منجر به توفیق یا شکست در آن میشود، ارائه برنامه ای که منطبق با واقعیت باشد و بتواند تمام واقعیتهای اقتصادی را در مدل یک پروژه منظور کند، حائز اهمیت زیادی است. با گسترش سریع به کارگیری سیستم های متنوع تحویل پروژه^۲، مدت زمان اجرای پروژه به عنوان یک عامل تعیین کننده در ارزیابی پیشنهاد قیمت در مناقصات و فرآیند ساخت مطرح گردید. لذا دیگر تمرکز عمده مدیران در امر ساخت و اجرا تنها بر کاهش هزینه های پروژه معطوف نمیباشد و کاهش زمان اجرا نیز در نظر گرفته میشود. فشرده سازی زمان پروژه به ناچار منجر به افزایش تدریجی هزینه های مستقیم پروژه خواهد شد. از این رو بدون در نظر گرفتن هزینه بالاسری، کاهش زمان انجام فعالیتهای پروژه معمولاً به افزایش هزینه های آن منجر خواهد شد.

منظور نمودن عامل کیفیت، علاوه بر عوامل زمان و هزینه در بهینه سازی فعالیتهای اجرایی یک پروژه، با وجود مشکلاتی که در جهت کمی ساختن آن برای فعالیتهای پروژه وجود دارد از دیگر عوامل تاثیرگذار در انتخاب روشهای اجرایی بوده و مدیران گاه راه حل هایی را جستجو میکنند که در عین کاهش زمان و هزینه پروژه افزایش کیفیت اجرای آن را در پی داشته باشد.

انتخاب نوع سازه و مصالح در پروژه های ساختمانی برای مدیران پروژه بسیار حایز اهمیت می باشد، قیمت، هزینه اجرا، عمر، مدت زمان اجرا، مقاومت و استحکام ویژگی هایی است که برای مدیران پروژه دارای اهمیت فراوانی می باشد.

المانهای بتنی علاوه بر مزایای بسیار زیادی که دارند با معایبی نیز همراه خواهند بود که از جمله آن میتوان به ضعف در برابر کشش، تردی، شکل پذیری محدودتر، مدت زمان اجرا و ... اشاره کرد. از این رو محققین در دهه های اخیر به دنبال تکنولوژی پیشرفته ای جهت رفع معایب ذکر شده بودهاند که حاصل برخی از این تحقیقات را میتوان به بتنهای الیافی^۳ در انواع مختلف و بتن های کامپوزیت سیمانی مهندسی اشاره کرد، (ECC) کامپوزیت مهندسی شده یا بتن خم شونده نوعی خاص از بتنهای HPFRCC^۴ است که توسط پروفیسور لی در سال ۱۹۹۳ میلادی در دانشگاه میشیگان ارایه گردید، نام کامپوزیت مهندسی شده توسط سازنده ی آن (پروفیسور لی)، به منظور تاکید بر استفاده از اصول میکرومکانیزم در انتخاب طرح اختلاط، انتخاب شده است.

۲- سوال و فرضیه تحقیق:

- آیا استفاده از کامپوزیت سیمانی مهندسی شده باعث بهبود مدیریت پروژه می شود؟
- کدام خصوصیت کامپوزیت سیمانی مهندسی شده موجب تضمین مدیریت کیفیت می شود؟

۲-۱- پیشینه تحقیق

جهت کاهش آلودگی ناشی از تولید سیمان، امروزه سعی بر آن است که به جای سیمان پرتلند معمولی از مخلوطهای جایگزین در ساخت بتن استفاده شود که به همین منظور سیمان های حاوی پودر سنگ آهک تولید شده است. استفاده از پودر سنگ آهک درون بتن یا ملات در بسیاری از کشورها عملی متداول است که می تواند به طور قابل

^۲ Project Delivery Systems

^۳ Fiber Reinforcement Concrete (FRC)

^۴ high-performance fiber-reinforced cementitious composites

ملاحظه ای هزینه و اثرات مضر تولید سیمان را کاهش دهد و باعث افزایش مقاومت فشاری در سنین کم بتن شود. (سیاد و همکاران در سال ۲۰۱۵)

به منظور توسعه و گسترش استفاده از ECC، در بسیاری از کشورها ECC با مصالح محلی ساخته شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. در برزیل ژانگ وکیان به بررسی استفاده از الیاف و مواد محلی در ساخت بتن ECC پرداختند. آنها با آزمایش خمش، مصالح محلی را در ساخت بتن ECC با درصد حجمی ۱/۶ درصد آنالیز کردند. در سال ۲۰۱۵ هوی و همکاران به بررسی استفاده از مواد بومی چین در ساخت ECC پرداختند. برای ساخت ECC از اصول میکرومکانیک استفاده شد.

آزمایش خمش چهار نقطه ای، کشش مستقیم و مقاومت فشاری بر روی نمونه ها انجام شد. سنگدانه ها حجم قابل توجهی از ترکیبات سیمانی مانند ECC را اشغال میکند در نتیجه نقش مهمی در ویژگی های ترکیب سیمانی دارد. به علاوه سنگدانه ها در اقتصادی نمودن ECC و کاهش انقباض آن نقش به سزایی دارند. بزرگ شدن اندازه ی سنگدانه ها ممکن است پراکنده شدن الیاف درون خمیر را مشکل کند و سبب توده شدگی الیاف شود. از طرفی حضور سنگدانه در ماتریس خمیر سیمان سبب تمایل به تغییر مسیر ترک و در نتیجه افزایش چقرمگی شکست می شود. با بزرگ شدن اندازه ی سنگدانه، شکست سخت تر می شود که همین امر باعث افزایش مقاومت به زیاد شدن تعداد ترکها میشود. با توجه به توضیحات بالا، سنگدانه نقش مهمی در ویژگیهای شکست ماتریس دارد. همچنین خاکستر بادی نقش بهسزایی در قابلیت خمشوندگی و مدول گسیختگی ECC دارد.

در سال ۲۰۰۹ مصطفی شاهمران و همکاران به بررسی تاثیر نوع و اندازه ی سنگدانه و مقدار خاکستر بادی در ECC پرداختند. به این منظور در این تحقیق چندین طرح اختلاط برای ساخت ECC بررسی شد.

در مجموع می توان گفت تا زمانیکه افزایش ابعاد سنگدانه تاثیر منفی بر پخش شدن الیاف در ماتریس نداشته باشد، و نیز می توان تاثیر منفی ناشی از افزایش ابعاد سنگدانه را با افزایش مقدار خاکستر بادی جبران نمود. تاثیر مقدار خاکستر بادی در بتن ECC بسیار بیشتر از نوع و مقدار سنگدانه ی استفاده شده در ECC است.

در سال ۲۰۱۲ جیان ژوو و همکاران به بررسی ترتیب اختلاط مصالح بر خواص ECC پرداختند. نتایج تست خمش، کشش و فشار حاکی از تاثیر به سزای ترتیب مخلوط کردن بر کرنش کششی و مقاومت نهایی کششی بود در حالیکه بر ویژگیهای ماتریس ECC مانند مقاومت اولین ترک تاثیری ندارد. توزیع مناسب الیاف در داخل ماتریس، نقش شایانی در ویژگیهای مکانیکی و مقاومت کششی ECC دارد. در کل می توان گفت با انتخاب بهترین روش مخلوط کردن مصالح، میتوان ویژگی های مکانیکی ECC را بهبود بخشید.

با پیشرفت علم در زمینه ی نانو بسیاری از محققان به بررسی تاثیر انواع نانو مواد در بتن پرداختند که بتن ECC از این امر مستثنی نیست. در همین راستا در سال ۲۰۱۵ ژایو و همکاران به بررسی افزودن نانو تیتانیم اکسید به ECC پرداختند.

مقاومت فشاری با افزایش درصد نانو تیتانیم کاهش یافت که دلیل آن را لخته شدن نانو مواد و ایجاد منطقه ی ضعیف در ECC دانستند. هم چنین با بررسی مقاومت خمشی دریافتند که افزودن نانو تیتانیم سبب بهبود شکل پذیری ECC میشود.

دلیل این اتفاق، کاهش چقرمگی ماتریس ECC است. افزایش درصد نانو تیتانیم اکسید خاصیت خودتمیز شونده ی ECC را زیاد میکند. از دیگر تحقیقات بر روی نانو مواد میتوان به لی و همکاران در سال ۲۰۱۶ اشاره کرد. آنها افزودن الیاف هیبرید و نانو سیلیس به ECC را بررسی کردند که از نتایج بدست آمده میتوان به بهبود چشمگیر خواص خمشی با افزودن نانو سیلیس و کاهش میانگین منافذ بتن ساخته شده اشاره کرد. الیاف هیبرید توانایی افزایش مقاومت خمشی و کاهش عرض ترک را دارد که همین امر سبب بهبود رفتار خودترمیمی بتن ECC می شود.

در بسیاری از دانشگاهها و مراکز علمی مانند دانشگاه میشیگان امریکا، یونیو نوکیو و BRI ژاپن، بر کاربردهای ECC در سازه، تحقیقات صورت گرفت. از جمله این تحقیقات میتوان به استفاده از ECC در المانهای برشی تحت سیکل بار، المانهای اتصال تیر و ستون، مقاوم سازی دیوار برشی و تعمیر سازههای بتنی اشاره کرد. تمامی نتایج قابلیت استفاده از ECC در قسمتهای مختلف سازه را تضمین می کند.

علاوه بر کاربردهای سازههای ECC میتوان از آن به عنوان لایه ی محافظ برای سازههای بتن آرمه به منظور افزایش دوام و جلوگیری از خوردگی میلگردها استفاده کرد. با توجه به جذب انرژی بالای ECC و مقاومت بالا در برابر ترک خوردگی، می-توان از آن به عنوان المان جاذب انرژی در سازه استفاده کرد

در سال ۱۳۸۹ علی جعفر نژاد و همکاران در مقاله ای عنوان کرد زمان-هزینه-کیفیت پرداخته شد. مزیت این مدل بر سایر مدلها و الگوریتمهای موجود، استفاده از الگوریتمی جدید بنام جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی و وارد کردن متغیر کیفیت به عنوان یکی از مهمترین اهداف پروژه میباشد. همچنین در این مطالعه نشان داده شد که چگونه کیفیت به عنوان یک عامل تاثیرگذار می تواند جواب های یک مساله موازنه زمان-هزینه را نسبت به یک مساله موازنه زمان-هزینه-کیفیت تغییر دهد. (جعفر نژاد؛ علی ، محمد قاسم سحاب، عباس اکبریور ، ۱۳۸۹)

رضا شایسته بیلندی در سال ۱۳۹۶ در مقاله ای عنوان کردند پروژه ای موفق است که در کوتاه ترین زمان، با کمترین هزینه و بیشترین کیفیت و مطابق با آنچه که در محدوده پروژه تعریف شده، به پایان برسد. مدیر پروژه باید با در نظر گرفتن شرایط واقعی حاکم بر محیط پروژه و محدودیتهایی که پروژه با آن مواجه است برنامه زمانبندی را طراحی کند. به همین دلیل علاوه بر مهارت و تجربه باید دانش انجام آنرا داشته باشد. این مقاله به بررسی پژوهش های مربوط به موضوع موازنه در برنامه زمانبندی پروژه که توسط محققان ایرانی انجام شده (شایسته بیلندی ، رضا ، منصور قلعه نوعی، ابراهیم رضایی نیک، ۱۳۹۶) پرداخت.

۲-۲- مدیریت کیفیت

سازمان بین المللی کیفیت^۵ کیفیت را "کلیه خصوصیات یک موجودیت که در قابلیت های آن برای تامین نیازهای تصریح شده و یا به صورت تلویحی بیان شده تاثیر می گذارند" تعریف می کند و طی مدارکی سازمان مدیریت کیفیت پروژه را شامل کلیه فعالیت های مدیریتی لازم برای تعیین اهداف، خط مشی ها و تضمین های کیفی پروژه می داند (گلابچی، محمود و حسینی، سید ضیا. ۱۳۹۰).

تضمین کیفیت^۶ به عنوان کلیه اقدامات برنامه ریزی شده و سیستماتیک لازم تعریف شده است، اطمینان کافی از اینکه ساختار ، مؤلفه یا سیستم مطابق با الزامات پروژه باشد ، در حالی که کنترل کیفیت^۷ به تکنیک هایی اطلاق می شود که در فرآیندهای کلیدی به منظور تشخیص انحراف در فرایندها کاربرد دارند ، مطابقت دارد. (Arditi, David and Gunaidin, Murat H. ۱۹۹۷)

تضمین کیفیت شامل ارزیابی دوره ای عملکرد کلی پروژه برای حصول اطمینان از این مسله است که پروژه استاندارد کیفی مربوطه را تامین کند (گلابچی، محمود و حسینی. ۱۳۹۰) استانداردهای تضمین کیفیت فعلی از " رویکرد فرآیند" پیروی می کنند. سری استانداردهای ISO ۹۰۰۰ محبوب ترین مرجع تضمین کیفیت در صنعت است. اسناد راهنمایی واژگان " (ISO ۹K2K) ISO ۹۰۰۰: ۲۰۰۰: ۱: ۲۰۰۰" را به عنوان "مجموعه ای از فعالیت های در هم تنیده یا متقابل که تعریف ورودی ها را به خروجی ها تعریف می کند. به عبارت دیگر یک فرآیند فعالیتی است که یک چیز را به چیز دیگری تبدیل می کند. (Carlos HORITA, & Tomonari YASHIRO Dr.Eng ۱۳۸۴)

^۵ International Organization For Standardization (ISO)

^۶ Quality Assurance

^۷ Quality Control

ضرورت استفاده از سیستم های ساختمانی و مصالح جدید به منظور افزایش سرعت ساخت، سبک سازی، افزایش عمر مفید و نیز مقاوم نمودن ساختمان ها در برابر زلزله را بیش از پیش مطرح ساخته است (گلابچی، محمود، ۱۳۸۵) سازه های ساختمانی باید به حد کافی قوی و ایستا باشند؛ آنها باید به قدر کافی بادوام باشند، تا در مدت زمان عمر مفید سازه دوام آورند و نیز به قدری ارزان باشند، که سازه اقتصادی باشد (مالکوم میلایس و گلابچی و تقی زاده، ۱۳۹۵). در این مقاله سعی شده است بینیم کامپوزیت سیمانی مهندسی شده توانسته به خواسته های و اهداف استفاده از مصالح جدید و سیستم نوین را برطرف کند و جوابی برای نیاز های تصریح شده و تلویحی را تضمین کند.

مقاومت در برابر زلزله:

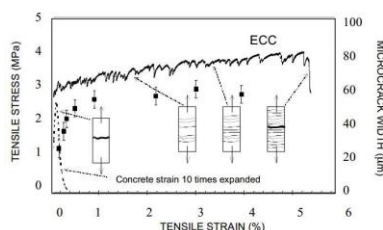
جدول ۱- مشخصات فیزیکی و مکانیکی بتنهای ECC

(Li, V. C., ۲۰۰۷.)

مقاومت فشار (MPa)	مقاومت اولین ترک (MPa)	مقاومت کششی کششی	نهایی (MPa)	کرنش مقاومت نهایی کششی، (%)	مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت خمشی (MPa)
۲۰-۹۵	۳-۷	۴-۱۲	۱-۸	۱۸-۳۴	۱۰-۳۰	

خصوصیات کششی بتن های ECC

یکی از مهمترین خصوصیت بتنهای ECC شکل پذیری کششی بالای آنها می باشد که توسط یک منحنی تنش- کرنش تک محوره نشان داده می شود که نمونه دیگری از این منحنی در شکل ۱ نیز نمایش داده شده است. رفتار این نوع بتن ها در برابر تنشهای کششی که مشابه رفتار فولادها است، یک خصوصیت نقطه تسلیم در انتهای حالت الاستیک را نمایش می دهد. نقطه تسلیم در این بتن ها متناظر با تشکیل اولین ریزترک^۸ در نمونه خواهد بود. همانطور که از شکل ۱ نیز مشخص است، افزایش تغییر شکل بر خلاف بتن های معمولی با افزایش بار مواجه است و این بیانگر کرنش سخت شدگی^۹ در این نوع بتن ها می باشد. شکست نهایی نمونه زمانی رخ میدهد که یکی از ریزترک ها در یک سطح گسترش کامل پیدا کند و گسیختگی سطحی ایجاد نماید. در خارج از محدوده حداکثر باربری، بتن های ECC رفتاری مشابه با بتنهای الیافی FRC خواهند داشت. (سلطان آبادی، رضا؛ کیاچهر بهفرنیا و داود مستوفی نژاد، ۵، ۱۳۹۷)



شکل ۱ - نمودار تنش - کرنش تک محوره برای یک نمونه بتن ECC (Li, V. C., ۲۰۰۷.)

^۸ Microcrack

^۹ Strain Hardening

تشکیل ریز ترک های متعدد برای دستیابی به شکل پذیری کششی بالا ضروری است. بین کرنش ترک خوردگی (حدوداً ۰/۰۱ درصد) و ۱ درصد بازشدگی ریزترک ها از صفر به تقریباً $60 \mu\text{m}$ افزایش می یابد. با افزایش بارگذاری در خارج از محدوده کرنش ۱ درصد، عرض ریز ترکها همانطور که از شکل ۱ نیز مشخص است تقریباً ثابت و برابر $60 \mu\text{m}$ خواهد بود. این خصوصیت بارز بتنهای ECC به دلیل اندرکنش بین الیافها و ماتریس های بتن برای دوام نیز مهم است (Li, V. C., 2007).

۲-۳- خصوصیات خمشی بتن های ECC

در ادامه به بررسی خصوصیات خمشی بتن های ECC پرداخته می شود. توصیف رفتار خمشی این نوع بتن ها منعکس کننده شکل پذیری کششی است (Kunieda, M. a. R., K., 2006).

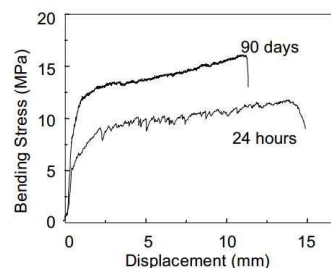
تحت لنگر خمشی وارد شده ریز ترکهای متعددی در تیر به جهت تحمل انحنای خیلی بزرگ به وجود میآید که به آن بتن انعطاف پذیر^{۱۰} می گویند. مقاومت خمشی (یا مدول گسیختگی^{۱۱}) به $10-15 \text{MPa}$ به راحتی قابل دستیابی است که با یک تغییر شکل سخت شونده بزرگ همانند نمودار نمایش داده شده در شکل ۲-الف همراه است. تغییر شکل سخت شونده^{۱۲} یک خصوصیت ذاتی از بتن ECC است که هیچگونه وابستگی به شکل هندسی نخواهد داشت. در شکلهای ۲-ب فرم تغییر شکل زیاد تیر ساخته شده با بتن ECC نمایش داده شده است. همچنین بتنهای ECC در بحث خستگی نیز تفاوت رفتاری قابل ملاحظه‌ای به نسبت بتنهای معمولی دارند. مطابق مطالعات جامعی که در مرجع انجام شده است

(Suthiwarapirak, P., Matsumoto, T., and Kanda, T., 2002)

طبق نتیجه گیری آنها، مقاومت خستگی ناشی از بارگذاری خمشی بتن های ECC بیشتر از بتن های معمولی خواهد بود.



(ب)



(الف)

شکل ۲- تیر ECC تحت آزمایش خمشی، الف) نمودار خمش - جابجایی، ب) شکل نمونه مورد آزمایش Wang, S. a. L., (V.C. 2006)

طبق آزمایشات انجام شده ملاحظه میشود که ECC برخلاف بتن های معمولی در تغییر شکل دارای خصوصیت کرنش سخت شونده^{۱۲} و در مقاومت خستگی ناشی از بارگذاری دارای توان بیشتری نسبت به بتن معمولی میباشد و همواره دانشمندان در صدد بهبود کیفی ECC با تغییر ترکیب مواد تشکیل دهنده آن می باشند.

^{۱۰} Bendable Concrete

^{۱۱} Modulus of Rupture or MOR

^{۱۲} Deflection Hardening

۲-۴- عمر مفید ساختمان

تعداد تکرار سیکل‌های تنشی که قطعه طی می‌کند تا به شکست برسد، **عمر خستگی**^{۱۳} نامیده میشود. طبق آزمایش انجام شده در شکل ۲ نشان میدهد "مقاومت خستگی ناشی از بارگذاری خمشی بتن های ECC بیشتر از بتن های معمولی میباشد." (سلطان آبادی، رضا؛ بهفرنیا و مستوفی نژاد، ۵، ۱۳۹۷)

می توان گفت استفاده از ECC موجب افزایش طول عمر سازه می شود

هزینه

هزینه استفاده از یک تکنولوژی، کاملا و تکنولوژی نوین خود را از سطوح اولیه تحقیقاتی کسب کرده اند، چون کاملا بر تکنیک ها و دانش های آن واقف و مسلط هستند، متحمل هزینه های کمتری شده اند. آنها با تکیه بر همین آگاهی و اشراف، با بهروری فرایندها، قیمت نهایی را در طول زمان کاهش خواهند داد. (دلیر، امیرحسین؛ دهنوی، ۱۳۹۸)

امروزه سعی بر آن است که به جای سیمان پرتلند معمولی از مخلوطهای جایگزین در ساخت بتن استفاده شود که به طور قابل ملاحظه ای هزینه و اثرات مضر تولید سیمان را کاهش دهد (سلطان آبادی، رضا؛ همکاران، ۱۳۹۷).

با استفاده از هیبریدالیاف پلیمری خصوصیات شکل پذیری و جذب انرژی کامپوزیت سیمانی ECC تحت آزمون خمشی بهبود یافته و همزمان هزینه تولید نیز کاهش یافته است (پاکروان، حمیدرضا؛ مسعود جمشیدی و مسعود لطیفی، ۱۳۹۴) مقایسه های انجام شده نشان می دهد که کامپوزیت سیمانی نسبت به بتن عادی ۳۷ درصد ارزان تر است (حقیقت، محمد مهدی، ۱۳۹۸).

سرعت ساخت:

این نوع بتن در پروژه های زیربنایی مورد استفاده قرار می گیرد. و زمان لازم برای ساخت جاده ها و پیاده روهای جدید را به نصف میزان پیشین کاهش می دهد، همچنین این فناوری نه تنها در صنعت ساخت و ساز موجب کاهش نیروی کار می شود بلکه ایمنی کارگران را افزایش و زمان ساخت را کاهش می دهد. از این نوآوری می توان برای ساخت قطعات باریک پیش ساخته به منظور سنگفرش کردن معابر و روکش جاده با نصب سریع استفاده کرد. (حقیقت، ۱۳۹۸)

سبک سازی:

یا این فناوری میشود ضخامت و وزن ورقه های پیش ساخته را کاهش می دهد. (حقیقت، ۱۳۹۸) **بتن انعطاف پذیر نوعی بتن مسلح است که از بتن عادی ۴۰ درصد سبک تر (کلینیک بتن ایران، ۱۳۹۷).**

با توجه به عدم استفاده از فلز برای مسلح کردن این نوع بتن و استفاده از الیاف سبک برای مسلح کردن میتوان انتظار داشت که وزن کامپوزیت سیمانی مهندسی سبک تر از بتن معمولی بوده و به طبع آن وزن کلی سازه کاهش می یابد.

^{۱۳} Fatigue Life

جدول ۲: مقایسه نیازهای تلویحی از فناوری های نوین ساخت با خصوصیت کامپوزیت سیمانی مهندسی شده

نیاز های تلویحی از فناوری نوین (گلابچی، ۱۳۹۰)	خصوصیت کامپوزیت سیمانی مهندسی شده
مقابله با زلزله	دارای کرنش سخت شدگی (سلطان آبادی و همکاران، ۱۳۹۷) مقاومت در برابر فشار (سلطان آبادی و همکاران، ۱۳۹۷)
عمر مفید ساختمان	استحکام در مقاومت خستگی (Wang, S. a. L, ۲۰۰۶) (سلطان آبادی و همکاران، ۱۳۹۷)
هزینه	نسبت به بتن عادی ۳۷ درصد ارزان تر (حقیقت، ۱۳۹۸)
سرعت ساخت	افزایش سرعت ساخت و پیش ساخت سازی (حقیقت، ۱۳۹۸)
سبک سازی	نسبت به بتن عادی ۴۰ درصد سبک تر (کلینیک بتن ایران، ۱۳۹۷)

۳- نتیجه گیری

بهره گیری از روش های علمی، فناوری های نوین و مصالح جدید یکی از ضرورت های اساسی جهت ارتقاء، کیفی صنعت ساختمان مسکن در کشور بشمار می رود. تجربیات گذشته نشان دهنده آن است که روش هایی مانند تولید صنعتی ساختمان برای بسیاری از جوامع راه حل های موفق و مطلوبی بوده اند، هر چند که بکارگیری این راه حل ها در سایر جوامع نیازمند بررسی و توجه خاص به شرایط فنی، اجرایی و اقتصادی آن جامعه می باشد. تولید صنعتی ساختمان در ایران، یک نیاز مهم و واقعی است. برای رسیدن به مرحله تولید صنعتی باید به خودباوری در این صنعت ساختمان در ایران، یک نیاز مهم و واقعی است. برای رسیدن به مرحله تولید صنعتی باید به خودباوری در این صنعت دست یافت.

نیازهای کمی و کیفی ساختمان طی دهه های گذشته نشان می دهد که بهترین راهکارها تحقق اهداف مسکن برای اقشار مختلف جامعه، به کارگیری روش های نوین در احداث ساختمان است. نیاز مبرم جامعه به مسکن این واقعیت را آشکار کرده است که استفاده از روش های سنتی در امر ساخت و ساز پاسخگوی نیاز جامعه نخواهد بود. روش های نوینی که در صنعت ساختمان مطرح گردیده است، می توانند نیازهای کمی و کیفی بخش مسکن را برآورده کنند. یکی از این روش ها اجرای ساختمان ها با استفاده از کامپوزیت سیمانی مهندسی شده ECC در ساختمان می باشد که نه تنها امکان تولید صنعتی آن وجود دارد، بلکه سبک بودن سیستم باعث کاهش نیروها در هنگام زمین لرزه خواهد بود و در نتیجه آسیب پذیری ناشی از زلزله را کاهش خواهد داد. در بسیاری موارد راه حل هایی که اجرای آن برای عموم مردم از سهولت بیشتری برخوردار بوده و نیازمند وجود شرایط، امکانات و تجهیزات پیچیده ای نباشد، راه حل های واقعی تر و مناسب تری بشمار می روند. در همین راستا کاهش وزن اجزاء ساختمان، استفاده از مصالح سبک و بکارگیری مصالح محلی بعنوان راه حل هایی که میتوانند سبب افزایش سرعت ساخت و کاهش هزینه اجرای ساختمان ها شوند باید مورد توجه خاص قرار گیرند.

تضمین کیفی مدیریت کیفیت در پروژه میتواند واحد مناسبی برای سنجش جوابدهی فناوری نوین باشد، با بررسی کامپوزیت سیمانی مهندسی شده ECC در قالب مدیریت کیفیت میتوان به فرضیه اولیه پژوهش جواب داد که خصوصیت کامپوزیت

سیمانی مهندسی شده ECC موجب بهبود کیفی ساخت شود همچنین طبق یافته های پژوهش مقاومت در برابر زلزله، هزینه، سرعت ساخت، عمر مفید و سبک سازی خصوصیت هایی است که موجب بهبود وضعیت کیفی ساخت شده است. پیشنهاد میشود در صنعتی سازی ساختمان از کامپوزیت سیمانی مهندسی شده ECC استفاده شود، که موجب بهبود کیفی ساختمان افزایش سرعت ساخت، کاهش هزینه، مقاومت در برابر زلزله و سبک سازی سازه میشود.

منابع

- (Li, V. C., "Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance," E. Nawy, Ed., ed in Concrete Construction Engineering Handbook: CRC Press, ۲۰۰۷.)
] Li, V. C., & Kanda, T. (۱۹۹۸). Innovations forum: engineered cementitious composites for structural applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, ۱۰(۲), ۶۶-۶۹.
- Arditi, David and Gunaidin, Murat H. ۱۹۹۷, Total quality management in the construction process. *International Journal of Project Management*, ۱۵(۴) pp, ۲۳۵-۲۴۳.
- Carlos HORITA, & Tomonari YASHIRO Dr.Eng^{۱۳۸۴} INTEGRATING QUALITY ASSURANCE WITHIN THE PROJECT MANAGEMENT OFFICE. A CONCEPTUAL MODEL., *۲nd International Conference on Project Management, Tehran, Arian Research Group*
- Dalir, AmirHossein and Mohammad Reza Dehnavi. (Persian)
- Golabchi, Mahmood, ۲۰۰۶, Necessity of Using New Construction Technologies, ۲nd Seminar on Construction in The Capital, Tehran, University of Tehran, Technical Faculty. (Persian)
- Golabchi, Mahmood and Hosseini, Seyed Zia. ۲۰۱۱. Project Management Foundations: ۱۱۱. Tehran: University of Tehran Printing and Publishing Institute. (Persian)
- Haghighat, M.M., ۲۰۱۹, Engineering Cement Composite (ECC), Concrete Box. (Persian)
- Iranian Concrete Clinic, ۲۰۱۸, Flexible Concrete or ECC Concrete, Concrete Clinic of Iran. (Persian)
- Jafarnejad, A., Sahab M., Akbarpour A., ۲۰۱۰, Time-Cost-Quality Optimization Using Direct Network Search Algorithm, Mashhad: ۵th Congress of Civil Engineering. (Persian)
- Kunieda, M. a. R., K., "Measurement of crack opening behavior within ECC under bending moment", RILEM SARRL, pp. ۳۱۳-۳۲۲, ۲۰۰۶ ..
- Leung, C. K., Cheung, Y. N., & Zhang, J. (۲۰۰۷). Fatigue enhancement of concrete beam with ECC layer. *Cement and concrete research*, ۳۶(۵), ۷۴۳-۷۵۰.
- Li, Q., Gao, X., & Xu, S. (۲۰۱۶). Multiple effects of nano-SiO_۲ and hybrid fibers on properties of high toughness fiber reinforced cementitious composites with high-volume fly ash. *Cement and Concrete Composites*, ۷۲, ۲۰۱-۲۱۲.
- M wouldaeis, Malcolm. Translator: Golabchi, Mahmood and Taghizadeh, Katayoun. ۲۰۱۶. Structural Foundations for Architects: ۱۸۴. Tehran: University of Tehran Printing and Press Institute. (Persian)
- Ma, H., Qian, S., Zhang, Z., Lin, Z., & Li, V. C. (۲۰۱۵). Tailoring Engineered Cementitious Composites with local ingredients. *Construction and Building Materials*, ۱۰۱, ۵۸۴-۵۹۵.
- Pakravan, H.R., Jamshidi M. and Latifi M., ۲۰۱۵, Cement Composite with High Plasticity and Energy Absorption, ۱st National Conference on New Concrete Technologies and ۸th National Concrete Competition, Rasht, ACECR. (Persian)
- Şahmaran, M., Lachemi, M., Hossain, K. M., Ranade, R., & Li, V. C. (۲۰۰۹). Influence of aggregate type and size on ductility and mechanical properties of engineered cementitious composites. *ACI Materials Journal*, ۱۰۶(۳), ۳۰۸-۳۱۶.
- Shayesteh Bilandi, Reza, Mansour Ghaleh-Kindi, Ebrahim Rezaei Nik, ۲۰۱۷, Evaluation of time, cost and quality balance in project scheduling, Tehran: ۳rd National and ۳rd International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development at the beginning of the third millennium. (Persian)

Siad, H., Alyousif, A., Keskin, O. K., Keskin, S. B., Lachemi, M., Sahmaran, M., & Hossain, K. M. A. (۲۰۱۵). Influence of limestone powder on mechanical, physical and self-healing behavior of Engineered Cementitious Composites. *Construction and Building Materials*, 99, ۱-۱۰.

Soltanabadi, R., Kiachehr Bofernia and Davood Mostofinejad, ۲۰۱۸, Application of ECC Engineering Cement Composites in Concrete Structures, ۱۰th National Conference on Concrete, Tehran, Iranian Concrete Association. (Persian)

Suthiwarapirak, P., Matsumoto, T., and Kanda, T., "Flexural fatigue failure characteristics of an engineered cementitious composite and polymer cement mortars", *Materials, Conc. Struc. Pavements*, vol. ۷۱۸, pp. ۱۲۱-۱۳۴, ۲۰۰۲

Wang, S. a. L., V.C., "Polyvinyl Alcohol Fiber Reinforced Engineered Cementitious Composites: Material Design and Performances", RILEM SARL, pp. ۶۵-۷۳, ۲۰۰۶

Zhao, A., Yang, J., & Yang, E. H. (۲۰۱۵). Self-cleaning engineered cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 64, ۷۴-۸۳.