

مهندسی مدیریت ساخت

شماره شاپا : ۲۵۷۸-۲۵۳۸

- بکارگیری متدولوژی شش سیگما و فناوری RFID در مدیریت منابع انسانی پروژه‌های عمرانی
علیرضا هاشمیان، سمانه جدلی، امیرحسین حاجی بابایی
- بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام نمونه‌های بتنی حاوی نانوسیلیس در شرایط باران اسیدی
محمد فلاح شیروانی، امید بامشاد، مهدی مهدی‌خانی
- بررسی و تحلیل ریسک‌های اجرایی در ساختمان‌های سبز با رویکرد AHP
عارف طارمیان، فائزه طاهرخانی، شادی معتمدی
- بررسی استفاده از باکتری باسیلوس ساب تیلیس در ترمیم بتن‌های خودترمیم شونده
محدثه انبارلوئی، مهدی مهدی‌خانی
- بررسی کارایی و مقاومت فشاری ملات خودمتراکم حاوی میکرو سیلیس و فوق روان کننده
امید بامشاد
- روش پویایی سیستم: رویکردی جامع برای مدیریت عملکرد در پروژه‌های ساخت
شهره مرادی، رامین انصاری، روح اله طاهرخانی

Journal of Engineering & Construction Management



Volume 4 , Number 3
Autumn 2019

ISSN : 2538-2578

- **Application of Six Sigma methodology and RFID technology in human resource management of construction projects**
Alireza Hashemian, Samaneh Jadali, Amirhossein Hajibabaei
- **Investigating the mechanical properties and durability of concrete samples containing Nano-silica under acid rain conditions**
Mohammad Fallahshirvani, Omid Bamshad, Mahdi Mahdikhani
- **Investigation and analysis of executive risks in green buildings in sustainable development with AHP approach**
Aref Taromian, Faezeh Taherkhani, Shadi Motamedi
- **Investigating the use of Bacillus subtilis bacteria in the repair of self-healing concrete**
Mohadeseh Anbarlouie, Mahdi Mahdikhani
- **Investigating the efficiency and compressive strength of self-compacting mortar containing micro-silica and super-lubricant**
Omid Bamshad
- **System dynamics method: a comprehensive approach to performance management in construction projects**
Shohreh Moradi, Ramin Ansari, Roohollah Taherkhani

اللَّهُ الرَّحْمَنُ الرَّحِيمُ

فصلنامه پژوهشی مهندسی و مدیریت ساخت

شماره شاپا : ۲۵۷۸-۲۵۳۸

مهندسی و مدیریت ساخت

صاحب امتیاز و مدیر مسئول : دکتر روح اله طاهرخانی
سر دبیر : دکتر محمدعلی نکوئی
دبیر تخصصی : دکتر مرتضی فیروزی
مدیر اجرایی : مهندس فائزه طاهرخانی

اعضای هیئت تحریریه :

دکتر رضا ضیائی موید	استاد دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر عباس رصافی	استاد دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر علی عبدی کردانی	دانشیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر مهدی روانشادنیا	دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
دکتر روح اله طاهرخانی	استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر مهدی مهدی خانی	استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر رامین انصاری	استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین
دکتر محمد علی نکوئی	استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
دکتر حمیدرضا عباسیان جهرمی	استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دکتر سعید بنی هاشمی	استادیار دانشگاه کانبرا استرالیا
دکتر علی کیوانفر	استادیار دانشگاه ایالتی کنزائو
دکتر مرتضی فیروزی	استادیار دانشگاه البرز

همکاران اجرایی : نجمه هاشم پور، امیرحسین حاجی بابایی، شادی معتمدی، کیمیا آرام
صفحه آرائی و طراحی : مریم حدادی
ویراستار فارسی : زهرا شعرباغچی زاده
ویراستار انگلیسی : سمیه میرزابابایی

نشانی : تهران، خیابان دماوند، میدان امامت، خیابان شهید تیموری فر، پلاک ۱۹۳، واحد ۳، کدپستی ۱۷۴۳۶۹۵۳۸۱
تلفن و نمابر : ۰۲۱۷۷۴۲۸۰۰۶
وبگاه : www.jecm.ir
رایانامه : info@jecm.ir

Journal of Engineering & Construction Management

ISSN : 2538-2578

Director-in-Charge : Dr. Roohollah Taherkhani
Editor-in-Chief : Dr. Mohammad Ali Nekooie
Associate Editor : Dr. Morteza Firouzi
Administration Manager : Faezeh Taherkhani



Editorial Board :

Dr. Reza Ziyae Moayed	Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Abbas Rassafi	Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Ali Abdi Kordani	Assoc. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Mehdi Ravanshadnia	Assoc. Prof. at Islamic Azad University (Tehran Branch)
Dr. Roohollah Taherkhani	Assist. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Mahdi Mahdikhani	Assist. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Ramin Ansari	Assist. Prof. at Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Mohammad Ali Nekooie	Assist. Prof. at Malek Ashtar University of Technology
Dr. Hamidreza Abbasianjahromi	Assist. Prof. at K. N. Toosi University of Technology (KNTU)
Dr. Saeed Banihashemi	Assist. Prof. at University of Canberra
Dr. Ali Keyvanfar	Assist. Prof. at Kennesaw State University
Dr. Morteza Firouzi	Assist. Prof. at Alborz University

Journal Colleagues : Najmeh Hashempour, Amirhossein Hajibabaei, Shadi Motamedi, Kimiya Aram
Layout and design : Maryam Haddadi
Persian editor : Zahra Sharbafchizadeh
English editor : Somayeh Mirzababayi

Address : Unit. 3, No. 193, Teymurifar St., Emamat Sq., Damavand St., Tehran, Iran, 1743695381
Tel & Fax : +9821-77428006
Site : www.jecm.ir
Email : info@jecm.ir

فهرست

۱-۶	بکارگیری متدولوژی شش سیگما و فناوری RFID در مدیریت منابع انسانی پروژه‌های عمرانی علیرضا هاشمیان، سمانه جدلی، امیرحسین حاجی بابایی
۷-۱۳	بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام نمونه‌های بتنی حاوی نانوسیلیس در شرایط باران اسیدی محمد فلاح شیروانی، امید بامشاد، مهدی مهدی‌خانی
۱۴-۲۲	بررسی و تحلیل ریسک‌های اجرایی در ساختمان‌های سبز با رویکرد AHP عارف طارمیان، فائزه طاهرخانی، شادی معتمدی
۲۳-۲۹	بررسی استفاده از باکتری باسیلوس ساب تیلیس در ترمیم بتن‌های خودترمیم شونده محدثه انبارلوئی، مهدی مهدی‌خانی
۳۰-۳۴	بررسی کارایی و مقاومت فشاری ملات خودمتراکم حاوی میکروسیلیس و فوق روان کننده امید بامشاد
۳۵-۴۲	روش پویایی سیستم: رویکردی جامع برای مدیریت عملکرد در پروژه‌های ساخت شهره مرادی، رامین انصاری، روح اله طاهرخانی



Content

Application of Six Sigma methodology and RFID technology in human resource management of construction projects	1-6
Alireza Hashemian, Samaneh Jadali, Amirhossein Hajibabaei	
Investigating the mechanical properties and durability of concrete samples containing Nano-silica under acid rain conditions	7-13
Mohammad Fallahshirvani, Omid Bamshad, Mahdi Mahdikhani	
Investigation and analysis of executive risks in green buildings with AHP approach	14-22
Aref Taromian, Faezeh Taherkhani, Shadi Motamedi	
Investigating the use of Bacillus subtilis bacteria in the repair of self-healing concrete	23-29
Mohadeseh Anbarlouie, Mahdi Mahdikhani	
Investigating the efficiency and compressive strength of self-compacting mortar containing micro-silica and super-lubricant	30-34
Omid Bamshad	
System Dynamics Method: A Comprehensive Approach to Performance Management in Construction Projects	35-42
Shohreh Moradi, Ramin Ansari, Roohollah Taherkhani	

Application of Six Sigma methodology and RFID technology in human resource management of construction projects

بکارگیری متدولوژی شش سیگما و فناوری RFID در مدیریت منابع انسانی پروژه‌های عمرانی

Alireza Hashemian*

M. Sc. of Engineering and Construction Management,
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University (Arak Branch), Arak, Iran.

Samaneh Jadali

M. Sc. of Public Administration, Administrative and executive affairs of Disciplinary Council, Tehran Construction Engineering Organization, Tehran, Iran.

Amirhossein Hajibabaei

B.Eng. of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

علیرضا هاشمیان*

کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد اراک)، اراک، ایران.

سمانه جدلی

کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، امور اداری و اجرایی شورای انتظامی، سازمان نظام مهندسی ساختمان تهران، تهران، ایران.

امیرحسین حاجی بابایی

کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

*Corresponding author's email address:

alireza_hashemian007@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۱

Abstract

One of the main costs in construction projects is the cost of human resources, the correct management of which will increase productivity in construction projects. The most important issue in human resource management is to identify the time and points where projects face time wastage. Time management and increasing the work efficiency of projects requires the use of methods and tools. In this article, with a case study of a construction workshop, we will discuss how to use six sigma methodology and the role of RFID technology in identifying the points and people who have the most wasted time in the workshop, and then by presenting solutions to try to optimize and reduce time wastage in the project. After applying changes to reduce time in this workshop, we can see the results obtained in relation to optimization and time reduction. In this regard, by combining two different branches of six sigma, which is an optimization method, and six sigma technology, a practical method was presented to reduce wasted times and manage them, so that one of the issues and problems in construction workshops was optimized and In fact, time management should be addressed in human resources. In this way, it was observed that with the implementation of RFID technology, the wasted time of the workers was calculated and the people who have a lot of wasted time were identified, and its optimization was done using the solution of replacing people.

Keywords

Time management, human resources, construction project management, six sigma, RFID

چکیده

یکی از هزینه‌های اصلی در پروژه‌های عمرانی هزینه‌های ناشی از منابع انسانی است که مدیریت صحیح آن موجب افزایش بهره‌وری در پروژه‌های عمرانی خواهد شد. مهمترین مسئله در مدیریت منابع انسانی شناسایی زمان و نقاطی است که در آن نقاط پروژه‌ها با اتلاف زمان مواجهند. مدیریت زمان و افزایش راندمان کاری پروژه‌ها نیازمند بکارگیری روش‌ها و ابزارهایی است. در این مقاله با مطالعه موردی یک کارگاه عمرانی به چگونگی استفاده از متدولوژی شش سیگما و نقش فناوری RFID در شناسایی نقاط و نفراتی که در کارگاه دارای بیشترین زمان پرت هستند می‌پردازیم و سپس با ارائه راهکارهایی سعی در بهینه‌سازی و کاهش اتلاف زمان در پروژه می‌کنیم. پس از اعمال تغییرات در جهت کاهش زمان در این کارگاه نتایج بدست آمده در رابطه با بهینه‌سازی و کاهش زمان را مشاهده می‌کنیم. در این راستا با تلفیق دو شاخه مختلف شش سیگما که یک روش بهینه‌سازی است و فناوری شش سیگما روشی عملی را در جهت کاهش زمان‌های پرت شده و مدیریت آنها ارائه شد تا یکی از مباحث و مشکلات موجود در کارگاه‌های عمرانی بهینه‌سازی شده و در واقع به مدیریت زمان در منابع انسانی پرداخته شود. بدین ترتیب مشاهده گردید که با پیاده‌سازی فناوری RFID زمان پرت شده کارگران محاسبه شده و افرادی که دارای زمان پرت زیادی هستند شناسایی شدند و بهینه‌سازی آن با استفاده از راهکار جایگزینی افراد صورت پذیرفت.

کلمات کلیدی

مدیریت زمان، منابع انسانی، مدیریت پروژه‌های عمرانی، شش سیگما، RFID



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

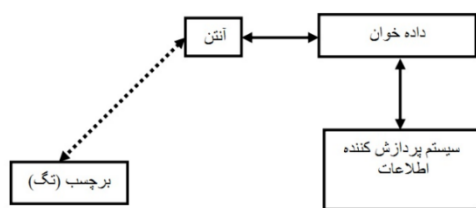


بکارگیری متدولوژی شش سیگما و فناوری RFID در مدیریت منابع انسانی پروژه‌های عمرانی

منوط به مدیریت صحیح تک تک این پروژه‌هاست. مدیریت و بهینه‌سازی پروژه‌ها امروزه به یک علم تبدیل شده است و سنتی‌سازی و روش‌های سنتی امروزه کم‌کم منسوخ شده است. دنیای امروز جایی برای رفتارهای سنتی معمول در پروژه‌ها نیست. پروژه‌هایی با حجم

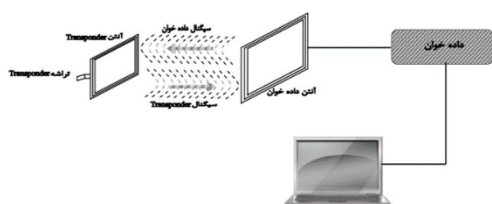
۱- مقدمه

هر ساله حجم عظیمی از سرمایه و بودجه هر کشور به پروژه‌های عمرانی و ساخت و ساز اختصاص می‌یابد مدیریت صحیح این بودجه



شکل ۱ مکانیزم سیستم شناسایی به کمک امواج رادیویی RFID [۱]

جهت روشن تر شدن موضوع ونحوه برقراری ارتباط میان داده خوان و تگ ، جزئیات بیشتر این سیستم در شکل شماره 2 نمایش داده شده است.



شکل ۲ مکانیزم برقراری ارتباط داده خوان و تگ RFID [۲]

۲-۲- معرفی شش سیگما

امروزه ادامه حیات در صحنه رقابت فشرده شرکت های تولیدی، نیازمند خلاقیت و نوآوری بوده وسازمانهای موفق ، تنها بوسیله سلاح نوآوری و خلاقیت می توانند از بازارهای خود محافظت نموده و آنرا توسعه دهند. از جمله موثرترین روشهای بدیع در تامین خواستهای، متدولوژی شش سیگما می باشد که اولین بار در سال 1987 توسط مدیر عامل شرکت موتورولا در مراسم دریافت جایزه ملی کیفیت آمریکا توسط این شرکت به جهانیان معرفی گردید. شش سیگما در سالهای اخیر توسط سایر شرکتهای پیشرو (همچون جنرال الکتریک) توسعه یافته ، مورد استفاده قرار گرفته و پس از مشخص شدن نتایج کمی و کیفی شگفت انگیز حاصل از آن ، در حال حاضر مورد توجه واستقبال شدید محافل علمی وصنعتی دنیا قرار گرفته است . شش سیگما یک متدولوژی گام به گام می باشد که از طریق تعریف واجرای پروژه های بهبود در محیطی مبتنی بر حل مسئله بصورت تیمی (Team Based Problem Solving) راهکارهای مناسب جهت رفع مشکلات موجود را به سازمان ارائه می نماید. این متدولوژی با بکارگیری ابزارهای کیفی شناخته شده ای همچون پارتو، FMEA، DOE و ... در قالب فازها و مراحل اصلی تعریف ، اندازه گیری، بهبود خلاقانه و کنترل ، هدف بهبود مستمر فرآیندها را در جهت کسب رضایت مشتریان و افزایش منافع مالی سازمان دنبال می کند. کاربرد تکنیکهای استاندارد بکارگرفته شده در متدولوژی شش سیگما درسالهای اخیر با معیارهای قابل لمس مدیران ومسئولین عجین شده و موفقیتهای تجاری زیادی به ارمغان آورده است و به همین دلیل ، مدیران سازمانها در کشورهای مختلف تمایل بیشتری به استفاده از این ابزارها پیدا کرده اند. شش سیگما گرچه بطور معمول ، بعنوان یک متدولوژی بهبود کیفیت شناخته می شود ، اما با عنایت به رویکرد ناب سازی فرآیندها، هرگونه اتلاف در فرآیندها را می توان به مثابه یک عیب (Defect) تلقی نمود. از سوی

بالای مواد و مصالح ، ماشین آلات و دستگاه های پیشرفته و انبوهی از کارگران وافراد متخصص ؛ تمامی این منابع نیاز وافر به برنامه ریزی وکنترل و بهینه سازی دارند. در پروژ های عمرانی معمولاً زمان پرت کارگران و پرسنل هزینه های فراوانی را به پروژه ها تحمیل می کند. اما مسئله اصلی این است که چگونه بفهمیم که بیشتر زمان پرت کاری کجاست و چگونه آن را بهینه کنیم . در این مقاله پس از آشنایی مختصر با متدولوژی شش سیگما و فناوری RFID (شناسایی با استفاده از امواج رادیویی) به بررسی نحوه استفاده از این مفاهیم در یک کارگاه عمرانی می پردازیم.

۲- ادبیات تحقیق

۲-۱- معرفی تکنولوژی RFID

RFID یا سیستم شناسایی با استفاده از فرکانس رادیویی ، سامانه ی شناسایی بی سیمی است که قادر به تبادل داده ها بوسیله برقراری اطلاعات بین یک شناسه و یک داده خوان می باشد ، شناسه به وسیله ای متصل شده است که ما می خواهیم آن را ردیابی کنیم و داده خوان ها ، حضور شناسه ها را در محیط تشخیص داده واطلاعات ذخیره شده در آنها را بازیابی می کنند. به عبارتی RFID یک پلتفرم مهم جهت شناسایی اشیاء ، جمع آوری داده و مدیریت اشیاء را ارائه می نماید پلت فرم فوق مشتمل بر مجموعه ای از فناوری های حامل داده و محصولاتی است که به مبادله بین حامل و سیستم مدیریت اطلاعات از طریق یک لینک فرکانس رادیویی کمک می نماید [۱]. سیستمهای مبتنی بر RFID شامل برچسب (تراشه و آنتن) و یک قرائتگر با آنتن مربوطه است. قرائتگر امواج الکترومغناطیسی را ارسال می کند زمانی که این امواج به برچسب می رسند ، برچسب به آنها پاسخ می دهد واطلاعات از قبل ذخیره شده را برای قرائتگر ارسال می کند. به عبارتی مبادله اطلاعات بین تگ و داده خوان از طریق امواج رادیویی انجام می شود. زمانی که یک شی حاوی تگ RFID به محدوده خواندن یک داده خوان وارد می شود ، دستگاه کد خوان با ارسال یک سیگنال به تگ اعلام می نماید که داده ذخیره شده در خود را ارسال نماید. تگ ها قادر به ذخیره اطلاعات مختلفی در خصوص یک شی می باشند. ذخیره شماره سریال ، شماره قطعه و یا دستورالعمل های پیکر بندی نمونه هایی در این زمینه می باشد. داده خوان پس از دریافت داده ذخیره شده در تگ ، اطلاعات مربوطه را از طریق یک رابط شبکه ای استاندارد نظیر یک رابط اتترنت شبکه محلی و یا حتی اینترنت برای کنترل کننده یا به عبارتی سیستم پرازش کننده در زمینه های مختلفی فراهم می گردد. یک سیستم RFID می تواند شامل داده خوان های متعددی باشد که در محدوده مورد نظر توزیع شده اند. تمامی داده خوان ها می توانند به یک کنترل متصل و شبکه ای را با یکدیگر ایجاد نمایند. یک داده خوان می تواند با بیش از یک تگ بطور همزمان ارتباط برقرار نماید. شکل شماره ۱ مکانیزم سیستم شناسایی به کمک امواج رادیویی RFID را نشان می دهد.

دیگر، عامل اصلی موفقیت این متدولوژی، کار سیستماتیک تیمی بصورتی منسجم و بر مبنای پروژه‌هایی ساخت یافته می باشد که در بهبود کلیه جنبه های کاری فعالیتهای تولیدی و خدماتی که حائز ارزش می باشند می تواند مشمثر واقع گردد. در واقع، شش سیگما، یک برنامه بهبود هدایت شده از سوی مدیریت سازمان است که تمرکز آن بر استفاده از استراتژی بهبود جهشی (Breakthrough Improvement) در جهت اجرای رضایت مشتری و دستیابی به هدف اصلی کسب و کار (Business Objectives) می باشد. بطور خلاصه اهداف بکارگیری شش سیگما در سازمانها عبارتند از:

- کاهش تغییرات ونوسانات،
- کاهش عیوب،
- بهبود بازدهی فرآیندها،
- بهبود منافع مالی سازمان و
- افزایش رضایتمندی کلیه ذینفعان.

اجرای پروژه های شش سیگما بطور معمول با استفاده از افراد آموزش دیده و با تجربه در این زمینه که با الهام از ورزشهای رزمی، با عناوین کمربند سبز (Green Belt) و یا کمربند مشکی (Black Belt) شناخته می شود [۳].

۲-۳- تکنولوژی RFID و شش سیگما

روند پیش روی استفاده از RFID یادآور روند معرفی گواهینامه ISO 9000 در جوامع مختلف در سطح دنیا می باشد که شرکتهای بزرگ خودروسازی، هدايتگر وموتور محرکه آن بودند. تقریباً تمامی تامین کنندگان شرکتهای خودروساز، هرکدام در حدی، از مزایای پیاده سازی ایزو از طریق استاندارد سازی و بهبود در کیفیت برخوردار شده اند. بسیاری از صاحب نظران، انتظار دارند که تکنولوژی RFID روند و مزایای مشابهی را در پی داشته باشد. البته مزایای که RFID به ارمغان می آورد، بطور عمده در مدیریت زنجیره تامین (Supply Chain Management) و حمل و نقل وردیایی اقلام، تاکنون بصورتی شفاف، مشخص گردیده است. این کاربردها، نیروی محرکه در حرکت به سمت این تکنولوژی نوین می باشند. اما بسیاری از شرکتهای هنوز ارزشی را که RFID می تواند با فراهم آوردن ورودیهای اطلاعاتی مناسب برای سیستم مدیریت کیفیت و رویکردهای بهبود سازمانی یک شرکت به ارمغان بیاورد را دریافته اند. داده های RFID می توانند بعنوان یک ابزار با ارزش در کاربرد های شش سیگما وناب سازی فرآیندها بکار گرفته شوند. رویکرد تولید ناب (Lean Production) که از سیستم تولید شرکت ژاپنی تویوتا الگوبرداری شده است. مبتنی بر کاهش اتلافات (Muda) در یک سیستم کاری می باشد که این اتلافات بطور معمول در ۷ گروه طبقه بندی می شوند: تولید اضافی، انتظار نیروی انسانی یا ماشین آلات، حمل و نقل، فرآیند، موجودی یا کار در فرآیند (WIP) حرکات اضافی و دوباره کاری. اینها حیطة هایی هستند که یک فرآیند RFID مدیریت شده صحیح می تواند در آنها داده های قابل کاربرد و مناسبی جهت ایجاد بهبود در فرآیند و نیز تجزیه وتحلیل های پروژه های بهبود شش سیگما فراهم نماید [۳]. چالش اساسی جهت استفاده از تکنولوژی شش سیگما عدم وجود سیستم اندازه گیری مناسب برای جمع آوری داده های و یا کمبود داده است. معمولاً

سازمان های تولیدی به دلیل نیاز به ردیابی جریان مواد و محصولات تولید شده و ارایه گزارش های مختلف به منظور محاسبه نرخ تحویل به موقع به مشتری و هزینه ها از سیستم اندازه گیری کارآمدی برخوردار هستند [۵]. در بررسی عوامل موثر در پیاده سازی روش شش سیگما در شرکت های بزرگ پیمانکاری می توان به نقش رهبری و تعهد مدیریت ارشد، کار تیمی متقابل و تعهد مدیران میانی به عنوان مهمترین عوامل برای اجرای شش سیگما اشاره کرد [۶]. در واقع شش سیگما روشی کوتاه مدت برای بهبود پروژه نیست و تعهد و داشتن دانش و رهبری مناسب در اجرای این روش ضروری است و می تواند در طولانی مدت نقاط ضعف سیستم و پروژه را بهبود دهد [۷].

۲-۴- تاکتیکهای شش سیگما

هدف بنیادی روش شش سیگما اجرای راهبردی مبتنی بر اندازه گیری عملکرد است و از طریق اجرای پروژه های بهبود دهنده شش سیگما سعی در کاهش نوسانات فرآیند و بهبود آن دارد. این کار به کمک دو روش فرعی DMAIC و DMADV، در شش سیگما انجام می شود. یکی از ابزارهای اجرای شش سیگما چرخه DMAIC می باشد. چرخه DMAIC متدولوژی نتیجه گرایی می باشد که پروژه های شش سیگما بر مبنای آن انجام می گیرد به عبارت ساده تر این چرخه وش سیستماتیک و منظمی است برای حل مسائل و پیشبرد این دست از پروژه ها. DMAIC مخفف کلمات DEFINE (تعریف)، MEASURE (اندازه گیری)، ANALYZE (تحلیل)، IMPROVE (بهبود) و CONTROL (کنترل) می باشد. چرخه DMAIC یک رویکرد ساخت یافته، منسجم و همه جانبه برای بهبود فرآیند است و شامل ۵ فاز ذکر شده در شکل ۳ می باشد که هر فاز بطور منطقی همانطور که به فاز بعدی مرتبط است به فاز قبلی نیز مرتبط است [۴].

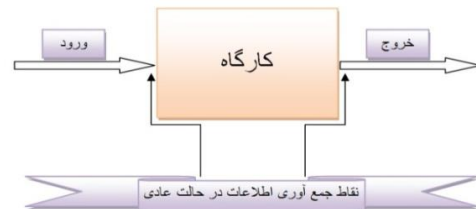


شکل ۳ چرخه DMAIC

۳- مدیریت زمان منابع انسانی مبتنی بر RFID و شش سیگما

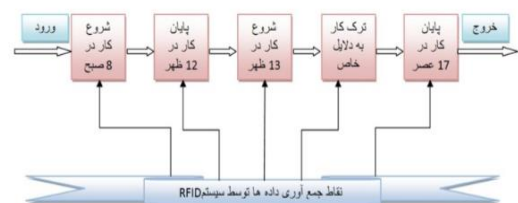
فاز DEFINE (تعریف): در این فاز ما به تعریف مشکل خود می پردازیم. مشکل مدیران و مسئولان کارگاه در مدیریت زمان منابع انسانی یک پروژه پیدا کردن نقاطی است که در آن زمان هدر می رود و اینکه چه کسانی دارای بیشتر زمان پرت شده هستند. این نکته زمانی اهمیت پیدا می کند که نفرا ت زیادی در یک پروژه مشغول فعالیت هستند و شما نمی توانید بر آنها در همه لحظات نظارت کنید.

فاز MEASURE (اندازه گیری): در این فاز ما باید بتوانیم که زمان را اندازه گیری کنیم و در واقع دلیل استفاده ما از فناوری RFID همین نکته است. پروژه های عمرانی معمولاً فاقد یک سیستم شناسایی و محاسبه زمان منابع انسانی می باشند. در پروژه های عمرانی به طور معمول فقط در هنگام شروع کار و در پایان زمان کاری ثبت می شود. شکل ۴ نحوه محاسبه زمان کار افراد در حالت عادی را نشان می دهد.



شکل شماره ۴ نحوه محاسبه زمان کار افراد در حالت عادی

نکته ای که وجود دارد این است که این سیستم ها دیگر نظارتی بر عملکرد افراد در زمان کار در داخل پروژه و سایت را ندارند و صرفاً ورود و خروج را ثبت می کند. برای اینکه بتوانیم در لحظات مختلف بر منابع انسانی نظارت کنیم از سیستم RFID جهت ثبت اطلاعات زمانی کارگران در سایت استفاده می کنیم و داده های هر فرد را با مشخصات فردی و زمان های از دست رفته ثبت می کنیم. در شکل شماره ۵ نقاطی که زمان در آنها ثبت می شود را مشاهده می کنید.



شکل شماره ۵ نحوه محاسبه زمان کار افراد توسط سیستم RFID

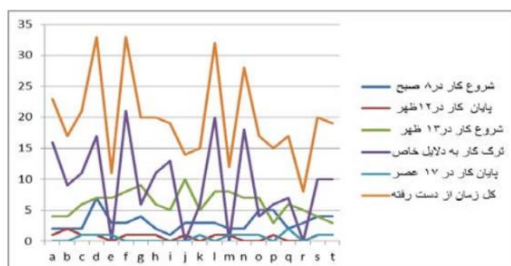
پروژه ای که ما برای این کار انتخاب کردیم پروژه سالنهای ورزشی است. این پروژه متشکل از یک سالن چند منظوره ، یک سالن دومیدانی و یک سالن تمرین بود . سازه از نوع بتنی به همراه سقفی از قابهای فولادی بود. مدت زمان پروژه ۲,۵ سال در نظر گرفته شده بود. علت انتخاب این پروژه مساحت زیاد و تعدد جبهه های کاری و تعدد پرسنل کاری می باشد. به دلایل ذکر شده نظارت بر منابع انسانی موجود در کارگاه در جنبه های مختلف چالش بزرگی است. جهت استفاده از این سیستم همانند شکل شماره ۶ یک دستگاه قرائت تگ RFID را در ورودی هر کارگاه نصب می شود و به هر کدام از کارگران و پرسنل یک کلاه ایمنی به همراه تگ RFID داده و تاکید می شود شد که همیشه باید کلاه ایمنی همراه آنها باشد. به کارگران و پرسنل که در محوطه کار می کردند توضیحاتی داده می شود مبنی بر اینکه زمان ورود و خروج آنها بر اساس زمان های ثبت شده در این سیستم محاسبه می شود. زمان کاری از ساعت ۸ صبح

تا ۱۷ بود که یک ساعت فقط نهار و استراحت از ساعت ۱۲ تا ۱۳ در نظر گرفته شده بود. به زمان کاری افراد در هر روز نیم ساعت اضافه می شد این به معنی بود که در هنگام صبح ۱۵ دقیقه برای پوشیدن لباس و تحویل گرفتن وسایل و در هنگام عصر ۱۵ دقیقه هم برای تحویل وسایل و خروج از پروژه در نظر گرفته شد.



شکل شماره ۶ تگ RFID نصب شده بر روی کلاه ایمنی کارگران

این به این معنی است که زمانی که کارگران و پرسنل برای اولین بار از گیت های ورودی به محل کار عبور می کردند به کار آنها ثبت می شد و هنگام عصر و در هنگام خروج از زمان کاری آنها پس از ثبت در گیت به صورت اتوماتیک ثبت می شد. بنابراین زمانهای کاری افراد به دقیقه و ثانیه محاسبه می شد. نقاطی که در آنها از زمان ثبت می شد در شکل شماره مشخص شده است. در جدول ۱ از ثبت اطلاعات فردی و زمان های روزانه در کارگاه را می بینیم. همچنین به عنوان نمونه میزان تاخیرات روزانه تعدادی از کارگران در یک روز که با سیستم RFID ثبت شده را می توان در جدول ۲ مشاهده کرد. پس از به دست آوردن اطلاعات از زمان و نقاط پرت زمان و افراد نمودار شماره ۱ را براساس اطلاعات بدست آمده ترسیم می کنیم که سطر افقی نام افراد است و سطر عمودی میزان زمان پرت شده است و خطوط رنگی هم هر کدام یک زمان هدر رفت را نشان می دهند.



نمودار شماره ۱ زمان های پرت شده

فاز ANALYZ (تحلیل): در این مرحله به تجزیه و تحلیل داده ها می پردازیم. در نمودار بالا می بینیم که بیشتر زمان از دست رفته مربوط به خط بنفش رنگ است یعنی ترک کار به دلایل خاص ، در مرحله بعد می بینیم که خط سبز رنگ که مربوط به شروع کار در ساعت ۱۳ بعدازظهر است به عنوان دومین نقطه از دست رفتن زمان مشاهده می شود. خط آبی پر رنگ نیز زمان های از دست رفته در اول صبح و شروع کار را نشان می دهد.

جدول ۱ نمونه ای از ثبت اطلاعات فردی و زمان های روزانه در کارگاه

شماره	سمت	نام خانوادگی	نام	شروع کار در ۸ صبح	پایان کار در ۱۲ ظهر	شروع کار در ۱۳ ظهر	ترک کار به دلایل خاص	پایان کار در ۱۷ عصر
۴	کارگر	احمدی	علی	08:04:18	12:00:18	13:00:18	00:16:02	16:56:18
۵	کارگر	سعیدی	محمد	08:05:21	12:01:21	13:01:21	00:09:12	16:57:21
۶	کارگر	مطهری	حسن	08:05:26	12:01:26	13:01:26	00:11:14	16:57:26
۷	کارگر	کاملی	وحید	08:06:18	12:02:18	13:02:18	00:17:00	16:58:18
۸	کارگر	حسنی	محسن	08:06:22	12:02:22	13:02:22	00:08:00	16:58:22
۲۲	کارگر	انتظاری	قربان	08:01:18	11:57:18	12:57:18	00:21:20	17:00:18
۲۳	کارگر	ماجدی	سعید	08:01:20	11:57:20	12:57:20	00:06:00	17:00:20
۲۴	کارگر	احمدی	مهدی	08:01:21	11:57:21	12:57:21	00:13:00	17:00:21
۲۵	کارگر	علوی	محمود	08:01:21	11:57:21	12:57:21	00:03:15	17:00:21
۴۲	کارگر	اسماعیلی	رهام	08:02:01	11:58:01	12:58:01	00:00:00	17:01:01
۴۳	کارگر	احمدی	مسعود	08:02:05	11:58:05	12:58:05	00:06:23	17:01:05
۴۴	کارگر	وفایی	علیرضا	08:02:15	11:58:15	12:58:15	00:30:11	17:01:15
۴۶	کارگر	وفایی	شهرام	08:02:17	11:58:17	12:58:17	00:00:00	17:01:17
۴۷	کارگر	اسماعیلی	علی	08:02:19	11:58:19	12:58:19	00:18:12	17:01:19

جدول ۲ نمونه ای از ثبت اطلاعات فردی و زمان های روزانه در کارگاه

کد زمان از دست رفته	پایان کار در ۱۷ عصر	پایان کار به دلایل خاص	شروع کار در ۱۳ ظهر	پایان کار در ۱۲ ظهر	شروع کار در ۸ صبح	اسم
۲۲	۰	۱۶	۴	۱	۲	a
۱۷	۰	۹	۴	۲	۲	b
۲۱	۱	۱۱	۶	۱	۲	c
۲۳	۱	۱۷	۷	۱	۷	d
۱۱	۱	۰	۷	۰	۳	e
۲۳	۰	۲۱	۸	۱	۳	f
۲۰	۰	۶	۹	۱	۴	g
۲۰	۰	۱۱	۶	۱	۲	h
۱۹	۰	۱۳	۵	۰	۱	i
۱۴	۰	۰	۱۰	۱	۳	j
۱۵	۱	۶	۵	۰	۳	k
۳۲	۰	۲۰	۸	۱	۳	l
۱۲	۱	۰	۸	۱	۲	m
۲۸	۱	۱۸	۷	۰	۲	n
۱۷	۱	۴	۷	۰	۵	o
۱۵	۰	۶	۳	۱	۵	p
۱۷	۲	۷	۶	۰	۲	q
۸	۰	۰	۵	۰	۳	r
۲۰	۱	۱۰	۴	۱	۴	s
۱۹	۱	۱۰	۳	۱	۴	t
۱۹.۷	متوسط زمان از دست رفته در روز به دقیقه					

از طرفی نقاطی از نمودار که زمان در آنها بالاست نشان دهنده افرادی است که دارای بیشترین زمان پرت هستند. کارگران a, d, f, n و دارای بیشترین زمان پرت هستند. همچنین به عنوان مثال متوسط زمان از دست رفته در حال حاضر ۱۹.۷ دقیقه است. فاز IMPROVE (بهبود): در این مرحله ما باید با استفاده از اطلاعات مرحله قبلی راهکارهایی را برای بهبود وضعیت فعلی پیشنهاد دهیم.

با توجه به شرایط موجود در کارگاه های عمرانی راهکارهای زیر پیشنهاد می گردد.

۱- قبول وضع موجود به دلایل مختلف: در بعضی از موارد مدیران و تصمیم گیرندگان پروژه بنا بر دلایلی از جمله شرایط سخت کاری و آب هوایی و سختی آیتم های کاری از سخت گیری به نفرت خودداری میکنند و شرایط موجود را قبول میکنند.

۲- بهینه سازی کارگاه با فراهم آوردن وسایل و امکانات رفاهی در نقاط مختلف: در بعضی از کارگاه افراد برای گرفتن یک وسیله از انبار یا رفتن به سرویس بهداشتی مجبورند مسافتی طولانی را طی کنند که در صورتی که مدیران کارگاه تشخیص بدهند که با فراهم کردن بعضی از امکانات در نقاط مختلف میتوانند راندمان کاری را بالا ببرند؛ این امر موجب کاهش زمان از دست رفته خواهد شد.

۳- ایجاد طرح های تشویقی ماهانه (مثل در نظر گرفتن پاداش برای افرادی که دارای کمترین تاخیرات هستند) در جهت ایجاد انگیزه در بین کارگران با استفاده از زمان های ثبت شده.

۴- بهینه سازی زمان با استفاده از جایگزینی نفرت: این سیستم مبتنی بر نمودار های و اطلاعات میباشد به اینصورت که مدیر پروژه با جایگزینی افراد جدید به جای افرادی که تاخیرات زیادی دارند نسبت به بهبود میزان تاخیرات و افزایش راندمان کاری اقدام مینمایند که البته به دلیل بعضی از دلایل مثل از دست دادن افرادی که دارای مهارتی هستند ولی تاخیرات زیادی دارند این امر مشکل ساز است.

۵- کم کردن زمان ها از زمان های کاری روزانه: این کار ساده ترین راه ممکن است که در بیشتر صنایع، کارخانجات، ادارات و سازمان ها از آن استفاده می گردد و آن کم کردن حقوق و مزایای افراد با توجه به زمان کاری است. معنی این کار این است که میزان تاخیرات روزانه هر فرد از حقوق او کم می شود.

با توجه به پیشنهادات ارائه شده مدیریت کارگاه و مسئولان اجرایی تصمیم می گیرند که از کدام روش ارائه شده استفاده کنند. ما با استفاده از جایگزینی افرادی که دارای بیشترین زمان پرت شده

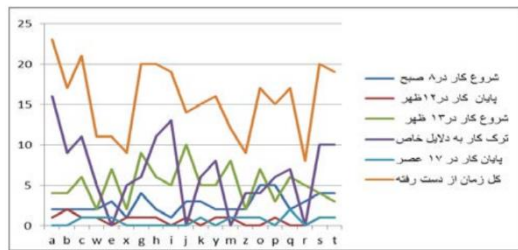
هستند با نفراط جدید سعی در کاهش زمان پرت شده و بهبود وضعیت زمان کاری در کارگاه می نماییم.

فاز control (کنترل): دراین مرحله باید به کنترل مرحله قبلی و نتایج بدست آمده ناشی از فاز بهبود بپردازیم. در جدول ۳ می توانیم میزان زمان پرت شده توسط افراد را پس از جایگزینی نفراط جدید مشاهده کنید.

جدول ۳ میزان زمان پرت شده توسط افراد را پس از جایگزینی نفراط جدید

کل زمان از دست رفته	پایان کار در ۱۷ عصر	ترک کار به دلیل خلص	شروع کار در ۱۳ ظهر	پایان کار در ۱۲ صبح	شروع کار در ۸ صبح	اسم
۲۳	۰	۱۶	۴	۱	۲	a
۱۷	۰	۹	۴	۲	۲	b
۲۱	۱	۱۱	۶	۱	۲	c
۱۱	۱	۵	۲	۱	۲	w
۱۱	۱	۰	۷	۰	۳	e
۹	۰	۵	۲	۱	۱	x
۲۰	۰	۶	۹	۱	۴	g
۲۰	۰	۱۱	۶	۱	۲	h
۱۹	۰	۱۳	۵	۰	۱	i
۱۴	۰	۰	۱۰	۱	۳	j
۱۵	۱	۶	۵	۰	۳	k
۱۶	۰	۸	۵	۱	۲	y
۱۲	۱	۰	۸	۱	۲	m
۹	۱	۴	۲	۰	۲	z
۱۷	۱	۴	۷	۰	۵	o
۱۵	۰	۶	۳	۱	۵	p
۱۷	۲	۷	۶	۰	۲	q
۸	۰	۰	۵	۰	۳	r
۲۰	۱	۱۰	۴	۱	۴	s
۱۹	۱	۱۰	۳	۱	۴	t
۱۵,۶۵	متوسط زمان از دست رفته در روز به دقیقه					

در جدول ۳ مشاهده می شود که متوسط زمان از دست رفته در کارگاه از ۱۹,۷ دقیقه به ۱۵,۶۵ دقیقه کاهش یافته است و این به دلیل کاهش زمان پرت توسط افراد جدید می باشد. همچنین با مقایسه دو نمودار قبل از فاز بهبود (نمودار شماره ۱) و پس از آن (نمودار شماره ۲) به کاهش کل زمان از دست رفته در کارگاه نیز پی می بریم. بنابراین می بینیم که با استفاده از سیستم RFID توانستیم به افراد و نقاطی که دارای بیشترین هدر رفت زمان بودند پی ببریم و به بررسی دلایل آن بپردازیم و سپس سعی در بر طرف کردن آن با استفاده از متدولوژی شش سیگما کنیم و در نهایت با انتخاب یک راهکار این مشکل را برطرف نماییم.



نمودار شماره ۲ زمان های پرت شده پس از انجام فاز بهبود

۴- نتیجه گیری

بزرگ شدن روز افزون پروژه های عمرانی نیاز به کنترل و نظارت بر کارگران و پرسنل را سخت تر و پیچیده تر خواهد کرد و به همین ترتیب میزان زمان از دست رفته و منابع مالی از دست رفته بیشتر خواهد شد. شش سیگما به عنوان یک راهکار مدیریتی در دنیا می تواند با استفاده از ابزار شناسایی و اندازه گیری مانند فناوری RFID راه حل مناسبی برای بهبود فرآیندها و بر طرف کردن ضعف های موجود باشد. فناوری RFID می تواند با کمی کردن مولفه ها و تبدیل آنها به اعداد زمینه استفاده از فرآیندهای بهینه ساز را در پروژه های عمرانی به وجود آورد. در این مقاله با تلفیق دو شاخه مختلف شش سیگما که یک روش بهینه سازی است و فناوری شش سیگما روشی عملی را در جهت کاهش زمان های پرت شده و مدیریت آنها ارائه شد تا یکی از مباحث و مشکلات موجود در کارگاه های عمرانی بهینه سازی شده و در واقع به مدیریت زمان در منابع انسانی پرداخته شود. در این مقاله مشاهده گردید که با پیاده سازی فناوری RFID زمان پرت شده کارگران محاسبه شده و افرادی که دارای زمان پرت زیادی هستند شناسایی شدند و بهینه سازی آن با استفاده از راهکار جایگزینی افراد صورت پذیرفت.

۵- مراجع

- [۱] امیری، م؛ حسینی کلاته، ف. "کاربرد رادیو شناسه در شهرداری الکترونیکی"، دومین کنفرانس بین المللی شهرداری الکترونیک، تهران، ۱۳۸۸.
- [۲] امینی، ناهید. امکان سنجی بکارگیری فناوری RFID در سیستم پارکینگ هوشمند (IPS) یا در نظر گرفتن یک پارکینگ نمونه در شهر شیراز. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده آموزش های الکترونیکی، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۹.
- [۳] کراری، حبیب. "کاربرد فناوری RFID در شش سیگما و ناب سازی فرآیندها"، دومین کنفرانس بین المللی RFID، تهران، ۱۳۸۶.
- [۴] پانده، پیتر؛ هالپ، لارنس. "شش سیگما چیست؟"، ترجمه: امیر صالحی پور، رسول نورالسناء، عباس سقایی، نشر دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۳.
- [۵] مجیبی، ت؛ آقا پور، الف؛ "چاش های فراروی اجرای متدولوژی شش سیگما در بخش خدمات دولتی"، پژوهشگر، سال هفتم، شماره تابستان (۱۸)، صفحه ۲۸ تا ۳۶، ۱۳۸۹.
- [6] Tolga Taner, m., "Critical Success Factors for Six Sigma Implementation in Large-scale Turkish Construction Companies", International Review of Management and Marketing, 3(4):212-225, 2013.
- [7] Wyper, B., Harrison, A., "Deployment of Six Sigma methodology in Human Resource function: A case study, Total quality management, 11(4-6):720-727, 2000.

Investigating the mechanical properties and durability of concrete samples containing Nano-silica under acid rain conditions

Alireza Hashemian*

MSc student, Department of Civil Engineering, Saeb Nonprofit Institute, Abhar, Iran.

Omid Bamshad

MSc student, Faculty of Technical and Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Mahdi Mahdikhani*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام نمونه‌های بتنی حاوی نانوسیلیس در شرایط باران اسیدی

محمد فلاح شیروانی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی صائب، ابهر، ایران.

امید بامشاد

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مهدی مهدی‌خانی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

*Corresponding author's email address: mahdikhani@aut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱

Abstract

In the conditions of acid rain, chemical reactions occur in the concrete structure, which leads to a change in pH. When these reactions continue, concrete begins to lose its mechanical strength, which leads to cracking, weight loss, and finally the destruction of the structure. Since the control of acid rain and its effects on the surrounding environment is unavoidable in some cases, so far researchers have conducted many studies on this category and have provided solutions to eliminate or control its effects. One of the new solutions in this field is the use of nanoparticles. In recent years, studies have been focused on silica nanoparticles, with the aim of increasing the properties of concrete by using this material. Adding nano-silica to concrete in non-acidic (neutral) conditions reduces water permeability in concrete and also increases resistance against chemical attacks. In this article, the mechanical characteristics and durability of concrete containing nano-silica, including weight loss, compressive strength, electrical resistance, and water absorption rate under acidic conditions are investigated. According to the obtained results, with the increase of nano-silica in concrete, the mechanical properties and durability of concrete improve, but with the increase of water acidity, the durability and mechanical properties of concrete decrease.

Keywords

Nano silica, electrical resistance, compressive strength, water absorption, acid rain simulator, sulfuric acid

چکیده

در شرایط باران اسیدی واکنش‌های شیمیایی در سازه بتنی رخ می‌دهد که منجر به تغییر pH می‌شود. زمانی که این واکنش‌ها ادامه می‌یابند بتن شروع به از دست دادن مقاومت مکانیکی خود می‌کند که به ترک خوردگی، کاهش وزن و نهایتاً تخریب سازه منجر می‌گردد. از آنجایی که در مواردی کنترل بارش اسیدی و اثرات آن بر محیط اطراف اجتناب‌ناپذیر است، تا بحال محققین مطالعات زیادی بر روی این مقوله انجام داده‌اند و راه کارهایی برای حذف یا کنترل اثرات آن ارائه داده‌اند. یکی از راه کارهای نوین در این زمینه استفاده از نانوذرات می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعات بر روی نانوذرات سیلیس متمرکز شده، با این هدف که بتوان با استفاده از این ماده، مشخصات بتن را بیش از پیش افزایش داد. افزودن نانو سیلیس به بتن در شرایط غیر اسیدی (خنثی) موجب کاهش نفوذپذیری آب درون بتن و همچنین مقاومت بالاتر در برابر حمله‌های شیمیایی می‌شود. در این مقاله به بررسی مشخصات مکانیکی و دوام بتن حاوی نانوسیلیس از جمله میزان کاهش وزن، مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی و میزان جذب آب تحت شرایط اسیدی پرداخته می‌شود. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش نانوسیلیس به بتن، مشخصات مکانیکی و دوام بتن بهبود می‌یابد، اما با افزایش درجه اسیدی آب، دوام و مشخصات مکانیکی بتن نزول می‌یابد.

کلمات کلیدی

نانو سیلیس، مقاومت الکتریکی، مقاومت فشاری، جذب آب، شبیه ساز باران اسیدی، سولفوریک اسید



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



پدیده باران اسیدی در سال‌های پایانی دهه ۱۸۰۰ در انگلستان کشف شد، اما پس از آن تا دهه ۱۹۶۰ به دست فراموشی سپرده شد. اسمیت در سال ۱۸۷۳ واژه باران اسیدی را برای اولین بار مطرح کرد. او پی برد که ترکیب شیمیایی باران تحت تأثیر عواملی چون جهت وزش باد، شدت بارندگی و توزیع آن، تجزیه ترکیبات آبی و سوخت می‌باشد. این محقق متوجه اسید سولفوریک در باران شد و عنوان

۱- مقدمه

بتن نزدیک به دو قرن است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقرون به صرفه بودن، وجود منابع فراوان مواد متشکل، سازگاری با محیط و مقاومت مناسب از ویژگی‌هایی است که بتن را برای انواع کاربردها مطلوب می‌کند. با وجود پیشینه کاربرد، تا قبل از چند دهه گذشته دوام بتن مورد توجه طراحان و سازندگان آن نبوده است [۱-۴].

۲- برنامه‌ی آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

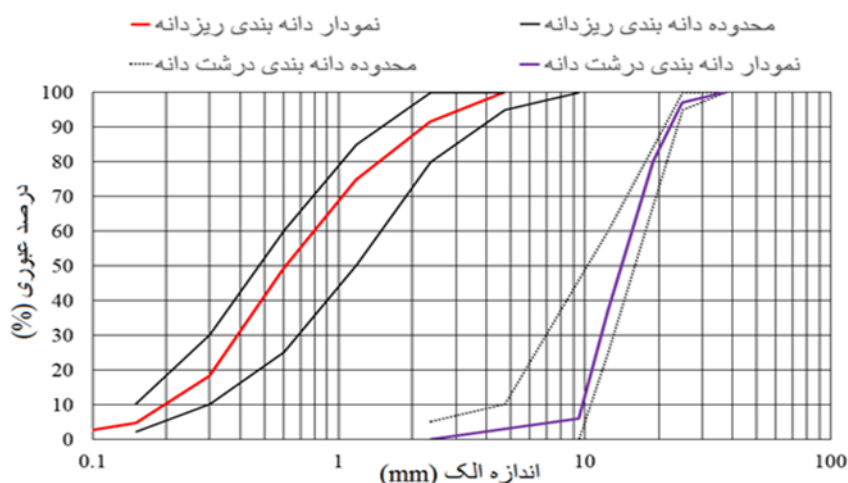
برای تمام نمونه های بتنی از ماسه گردگوشه شسته شده و شن شکسته استفاده شده است. بر اساس استاندارد ASTM C128-01 [۱۷] و استاندارد ASTM C127-01 [۱۸] در حالت SSD (اشباع با سطح خشک)، وزن مخصوص شن و ماسه ی استفاده شده به ترتیب به ترتیب برابر با ۲/۵۸۴ و ۲/۵۵۱ کیلوگرم بر متر مکعب و درصد جذب آب به ترتیب برابر با ۱/۸۳٪ و ۲/۵۶٪ محاسبه شد. دانه بندی مصالح ریزدانه و درشت دانه بر اساس استاندارد ASTM C136-01 [۱۹] در شکل (۱) نشان داده شده است. سیمان پرتلند نوع II مطابق با استاندارد ASTM C150-07 [۲۰] برای طرح مخلوط های نمونه های بتنی مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصات فیزیکی بتن مصرفی در جدول (۱) نشان داده شده است. آب مورد استفاده برای نمونه ها، آب آشامیدنی می باشد. محلول کلونیدی نانوسیلیس مصرفی با دانسیته ۳۰٪ و خلوص ۹۹/۹٪ می باشد. تصویر SEM نانوسیلیس در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین، فوق روان کننده بر پایه ی پلی کربوکسیلات با وزن مخصوص ۱/۲ کیلوگرم بر لیتر برای دستیابی به کارایی مورد نظر استفاده گردید.

جدول ۱ مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

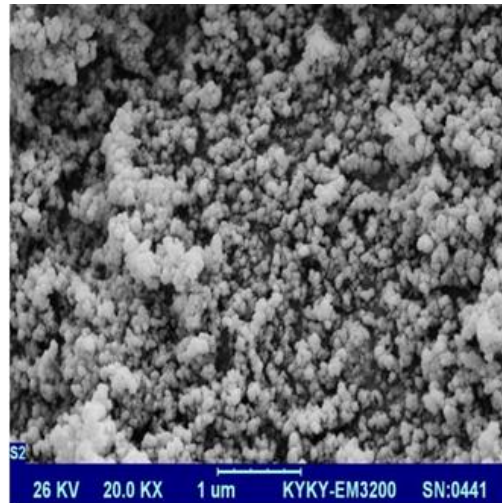
آزمایش	سیمان تیپ II
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۱۸۶
زمان گیرش نهایی (دقیقه)	۲۷۶
بلین (cm ² /gr)	۳۲۰۰

نمود که این امر، برای گیاهان و اشیا واقع در سطح زمین خطرناک است [۵].

نانو فناوری رویکردی جدید است که در زمینه های مختلف دانش و فن وارد شده و تغییراتی را در دیدگاه ها و روش ها ایجاد کرده است. بخشی از تغییرات ایجاد شده به صورت بهبود شرایط فناوری های موجود بوده و بخشی دیگر، که تا کنون کمتر نمود داشته، به ایجاد تغییرات اساسی و دگرگون کننده و تغییر فناوری های موجود منجر خواهد شد. در فناوری بتن هم در سال های اخیر، با ورود فناوری نانو دیدگاه های جدیدی ایجاد شده است [۶-۸]. نانو سیلیس یکی از جدیدترین فناوری ها در فناوری نانو می باشد که به عنوان جایگزین پودر سیلیس به صورت گسترده در بتن استفاده می شود [۹]. با توسعه ی کاربرد نانو سیلیس در بتن، بسیاری از نانو ذرات دیگر مانند نانو آلومینیم [۱۰]، نانو تیتانیوم اکسید [۱۱]، نانو تیوب کربن [۱۲] و پلی کربکسیلات [۱۳] در بتن به کار برده شدند. کینگ و همکاران بررسی هایی بر روی تاثیر نانوسیلیس و پودر سیلیس بر مشخصات بتن و سیمان سخت شده انجام دادند [۱۴]. سعید و همکاران تاثیر نانوسیلیس بر روی دو نوع بتن یکی با سیمان معمولی و دیگری با سیمان معمولی و پودر خاکستر بررسی کردند [۱۵]. جو و همکاران خواص خمیر سیمان حاوی نانوسیلیس را بررسی نمودند [۱۶]. در همه ی بررسی های انجام گرفته، نتایج نشان داده است که نانوسیلیس می تواند مشخصات مکانیکی خمیر سیمان سخت شده و بتن را بهبود بخشد. جلال و همکاران تاثیر نانوسیلیس، پودر سیلیس و پودر خاکستر تیپ F را بر روی مشخصات بتن خود تراکم با کارایی بالا بررسی نمودند. آنها ۱۴ طرح مخلوط با نسبت آب به ریزدانه برابر با ۰/۳۸ و مقدار کل ریزدانه برابر با ۳۴۰۰ kg/m³ و ۵۰۰ kg/m³ آماده کرده و مقدار ۱۰٪ پودر سیلیس، ۲٪ نانوسیلیس و ۱۰٪+۲٪ پودر سیلیس و نانو سیلیس را با سیمان جایگزین کردند. نتایج نشان داد که مشخصات مکانیکی بتن در نمونه هایی که محتوی نانوسیلیس و پودر سیلیس بودند بهبود یافته است [۹].



شکل ۱ منحنی دانه بندی ریزدانه و درشت دانه



شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) ذرات نانوسیلیس

۲-۲- طرح مخلوط و ساختن نمونه ها

در این آزمایش، چهار طرح مخلوط شامل ۰٪، ۲٪، ۴٪ و ۶٪ نانوسیلیس و نسبت آب به سیمان ثابت برابر با ۰/۵ آماده شد. تمام درصد های جایگزینی ذکر شده بر اساس جرم می باشند. آزمایش اسلامپ بر اساس استاندارد ASTM C 143/C 143M - 03 [۲۱] انجام شد و عدد اسلامپ همواره ثابت و برابر با 9 ± 1 سانتی متر نگه داشته شد. جدول (۲) طرح مخلوط های بتن را نشان می دهد.

۲-۳- ساخت دستگاه شبیه ساز پاشش باران اسیدی

ساخت دستگاه شبیه ساز باران اسیدی به مدت دو هفته به طول انجامید. برای شبیه سازی باران از نازل ها و دوش ها و مه پاش های مختلفی استفاده شد و از بین همه ی این نازل ها و دوش ها، یک نازل سمپاش انتخاب شد که تمام شرایط از نظر زاویه پاشش و اندازه قطرات را دارا بود. برای این وسیله پمپ و اتصالات از قبیل مخازن جای دهی نمونه ها، مخازن ذخیره اسید، لوله ها، زانویی ها، شلنگ ها، شیر ها، بست ها و فشارسنج و غیره انتخاب شدند. باید فاصله نازل از سطح نمونه مد نظر قرار می گرفت. به همین دلیل قابلیت تنظیم ارتفاع نیز برای دستگاه قرار داده شد. از ویژگی های لازم برای دستگاه قرار دادن سیستم اتوماتیک برای پمپ برای خاموش شدن در تایم مورد نظر می باشد که برای این کار تایمری از ۵ تا ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. به این ترتیب که زمان مدت سیکل پاشش باران اسیدی ۳۰ دقیقه در طول ۲۴ ساعت تعیین گردید. مراحل ساخت دستگاه شبیه ساز باران اسیدی در شکل (۳) نشان داده شده است.

۲-۴- آماده سازی نمونه ها و آزمایش های انجام گرفته

نمونه های بتنی پس از قرارگیری در قالب ویبره شدند و به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از حوله ی مرطوب عمل آوری شده و طبق استاندارد مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش بر روی نمونه های بتنی پس از ۲۸، ۵۶، ۹۰ روز قرارگیری در معرض باران اسیدی با pH برابر با ۴، ۵/۵ و ۷ انجام شد.

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی بر اساس استاندارد ASTM C 109/C 109M - 02 [۲۲] انجام شده است. آزمایش مقاومت الکتریکی بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی بر اساس استاندارد ASTM C 1202 - 97 [۲۳] انجام شده است. به دلیلی حرکت یون ها در بتن، بتن دارای قابلیت هدایت الکتریکی می باشد. یقیناً هر چه نفوذپذیری بتن بیشتر باشد، عبور یون ها از بتن راحت تر انجام شده و مقاومت الکتریکی بتن کاهش می یابد. در این آزمایش با استفاده از ولتاژ DC، مقاومت الکتریکی نمونه های بتنی در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری شده و مقدار میانگین آنها بدست آمده است.

آزمایش کاهش وزن بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی انجام شده است. این نمونه ها پس از ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز قرارگیری در معرض باران اسیدی، به مدت ۲۴ ساعت در معرض دمای آزمایشگاه قرار گرفته و سپس وزن آنها اندازه گیری شده است و با توجه به وزن اولیه آنها، درصد کاهش وزن محاسبه شده است.

آزمایش نفوذ آب موئینه بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی بر اساس استاندارد BS 1881 [۲۴] انجام شده است. نمونه های بتنی پس از عمل آوری توسط حوله مرطوب به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خشک شدند و وزن اولیه آنها اندازه گیری شد (W_1). پس از قرارگیری به مدت ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز در معرض باران اسیدی، به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند و بعد از آن، وزن آنها با سطح خشک پس از ۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت تماس با آب اندازه گیری شد (W_2). سطوح جانبی نمونه ها به وسیله اپوکسی پوشانده شد تا نفوذ آب به صورت یک جهته رخ دهد. همچنین با قرار دادن نمونه ها بر روی میله های یک سانتی متری، آب به صورت آزادانه در زیر نمونه ها حرکت می کرد. جذب آب موئینه (S) با استفاده از روابط زیر محاسبه می شود:

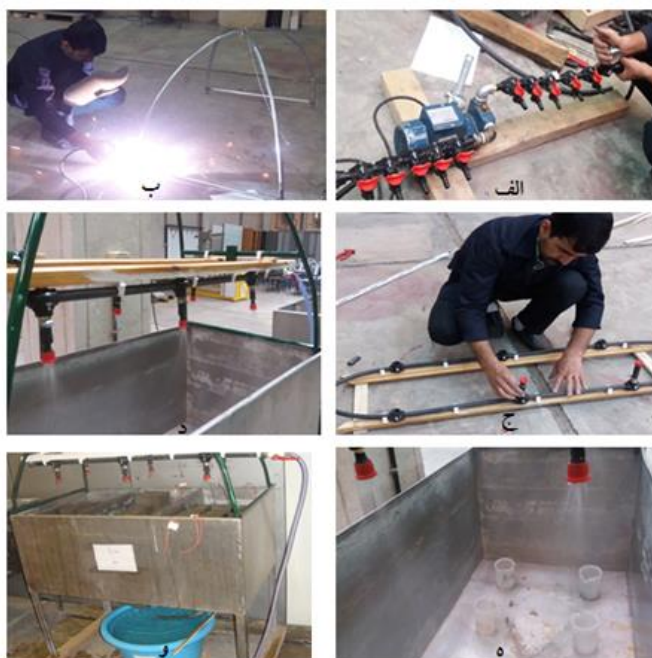
$$Q = \frac{W_2 - W_1}{A} \quad (1)$$

$$Q = C + S\sqrt{t} \quad (2)$$

که در آنها، A ، سطح مقطع نمونه ها که با آب در تماس است (m^2)، C ، ضریب ثابت و S ، جذب آب موئینه ($kg/t^{0.5}.m^2$) می باشد

جدول ۲ طرح مخلوط های مورد استفاده برای ساخت نمونه های بتنی

شماره ردیف	کد طرح مخلوط	نسبت آب به سیمان	نانو سیلیس (%)	افزودنی (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	نانو سیلیس (kg/m^3)	آب (L/m^3)	سنگدانه (kg/m^3)
1	A-0	۰/۵	۰	۲/۳۹۱	۳۵۰	۰	۱۷۵	۱۸۸۵/۷۱
2	A-2	۰/۵	۲	۳/۴۱۴	۳۵۳	۷/۰۰	۱۷۵/۵	۱۸۸۵/۷۱
3	A-4	۰/۵	۴	۸/۴۸۵	۳۳۶	۱۴/۰۰	۱۶۸	۱۸۸۵/۷۱
4	A-6	۰/۵	۶	۱۳/۴۲۸	۳۲۹	۲۱/۰۰	۱۶۴/۵	۱۸۸۵/۷۱



شکل ۳ مراحل ساخت دستگاه شبیه ساز باران اسیدی (الف) به هم بستن پمپ و شیرها (ب) ساخت فریم دستگاه (ج) بستن نازلها و شلنگها به فریم (د) سوار کردن فریم بر مخزن نمونه ها (ه) کالیبره کردن دستگاه ساخته شده توسط ارزیابی سطح تحت پوشش نازلها (و) دستگاه کامل به همراه مخزن نمونه ها و مخزن جمع آوری اسید

شد (W_1). پس از قرارگیری به مدت ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز در معرض باران اسیدی، به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند و بعد از آن، وزن آنها با سطح خشک پس از ۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت تماس با آب اندازه گیری شد (W_2). سطوح جانبی نمونه ها به وسیله اپوکسی پوشانده شد تا نفوذ آب به صورت یک جهته رخ دهد. همچنین با قرار دادن نمونه ها بر روی میله های یک سانتی متری، آب به صورت آزادانه در زیر نمونه ها حرکت می کرد. جذب آب مؤثر (S) با استفاده از روابط زیر محاسبه می شود:

$$Q = \frac{W_2 - W_1}{A} \quad (1)$$

$$Q = C + S\sqrt{t} \quad (2)$$

که در آنها، A ، سطح مقطع نمونه ها که با آب در تماس است (m^2)، C ، ضریب ثابت و S ، جذب آب مؤثر ($kg/t^{0.5}.m^2$) می باشد

۲-۵- نتایج

مقاومت فشاری نمونه های بتنی در جدول (۳) و شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، با کاهش درجه اسیدی آب، تخریب نمونه های بتنی کاهش یافته است و در نتیجه مقاومت فشاری نمونه ها افزایش یافته است. همچنین با افزایش درصد نانوسیلیس مقاومت فشاری نمونه ها افزایش یافته است. این نتیجه به این دلیل است که نانوسیلیس به عنوان پرکننده سبب کاهش تخلخل نمونه های بتنی شده است. همچنین اصلاح مرز بین سنگدانه ها و خمیر سیمان سبب افزایش مقاومت فشاری شده است. علاوه بر آن، با افزایش سن نمونه ها، مقاومت فشاری افزایش یافته است. به عنوان مثال، در نمونه های

۲-۴- آماده سازی نمونه ها و آزمایش های انجام گرفته

نمونه های بتنی پس از قرارگیری در قالب ویبره شدند و به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از حوله ی مرطوب عمل آوری شده و طبق استاندارد مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش بر روی نمونه های بتنی پس از ۲۸، ۵۶، ۹۰ روز قرارگیری در معرض باران اسیدی با pH برابر با ۴، ۵/۵ و ۷ انجام شد.

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی بر اساس استاندارد ASTM C 109/C 109M - 02 [۲۲] انجام شده است. آزمایش مقاومت الکتریکی بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی بر اساس استاندارد ASTM C 1202 - 97 [۲۳] انجام شده است. به دلایلی حرکت یون ها در بتن، بتن دارای قابلیت هدایت الکتریکی می باشد. یقیناً هر چه نفوذپذیری بتن بیشتر باشد، عبور یون ها از بتن راحت تر انجام شده و مقاومت الکتریکی بتن کاهش می یابد. در این آزمایش با استفاده از ولتاژ DC، مقاومت الکتریکی نمونه های بتنی در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری شده و مقدار میانگین آنها بدست آمده است.

آزمایش کاهش وزن بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی انجام شده است. این نمونه ها پس از ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز قرارگیری در معرض باران اسیدی، به مدت ۲۴ ساعت در معرض دمای آزمایشگاه قرار گرفته و سپس وزن آنها اندازه گیری شده است و با توجه به وزن اولیه آنها، درصد کاهش وزن محاسبه شده است.

آزمایش نفوذ آب مؤثر بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری بتنی بر اساس استاندارد BS 1881 [۲۴] انجام شده است. نمونه های بتنی پس از عمل آوری توسط حوله مرطوب به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خشک شدند و وزن اولیه آنها اندازه گیری

حاوی ۴٪ نانوسیلیس، با تغییر pH آب از ۲/۵ به ۷، مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب به اندازه ۰/۸/۴، ۰/۲/۳ و ۰/۱۲/۴ افزایش می‌یابد.

همچنین در نمونه‌های ۹۰ روزه، با تغییر درصد نانوسیلیس از ۰٪ تا ۶٪، مقاومت فشاری نمونه‌های تحت باران اسیدی با pH برابر با ۲/۵، ۴، ۵/۵ و ۷ به ترتیب به میزان ۰/۱۲/۱۲، ۰/۱۵/۷۹، ۰/۱۱/۴۹ و ۰/۱۲/۴۵ افزایش یافته است. جلال و همکاران نشان دادند که جایگزینی ۲٪ نانوسیلیس در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود [۹]. خانزادی و همکاران نیز نشان دادند که مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با افزودن نانوسیلیس خصوصاً در سنین اولیه افزایش می‌یابد [۲۵].

مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی در جدول (۳) و شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، با کاهش درجه اسیدی آب، تخریب نمونه‌های بتنی کاهش یافته و در نتیجه مقاومت الکتریکی نمونه‌ها کاهش یافته است. همچنین با افزایش درصد نانوسیلیس، به دلیل کاهش تخلخل، مقاومت الکتریکی نمونه‌ها افزایش یافته است. علاوه بر آن، با افزایش سن نمونه‌ها، مقاومت الکتریکی افزایش یافته است. به عنوان مثال، در نمونه‌های حاوی ۶٪ نانوسیلیس، با تغییر pH آب از ۲/۵ به ۷، مقاومت الکتریکی نمونه‌های ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب به اندازه ۰/۱۵/۱۱، ۰/۱۲/۳۹ و ۰/۱۴/۸۳ کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه‌های ۵۶ روزه، با تغییر درصد نانوسیلیس از ۰٪ تا ۶٪، مقاومت الکتریکی نمونه‌های تحت باران اسیدی با pH برابر با ۲/۵، ۴، ۵/۵ و ۷ به ترتیب به میزان ۰/۳۱/۵۲، ۰/۳۸/۶۳، ۰/۳۸/۱۵ و ۰/۴۱/۳۳ افزایش یافته است.

زاهدی و همکاران نشان دادند که نمونه‌های حاوی نانوسیلیس، مقاومت الکتریکی بالاتری نسبت به نمونه‌های دیگر در سنین ۲۸ و ۹۰ روز دارند [۲۶]. درصد کاهش وزن نمونه‌های بتنی در جدول (۳)

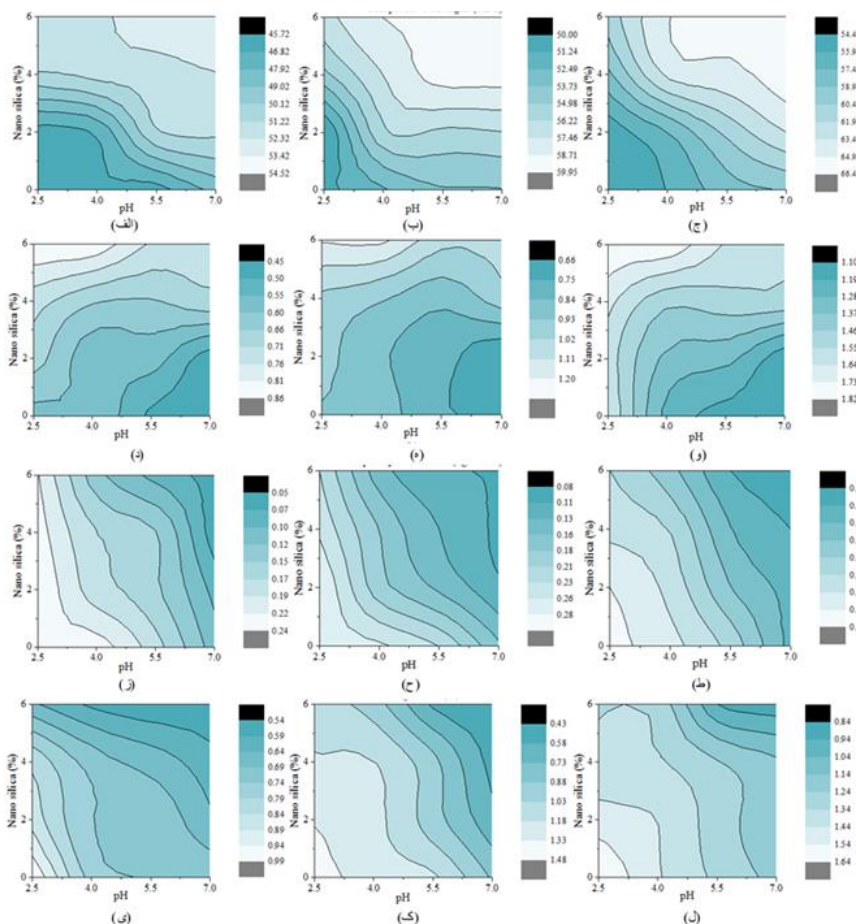
و شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، با کاهش درجه اسیدی آب، تخریب و خوردگی نمونه‌های بتنی کاهش یافته و در نتیجه درصد کاهش وزن نمونه‌ها کاهش یافته است. همچنین با افزایش درصد نانوسیلیس، به دلیل کاهش تخلخل، درصد کاهش وزن نمونه‌ها کاهش یافته است. علاوه بر آن، با افزایش سن نمونه‌ها، درصد کاهش وزن افزایش یافته است. به عنوان مثال، در نمونه‌های حاوی ۲٪ نانوسیلیس، با تغییر pH آب از ۲/۵ به ۷، درصد کاهش وزن نمونه‌های ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب به اندازه ۰/۲۵/۲۸، ۰/۵۲/۲۷ و ۰/۱۴/۲۲ کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه‌های ۲۸ روزه، با تغییر درصد نانوسیلیس از ۰٪ تا ۶٪، درصد کاهش وزن نمونه‌های تحت باران اسیدی با pH برابر با ۲/۵، ۴، ۵/۵ و ۷ به ترتیب به میزان ۰/۳۴/۳۴، ۰/۲۴/۶۷، ۰/۲۵/۶۷ و ۰/۲۶/۰۲ کاهش یافته است.

فلاح و نعمت‌زاده خواص مکانیکی و دوام بتن پرمقاومت حاوی نانو سیلیس را بررسی کردند و نشان دادند که نمونه‌های حاوی نانو سیلیس در مقایسه با بتن ساده دارای تخلخل کمتری هستند. همچنین آنها نشان دادند که تخلخل بتن ساده برابر با ۷/۹۶٪ بوده، در حالی که در مورد بتن حاوی ۵/۲، ۱۰/۴ و ۱۵/۶ کیلوگرم بر متر مکعب نانوسیلیس، این مقدار به ترتیب برابر با ۷/۹۶٪، ۷/۱۸٪ و ۶/۹۳٪ می‌باشد [۲۷].

جذب آب مؤثر نمونه‌های بتنی که در این آزمایش با ضریب جذب آب بیان شده است، در جدول (۳) و شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، با کاهش درجه اسیدی آب و افزایش درصد نانوسیلیس، تخریب و خوردگی نمونه‌های بتنی کاهش یافته و در نتیجه جذب آب مؤثر و ضریب جذب آب نمونه‌ها کاهش یافته است.

جدول ۳ مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی، درصد کاهش وزن و ضریب جذب آب نمونه‌های بتنی

pH	نانوسیلیس	مقاومت فشاری (MPa)			مقاومت الکتریکی (Ohm)			کاهش وزن (%)			جذب آب مؤثر (kg/t0.5.m2)		
		۲۸ روزه	۵۶ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه	۵۶ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه	۵۶ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه	۵۶ روزه	۹۰ روزه
2.5	0%	46.08	50.77	54.45	0.58	0.92	1.64	0.99	1.41	1.63	0.23	0.28	0.35
	2%	46.35	50.00	55.03	0.68	0.96	1.60	0.87	1.32	1.49	0.24	0.28	0.34
	4%	51.07	54.62	58.61	0.73	1.00	1.67	0.83	1.19	1.36	0.23	0.25	0.30
	6%	51.87	56.96	61.05	0.86	1.21	1.82	0.65	1.12	1.33	0.22	0.23	0.28
4	0%	46.71	52.33	56.03	0.60	0.88	1.25	0.77	1.25	1.45	0.23	0.26	0.32
	2%	46.91	56.10	57.36	0.57	0.85	1.35	0.74	1.22	1.44	0.18	0.19	0.30
	4%	51.66	57.49	63.96	0.66	0.94	1.48	0.72	1.19	1.35	0.17	0.18	0.28
	6%	52.01	58.72	64.88	0.85	1.22	1.80	0.58	0.95	1.31	0.13	0.14	0.23
5.5	0%	46.32	53.62	58.28	0.49	0.76	1.17	0.74	1.21	1.32	0.18	0.23	0.27
	2%	51.22	55.90	60.82	0.58	0.79	1.31	0.73	0.94	1.29	0.15	0.15	0.22
	4%	51.76	59.20	64.47	0.65	0.86	1.51	0.67	0.93	1.25	0.15	0.13	0.19
	6%	53.27	58.79	64.98	0.75	1.05	1.63	0.55	0.55	0.94	0.09	0.11	0.16
7	0%	48.27	53.67	59.09	0.50	0.75	1.15	0.73	0.86	1.21	0.11	0.16	0.18
	2%	51.44	56.17	63.46	0.47	0.67	1.12	0.65	0.63	1.16	0.09	0.11	0.18
	4%	52.28	59.24	65.88	0.69	0.98	1.51	0.61	0.53	1.16	0.06	0.10	0.16
	6%	53.36	59.95	66.45	0.73	1.06	1.55	0.54	0.43	0.88	0.06	0.10	0.15



شکل ۴ مقاومت فشاری نمونه‌های (الف) ۲۸ روزه، (ب) ۵۶ روزه و (ج) ۹۰ روزه حاوی درصد‌های مختلف نانوسیلیس تحت باران اسیدی با pHهای مختلف بر حسب (MPa)، مقاومت الکتریکی نمونه‌های (د) ۲۸ روزه، (ه) ۵۶ روزه، (و) ۹۰ روزه بر حسب (Ohm)، ضریب جذب آب نمونه‌های (ز) ۲۸ روزه، (ح) ۵۶ روزه، (ط) ۹۰ روزه بر حسب $(\text{kg}/\text{t}^{0.5}.\text{m}^2)$ ، درصد کاهش وزن نمونه‌های (ی) ۲۸ روزه، (ک) ۵۶ روزه، (ل) ۹۰ روزه

می‌کند که به ترک خوردگی، کاهش وزن و نهایتاً تخریب سازه منجر می‌گردد.

در تمام سنین، مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی حاوی نانوسیلیس به دلیلی اصلاح مرز بین سنگدانه و خمیر سیمان و نقش پرکنندگی نانوسیلیس، از نمونه‌ی مرجع بیشتر بود. همچنین با افزایش pH آب، مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی کاهش یافت، به طوری که با تغییر pH از ۲/۵ به ۷ در نمونه‌های ۹۰ روزه حاوی ۶٪ نانوسیلیس، مقاومت فشاری به مقدار ۸٪ افزایش داشته است.

به دلیل افزایش خوردگی و در نتیجه افزایش نفوذپذیری نمونه‌ها در اثر افزایش اسیدیته آب، جذب آب موئینه نمونه‌ها افزایش یافت. همچنین رفتار پرکنندگی نانوسیلیس سبب کاهش تخلخل و نفوذپذیری نمونه‌ها شده است. به عنوان مثال، در نمونه‌های حاوی ۶٪ نانوسیلیس، با تغییر pH از ۲/۵ به ۷ جذب آب موئینه نمونه‌های ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب به مقدار ۱۶/۹۲، ۶۱/۶۰ و ۳۳/۸۳٪ کاهش یافته است.

با افزایش درصد نانوسیلیس به دلیل کاهش تخلخل، مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی افزایش یافته است. همچنین با افزایش اسیدیته آب و خوردگی بیشتر نمونه‌ها، مقاومت

علاوه بر آن، با افزایش سن نمونه‌ها، ضریب جذب آب نمونه‌ها افزایش یافته است. به عنوان مثال، در نمونه‌های حاوی ۴٪ نانوسیلیس، با تغییر pH آب از ۲/۵ به ۷، درصد کاهش وزن نمونه‌های ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب به اندازه ۷۳/۹۱، ۶۰/۰۰ و ۴۶/۶۶٪ کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه‌های ۹۰ روزه، با تغییر درصد نانوسیلیس از ۰٪ تا ۶٪، درصد کاهش وزن نمونه‌های تحت باران اسیدی با pH برابر با ۲/۵، ۴، ۵/۵ و ۷ به ترتیب به میزان ۲۸/۱۲، ۲۰/۰۰، ۱۶/۶۶ و ۴۰/۷۴٪ کاهش یافته است.

فلاح و نعمت‌زاده نشان دادند که جذب آب نمونه‌های حاوی نانو سیلیس کمتر از بتن ساده است [۲۷]. خانزادی و همکاران نیز نشان دادند که بتن حاوی نانوسیلیس نسبت به بتن معمولی در برابر نفوذپذیری مقاومت بهتری دارد [۲۵].

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله و بر اساس نتایج آزمایش موارد زیر به عنوان نتیجه قابل استخراج می‌باشد:

- در شرایط باران اسیدی واکنش‌هایی در سازه بتنی رخ می‌دهد که منجر به تغییر pH می‌شود. زمانی که این واکنش‌ها ادامه می‌یابند بتن شروع به از دست دادن مقاومت مکانیکی خود

- [۱۱] M.A. Massa, C. Covarrubias, M. Bittner, I.A. Fuentevilla, P. Capetillo, A. Von Martens, J.C. Carvajal, Synthesis of new antibacterial composite coating for titanium based on highly ordered nanoporous silica and silver nanoparticles, *Mater. Sci. Eng. C*. 45 (2014) 146–153. doi:10.1016/j.msec.2014.08.057.
- [۱۲] M.S. Morsy, S.H. Alsayed, M. Aqel, Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar, *Constr. Build. Mater.* 25 (2011) 145–149. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.06.046.
- [۱۳] I. Navarro-Blasco, M. Pérez-Nicolás, J.M. Fernández, A. Duran, R. Sirera, J.I. Alvarez, Assessment of the interaction of polycarboxylate superplasticizers in hydrated lime pastes modified with nanosilica or metakaolin as pozzolanic reactives, *Constr. Build. Mater.* 73 (2014) 1–12. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.052.
- [۱۴] Y. Qing, Z. Zenan, K. Deyu, C. Rongshen, Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume, *Constr. Build. Mater.* 21 (2007) 539–545. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.09.001.
- [۱۵] A.M. Said, M.S. Zeidan, M.T. Bassuoni, Y. Tian, Properties of concrete incorporating nano-silica, *Constr. Build. Mater.* 36 (2012) 838–844. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.06.044.
- [۱۶] G. Li, Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO₂, *Cem. Concr. Res.* 34 (2004) 1043–1049. doi:10.1016/j.cemconres.2003.11.013.
- [۱۷] ASTM C 128-01. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. American Society for Testing and Materials, in: 2003.
- [۱۸] ASTM C 127-01. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. American Society for Testing and Materials, (2001).
- [۱۹] ASTM C 136-01. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. American Society for Testing and Materials, (2001).
- [۲۰] ASTM C 150-07. Standard Specification for Portland Cement. American Society for Testing and Materials, (2008).
- [۲۱] ASTM C143/C 143M-03. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. American Society for Testing and Materials, (2003).
- [۲۲] ASTM C 109/C 109M-02. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). American Society for Testing and Materials, (2000).
- [۲۳] ASTM C 1202-05. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. American Society for Testing and Materials, (2017).
- [۲۴] BS 1881, Method for determination of water absorption. British Standards Institution; 2011.
- [۲۵] M. Khanzadi, M. Tadayon, H. Sepehri, M. Sepehri, Influence of nano-silica particles on mechanical properties and permeability of concrete, *Second Int. Conf. Sustain. Constr. Mater. Technol.* Ancona, Italy, June. (2010) 28–30.
- [۲۶] M. Zahedi, A. Akbar, A. Mohammad, Evaluation of the mechanical properties and durability of cement mortars containing nanosilica and rice husk ash under chloride ion penetration, *Constr. Build. Mater.* 78 (2015) 354–361. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.01.045.
- [۲۷] S. Fallah, M. Nematzadeh, Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume, *Constr. Build. Mater.* 132 (2017) 170–187. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.11.100.
- الکتریکی نمونه‌ها بیشتر شده است. به عنوان مثال، با افزایش نانوسیلیس از ۲٪ تا ۶٪ در نمونه‌های ۹۰ روزه، مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی تحت باران اسیدی با مقدار pH برابر با ۵/۵، ۴، ۵/۵ و ۷ به ترتیب به میزان ۹/۸۹٪، ۳۰/۵۵٪، ۲۸/۲۲٪ و ۲۵/۸۰٪ افزایش یافته است.
- نفوذپذیری و تخلخل بالا در نمونه‌های بتنی باعث تخریب ساده‌تر آنها می‌گردد. بنابراین با افزایش نانوسیلیس و کاهش نفوذپذیری و تخلخل، درصد کاهش وزن نمونه‌ها کمتر شده است. همچنین خوردگی بیشتر به دلیل افزایش اسیدیته آب باعث افزایش درصد کاهش وزن نمونه‌های بتنی گشته است.
- #### ۴- قدردانی
- نویسندگان مقاله از اعضای آزمایشگاه مصالح ساختمانی دانشگاه بین-المللی امام خمینی (ره) به علت راهکارهای ارزشمند کمال تشکر را دارند.
- #### ۵- مراجع
- [۱] S. Zhao, W. Sun, Nano-mechanical behavior of a green ultra-high performance concrete, *Constr. Build. Mater.* 63 (2014) 150–160. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.029.
- [۲] C. Wang, C. Yang, F. Liu, C. Wan, X. Pu, Preparation of Ultra-High Performance Concrete with common technology and materials, *Cem. Concr. Compos.* 34 (2012) 538–544. doi:10.1016/j.cemconcomp.2011.11.005.
- [۳] E.E. Hekal, E. Kishar, H. Mostafa, Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances, *Cem. Concr. Res.* 32 (2002) 1421–1427. doi:10.1016/S0008-8846(02)00801-3.
- [۴] K. Tosun-Felekoğlu, The effect of C 3A content on sulfate durability of Portland limestone cement mortars, *Constr. Build. Mater.* 36 (2012) 437–447. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.04.091.
- [۵] M.L. Quinn, Early smelter sites: A neglected chapter in the history and geography of acid rain in the United States, *Atmos. Environ.* 23 (1989) 1281–1292. doi:10.1016/0004-6981(89)90152-2.
- [۶] M.C. Roco, National Nanotechnology Initiative - Past, Present, Future, (2007) 1–42.
- [۷] K. Sobolev, How Nanotechnology Can Change the, (2005) 14–18.
- [۸] K. Sobolev, S.P. Shah, " Nanotechnology of Concrete : Recent Developments and Future Perspectives " *NANOTECHNOLOGY IN CONSTRUCTION: IN NEAT AND HYBRID CEMENT HYDRATES*, (2014) 2–4.
- [۹] M. Jalal, A. Pouladkhan, O.F. Harandi, D. Jafari, Comparative study on effects of Class F fly ash, nano silica and silica fume on properties of high performance self compacting concrete, *Constr. Build. Mater.* 94 (2015) 90–104. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.07.001.
- [۱۰] D. Adak, M. Sarkar, S. Mandal, Structural performance of nano-silica modified fly-ash based geopolymer concrete, *Constr. Build. Mater.* 135 (2017) 430–439. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.12.111.

Investigation and analysis of executive risks in green buildings with AHP approach

Aref Taromian *

Master Student, Department of Civil Engineering, Alborz University, Qazvin, Iran

Faezeh Taherkhani

B.Eng. Student, Faculty of Civil & Architectural Engineering, Islamic Azad University (Qazvin Branch), Qazvin, Iran

Shadi Motamedi

Master Student, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

بررسی و تحلیل ریسک های اجرایی در ساختمان های سبز با رویکرد AHP

عارف طارمیان *

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه البرز قزوین، ایران

فائزه طاهرخانی

دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد قزوین)، قزوین، ایران

شادی معتمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*Corresponding author's email address:

aref.civil.c.m@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۰

Abstract

Widespread concerns about energy conservation, global warming, and the depletion of the planet's non-renewable resources have led to the development and expansion of green buildings, not only as a luxury and well-being, but also as an undeniable necessity for Conserve the life of the planet. Due to the importance of the issue on a global scale, many countries are determined to develop these buildings, but unfortunately in our country, due to some obstacles, the pace of progress in this area is very slow. In this study, an attempt has been made to identify the most important obstacles and risks against the implementation and expansion of green buildings in the country, and then prioritize them through hierarchical analysis based on distributional questionnaires between experts and specialists. These obstacles can be overcome. According to the results of the questionnaires, in the main criteria section, economic, technological, social, legal, political and environmental criteria, respectively, took the first to last priorities. In the sub-criteria section, high initial cost, low energy cost and people's resistance to change and maintenance costs of green building systems were the most important priorities, respectively. In the end, we have tried to provide solutions and suggestions in order to reduce these obstacles.

Keywords

Executive Risks, Green Building, Sustainable Development, Hierarchical Method, AHP

چکیده

دغدغه گسترده و روز افزون پیرامون حفاظت از انرژی، گرمای جهانی و تقلیل منابع تجدید ناپذیر کره زمین، موجب گشته تا توسعه و گسترش ساختمان های سبز، نه تنها به عنوان امری لوکس و رفاهی، بلکه به عنوان ضرورتی غیر قابل انکار برای حفظ حیات کره زمین تلقی گردد. به دلیل اهمیت موضوع در ابعاد جهانی، بسیاری از کشورها عزم خود را برای توسعه این ساختمان ها جزم کرده اند، اما متأسفانه در کشور ما به دلیل برخی موانع، سرعت پیشرفت در این مبحث بسیار کند می باشد. در این پژوهش تلاش شده تا مهم ترین موانع و ریسک ها در برابر اجرا و گسترش ساختمان های سبز در کشور، شناسایی و سپس با استناد بر پرسشنامه های توزیعی میان کارشناسان و متخصصان، از طریق تحلیل سلسله مراتبی اقدام به اولویت بندی این موانع گردد. طبق نتایج بدست آمده از پرسشنامه ها، در بخش معیارهای اصلی، به ترتیب معیارهای اقتصادی، فناوری، اجتماعی، قانونی، سیاسی و زیست محیطی اولویت های اول تا آخر را از آن خود کردند. در بخش زیر معیارها نیز، هزینه آغازین بالا، هزینه پایین انرژی و مقاومت مردم در برابر تغییر و هزینه های تعمیر و نگهداری سیستم های ساختمان سبز به ترتیب مهم ترین اولویت ها را از آن خود کردند. در پایان سعی شده تا راهکارها و پیشنهاداتی در راستای کاهش این موانع ارائه گردد.

کلمات کلیدی

ریسک های اجرایی، ساختمان سبز، توسعه پایدار، روش سلسله مراتبی، AHP

منابع شوند و دارای شناسنامه سبز باشند [1]. نیاز به ساختمان های سبز در کشورهای در حال توسعه با گذر زمان بسیار مهم تر می گردد. پیش بینی شده است که بیش از ۸۰ درصد جمعیت کشورهای در حال توسعه تا سال ۲۰۳۰ به شهرها مهاجرت خواهند کرد [۲]. بنابراین ضرورت توجه به شناسایی و ارزیابی پاسخ های مرتبط با ریسک های پروژه جهت انتخاب پاسخ های مناسب جهت کاهش انحرافات نامساعد از هزینه، زمان و کیفیت پروژه های عمرانی ضروری است [۳]. در همین راستا به نظر می رسد که بررسی و تعیین وضعیت

۱- مقدمه

با پیشرفت و توسعه دانش بشری داشتن هویت برای تمام اجزای زندگی بشر ضروری است، هویتی که مختصات هر اجزا را نسبت به سازگاری یا عدم سازگاری آن با وضعیت جامعه بشری مشخص کند، از این رو کارشناسان و متخصصان به فکر ایجاد هویت برای ساختمان هایی افتاده اند که با اعمال مدیریت محیط زیستی و رعایت مشخصات سازگار با محیط زیست باعث حداقل هدر رفتن انرژی و



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

مهندسی عمران

با رویکرد AHP
بررسی و تحلیل ریسک های اجرایی در ساختمان های سبز

صنعت ساخت و ساز کشور ایران از نظر میزان توجه و بکارگیری دانش مدیریت پروژه، اولین قدم در اصلاح وضعیت کنونی و شروع اقدامات بهبود بخش است. این شناخت، در حقیقت اطلاع از سطح بلوغ مدیریت پروژه سازمان (شرکت) های ایرانی محسوب می شود [۴]. از دیگر سو در زمینه مسائل مربوط به ریسک های اجرایی، یکی از مسائلی که بسیار چالش انگیز به نظر می رسد، هزینه های دور از انتظاری که پیش از توسعه، در طی آن و پس از آن می باشد که منجر به ایجاد شکایت های قانونی و ادعاهایی می شود که این موضوع از نظر مالی برای صاحب ساختمان فاجعه بار است [۵].

مطابق پژوهش [۶]، توجه به ایمنی و بهداشت افرادی که در فرآیند اجرا مشارکت داشته و یا آنانی که ممکن است در حیطه اثر عملیات اجرایی از آن آسیب ببینند، هم از لحاظ انسانی و اخلاقی و هم از جنبه قانونی، امری ضروری است. این پژوهش، روشی را برای ارزیابی ریسک ها با استفاده از تئوری مجموعه های فازی، به دلیل وجود متغیرهای زبانی و عدم قطعیت، ارائه می کند. به این ترتیب که ابتدا ریسک های ایمنی موثر بر سلامت انسان در ساخت ساختمان های متعارف شناسایی شده و ساختار شکست ریسک رسم می شود و با استفاده از تئوری مجموعه های فازی رتبه بندی می شوند. سادگی این روش باعث می شود که در طول چرخه حیات پروژه این ارزیابی را بتوان در زمان تصمیم گیری به دفعات انجام داد. طبق پژوهش [۷] با عنوان "موانع ساختمان های سبز در استرالیا و نیوزلند" با پخش ۲۵۰۰ پرسشنامه در پنج شهر پرجمعیت استرالیا مشخص شد که خانه های بزرگ و خانواده های کوچک، هزینه آغازین بالا، اطلاعات پایین مردم نسبت به مزایای ساختمان سبز از جمله مهم ترین موانع بر سر توسعه این صنعت می باشد. طبق پژوهش [۸] در سال ۲۰۱۴، در سال های اخیر، آگاهی های زیست محیطی بیشتر موجب حضور بیشتر مدیران پروژه های ساختمانی و مطالعات متعددی در زمینه تحویل پروژه ساختمان سازی سبز شده است. با این حال، هیچ مطالعه جامعی نیست که به بررسی اهمیت عوامل مدیریت پروژه از دیدگاه شرکت معماری، مهندسی و ساخت و ساز (AEC) که تصمیم گیری هایش می تواند به میزان قابل توجهی بر عملکرد زیست محیطی پروژه های ساختمانی تاثیر گذارد، پرداخته باشد. مطابق پژوهش [۹] در سال ۲۰۱۲، با عنوان "شناسایی ریسک های ایمنی برای پروژه های ساخت و ساز با عملکرد بالا"، شورای ساختمان سازی سبز ایالات متحده (USGBC) پیشرو حمایت از طراحی انرژی و محیط زیست (LEED) برنامه ساختمان سازی سبز، بزرگترین برنامه در ایالات متحده برای اندازه گیری، تأیید و صدور گواهینامه از ساختمان های سبز را ارائه می دهد. در پژوهش [۱۰] در سال ۲۰۱۳، طراحی و حفاظت از سیستم های زیرساخت های شهری به وسیله به حداقل رساندن هزینه ها در حالی که قابلیت اطمینان سیستم در سطح قابل قبول حفظ شود، محور شده است. نگرانی های رو به رشد، پیری و بدتر شدن زیرساخت و نیاز به اطمینان از زیرساخت های انعطاف پذیر و سازگار با محیط زیست و جوامع، نیاز به توسعه و استفاده از مصالح ساختمانی نوین و سیستم های ساختاری و شیوه های مدیریت عملکرد حالت ارتجاعی زیرساخت ها و رسیدن به یک تعادل مناسب بین پایداری اجتماعی، اقتصادی و

زیست محیطی است. [۱۱] در پژوهش خود در سال ۲۰۱۶ تحت عنوان "عبور از موانع جنبش ساختمان سبز در اندونزی" اشاره می کند که اندونزی به عنوان یکی از بزرگترین کشورهای جهان و رتبه چهارم صنعت ساخت و ساز آسیا، در مقایسه با برخی همسایگان خود، پیشرفت کمی در صنعت ساختمان سبز دارد. در حقیقت تنها ۱۶ ساختمان در اندونزی گواهینامه مخصوص ساختمان های سبز اندونزی را کسب نموده اند. به همین دلیل در این پروژه برای شناسایی موانع ساختمان های سبز تلاش شده است.

۲- مفاهیم نظری پژوهش

۲-۱-۲- ریسک و مفهوم آن

ریسک پروژه رویداد یا وضعیتی غیر قطعی است که در صورت وقوع، اثری مثبت یا منفی بر یک یا چند هدف پروژه مانند محدوده، هزینه و کیفیت می گذارد. یک ریسک می تواند یک یا چند علت و در صورت وقوع، یک یا چند پیامد داشته باشد. ریسک یک مفهوم چند وجهی است. در زمینه صنعت ساخت و ساز، ریسک را می توان احتمال وقوع یک حادثه یا فاکتور معین و یا ترکیبی از حوادث و فاکتورها تعریف کرد که در طول عمر پروژه برای گزند و خسارت به آن اتفاق می افتد [۱۲]. مدیریت ریسک، مجموعه ای از اقدامات و روش هایی است که به منظور کاهش پیشامدهای ناگواری که ممکن است در طول یک پروژه به وقوع بپیوندد، طراحی شده است [۳].

۲-۲- اصطلاح پایداری

اصطلاح پایدار (sustainable) برای نخستین بار در سال ۱۹۸۶ توسط کمیته جهانی گسترش محیط زیست تحت عنوان (رویارویی با نیازهای عصر حاضر بدون به مخاطره انداختن منابع نسل آینده برای مقابله با نیازهایشان) مطرح شد و هر روز بر ابعاد و دامنه آن افزوده می شود تا استراتژی های مناسبی پیش روی جهانیان قرار گیرد. در این جریان، معماران نیز همسو با سایر متصدیان در پی یافتن راهکارهای جدیدی برای تأمین زندگی مطلوب انسان بوده اند. بدیهی است که زندگی، کار، تفریح، استراحت و ... همه و همه فعالیت هایی می باشند که در فضاهای طراحی شده توسط معماران صورت پذیرفته و از آنجا که نقاط ضعف و قوت یک ساختمان بر زیست بوم جهان تأثیر مستقیم خواهد داشت، وظیفه ای بس حساس در این خصوص بر عهده معماران می باشد. کاربرد مفاهیم پایداری و توسعه پایدار در معماری، مبحثی به نام (معماری) آغاز نموده اند که مهم ترین سرفصل های آن با عنوان "معماری اکو-تک"، "معماری و انرژی معماری سبز" ایجاد می گردد [۱۳].

۲-۳- تعریف توسعه پایدار

مهم ترین تعریفی که از توسعه پایدار در اجلاس ریو از آن ارائه شده به این قرار است: (توسعه ای که نیازهای کنونی بشر را بدون به مخاطره افکندن نیاز نسل های آینده برآورده ساخته و در آن به محیط زیست و نسل های فردا نیز توجه شود) [۱۴]. توسعه پایدار آن نوع توسعه ای است که سلامت انسان و نظام های اکولوژیکی را در بلند مدت بهبود بخشد [۱۵].



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



با رویکرد AHP
بررسی و تحلیل ریسک های اجرایی در ساختمان های سبز در توسعه پایدار

هرچند که تاکنون تعاریف زیادی از توسعه پایدار ارائه شده ولی محور تمامی تعاریف، نسل‌های بعدی و نیز توجه به آینده بوده و در تمامی تعاریف توجه به محیط زیست و حفاظت از محیط زیست جهانی مدنظر بوده است.

معماری و ساخت‌وساز پایدار یکی از مباحثی است که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. نظریه توسعه پایدار و در پی آن معماری پایدار از بحث‌انگیزترین موضوعات معماری معاصر است.

درواقع معماری پایدار امری فراگیر بوده و مانند گرایش‌های قبل به سبک‌های معماری منجر نمی‌شود و با وجودی که دغدغه اصلی آن مربوط به مسئله محیط زیست است از تمامی گرایش‌های پیشین که به مسئله تقلیل استفاده از مصالح و انرژی استفاده کرده‌اند، بهره می‌گیرد. می‌توان گفت طراحی پایدار نوعی از معماری است که از حداکثر استعدادهای محیطی برای آسایش مصرف‌کنندگان سود می‌جوید و ابزارها و راهکارهای هوشمندانه‌ای در این راه بکار می‌گیرد درحالی‌که شرایط نامطلوب حاصل از ساخت ساز را به حداقل سوق می‌دهد. ساختمان‌ها از مرحله طراحی و نحوه استقرار می‌بایست به شرایط و موقعیت به‌خوبی پاسخ مساعد دهند درحالی‌که مواجهه و مقابله با طبیعت را به حداقل سوق دهند.

چالشی که طراحان بناهای جدید با آن روبه‌رو هستند چگونگی رابطه ساختمان و شهر با محیط طبیعی است بدین منظور باید جریان فکری اختیار شود که نه چون سنت‌گرایان به انکار فناوری روزآمد و شیوه‌های نوین علمی در صنعت بپردازد، نه چون تجددگرایان تمامی مفاهیم معماری سنتی و گذشته فرهنگی را به باد انتقاد گیرد و نه چون گروه‌های میانه‌رو به‌سوی یک معماری التقاطی گام بردارد [۱۳].

۴-۲- ساختمان سبز

عناوین سبز و پایدار درواقع صفاتی هستند که وجود سازگاری با محیط زیست و ماندگاری در یک موضوع مصنوع، مثلاً ساختمان را مشخص می‌کنند با این فرض که پایداری کل مجموعه‌ی کره‌ی زمین با پایداری قسمت‌های سازنده و تشکیل‌دهنده‌ی آن امکان‌پذیر است. بدین لحاظ بایست طراحی و احداث ساختمان به‌گونه‌ای انجام شود که با سازگاری محیط زیست پایدار و هوشمند و با به‌کارگیری پیشرفته‌ترین فناوری‌ها در زمره‌ی بناهای نمونه و مطلوب قرار گیرد. یک ساختمان پایدار و سبز نه تنها در مقابل طبیعت قرار نمی‌گیرد بلکه در کنار و به‌موازات آن برای بهره‌برداری هر چه بیشتر از امکانات محیطی و تأمین آسایش انسان شکل می‌گیرد. یک ساختمان پایدار و سبز با استفاده از سامانه‌های پیشرفته و هماهنگ با شرایط طبیعی تنظیم و کنترل می‌گردد. طرح معماری بنا علاوه بر زیبایی و عملکرد خوب فضاها سعی در استفاده‌ی حداکثر از عوامل و منابع طبیعی از قبیل انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشید، انرژی زمین‌گرمایی، باد) و گیاهان برای تنظیم شرایط محیطی و در جهت آسایش بهره‌برداران را دارد [۱۳].

مفهوم ساختمان سبز روز به روز در حال محبوب‌تر شدن می‌باشد، زیرا این ساختمان‌ها به عنوان ساختمان‌های دوست دار محیط زیست شناخته می‌شوند. دولت‌ها در حال برداشتن قدم‌های مناسب به منظور اجرای مفهوم ساختمان‌های سبز می‌باشند. سیستم‌های رتبه‌بندی مختلفی برای ساختمان‌های سبز موجود است. رتبه‌بندی سبز

به منظور ارزیابی یکپارچه زیستگاه (GRISHA) ^۲ و رهبری در انرژی و طراحی زیست محیطی (LEED) ^۳ [۱۶].

عمده‌ترین روش‌های ساخت خانه‌های سبز عبارت‌اند از:

استفاده از روشنایی روز، دستگاه‌های بام سبز و بام سرد، خانه‌های انرژی مثبت (خانه‌های انرژی صفر)، استفاده از انرژی خورشیدی (خانه‌های غیر فعال)، استفاده از انرژی باد (برق بادی، بادگیرها) "چاو" در پژوهش خود موانع ساختمان‌های سبز را اینگونه توصیف می‌کند:

۱. تأمین بودجه

۲. عدم اطلاعات و آگاهی کافی

۳. نبود محرک و انگیزه

۴. مقاومت مردم در برابر تغییر [۱۷].

"بدینی و اشوری" ریسک‌ها و موانع ساختمان‌های سبز را اینگونه دسته‌بندی کرده‌اند:

۱. ریسک‌های اقتصادی

۲. ریسک‌های فرهنگی

۳. ریسک‌های فنی (صنعتی)

۴. ریسک‌های قانونی

"بوند" در پژوهش خود در استرالیا و نیوزلند، مهم‌ترین موانع گسترش ساختمان سبز را اینگونه توصیف کرد:

۱. هزینه آغازین بالا

۲. عدم آگاهی و اطلاعات کافی مصرف‌کننده‌ها از مزایا و محاسن بکارگیری تجهیزات ساختمان سبز

۳. تنبلی مردم که تغییر سبک زندگی و تجهیزات جدید موجب آزار و اذیت آن‌ها می‌شود [۱۷].

۳- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به روش توصیفی-پیمایشی صورت گرفت که جامعه آماری آن را مهندسين پایه یک استان قزوین در بخش اجرا تشکیل می‌دهند که با استعلام از نظام مهندسی ساختمان استان قزوین، تعداد جامعه آماری برابر ۳۵۹ نفر می‌باشد. روش تعیین نمونه با استفاده از فرمول کوکران می‌باشد. با استفاده از جدول مورگان، و با توجه به حجم جامعه آماری که برابر ۳۵۹ نفر می‌باشد، تعداد اعضای نمونه برابر با ۱۸۶ می‌باشد. علاوه بر روش کتابخانه‌ای از روش پرسشنامه که یکی از ابزارهای رایج تحقیق و روش مستقیم برای کسب داده‌های تحقیق است، استفاده شد. که در این پژوهش برای بخش سلسله مراتبی از پرسشنامه ساعتی استفاده شده است که در نهایت پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها از جامعه آماری اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار Expert Choice خواهیم نمود.

۴- تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

۴-۱- تعیین اولویت معیارهای اصلی بر اساس هدف

برای انجام تحلیل سلسله‌مراتبی نخست معیارهای اصلی بر اساس هدف به صورت زوجی مقایسه شده‌اند. تکنیک AHP یک تکنیک رتبه‌بندی است و رتبه‌بندی در این تکنیک براساس مقایسه‌های زوجی صورت می‌گیرد. مقایسه زوجی بسیار ساده است و تمامی

عناصر هر خوشه باید به صورت دوه دو مقایسه شوند. بنابراین اگر در یک خوشه n عنصر وجود داشته باشد، $\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه صورت خواهد گرفت. چون ۶ معیار وجود دارد بنابراین تعداد مقایسه‌های انجام شده برابر است با:

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{6(6-1)}{2} = 15 \quad (1)$$

بنابراین ۱۵ مقایسه زوجی از دیدگاه گروهی از خبرگان انجام شده است و با استفاده از تکنیک میانگین هندسی دیدگاه خبرگان تجمیع گردیده است. ماتریس مقایسه زوجی حاصل از تجمیع دیدگاه خبرگان در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ ماتریس مقایسه زوجی معیارها

فناوری	اقتصادی	سیاسی	زیست محیطی	قانونی	فرهنگی
۱	۰.۸۰۳	۲.۴۵۷	۱.۸۸۸	۱.۳۵۱	۱.۲
۱.۲۴۶	۱	۴.۱	۷.۲	۱.۱۱۸	۱.۲۴۶
۰.۴۰۷	۰.۲۴۴	۱	۱.۰۸۴	۱.۲۴۶	۰.۸۲۳
۰.۵۳۰	۰.۱۳۹	۰.۹۲۲	۱	۰.۴۷۶	۰.۳۱۲
۰.۷۴۰	۰.۸۹۴	۰.۸۰۳	۲.۱	۱	۰.۶۹۹
۰.۸۳۲	۰.۸۰۳	۱.۲۱۷	۳.۲	۱.۴۳۱	۱

پس از ورود داده‌ها در نرم افزار Expert Choice، اوزان معیارهای اصلی اینگونه حاصل می‌شود:



شکل ۱ وزن‌های معیارهای اصلی

معیار اقتصادی با وزن نرمال شده ۰.۲۹۸ در اولویت اول می‌باشد؛ معیار فناوری با وزن نرمال شده ۰.۱۹۸ در اولویت دوم می‌باشد؛ معیار فرهنگی با وزن نرمال شده ۰.۱۸۲ در اولویت سوم می‌باشد؛ معیار قانونی با وزن نرمال شده ۰.۱۴۶ در اولویت چهارم می‌باشد؛ معیار سیاسی با وزن نرمال شده ۰.۱۰۶ در اولویت پنجم می‌باشد؛ و در نهایت معیار زیست محیطی با وزن نرمال شده ۰.۰۷ در اولویت آخر قرار می‌گیرد؛ همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۵ به دست آمده است که چون کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد؛ بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

بررسی اولویت زیرمعیارها براساس معیار "اقتصادی"

پس از بررسی وضعیت معیارهای هدف و تعیین میانگین اولویت‌های آن‌ها برای هر کدام از این معیارها چند زیرمعیار فرعی تعریف شد که این زیرمعیارهای فرعی برگرفته از میانی نظری تحقیق و مرتبط با اهداف و فرضیه‌ها می‌باشد. سپس در ادامه بررسی معیار فرهنگی به منظور تعیین وزن و اولویت زیرمعیارها ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار فرهنگی تشکیل گردید که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.

پس از ورود داده‌ها در نرم افزار Expert Choice، اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "اقتصادی" مطابق با شکل (۲) به دست آمد که در زیر

ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، زیرمعیار «هزینه آغازین بالا» با وزن ۰.۲۲۳ در رتبه اول و زیرمعیارهای «هزینه‌های نگهداری و تعمیرات سیستم‌های ساختمان سبز»، «هزینه بالای تجهیزات مصالح و سیستم‌های ساختمان سبز»، «بودجه‌های محدود»، «تورم» و «نوسانات نرخ ارز» به ترتیب با اوزان ۰.۱۹۰، ۰.۱۵۲، ۰.۱۱۹ و ۰.۱۰۷ در رتبه‌های دوم تا ششم قرار دارند.

بررسی اولویت زیرمعیارها براساس معیار "فرهنگی"

به منظور بررسی دقیق تر معیار فرهنگی سه معیار فرعی با عنوان، تمایل مردم به سبک زندگی و عدم تمایل به تغییر(تقاضای پایین)، پایین بودن آگاهی عمومی از مزایای ساختمان سبز و پایین بودن هزینه انرژی و مقاومت مردم در برابر ایجاد تغییر تعیین گردید که در جدول (۳) میانگین اولویت‌ها برای زیرمعیارهای معیار فرهنگی آورده شده است.

پس از ورود داده‌ها در نرم افزار Expert Choice، اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "فرهنگی" مطابق با شکل (۳) به دست آمد که در زیر ارائه شده است. شکل (۳) نشان می‌دهد که شاخص «پایین بودن هزینه انرژی و مقاومت مردم در برابر ایجاد تغییر»، «پایین بودن آگاهی عمومی از مزایای ساختمان سبز» «تمایل مردم به سبک زندگی و عدم تمایل به تغییر(تقاضای پایین)» با وزن ۰.۳۵۱ در رتبه اول قرار دارد و شاخص‌های و به ترتیب با اوزان ۰.۳۳۴ و ۰.۳۱۵ در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

بررسی اولویت زیرمعیارها بر اساس معیار "زیست محیطی"

به منظور بررسی دقیق تر معیار زیست محیطی سه معیار فرعی با عنوان، شرایط آب و هوایی غیر قابل پیش بینی (باد و بارش شدید)، حوادث و بلایای طبیعی (سیل، طوفان، زلزله) و دسترسی دشوار به محل پروژه (مناطق صعب العبور و نقاط پر ترافیک شهری) تعیین گردید که در ادامه بررسی معیار زیست محیطی به منظور تعیین وزن و اولویت زیرمعیارها ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار زیست محیطی تشکیل گردید که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. پس از ورود داده‌ها در نرم افزار Expert Choice، اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "زیست محیطی" مطابق با شکل (۴) به دست آمد که در زیر ارائه شده است. با توجه به شکل (۴)، شاخص‌های «شرایط آب و هوایی غیر قابل پیش بینی(باد و بارش شدید)»، «دسترسی دشوار به محل پروژه(مناطق صعب العبور و نقاط پر ترافیک شهری)» و «حوادث و بلایای طبیعی(سیل، طوفان، زلزله)»، به ترتیب با اوزان ۰.۴۱۶، ۰.۳۴۴ و ۰.۲۴۰ در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند.

بررسی اولویت زیرمعیارها بر اساس معیار "فناوری"

به منظور بررسی دقیق تر معیار فناوری چهار معیار فرعی با عنوان، نبود پرسنل (طراح، مشاور، نیروی انسانی) حرفه‌ای و آموزش دیده، نبود اطلاعات جامع و دقیق، نبود تکنولوژی و تجهیزات پیشرفته و نبود مصالح استاندارد و درجه یک به منظور پایداری تعیین گردید که در ادامه بررسی معیار تکنولوژی به منظور تعیین وزن و اولویت زیرمعیارها ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار تکنولوژی

تشکیل گردید که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. پس از ورود داده ها در نرم افزار Expert Choice، اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "فناوری" مطابق با شکل (۵) به دست آمد که در زیر ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می شود شاخص های «نبود پرسنل (طراح، مشاور، نیروی انسانی) حرفه ای و آموزش دیده»، «نبود اطلاعات جامع و دقیق»، «نبود مصالح استاندارد و درجه یک» و «نبود تکنولوژی و تجهیزات پیشرفته و مورد نیاز» و به ترتیب با اوزان ۰,۲۹۸، ۰,۲۴۴، ۰,۲۳۲ و ۰,۲۲۷ در رتبه های اول تا چهارم قرار دارند.

بررسی اولویت زیرمعیارها بر اساس معیار "قانونی"

به منظور بررسی دقیق تر معیار قانونی سه معیار فرعی با عنوان، نبود چهارچوب دولتی و اجرایی و خط مشی مناسب، نبود چهارچوب دولتی و اجرایی و خط مشی مناسب و نبود نگرش دولتی برای حفظ منابع و گسترش ساختمان سبز تعیین گردید که در جدول (۶) میانگین اولویت ها برای زیرمعیارهای معیار قانونی آورده شده است. پس از ورود داده ها در نرم افزار Expert Choice، اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "قانونی" مطابق با شکل (۶) به دست آمد که در ادامه

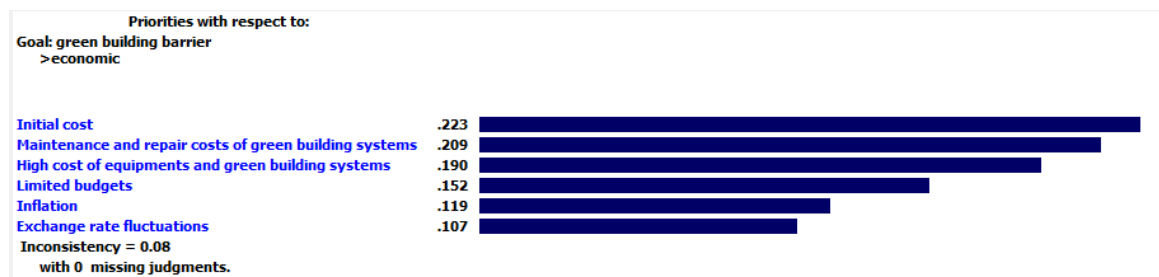
ارائه شده است. شکل (۶) نشان می دهد که زیرمعیارهای «نبود چهارچوب دولتی و اجرایی و خط مشی مناسب»، «نبود مشوق های دولتی مناسب برای ساختمان سبز» و «نبود نگرش دولتی برای حفظ منابع و گسترش ساختمان سبز» و به ترتیب با اوزان ۰,۴۱۷، ۰,۲۹۳ و ۰,۲۹۱ در رتبه های اول تا سوم قرار دارند.

بررسی اولویت زیرمعیارها بر اساس معیار "سیاسی"

به منظور بررسی دقیق تر معیار سیاسی دو معیار فرعی با عنوان، عدم استفاده از تجارب موفق دیگر کشورها و عدم آگاهی مردم در مورد مسائل پایداری و نیاز به آموزش تعیین گردید که در جدول (۷) میانگین اولویت ها برای زیرمعیارهای معیار سیاسی آورده شده است. پس از ورود داده ها در نرم افزار Expert Choice، اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "سیاسی" مطابق با شکل (۷) به دست آمد که در ادامه ارائه شده است. شکل (۷) نشان می دهد که شاخص های «تحریم مصالح و تجهیزات به دلیل مسائل سیاسی»، «فساد و رشوه» و «وضعیت نامعین امنیتی (جنگ)» به ترتیب با اوزان ۰,۴۵۰، ۰,۳۴۸ و ۰,۲۰۲ در رتبه های اول تا سوم قرار دارند.

جدول ۲ ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار «اقتصادی»

وزینه	بودجه های محدود	سیستم های ساختمان سبز	هزینه های نگهداری و تعمیرات	نوسانات نرخ ارز	تورم
IR= ۰,۰۸	۱	۱,۴۹	۱,۰۴	۴	۱,۱۱
هزینه آغازین بالا	۱	۱,۱۷	۰,۴۴	۰,۷۳	۲,۶
بودجه های محدود	۰,۶۷	۱	۱,۲۸	۳,۱	۱,۱۴
هزینه بالای تجهیزات، مصالح و سیستم های ساختمان سبز	۰,۸۳	۰,۸۵	۱	۲	۱,۴
هزینه های نگهداری و تعمیرات سیستم های ساختمان سبز	۰,۹۶	۲,۷۲	۰,۷۸	۰,۵	۱,۳۳
نوسانات نرخ ارز	۰,۲۵	۱,۳۷	۰,۳۲۲	۰,۷۵	۱
تورم	۰,۹	۰,۳۸۵	۰,۸۸	۰,۷۱۳	۰,۷۵



شکل ۲ اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "اقتصادی"

جدول ۳ ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار "فرهنگی"

وزینه	تمایل مردم به سبک زندگی و عدم تمایل به تغییر (تقاضای پایین)	پایین بودن آگاهی عمومی از مزایای ساختمان سبز	پایین بودن هزینه انرژی و مقاومت مردم در برابر ایجاد تغییر
IR= ۰,۰۲	۱	۱,۱۰	۰,۷۸
تمایل مردم به سبک زندگی و عدم تمایل به تغییر (تقاضای پایین)	۱	۱	۱,۱۱
پایین بودن آگاهی عمومی از مزایای ساختمان سبز	۰,۹۱	۱	۱
پایین بودن هزینه انرژی و مقاومت مردم در برابر ایجاد تغییر	۱,۳	۰,۹	۱

Priorities with respect to:
Goal: green building barrier
>social



شکل ۳ اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "فرهنگی"

جدول ۴ ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار "زیست محیطی"

IR= ۰,۰۲			
شرایط آب و هوایی غیر قابل پیش بینی (باد و بارش شدید)	حوادث و بلایای طبیعی (سیل، طوفان، زلزله)	دسترسی دشوار به محل پروژه (مناطق صعب العبور و نقاط پر ترافیک شهری)	
شرایط آب و هوایی غیر قابل پیش بینی (باد و بارش شدید)	۱	۱,۵	۱,۴
حوادث و بلایای طبیعی (سیل، طوفان، زلزله)	۰,۶۶۷	۱	۰,۷۱۳
دسترسی دشوار به محل پروژه (مناطق صعب العبور و نقاط پر ترافیک شهری)	۰,۶۹	۱,۶۶	۱

Priorities with respect to:
Goal: green building barrier
>environmental



شکل ۴ اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "زیست محیطی"

جدول ۵ ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار "تکنولوژی"

IR= ۰,۰۵			
نیود پرسنل (طراح، مشاور، نیروی انسانی) حرفه ای و آموزش دیده	نیود اطلاعات جامع و دقیق	نیود تکنولوژی و تجهیزات پیشرفته و مورد نیاز	نیود مصالح استاندارد و درجه یک
نیود پرسنل (طراح، مشاور، نیروی انسانی) حرفه ای و آموزش دیده	۱	۱,۱	۱,۲
نیود اطلاعات جامع و دقیق	۰,۹۱	۱	۰,۷۵
نیود تکنولوژی و تجهیزات پیشرفته و مورد نیاز	۰,۸۳	۱,۳۳	۱
نیود مصالح استاندارد و درجه یک	۰,۵۸۸	۰,۷۲	۱,۶۷

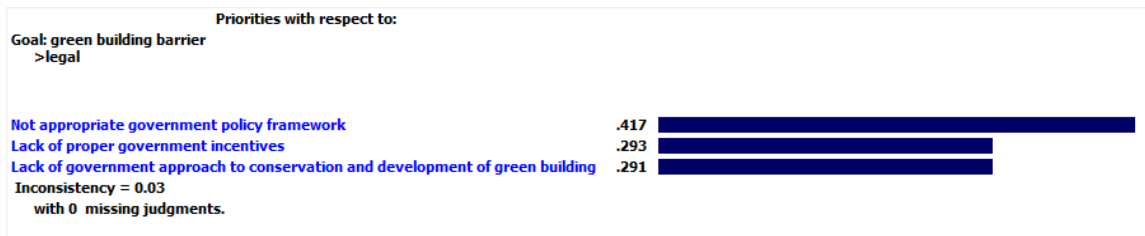
Priorities with respect to:
Goal: green building barrier
>technological



شکل ۵ اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "فناوری"

جدول ۶ ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار " قانونی "

IR= ۰,۰۳			نبود چهارچوب دولتی و اجرایی و خط مشی مناسب
نبود نگرش دولتی برای حفظ منابع و گسترش ساختمان سبز	نبود مشوق های دولتی مناسب برای ساختمان سبز	نبود مشوق های دولتی مناسب برای ساختمان سبز	نبود چهارچوب دولتی و اجرایی و خط مشی مناسب
۱,۷	۱,۲	۱	
۰,۸۵	۱	۰,۸۳	
۱	۱,۱۸	۰,۵۹	نبود نگرش دولتی برای حفظ منابع و گسترش ساختمان سبز



شکل ۶ اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار " قانونی "

جدول ۷ ماتریس مقایسات زوجی بر اساس معیار "سیاسی"

IR= ۰,۰۱			تحریم مصالح و تجهیزات به دلیل مسایل سیاسی
وضعیت نامعین امنیتی(جنگ)	فساد و رشوه	تحریم مصالح و تجهیزات به دلیل مسایل سیاسی	تحریم مصالح و تجهیزات به دلیل مسایل سیاسی
۲,۴	۱,۲	۱	
۱,۶	۱	۰,۸۳۳	فساد و رشوه
۱	۰,۶۳	۰,۴۱۷	وضعیت نامعین امنیتی(جنگ)



شکل ۷- اوزان زیرمعیارها بر اساس معیار "سیاسی"

۲-۴- محاسبه اوزان نهایی معیارها و زیرمعیارها و اولویت بندی آن ها

با استفاده از پرسشنامه ساعتی، به جمع آوری نظرات خبرگان پرداخته شد. با محاسبه میانگین هندسی از نظرات خبرگان که ورودی نرم افزار Expert Choice است، مراحل محاسبات وزن معیارها، وزن نسبی زیرمعیارها و همچنین وزن نهایی زیرمعیارها طی شد که در شکل (۸) وزن نهایی هر زیرمعیار، از حاصل ضرب وزن نسبی آن زیرمعیار در وزن معیار در همان خوشه، بدست می آید. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، در بخش زیرمعیارها، «هزینه آغازین بالا»، «پایین بودن هزینه انرژی و مقاومت مردم در برابر ایجاد تغییر» و «هزینه های نگهداری و تعمیرات سیستم های ساختمان سبز» از اهمیت ویژه ای برخوردارند و به ترتیب با اوزان نهایی ۰,۰۶۴، ۰,۰۶۲ و ۰,۰۶۲، رتبه های اول تا سوم را به خود اختصاص می دهند.

۵- نتیجه گیری

تجزیه و تحلیل یافته های این تحقیق نشان داد که عامل اقتصادی با وزن ۰,۲۹۸ از بیشترین اهمیت برخوردار بوده و عوامل تکنولوژی، فرهنگی، قانونی و سیاسی و زیست محیطی بترتیب با اوزان ۰,۱۹۸، ۰,۱۸۲، ۰,۱۴۶، ۰,۱۰۶ و ۰,۰۷ در رتبه های دوم تا ششم قرار دارند. همچنین در بخش زیرمعیارها یافته های زیر حاصل گردید: در رابطه با معیار اقتصادی و در بخش زیرمعیارها، زیرمعیار «هزینه آغازین بالا» با وزن ۰,۲۲۳ در رتبه اول و زیرمعیارهای «هزینه های نگهداری و تعمیرات سیستم های ساختمان سبز»، «هزینه بالای تجهیزات مصالح و سیستم های ساختمان سبز»، «بودجه های محدود»، «تورم» و «نوسانات نرخ ارز» به ترتیب با اوزان ۰,۱۹۰، ۰,۱۵۲، ۰,۱۱۹، ۰,۱۰۷ و ۰,۰۷ در رتبه های دوم تا ششم قرار دارند. در رابطه با معیار فرهنگی و در بخش زیرمعیارها، زیرمعیار «پایین بودن هزینه انرژی و مقاومت مردم در برابر ایجاد تغییر» با وزن ۰,۳۵۱ در رتبه اول قرار دارد و زیرمعیارهای «پایین بودن آگاهی عمومی از مزایای ساختمان سبز» و «تمایل مردم به سبک

زندگی و عدم تمایل به تغییر (تقاضای پایین)» به ترتیب با اوزان ۰,۳۳۴ و ۰,۳۱۵ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در رابطه با معیار زیست محیطی و در بخش زیرمعیارها، زیرمعیارهای «شرایط آب و هوایی غیر قابل پیش بینی (باد و بارش شدید)»، «دسترسی دشوار به محل پروژه (مناطق صعب العبور و نقاط پر ترافیک شهری)» و «حوادث و بلایای طبیعی (سیل، طوفان، زلزله)» به ترتیب با اوزان ۰,۴۱۶، ۰,۳۴۴ و ۰,۲۴۰ در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. در رابطه با معیار تکنولوژی و در بخش زیرمعیارها، زیرمعیارهای «نبود پرسنل (طراح، مشاور، نیروی انسانی) حرفه‌ای و آموزش دیده»، «نبود اطلاعات جامع و دقیق»، «نبود مصالح استاندارد و درجه یک» و «نبود تکنولوژی و تجهیزات پیشرفته و مورد نیاز» به ترتیب با اوزان ۰,۲۹۸، ۰,۲۴۴، ۰,۲۳۲ و ۰,۲۲۷ در رتبه‌های اول تا چهارم قرار دارند. در رابطه با معیار قانونی و در بخش زیرمعیارها، زیرمعیارهای «نبود چهارچوب دولتی و اجرایی و خط مشی مناسب»، «نبود مشوق‌های دولتی مناسب برای ساختمان سبز» و «نبود نگرش دولتی برای حفظ منابع و گسترش ساختمان سبز» به ترتیب با اوزان ۰,۴۵۰، ۰,۳۴۸ و ۰,۲۰۲ در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند. همانطور که ملاحظه می‌شود، معیار اقتصادی به عنوان مهم‌ترین عامل از نظر کارشناسان انتخاب شده است. با دقت در جداول مربوط به ریسک‌های ساختمان‌سازی و ریسک‌های ساختمان سبز، مشاهده می‌شود که در سایر کشورها نیز عامل اقتصادی جزء جدا نشدنی از پروژه‌های عمرانی است. هزینه‌های مربوط به خرید، نصب و نگهداری تجهیزات و سیستم‌های ساختمان سبز عاملی است که کارشناسان این معیار را به عنوان مهم‌ترین مانع در اجرای ساختمان‌های سبز ارزیابی کرده‌اند. در رابطه با معیار فناوری، نبود فناوری-های جدید و مدرن مورد نیاز برای اجرای ساختمان‌های سبز در کشورهای جهان سوم و به علاوه نبود نیروی متخصص آموزش دیده و زبده در این زمینه موجب شده تا انگیزه و جرأت ساخت و اجرای این پروژه‌ها کم رنگ باشد. همه این‌ها موجب شده تا از نظر کارشناسان، این معیار رتبه دوم را به خود اختصاص دهد. همواره اولین قدم در اجرای پروژه‌ها و برنامه‌های بلند مدت، فرهنگ‌سازی در جامعه و مردم آن کشور می‌باشد. در این زمینه نیز سال‌هاست مردم ایران با دسترسی آسان به منابعی همچون آب، گاز و برق در ساختمان‌ها به این شیوه از زندگی عادت کرده و تغییر در شیوه زندگی را امری سخت می‌دانند. در کنار این، عدم آگاهی و آینده نگری بخش زیادی از جامعه نسبت به مزایای ساختمان‌های سبز و خطرات جدی کاهش و اتمام منابع تجدید ناپذیر، موجب گشته تا مردم میل و رغبت زیادی نسبت به تغییر شیوه زندگی خود نشان ندهند و در نتیجه این عامل به عنوان سومین مانع در راستای اجرای این پروژه‌ها باشد.

بدون شک برای اجرا و گسترش این صنعت در کشور، حمایت‌ها و سیاست‌های دولت نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. متأسفانه نبود خط‌مشی و قوانین مناسب و همچنین نبود نگرش و عدم تفکر جدی

در گسترش ساختمان‌های سبز باعث شده تا سرمایه‌گذاران، پیمانکاران و جامعه مهندسی کشور انگیزه زیادی برای ورود به این زمینه نداشته باشند. در زمینه مسایل سیاسی، متأسفانه به دلیل مشکلات کشور در روابط بین المللی، واردات تجهیزات و مصالح از کشورهای دیگر با سختی و هزینه‌های بالا صورت می‌گیرد. موانع زیست محیطی از قبیل دسترسی سخت به محل پروژه و شرایط بد آب و هوایی و حوادث غیر قابل پیش بینی در رتبه آخر قرار گرفته است. علت آن را می‌توان به این خاطر دانست که این موانع زیست محیطی برای تمامی پروژه‌های ساخت و ساز وجود دارد و تنها مختص ساختمان‌های سبز نمی‌باشد.

در همین راستا و نظر به اهمیت شاخص اقتصادی که به عنوان مهمترین شاخص در بخش شاخص‌های اصلی تعیین گردید، در کنار موضوع هزینه آغازین بالا که در بخش زیرمعیارها به عنوان مهمترین گزینه حاصل گردید، لذا پیشنهاد می‌گردد که در بخش اقتصادی و سرمایه‌گذاری، دولت با ارائه طرح‌ها و برنامه‌های طولانی مدت اقدام به جذب و تشویق بخش خصوصی در این زمینه نماید. با توجه به شاخص تکنولوژی پیشنهاد می‌گردد با توجه به تجربیات سایر کشورها و نوع بکارگیری تکنولوژی این کشورها در زمینه ساخت و ساز سبز، اقدام به تعامل و تبادل اطلاعات گردد. همچنین می‌توان با اعزام نیرو به کشورهای صاحب سبک در این زمینه، آموزش‌های لازم را کسب نمود. همچنین نظر به موضوع شاخص فرهنگی در زمینه ساخت و ساز سبز و به دلیل ارزان بودن قیمت انرژی پیشنهاد می‌گردد که دولت نسبت به سیاست‌های اجرایی خود در زمینه مصرف انرژی تجدید نظر کرده و سیاست‌های جدیدی را پیش روی برنامه‌های بلند مدت خود قرار دهد. به علاوه رسانه‌ها و جراید می‌توانند با گوشزد خطرات و عواقب جدی مصرف بی رویه منابع تجدیدناپذیر، مردم را بیش از پیش نسبت به این فاجعه آگاه سازند. مدارس ابتدایی هم باید از همان ابتدا دانش آموزان را نسبت به اهمیت حفظ منابع و فرهنگ سازی در میان کودکان اقدام کنند. با توجه به موضوع قانون‌گذاری و خط مشی دولت در زمینه ساخت و ساز پایدار پیشنهاد می‌گردد که این مهم در تمامی سطح کشور لحاظ شده و تنها به یک شهر و محدوده خاص اکتفا ننماید. در بخش سیاسی اکنون که کشور و جامعه در جدال با یک بحران قرار دارد، لازم است که دولت با تدبیر خود نسبت به اصلاحات لازم در زمینه برقراری ارتباط و تعامل با سایر کشورهای جهان و منطقه، زمینه لازم را جهت تبادل صنعت ساخت و ساز برقرار سازد. در رابطه با توسعه پایدار شهری و مسائل زیست محیطی لازم است که در بخش کلان شهرها اصلاحات هندسی صورت گیرد که در بسیاری از موارد این موضوع به یک التزام بدل گردیده ولی با قصور و کوتاهی مسئولین پیامدهای زیست محیطی ناشی از آلودگی‌های ترافیکی را به دنبال داشته است. با توجه به اینکه ساخت و سازهای کنونی با ضوابط پایداری فاصله دارند، می‌توان دلیل این امر را عدم صرفه اقتصادی اجرای این ساختمان‌ها دانست لذا از آنجایی که موضوع میزان مصرف انرژی که یکی از ارکان پایداری می‌باشد با موضوع اقتصادی بی ارتباط نیست لذا پیشنهاد می‌گردد که مسئولین امر به این موضوع نیز توجه ویژه نمایند.



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

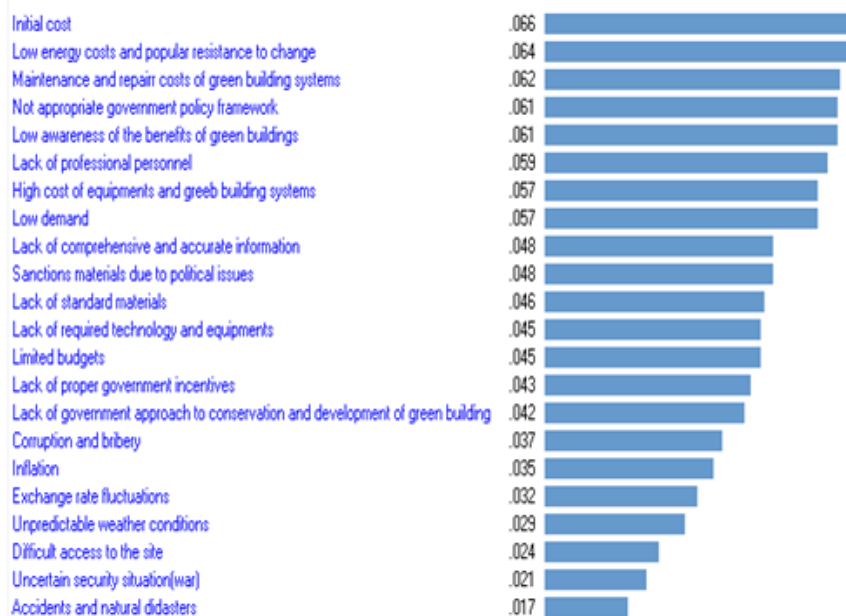
پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

مهندسی سازه و مدیریت

بررسی و تحلیل ریسک‌های اجرایی در ساختمان‌های سبز در توسعه پایدار
با رویکرد AHP

Synthesis with respect to:
Goal: green building barrier
Overall Inconsistency = .05



شکل ۸ اوزان نسبی و نهایی معیارها، زیرمعیارها و اولویت بندی آنها

۶- مراجع

- performance sustainable construction projects," Journal of Construction Engineering and Management, vol. 138, no. 4, pp. 499-508, 2012.
- [۱۰] Z. Lounis and T. P. McAllister, "Risk-based decision making for sustainable and resilient infrastructure systems," Journal of Structural Engineering, vol. 142, no. 9, p. F4016005, 2016.
- [۱۱] M. Wimala, E. Akmalah, and M. R. Sururi, "Breaking through the barriers to green building movement in Indonesia: Insights from building occupants," Energy Procedia, vol. 100, pp. 469-474, 2016.
- [۱۲] S. Q. Wang, M. F. Dulaimi, and M. Y. Aguria, "Risk management framework for construction projects in developing countries," Construction management and economics, vol. 22, no. 3, pp. 237-252, 2004.
- [۱۳] A. S. S. Amirshakari, "Introducing a new building information modeling system and its application in architecture to achieve sustainable development and design," (in In Persian), The first national conference on architecture, restoration, urban planning and sustainable environment, Hamedan, 2014.
- [۱۴] M. S. A., "Principles of design of sustainable buildings," (in In Persian), The first conference on sustainable architecture, Hamedan, 2010.
- [۱۵] S. F., "Exploration about the concepts and experiences of sustainable architecture," (in In Persian), Journal of Urban Planning and Architecture, pp. 62-67, 2005.
- [۱۶] H. Kumar and V. Sahu, "Performance and rating of residential green building," Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal (CiUEJ) Vol. 2, 2015.
- [۱۷] C. Chau, T. Leung, T. Lutzendorf, and M. Balouktsi, "A review on barriers, policies and governance for green buildings," in Sustainable Building 2013 Hong Kong Regional Conference Urban Density and Sustainability, 2013, pp. 12-13 .
- [۱] S. N. S. Sadeghi, "Green buildings and energy efficiency," (in (In Persian)), The first regional conference on civil engineering and architecture, Amol, Sama Technical and Vocational School, Ayatollah Amoli Branch., 2011.
- [۲] I. Mosly, "Barriers to the diffusion and adoption of green buildings in Saudi Arabia," J. Mgmt. & Sustainability, vol. 5, p. 104, 2015.
- [۳] B. F. M. Shiravani, "Evaluation of responses based on the risks of construction projects in fuzzy conditions," (in In Persian), First National Congress of Construction Engineering and Evaluation of Civil Projects, Gorgan., 2015.
- [۴] T. M., "Determining the level of project management genius in the Iranian construction industry," (in In Persian), Master Thesis. Faculty of Civil Engineering, Arian Institute of Higher Education, Science and Technology, Babol, 2016.
- [۵] H. M. Tollin, "Green building risks: it's not easy being green," Environmental Claims Journal, vol. 23, no. 3-4, pp. 199-213, 2011.
- [۶] E. A. M. Ardeshtir. R. Maknoun. Z. Jahantab, "Assessing the safety risks affecting the health of people in urban construction is a step towards sustainable development," International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development, Tabriz, 2014.
- [۷] S. Bond, "Barriers and drivers to green buildings in Australia and New Zealand," Journal of Property Investment & Finance, 2011.
- [۸] W. C. Li and K. K. A. Yeung, "A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective," International Journal of Sustainable Built Environment, vol. 3, no. 1, pp. 127-134, 2014.
- [۹] B. R. Fortunato III, M. R. Hallowell, M. Behm, and K. Dewlaney, "Identification of safety risks for high-

³ Leadership in Energy and Environmental Design

¹ Architecture, Engineering, Construction

² Green Rating for Integrated Habitat Assessment

Investigating the use of *Bacillus subtilis* bacteria in the repair of self-healing concrete

Mohadeseh Anbarlouie *

Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Mahdi Mahdikhani

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

*Corresponding author's email address:

mohadeseh.anbarlouie@edu.ikiu.ac.ir

بررسی استفاده از باکتری باسیلوس

ساب تیلیس در ترمیم بتن‌های

خودترمیم شونده

محدثه انبارلویی *

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مهدی مهدی‌خانی

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲

Abstract

Small cracks in concrete may turn into large cracks over time and lead to a reduction in the useful life of concrete structures. Therefore, the speed of growth and expansion of cracks should be limited. Repairing cracks in concrete is one of the effective ways to prevent the spread of cracks, for this reason, various methods for repairing cracks created on concrete due to various factors have been investigated and compared. This research presents a biological method to improve the self-healing effect of concrete beams by the microbial activity of *Bacillus subtilis* bacteria. In this research, self-healing begins with the injection of *Bacillus subtilis* bacteria into the crack through an insulin syringe. For this purpose, 6 concrete beams with dimensions of 15x15x120 cm were made and the property of self-healing by creating a crack was investigated and evaluated by applying static torsional load. The beam repaired with this method has increased the torsional capacity of the original sample by 93.13% and the torsional capacity of the cracked beam has also increased by 7.6 times.

Keywords

Bacillus subtilis bacteria, self-healing, concrete, twisting

چکیده

ترک‌های کوچک در بتن ممکن است با گذر زمان تبدیل به ترک‌های بزرگ شده و منجر به کاهش عمر مفید سازه‌های بتنی گردند. بنابراین باید سرعت رشد و گسترش ترک‌ها را محدود کرد. ترمیم ترک در بتن یکی از راه‌های موثر برای جلوگیری از گسترش ترک‌ها می‌باشد به همین دلیل از گذشته تا کنون روش‌های مختلفی برای ترمیم ترک‌های ایجاد شده بر روی بتن در اثر عوامل مختلف بررسی و مقایسه شده‌اند. این پژوهش یک روش بیولوژیکی برای بهبود اثر خودترمیم شونده‌ی تیرهای بتنی توسط فعالیت میکروبی باکتری باسیلوس ساب تیلیس را ارائه می‌دهد. در این پژوهش خودترمیمی شونده‌ی با تزریق باکتری باسیلوس توسط سرنگ انسولین به داخل ترک آغاز می‌گردد. به همین منظور ۶ عدد تیر بتنی با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۲۰ سانتی متر ساخته شدند و خاصیت خودترمیم شونده‌ی با ایجاد ترک از طریق اعمال بار استاتیکی پیچشی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در پایان با توجه به لنگر پیچشی نهایی تیرها این نتیجه گرفته شد که تیر ترمیم شده با این روش ظرفیت پیچشی نمونه شاهد اولیه را ۹۳٫۱۳ درصد افزایش داده و ظرفیت پیچشی تیر ترک خورده را نیز ۷٫۶ برابر کرده است.

کلمات کلیدی

باکتری باسیلوس ساب تیلیس، خودترمیم شونده‌ی، بتن، پیچش

۱- مقدمه

بتن در حالت عادی از خاصیتی طبیعی برخوردار است تا به اندازه‌ای خود را ترمیم کند. به این صورت که اگر آب وارد یک ترک شود و با ذرات غیرهیدراته سیمان تماس داشته باشد، این ذرات هیدراته شده و باعث بسته شدن شکاف ترک می‌شوند. اگر هم آب و هم کربن دی‌اکسید وارد ترک‌ها شود، پر شدن ترک‌ها از طریق ته‌نشینی ذرات کلسیم کربنات ایجاد شده از کلسیم هیدروکسید نیست کرده، امکان‌پذیر است. اما از آنجایی که فرآیند خودترمیمی طبیعی، محدود به ترک‌های کوچک است، لذا تلاش‌های بسیاری انجام شده است که خاصیت خودترمیمی بهبود یافته، خودکاری و کارایی بالایی داشته باشد. به منظور انجام عمل خودترمیمی نیز

روش‌های متعددی از جمله استفاده از کپسول‌های شیشه‌ای، پلیمرهای سوپر جاذب آب، استفاده از باکتری‌ها و غیره وجود دارد. روش خودترمیمی با اضافه کردن باکتری نیز یکی از روش‌های ترمیم ترک در سازه‌های بتنی است. در این روش از باکتری‌های خاصی که مقاومت زیادی در محیط‌های قلیایی دارند استفاده می‌شوند که معمولاً این باکتری‌ها در طبیعت یافت می‌شوند.

این باکتری‌ها تا زمان شکل‌گیری ترک در بتن در حالت کمون (به اصطلاح در حالت خواب) باقی می‌مانند و پس از ایجاد ترک است که فعال شده و به کار می‌افتند. زمانی که آن‌ها شروع به فعالیت می‌کنند آب را مصرف نموده به مقدار زیادی رسوب کلسیم کربنات تولید می‌کنند، این کربنات کلسیم تولید شده نتیجه متابولیسم باکتریایی در یک محیط کلسیمی قوی می‌باشد. در واقع



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



در این روش باکتری های استفاده شده در بتن آن را به یک موجود جاندار و زنده تبدیل می کند که قادر خواهد شد ترک های خود را ترمیم کند. این بتن خودترمیمی ترکیبی از باکتری داخل بتن و شیره کلسیمی به عنوان منبع تغذیه باکتری ها، زمانی که فعال می شوند، می باشد. این باکتری ها پس از اینکه فعال شدند، از این منبع غذایی (شیره کلسیمی) در محیط تغذیه کرده و سبب پر شدن ترک ها می گردند [۱].

از سویی دیگر عوامل مختلف در ایجاد ترک در بتن نقش دارند که از جمله آن عوامل می توان به ترک هایی که در اثر نیروهای کششی، خمشی و برشی که در بتن به وجود می آیند و با ترک هایی که ناشی از خوردگی آرماتور یا جمع شدگی در دال طره ای به وجود می آیند، اشاره نمود. همان طور که مطرح شد عامل پیچش در بتن و سازه های بتنی سبب ایجاد ترک در بتن می گردد. پیچش در سازه های بتن مسلح معمولاً در اثر یکپارچگی و پیوستگی اعضا به وجود می آید. بنابراین در در تیرهای لبه و تیرهایی که از یک طرف متصل به تیر یا دال می باشند دارای اهمیت ویژه ای هستند.

در این پژوهش با ساخت تیرهای بتنی و بارگذاری آن ها تحت نیروی پیچشی اقدام به ترمیم آن ها با استفاده از تزریق باکتری به داخل ترک و بررسی اثر خودترمیم شوندگی با استفاده از این روش شده است.

۲- مبانی تحقیق

از جمله پژوهش هایی که در زمینه ترمیم بتن توسط باکتری های مختلف صورت گرفته است را می توان به موارد زیر اشاره نمود:

Huaicheng Chen و همکارانش به تحقیق و پژوهش بر روی مواد سیمانی خودترمیم شونده با استفاده از باکتری ها و مواد مغذی بی حرکت پرداختند، آن ها نتیجه گرفتند که استفاده از باکتری ها، عاملی موثر در ترمیم ترک مواد سیمانی است. مطالعات و تحقیقات آن ها در زمینه ضریب نفوذ پذیری آب و استحکام خمشی نمونه های ترمیم یافته نشان داد که این روش بیولوژیکی سرعت ترمیم ترک و افزایش عمق ترک ها را بهبود می بخشد [۲].

Luo و همکارانش تاثیر باکتری ها را به عنوان ماده ترمیمی بر روی خواص رئولوژی، سینتیک هیدراتاسیون و مقاومت فشاری مواد سیمانی بررسی کردند آن ها در تحقیقشان از سه نوع باکتری RB (که در آن نشانگر کلسیم لاکتات و B نشانگر پودر باکتری اسپور) ، JB (که در آن نشان دهنده استفاده از فرمت کلسیم و B نشانگر پودر باکتری اسپور) و در نهایت NB (که در آن N نشان دهنده نیترات کلسیم و B نشان دهنده پودر باکتری اسپور) بود، استفاده کردند. بر اساس تحقیقات آن ها رئولوژی مواد سیمانی با استفاده از باکتری ها به عنوان ماده ترمیمی افزایش پیدا کرد و هر کدام از این نوع باکتری ها بر روانی ملات سیمان تاثیر گذاشتند. به علاوه افزودن این باکتری ها به عنوان عامل ترمیمی در مواد سیمانی، هیدراتاسیون سیمان را تا حد قابل ملاحظه ای تحت تاثیر قرار داد [۳].

Qian و همکارانش نیز طی مقاله ای نشان دادند که اگرچه ظرفیت خود ترمیم شوندگی ترک به عوامل متعددی بستگی دارد لیکن به طور کلی خودترمیمی میکروبی عاملی موثر در ترمیم ترک های ایجاد

شده بر روی بتن است. طی تحقیقات آن ها افزایش سازه ترک، ترمیم و تعمیر آن را سخت تر می کرد، لذا استفاده از عامل میکروبی در خودترمیمی را به عمق ترک ۰.۸ میلی متری محدود ساختند. در تحقیقات آن ها عمل آوری با آب بهترین روش برای بتن خودترمیم شونده توسط باکتری بود. به علاوه در تحقیق آن ها پارامتر نسبت ترمیمی ترک با افزایش سن ترک، کاهش یافت [۴]. Wang و همکارانش مقاله ای ارائه کردند که در آن باکتری اسپور ابتدا در هیدروژل کپسوله شده و سپس در داخل نمونه بتنی به منظور انجام عمل خودترمیمی گنجانده شده بود. آن ها نمونه هایی از ملات سیمان با استفاده از سیمان پرتلند معمولی ساختند که در آن نسبت شن به سیمان ۳ و نسبت آب به سیمان ۰/۵ بود. استفاده از باکتری به این روش برتری متمایزی نسبت به سایر روش ها داشت، زیرا در این حالت حداکثر عرض ترمیم ترک حدود ۰/۵ میلی متر بود و نفوذ آب تا میزان ۶۸٪ کاهش پیدا کرد [۵].

Jing Xu و همکارش نیز در زمینه تاثیر باکتری بر انجام عمل خودترمیم شوندگی به تحقیق و پژوهش پرداخته و مقاله ای را ارائه نمودند. آن ها استفاده از باکتری را روشی موثر در ترمیم بتن در آینده نیز اعلام نمودند [۶].

Sarah L. William و همکارانش تاثیر باکتری (چه از نوع با دوام و چه از نوع بی دوام) بر انجام عمل خودترمیمی را مطرح کردند و استفاده از آن ها را در بهبود عملیات ترمیم موثر دانستند [۷]. Virginie Wiktor و همکارش نشان دادند که اعمال دو مولفه ای شیمیایی- زیستی عامل خودترمیمی متشکل از مخلوط اسپور باکتریایی و لاکتات کلسیم می تواند بر روی بالا بردن ظرفیت خود ترمیم شوندگی بسیار موثر باشد. به علاوه اندازه گیری اکسیژن نشان داده است که ترکیب بتن با اسپور باکتری گنجانده شده در ذرات رس منبسط شده، سبب می شود باکتری های فعال، زنده باقی بمانند و چند ماه پس از ریختن بتن داخل قالب نیز به فعالیت خود ادامه دهند [۸].

Jonkers و همکارانش نیز در یافتند که استفاده از سنگ سیمانی که در داخل آن باکتری اسپور گنجانده شده است پس از نفوذ آب به داخل ترک قادر به تبدیل همزمان لاکتات کلسیم به کلسیم کربنات معدنی می باشد [۹]. بنابراین با توجه به تحقیقات انجام شده تاثیر باکتری باسیلوس ساب تیلیس در ترمیم ترک تحت پیچش انجام نشده است لذا این موضوع در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- روش تحقیق

به منظور بررسی اثر استفاده از باکتری باسیلوس ساب تیلیس در ترمیم بتن ابتدا شش عدد تیر بتن آرمه با آراماتورهایی به قطر ۸ میلی متر و خاموت هایی به قطر ۲،۵ میلی متر ساخته شد. لازم به ذکر است که در ساخت تیرها به منظور سهولت در اجرا و افزایش مقاومت بیشتر از بتن خودمتراکم از طرح اختلاطی مطابق جدول ۱ استفاده شده بود.



شکل ۳ قرار دادن محیط کشت در اتوکلاو به منظور از بین رفتن میکروب‌های احتمالی

سپس پس از خارج نمودن بشر محتوی محیط کشت باکتری ها از داخل اتوکلاو، باکتری از فریزر خارج شد و در داخل محیط کشت تزریق گردید (شکل ۴).



شکل ۴ تزریق باکتری به محیط کشت

سپس بشر محتوی محیط کشت و باکتری به مدت ۲ شبانه روز داخل لرزاننده قرار گرفت (شکل ۵) تا به غلظت دلخواه برسند



شکل ۵ قرار دادن باکتری همراه با محیط کشت در داخل لرزاننده به منظور تکثیر و رشد

پس از گذشت دوشبانه روز از قرار گرفتن بشر محتوی باکتری و محیط کشتش در لرزاننده، با اندازه گیری OD و رسیدن به عدد ۰,۲۱۳ (شکل ۶) باکتری آماده تزریق به داخل ترک گردید شد (شکل ۷).



شکل ۶ اندازه گیری OD باکتری‌ها

جدول ۱- طرح اختلاط بتن خودمتراکم استفاده شده (kg/m^3)

سیمان	۵۵۰
فوق روان کننده	۱۹,۵
شن	۵۵۰
پودر سنگ	۲۰۰
ماسه	۸۰۰
آب	۲۰۰

پس از ساخت تیرها آن‌ها در داخل محلول آب-آهک قرار داده شد تا به مقاومت ۵۶ روزه برسند. برای پرورش و تکثیر باکتری‌ها ابتدا مواد لازم برای ساخت محیط کشت آن‌ها وزن شد (شکل ۱) مواد تشکیل دهنده محیط کشت به شرح جدول ۲. بود.

جدول ۲- مصالح به کار رفته برای ساخت محل کشت باکتری‌ها

Tryptone(Kg)	۰,۰۰۵
NaCl(Kg)	۰,۰۰۵
Yeast extract(Kg)	۰,۰۰۲۵
Water(cc)	۵۰۰



شکل ۱ اندازه گیری مواد لازم جهت آماده سازی محیط کشت باکتری

سپس داخل مصالح وزن شده، آب مقطر ریخته شد و کاملاً با درپوش های آلومینیومی محفوظ گردید تا آلودگی و باکتری‌های دیگر وارد محیط کشت نشود (شکل ۲).



شکل ۲ آماده سازی محیط کشت باکتری

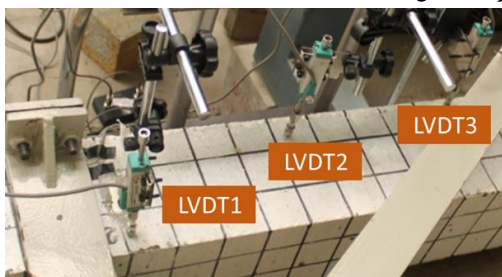
در مرحله بعد محیط کشت به مدت ۳۰ دقیقه داخل اتوکلاو قرار گرفت تا کاملاً استریل‌یزه گردد و از آلودگی‌ها پاک گردد (شکل ۳).

گردد. شکل ۸. شمایی از تیر بارگذاری شده با استفاده از این روش است.



شکل ۸ شمایی از سیستم اختراع شده به منظور اعمال نیروی پیچشی

از سویی دیگر برای به دست آوردن تغییر مکان تیر در اثر پیچش و همچنین به دست آوردن زاویه پیچشی دوران از سه عدد LVDT در سه نقطه از تیر یکی (LVDT1) در نزدیکی دستک که محل انتقال بار به تیر بتنی می باشد و دارای بیشترین تغییر مکان است، یکی (LVDT3) در وسط تیر لیکن در فاصله ای دور از تار خنثی و دیگری (LVDT2) در فاصله ی بین دو LVDT دیگر، استفاده گردید. (شکل ۹)



شکل ۹- LVDT های استفاده شده در پژوهش

در نتیجه با استفاده از دستگاه پیچشی اختراع شده اقدام به بارگذاری تیرها به این روش شد به این ترتیب که دوعدد از تیرها به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شده بود و تا مرحله رسیدن به حداکثر ظرفیت پیچشی بارگذاری شدند تا از این طریق ظرفیت پیچشی تیر بتنی ساخته شده به دست آید و ۴ عدد دیگر تا رسیدن به مرحله لنگر ترک خوردگی پیچشی که از طریق محاسبات انجام شده در محبت ۹ مقررات ملی ساختمان به دست آورده شده بود بارگذاری گردیدند. دو عدد از آن چهار تیر بارگذاری شده تا مرحله رسیدن به لنگر ترک خوردگی بارگذاری شده بودند توسط تزریق باکتری از طریق سرنگ انسولین ترمیم گشتند. (شکل ۱۰)



شکل ۱۰ باکتری آماده شده برای انجام ترمیم بتن به روش تزریق باکتری

پس از کشت باکتری به منظور ایجاد ترک پیچشی بر روی تیرها از دستگاهی که به شرح زیر اختراع شده بود استفاده گردید: دستگاه از دو عدد قوطی با طول و عرض ۰.۱۵ متر و ارتفاع ۰.۸ متر و ضخامت صفحه ۰.۰۱ متر تشکیل شده است، این قوطی ها توسط چهار عدد ورق فولادی که توسط جوش گوشه به هم متصل شده، ساخته شده و نورده شده نیستند. از انتهای این قوطی ها، دستک هایی فولادی به طول ۰.۳۵ متر قرار دارند. لازم به ذکر است که دو گوشه ی قوطی جوش داده شده و دو گوشه ی دیگر توسط پیچ هایی بر روی یکدیگر قرار گرفته اند. (این تعبیه به این منظور است که بتنی که داخل قوطی قرار می گیرد کاملاً محکم و چفت شود و امکان و احتمال حرکت بتن در داخل قالب از بین برود. پس از قرار دادن بتن به طور کامل در داخل قوطی (به این ترتیب که دستک ها در جهت مخالف یک دیگر در یک راستا قرار بگیرند) و سفت شدن پیچ های مذکور، یک تیر فولادی I شکل به طول ۱.۴ متر بر روی این دستک ها قرار می گیرد، کلیه سیستم به دستگاه جک خمش انتقال می یابد و با وارد آوردن بار به صورت متمرکز به قسمت وسط تیر I شکل و انتقال عکس العملش به دستک ها، تیر مذکور تحت نیروی پیچشی قرار می گیرد و پیچیده می شود و تحت زاویه ۴۵ درجه می شکنند. به علاوه داخل این قوطی ها، این قابلیت را دارد که با قرار دادن صفحه ای فلزی به همان ارتفاع ۰.۱۵ متر لیکن با ضخامت های متفاوت استفاده کرد تا از این طریق قادر بود که پیچش تیرها با ابعاد مختلف، اندازه گیری گردد.

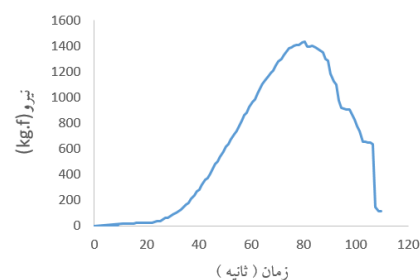
در نتیجه برای بارگذاری بدین صورت عمل می شود که ابتدا دو دستک در دو راس قطعه بتنی قرار می گیرند. دستک ها توسط چهار عدد پیچ فولادی تیر بتنی را مهار می کنند و با باز بسته کردن پیچ ها می توان موقعیت بتن داخل دستک را تنظیم نمود. نکته مهم در استفاده از پیچ ها کنترل مقاومت برشی آن ها به منظور جلوگیری از گسیختگی آن ها حین محکم کردن می باشد. پس از قرار گرفتن تیر I شکل بر روی دستک ها، اهرم عمودی جک انتقال خمش به مرکز IPE وارد می شود و با انتقال نیرو به دو انتهای دستک، تیر بتنی پیچیده می شود. نکته قابل توجه دیگر این است که نیرو بایستی به منظور اعمال بار متقارن، به مرکز تیر IPE شکل وارد



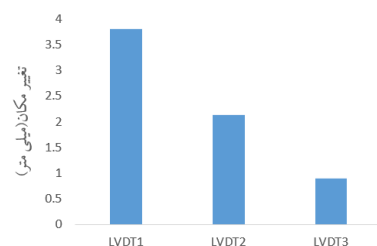
شکل ۱۰- تزریق باکتری به داخل ترک از طریق سرنگ انسولین
یافته‌ها

همانطور که ذکر گردید دو نمونه تیر بتنی ساخته شده به عنوان نمونه های شاهد بودند که برای به دست آوردن اطلاعات تجربی راجع به نحوه شکستن نمونه و مقاومت نهایی و محل ایجاد شکست و ترک بارگذاری شدند. لذا با قرار دادن دو نمونه مذکور تحت بارگذاری پیچشی تا مرحله شکست کامل و با میانگین گیری بین دو نمونه شاهد، اطلاعات شکست نمونه به دست آورده شد.

نمودار (الف) نمودار نیرو بر حسب زمان برای نمونه شاهد تا مرحله شکست نهایی و رسیدن به ظرفیت پیچشی نهایی می باشد، همانگونه که از شکل پیداست، نمونه در نیرویی برابر با عدد ۱۴۳۰,۶۶ کیلوگرم شکسته شده است و به ماکسیمم ظرفیت پیچشی خود رسیده است. نمودار (ب) نیز نمودار تغییر مکان قرائت شده برای LVDT های قرار گرفته بر روی نمونه شاهد می باشد. با توجه به این نمودار، نمونه شاهد در نزدیکی دستک ها که به علت انتقال عکس العمل نیروی پیچشی در آن محل دارای بیشترین تغییر مکان است، دارای تغییر مکانی برابر با ۳,۸ میلی متر (LVDT1) می باشد و در وسط تیر که به علت متقارن بودن نوع بارگذاری تغییر مکان کمتری را متحمل می شود دارای تغییر مکان ۰,۸۹۵ میلی متر (LVDT3) است و در فاصله ای بین این دو نیز تغییر مکانی برابر با ۲.۱۲ میلی متر (LVDT2) را دارد.



نمودار الف. نمودار نیرو بر حسب زمان برای نمونه شاهد

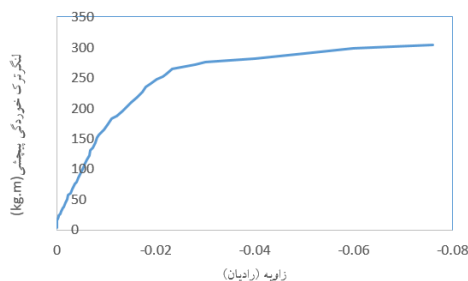


نمودار ب. نمودار میله ای برای سه LVDT استفاده شده برای نمونه شاهد

پروژه ای حاضر بررسی عملکرد بتن تحت نیروی پیچشی بود، لذا بررسی و مقایسه نمودار لنگر بر حسب زاویه پیچشی می توانست اطلاعات دقیق تری راجع به نحوه شکست در اختیارگذار و در نتیجه کار مقایسه با دقت بیشتری صورت گیرد.

به منظور کسب اطلاعات دقیق تر راجع به نیروی لازم برای ایجاد ترک به منظور ترمیم با روش های مختلف، محاسباتی مطابق مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان صورت گرفت و به دنبال آن نمودار لنگر پیچشی بر حسب زاویه پیچش برای نمونه شاهد رسم شد. که در آن لنگر برابر طول بازوی اندازه گیری شده ضربدر نصف نیروی قرائت شده بود. طول بازوی اندازه گیری برابر ۰,۴۲۵ متر است (فاصله آکس مکعب مربع دستکی که دور تا دور بتن قرار می گرد تا محل اعمال نیرو). و زاویه قرائت شده برابر فاصله LVDT1 تا آکس نمونه بتنی که تار خنثی نمونه نیز می باشد، تقسیم بر عدد قرائت شده از LVDT1 شماره ۱.

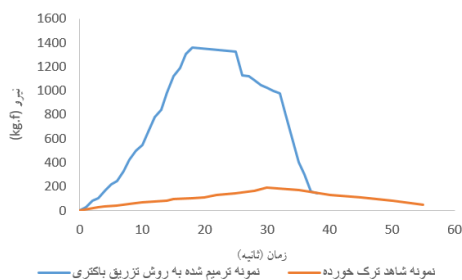
به طور مثال برای نمونه شاهد آخرین عدد قرائت شده از نیرو به هنگام گسیختگی نمونه برابر با ۱۴۳۰,۶۶ کیلوگرم بود. LVDT1 در این نیرو تغییر مکان ۳.۸ میلی متر را نشان می داد. در نتیجه میزان زاویه پیچشی برای این نقطه برابر با ۰,۰۷۶ رادیان، که از تقسیم این تغییر مکان بر فاصله LVDT1 از تار خنثی نمونه بتنی (۵۰ میلی متر) به دست می آید، بود. با ضرب میزان نیرو قرائت شده (۱۴۳۰,۶۶ کیلوگرم) در فاصله محل اعمال عکس العمل نیرو وارده بر روی یکی از دستک ها تا محل تار خنثی نمونه بتنی (۰,۴۲۵ متر) لنگر ترک خوردگی پیچشی برابر با ۳۰۴,۰۲ کیلوگرم متر به دست آمد. (نمودار ۲)



نمودار ۲- نمودار لنگر پیچشی بر حسب زاویه پیچشی برای نمونه شاهد. (ب) بارگذاری نمونه شاهد از لنگر ترک خوردگی

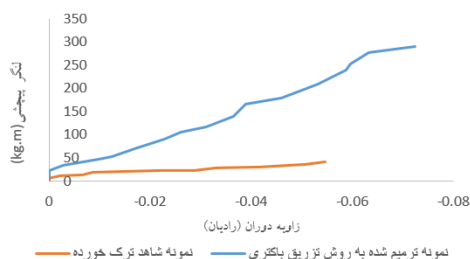
باتوجه به نمودار (۲) نمونه شاهد در لنگری برابر با ۳۴۰,۰۲ کیلوگرم متر، به حداکثر ظرفیت پیچشی نهایی خود رسیده است که معادل با زاویه ۰,۰۷۶ رادیان می باشد.

همانطور که مطرح شد، از بین ۶ تیر چهار عدد تا مرحله لنگر ترک خوردگی بارگذاری شده بودند و در دوتا آن ها ترمیم از طریق تزریق باکتری صورت گرفته بود، محاسبات لنگر ترک خوردگی پیچشی اعضای بتنی به فرمول جدول ۳. و با توجه به داده های لودسل و LVDT برای نمونه شاهد آورده شده است. مطابق این جدول لنگر ترک خوردگی در زاویه ۰,۰۲۳ رادیان، اتفاق می افتد. این عدد معادل نیروی ۱۲۴۶,۵ کیلوگرم می باشد.



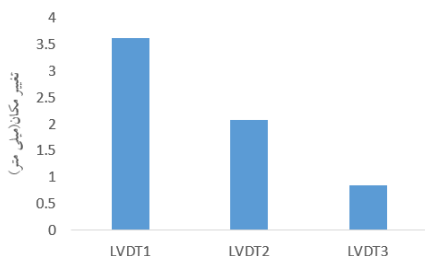
نمودار ۴ نمودار نیرو بر حسب زمان برای نمونه شاهد و نمونه ترمیم شده با روش تزریق باکتری

نمودار ۵. نمودار لنگر پیچشی بر حسب زاویه پیچش برای بارگذاری مجدد نمونه شاهد از مرحله لنگر ترک خوردگی (لنگر باقی مانده در بتن پس از بارگذاری تا مرحله لنگر ترک خوردگی) و نمونه ترمیم شده با روش تزریق باکتری است. مطابق نمودار، تیر یاد شده در لنگری برابر با ۲۸۹،۲۱ کیلوگرم متر و با زاویه ۰،۰۷ رادیان به حداکثر ظرفیت نهایی پیچشی خود رسیده است.



نمودار ۵ نمودار لنگر پیچشی بر حسب زاویه پیچش برای نمونه شاهد و نمونه ترمیم شده با روش تزریق باکتری

نمودار تغییر مکان برای هر کدام از LVDT های قرار گرفته بر روی تیر ترمیم شده به روش باکتری مطابق نمودار ۶ می باشد. با توجه به این نمودار تیر در نزدیکی محل دستک دارای بیشترین تغییر مکان به عدد ۳،۶۱۶ میلی متر و در وسط دهانه دارای کمترین تغییر مکان به عدد ۰،۸۴۵ میلی متر می باشد و در محلی ما بین این دو محل دارای تغییر مکانی به عدد ۲،۰۷۲ میلی متر می باشد.



نمودار ۶ نمودار تغییر مکان LVDT های استفاده شده برای نمونه ترمیم شده با روش باکتری

در نتیجه با توجه به نمودارها و توضیحات انجام شده روش استفاده از باکتری باسیلوس ساب تیلیس روشی مناسب برای تیرهای بتنی ترک خورده تحت نیروی پیچشی می باشد و استفاده از آن می تواند گامی مؤثر در صنعت ساختمان سازی باشد.

جدول ۳ محاسبه لنگر ترک خوردگی پیچشی با استفاده از روابط مبحث ۹

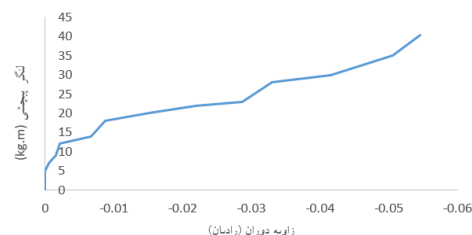
مقررات ملی ساختمان	
$b(m)$ عرض سطح مقطع	۰،۱۵
$d(m)$ طول سطح مقطع	۰،۱۵
$AC(m^2)$ مساحت سطح مقطع	۰،۰۲۵
ϕ_c	۰،۶۵
$P_c(m)$ محیط سطح مقطع	۰،۶
$f_c(\mu pa)$ مقاومت ۵۶ روزه نمونه بتنی	۶۱،۶
$V_c(\mu pa)$ مقاومت برشی نمونه بتنی	۱،۵۷
$T_{cr}(kg.m)$ لنگر ترک خوردگی پیچشی	۲۶۴،۸۹

در جدول ۳. T_{cr} و V_c به فرمول (۱) و (۲) می باشند.

$$T_{cr} = \frac{2Ac^2}{V_c * P_c} \quad (1)$$

$$V_{cr} = \sqrt{0.2fc} \quad (2)$$

از بین ۴ تیر که تا مرحله لنگر ترک خوردگی پیچشی بارگذاری شده بودند، دو تیر توسط باکتری تزریق و ترمیم شد و دوتیر باقی مانده دیگر مجدداً بارگذاری گشتند تا لنگر باقی مانده و ظرفیت پیچشی نهایی تیر ترک خورده نیز به دست آید. مطابق نمودار ۳، این تیر داری ظرفیت پیچشی نهایی ۴۰،۳۹ کیلوگرم متر می باشد.



بارگذاری نمونه شاهد از لنگر ترک خوردگی نمودار ۳ بارگذاری نمونه شاهد از لنگر ترک خوردگی

در مرحله بعد دو عدد تیری که توسط تزریق باکتری، ترمیم شده بودند، پس از یک روز از گذشت تزریق باکتری و کامل شدن فرآیند ترمیم، مجدداً تا مرحله ظرفیت پیچشی نهایی بارگذاری گردید. نمودار ۴. نمودار نیرو بر حسب زمان برای بارگذاری مجدد نمونه شاهد از مرحله لنگر ترک خوردگی (لنگر باقی مانده در بتن پس از بارگذاری تا مرحله لنگر ترک خوردگی) و نمونه ترمیم شده با روش باکتری است. مطابق این نمودار، تیر با این روش ترمیم در ۴۳امین ثانیه پس از شروع بارگذاری با بار ۱۳۶۰،۹۹ کیلوگرم به حداکثر ظرفیت نهایی پیچشی خود رسید. از مقایسه این نمونه با نمونه شاهد می توان نتیجه گرفت که روش فوق سبب افزایش مقاومت پیچشی سازه نسبت به نمونه ترک خورده شده است و در مدت زمان کمتری نسبت به نمونه شاهد به حداکثر مقاومت خود رسیده و زودتر از نمونه شاهد، واژگون گردیده است. به عبارتی روش فوق توانسته مقاومت بتن ترک خورده در برابر نیرو پیچشی وارده را ۷،۱۶ برابر کند.

biomineralizing bacteria used in self-healing concrete. *Construction and Building Materials*, 139, pp.611-618.

- [8] Wiktor, V. and Jonkers, H.M., 2011. Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33(7), pp.763-770.
- [9] Jonkers, H.M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O. and Schlangen, E., 2010. Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological engineering*, 36(2), pp.230-235.

۴- نتیجه گیری

این مطالعه با هدف بررسی تاثیر باکتری باسیلوس سابتیلیس در روش های خودترمیمی بتن صورت گرفت نتایج گرفته شده به قرار زیر است:

۱. استفاده از باکتری باسیلوس ساب تیلیس گامی موثر در ترمیم بتن می باشد و قادر به ترمیم ترک تا میزانی قابل ملاحظه است. این روش ترمیم قادر به افزایش مقاومت نمونه ترک خورده بتنی به میزان ۷,۱۶ برابر است و از سویی دیگر با مقایسه حداکثر مقاومت پیچشی نهایی این روش ترمیمی با ظرفیت پیچشی نمونه شاهد بارگذاری شده تا مرحله رسیدن به حداکثر ظرفیت پیچشی اش، میتوان این نتیجه را گرفت که استفاده از این روش قادر به تامین ۹۵ درصد مقاومت اولیه تیر بوده است.
۲. اعداد قرائت شده از LVDT ها گواه این موضوع است که تیر ترمیم شده با این روش دارای تغییر مکان کمتری نسبت به نمونه شاهد بارگذاری شده تا مرحله لنگر نهایی است لیکن با مقایسه این اعداد با اعداد حاصل از بارگذاری تیر ترک خورده تا مرحله لنگر نهایی مشاهده می شود که تیر ترمیم شده دارای تغییر مکان بیشتری بوده است.
۳. میزان زاویه پیچشی در تیر ترمیم شده بیشتر از تیر ترک خورده و کمتر از تیر نمونه شاهد است. و علت آن این است که با توجه به روابط مقاومت مصالح با افزایش لنگر ترک خوردگی میزان زاویه پیچشی نیز بیشتر می شود، از آنجائیکه زاویه پیچشی دارای رابطه مستقیم با تغییر مکان های حاصل از LVDT های استفاده شده در پژوهش داشت پس بزرگ بودن زاویه پیچش گواه تحمل لنگر بیشتر پیچشی و تبع انجام بهتر ترمیم می باشد.

۵- مراجع

- [۱] مرشد، ر. و م. س. زارعیان. ۱۳۹۰. "بتن خود ترمیم شونده." سومین کنفرانس بتن ایران. تهران
- [۲] Chen, H., Qian, C. and Huang, H., 2016. Self-healing cementitious materials based on bacteria and nutrients immobilized respectively. *Construction and Building Materials*, 126, pp.297-303.
- [۳] Luo, M. and Qian, C., 2016. Influences of bacteria-based self-healing agents on cementitious materials hydration kinetics and compressive strength. *Construction and Building Materials*, 121, pp.659-663.
- [۴] Luo, M., Qian, C.X. and Li, R.Y., 2015. Factors affecting crack repairing capacity of bacteria-based self-healing concrete. *Construction and building materials*, 87, pp.1-7.
- [۵] Wang, J.Y., Snoeck, D., Van Vlierberghe, S., Verstraete, W. and De Belie, N., 2014. Application of hydrogel encapsulated carbonate precipitating bacteria for approaching a realistic self-healing in concrete. *Construction and Building Materials*, 68, pp.110-119.
- [۶] Xu, J. and Yao, W., 2014. Multiscale mechanical quantification of self-healing concrete incorporating non-ureolytic bacteria-based healing agent. *Cement and concrete research*, 64, pp.1-10.
- [۷] Williams, S.L., Kirisits, M.J. and Ferron, R.D., 2017. Influence of concrete-related environmental stressors on



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



خودترمیم شونده
بررسی استفاده از باکتری باسیلوس ساب تیلیس در ترمیم بتن های

Investigating the efficiency and compressive strength of self-compacting mortar containing micro-silica and super-lubricant

Omid Bamshad *

MSc student, Faculty of Technical and Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding author's email address:
Omid.Bamshad@ut.ac.ir

Abstract

In recent years, self-compacting mortar is widely used in various parts of construction projects due to its high efficiency. The efficiency of self-compacting mortars depends on the composition used in the mixing plan and the characteristics of its components, such as the type of aggregates, super-lubricating quality, additives, etc. Also, to improve the properties of cement mortars, the use of additives such as fly ash, nano particles, etc. has become popular. Considering the importance of examining the mechanical properties and efficiency of cement mortars, in this study, the effect of microsilica and super-lubricant on the efficiency and compressive strength of self-compacting mortars has been investigated. The research results show that the addition of microsilica increases the compressive strength and reduces the small slump flow in the mortar. Also, the ratio of water to cement is one of the important parameters in increasing the short-term compressive strength, which has a greater effect than other parameters, and by reducing the ratio of water to cement, more compressive strength was obtained.

Keywords

Compressive resistance, self-compacting mortar, micro silica, super lubricant

بررسی کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم حاوی میکرو سیلیس و فوق روان کننده

امید بامشاد *

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰

چکیده

در سال‌های اخیر، ملات خودتراکم به دلیل کارایی بالا به صورت گسترده در قسمت‌های مختلف پروژه‌های ساختمانی استفاده می‌شود. کارایی ملات‌های خودتراکم به ترکیب استفاده شده در طرح اختلاط و ویژگی‌های اجزای آن مانند نوع سنگدانه‌ها، کیفیت فوق روان کننده، مواد افزودنی و ... بستگی دارد. همچنین برای ارتقا خصوصیات ملات‌های سیمانی، استفاده از انواع افزودنی مانند خاکستر بادی، نانو ذرات و ... رواج یافته است. با توجه به اهمیت بررسی خواص مکانیکی و کارایی ملات‌های سیمانی، در این مطالعه، به بررسی تاثیر میکروسیلیس و فوق روان کننده بر کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که افزودن میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری، و کاهش جریان اسلامپ کوچک در ملات می‌شود. همچنین نسبت آب به سیمان یکی از پارامترهای مهم در افزایش مقاومت فشاری کوتاه مدت است که نسبت به دیگر پارامترها تاثیر بیشتری دارد و با کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت فشاری بیشتری حاصل شد.

کلمات کلیدی

مقاومت فشاری، ملات خودتراکم، میکرو سیلیس، فوق روان کننده



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



SiO_2 , Fe_2O_3 و CuO انجام دادند و دریافتند که دوام و مشخصات مکانیکی ملات خود تراکم بهبود یافته است [۱۳]. محسنی و همکاران تحقیقاتی در مورد تاثیر نانوذرات Al_2O_3 ، SiO_2 و TiO_2 بر روی مشخصات ملات خودتراکم تازه و سخت شده حاوی خاکستر بادی انجام دادند و نشان دادند که مقاومت فشاری ملات خود تراکم حاوی SiO_2 ، Al_2O_3 و TiO_2 به ترتیب برابر با ۳، ۱ و ۵ درصد، در حالت بیشینه قرار دارد [۱۴]. بنلی و همکاران مطالعاتی را در مورد تاثیرات آب دریا و محلول MgSO_4 بر خواص مکانیکی ملات خودتراکم حاوی خاکستر بادی و میکروسیلیس انجام دادند و نشان دادند که نمونه هایی که در محلول MgSO_4 مستغرق بودند مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه هایی داشتند که در آب دریا مستغرق بودند [۱۵].

۲- برنامه‌ی آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

برای تمام نمونه های ملات سیمانی، از سیمان پرتلند تیپ II مطابق با استاندارد استفاده شده است [۱۶]. مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند تیپ II استفاده شده در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین از آب آشامیدنی برای ساخت و عمل آوری نمونه های ملات سیمانی استفاده شده است. علاوه، از ماسه شکسته به عنوان ریزدانه استفاده شده است که مدول نرمی، وزن مخصوص حالت اشباع

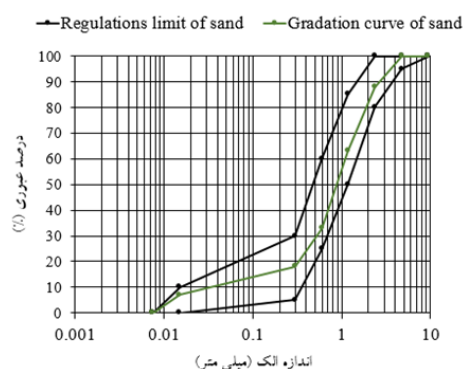
۱- مقدمه

در سال های اخیر، ملات خودتراکم به دلیل کارایی بالا به صورت گسترده در قسمت های مختلف پروژه های ساختمانی استفاده می شود. کارایی ملات های خودتراکم بسیار به ترکیب استفاده شده در طرح اختلاط و ویژگی های اجزای آن مانند نوع سنگدانه ها، کیفیت فوق روان کننده، مواد افزودنی و ... بستگی دارد [۱-۳]. در سال های اخیر برای ارتقا خصوصیات ملات های سیمانی، استفاده از انواع افزودنی مانند خاکستر بادی، نانو ذرات و ... در رواج یافته است [۴-۶]. همچنین در سال های اخیر مطالعاتی برای بررسی خواص مکانیکی و کارایی ملات های سیمانی انجام شده است [۷-۹]. مهدی خانی و رمضانپور مطالعاتی را در مورد روابط بین ویژگی های مختلف کارایی ملات خودتراکم انجام دادند [۱۰]. مهری نژاد خطبه سرا و همکاران به صورت آزمایشگاهی مطالعاتی را در مورد تاثیر نانوذرات ZrO_2 ، SnO_2 و CaCO_3 بر روی دوام، کارایی و مشخصات مکانیکی ملات خود تراکم حاوی خاکستر بادی انجام دادند و مشاهده کردند که مقاومت فشاری و دوام نمونه های ملات خودتراکم افزایش یافته و کارایی آن کاهش یافته است [۱۱]. همچنین مهری نژاد خطبه سرا و همکاران به صورت آزمایشگاهی مطالعاتی را در مورد تاثیر خاکستر بادی و نانوذرات CuO بر روی خواص ملات خودتراکم تازه و سخت شده انجام دادند و مشاهده کردند که مشخصات مکانیکی ملات به صورت قابل توجهی بهبود یافته است [۱۲]. مدن دوست و همکاران مطالعاتی در مورد دوام ملات های خودتراکم حاوی

(gr/cm³) و جذب آب (%) آن بر اساس استاندارد به ترتیب برابر با ۲/۶۳، ۳/۳۵ و ۳/۲۸ بوده است [۱۷]. نمودار دانه بندی ریزدانه استفاده شده بر اساس استاندارد در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۸]. همچنین از پودر کوارتز گذرنده از الک ۳۲۵ نیز به عنوان پرکننده استفاده شده است. برای افزایش مقاومت فشاری نمونه های ملات سیمانی، از میکروسیلیس استفاده شده است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین برای حفظ کارایی و یکپارچگی نمونه های ملات سیمانی، از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوسیلیات با وزن مخصوص ۲۵/۱ kg/lit مطابق با استاندارد استفاده شده است [۱۹].

جدول ۱ مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند تیپ

ترکیبات شیمیایی	
SiO ₂ (%)	۲۱/۲۴
Al ₂ O ₃ (%)	۵/۲۱
Fe ₂ O ₃ (%)	۴/۳۱
CaO (%)	۶۲/۹۳
MgO (%)	۱/۶۴
SO ₃ (%)	۲/۱۲
Na ₂ O (%)	۰/۲۸
K ₂ O (%)	۰/۶۳
IR (%)	۰/۳۱
LOI (%)	۱/۳۳
مشخصات فیزیکی	
چگالی (gr/cm ³)	۳۲۹۸
انسپات اتوکلاو (%)	۰/۲۱
زمان گیرش اولیه (min)	۱۱۵
زمان گیرش نهایی (min)	۱۸۵



شکل ۱ نمودار دانه بندی ریزدانه

جدول ۲ مشخصات شیمیایی و فیزیکی میکروسیلیس

ترکیبات شیمیایی	
SiO ₂ (%)	۹۵-۹۳
Al ₂ O ₃ (%)	۰/۶-۱/۲
Fe ₂ O ₃ (%)	۰/۳-۱/۳
C (%)	۰/۲-۰/۴
Na ₂ O (%)	۰/۵۵-۰/۶
K ₂ O (%)	۰/۹-۱/۱
MgO (%)	۰/۱-۰/۲
S (%)	۰/۰۴-۰/۰۸
CaO (%)	۰/۲-۰/۶

MnO (%)	۰/۰۲-۰/۰۷
pH	۶/۶-۸/۸
مشخصات فیزیکی	
شکل	دانه ای
اندازه (μm)	۲۲۹
سطح مخصوص (m ² /kg)	۲۵۰۰۰-۲۰۰۰۰
وزن مخصوص (gr/cm ²)	۲/۱-۱/۹
چگالی (kg/ m ³)	۳۰۰-۲۸۰
(°) نقطه ذوب	۱۲۳۰

۲-۲- طرح مخلوط و ساختن نمونه ها

در هر یک از طرح های اختلاط، مصالح خشک از جمله ماسه، سیمان و میکروسیلیس در مدت ۱ دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. سپس آب و فوق روان کننده به تدریج در داخل مخلوط ریخته شده و به مدت ۴ دقیقه در داخل میکسر مخلوط شدند. در نهایت، بعد از ۵ دقیقه از آغاز عملیات مخلوط کردن، آزمایشات کارایی ملات خودتراکم انجام گرفت. همچنین برای انجام آزمایش مقاومت فشاری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه، ملات خودتراکم در داخل قالب های مکعبی ۵ سانتی متری ریخته شدند. طرح های اختلاط در نظر گرفته شده در جدول (۳) نشان داده شده است.

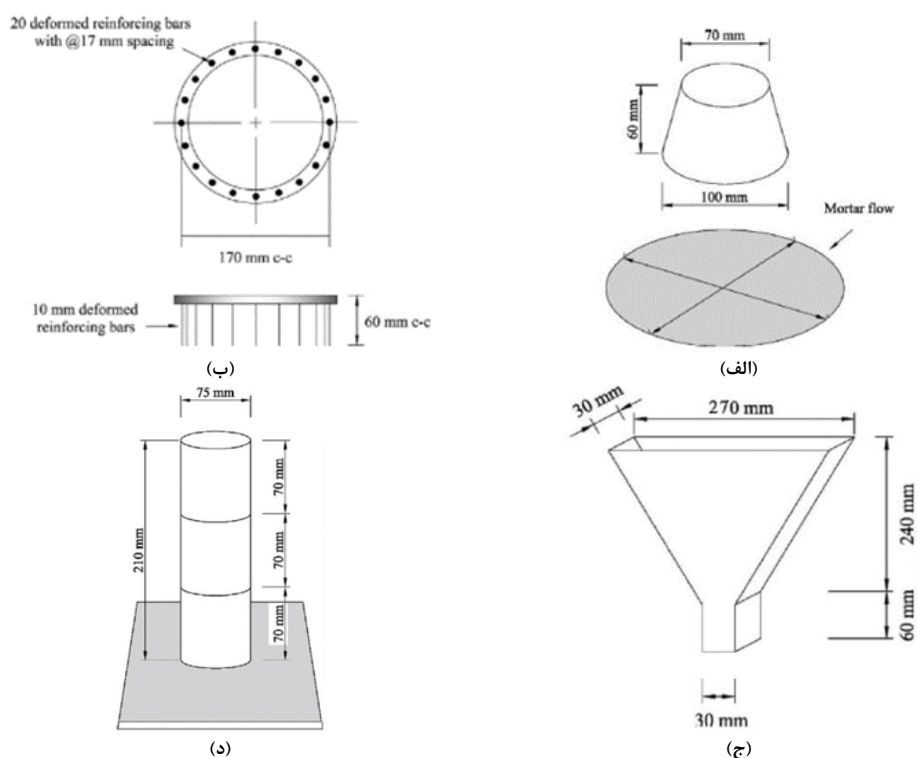
۳- روش آزمایش

در این مطالعه، کارایی نمونه های ملات خودتراکم با استفاده از آزمایشات مختلف شامل آزمایش جریان اسلامپ کوچک، آزمایش حلقه J کوچک، آزمایش قیف V کوچک، آزمایش T20 و آزمایش ستون جداسازی کوچک بدست آمد. تمام آزمایش های ذکر شده بر اساس استاندارد انجام شد [۲۰]. آزمایش جریان اسلامپ کوچک با استفاده از یک مخروط ناقص که در شکل (۲) نشان داده شده است، انجام شد. در این آزمایش ملات تازه داخل مخروط ناقص ریخته شده و پس از بالا کشیدن مخروط، قطر ملات در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری شده و میانگین گیری شد. همچنین زمانی که نیاز است تا قطر ملات به عدد ۲۰ سانتی متر برسد به عنوان مقدار T20 در نظر گرفته شد. آزمایش حلقه J کوچک با استفاده از یک مخروط ناقص که داخل حلقه J قرار دارد انجام شد (شکل (۲)). و پس از بالا کشیدن مخروط، قطر ملات در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری شده و میانگین گیری شد. آزمایش قیف V کوچک برای تعیین ویسکوزیته ملات خودتراکم انجام شد. زمان لازم برای تخلیه قیف V شکل به عنوان زمان جریان قیف V کوچک ثبت شد. در شکل ۲، ابزار آزمایش قیف V کوچک به صورت شماتیک نشان داده شده است. آزمایش ستون جداسازی کوچک برای کنترل پیوستگی ملات خودتراکم انجام شد. با وجود اینکه استاندارد مشخصی برای این آزمایش وجود ندارد، اما بر اساس مطالعات انجام شده توسط مهدی پور و همکاران [۲۱] و لبره و همکاران [۲۲]، از ابزاری شبیه ابزار توصیه شده توسط استاندارد (ASTM C 1610/C 1610M-06a 2009) [۲۳] استفاده شد (شکل (۲)). در این آزمایش، ملات خودتراکم داخل ستون جداسازی ریخته شده و پس از ۱۵ دقیقه، قسمت های بالایی و پایینی ستون جداسازی از هم جدا شده و ملات محتوی در داخل الک شماره ۵۰ شسته شد. سپس وزن ملات باقیمانده پس از خشک شدن داخل اون ۱۱۰ درجه سانتی گراد، اندازه گیری شد. نهایتا با استفاده از رابطه (۱)، شاخص جداسازی اندازه گیری شد.

(۱) $SI = 2 \left[\frac{([CA]_B - [CA]_T)}{([CA]_B + [CA]_T)} \right] \times 100$
 که در آن، CAB و CAT به ترتیب جرم مواد باقیمانده بر روی الک شماره ۵۰ برای قسمت های پایینی و بالایی ستون جداسازی است. همچنین، آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی ۵ سانتی متری بر اساس استاندارد (ASTM C 109/C 109M-02 2000) [۲۴] انجام شد. پس از ریختن ملات داخل قالب ها، با استفاده از گونی مرطوب به مدت ۲۴ ساعت پوشانده شدند. سپس برای انجام آزمایش مقاومت فشاری، به مدت ۷، ۱۴ و ۲۸ روز داخل تانک آب با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. در هر سن، آزمایش مقاومت فشاری بر روی سه نمونه انجام شد و میانگین گیری شد.

جدول ۳ طرح اختلاط ملات‌های خودتراکم

نام طرح اختلاط	W/C	میکروسیلیس (%) MS	سیمان (kg/m ³) C	فوق روان کننده (%) SP
M1	۰/۳۸	۰	۶۵۰	۰/۳
M2	۰/۳۸	۳	۷۰۰	۰/۳۳
M3	۰/۳۸	۶	۷۵۰	۰/۳۶
M4	۰/۴۱	۰	۷۰۰	۰/۳۶
M5	۰/۴۱	۳	۷۵۰	۰/۳
M6	۰/۴۱	۶	۶۵۰	۰/۳۳
M7	۰/۴۴	۰	۷۵۰	۰/۳۳
M8	۰/۴۴	۳	۶۵۰	۰/۳۶
M9	۰/۴۴	۶	۷۰۰	۰/۳
M10	۰/۳۸	۳	۷۵۰	۰/۳
M11	۰/۳۸	۰	۶۵۰	۰/۳۶
M12	۰/۳۸	۶	۷۰۰	۰/۳۶
M13	۰/۴۱	۶	۷۰۰	۰/۳۳
M14	۰/۴۱	۳	۷۰۰	۰/۳۶
M15	۰/۴۱	۰	۶۵۰	۰/۳
M16	۰/۴۴	۶	۷۵۰	۰/۳۳
M17	۰/۴۴	۳	۶۵۰	۰/۳۳
M18	۰/۴۴	۰	۷۰۰	۰/۳



شکل ۲ شماتیک آزمایش‌های (الف) جریان اسلامپ کوچک (ب) حلقه کوچک (ج) قیف کوچک (د) ستون جداسازی کوچک

۴- نتایج

نتایج آزمایشات کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم تازه و سخت شده در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج، کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم آزمایش شده در محدوده توصیه شده توسط استاندارد قرار گرفته است [۲۰]. بر اساس نتایج،

با افزایش مقدار میکروسیلیس و فوق روان‌کننده، کارایی ملات خودتراکم تازه کاهش و پیوستگی و مقاومت فشاری ۱۴٫۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های ملات خودتراکم سخت شده افزایش پیدا کرده است. همچنین با افزایش مقدار آب به سیمان، کارایی ملات خودتراکم تازه افزایش و مقاومت فشاری ۱۴٫۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های ملات خودتراکم سخت شده کاهش پیدا کرده است. برای تخمین کارایی و مقاومت فشاری ملات

خودتراکم با درصد های مختلف میکروسیلیس، فوق روان کننده، سیمان و آب به سیمان، روابط درجه دوم ارائه شده است (روابط (۹-۲)) و دقت روابط با مقادیر بدست آمده از آزمایش در شکل ۳ مقایسه شده است. با توجه به شکل (۳) و ضریب R^2 ارائه شده در روابط (۹-۲)، مشاهده می شود که روابط ارائه شده از دقت مناسبی برخوردارند.

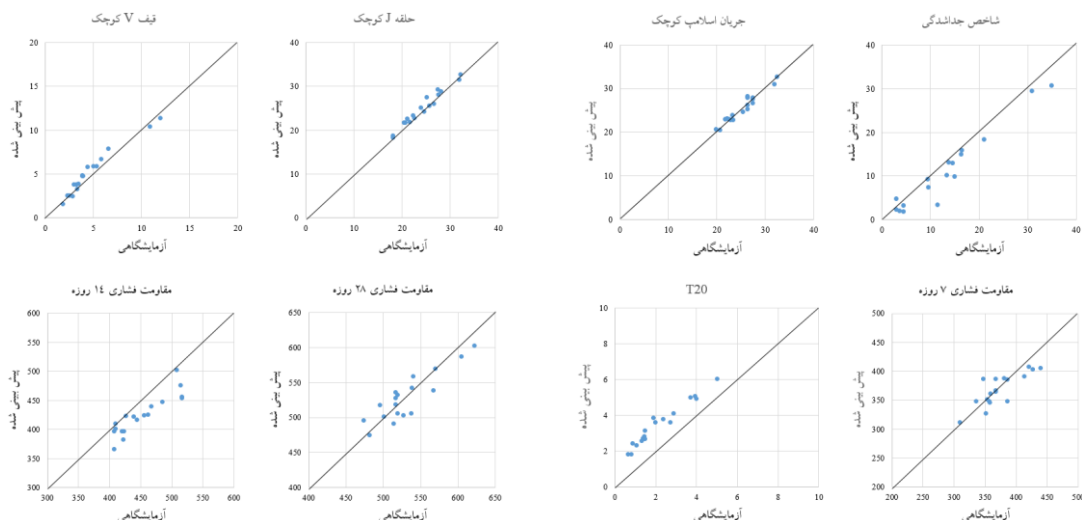
همانطور که از روابط (۹-۲) مشاهده می شود، تاثیر مقدار فوق روان کننده در آزمایش های جریان اسلامپ کوچک، حلقه J کوچک، ستون جداسازی کوچک، T20 و مقاومت فشاری ۲۸ روزه نسبت به سایر متغیرها، بیشتر بوده است و در سایر آزمایش ها، مقدار آب به سیمان نسبت به سایر متغیرها، بیشترین تاثیر را دارد.

جدول ۴ نتایج آزمایشات کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم

نام طرح اختلاط	اسلامپ کوچک (cm)	قیف V کوچک (sec)	حلقه J کوچک	شاخص جداسازی	T20 (sec)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)		
						۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
M1	20.0	12.00	18.25	4.50	5.05	347.6	410.7	517.3
M2	23.0	5.08	21.75	9.60	2.38	421.3	468.0	622.7
M3	27.5	4.44	26.75	15.10	1.90	368.0	509.3	517.3
M4	32.0	3.91	32.00	35.00	1.40	354.7	421.3	520.0
M5	26.5	3.40	25.80	4.60	1.50	368.0	485.3	570.7
M6	20.8	3.98	18.25	3.10	4.02	357.3	456.0	568.0
M7	32.5	3.50	32.25	31.00	1.50	310.7	440.0	474.7
M8	27.5	3.28	28.25	3.10	0.67	386.7	410.7	482.7
M9	23.5	2.38	22.70	3.70	1.08	360.0	408.0	501.3
M10	22.2	5.85	21.2	0.11	2.92	428.2	514.7	605.3
M11	26.5	10.9	24	16.6	3.73	414	462.7	527.7
M12	23.3	5.43	22.4	13.5	2.74	440.1	517.3	520
M13	22.7	2.54	20.8	14.7	2.02	336.3	427.3	541
M14	26.5	2.88	27.5	16.4	0.84	381.1	445.3	538.7
M15	21.8	6.63	20.5	9.7	3.97	386.8	423.3	517.3
M16	26.4	1.86	25.2	13.9	1.35	352.4	517.3	538
M17	25.5	3.06	24.7	11.6	1.46	368	424	496
M18	27.5	3.93	27.7	21.2	0.89	358.2	408.7	514.7

جدول ۵ مقایسه نتایج تجربی و پیش بینی شده

$Mini slump = -10.92 + 123.98 (W/C) - 60.31(W/C)^2 - 1.06 (MS) + 0.04 (MS)^2 - 0.008 (C) - 199.79 (SP) + 444.87 (SP)^2$	(۲)
$R^2 = 0.939$	
$Mini V funnel = 552.14 - 1231.28 (W/C) + 1414.31(W/C)^2 - 1.17 (MS) + 0.13 (MS)^2 - 0.61 (C) - 323.86 (SP) + 467.75 (SP)^2$	(۳)
$R^2 = 0.949$	
$Mini J ring = -10.26 + 81.40 (W/C) + 20.89(W/C)^2 - 0.60 (MS) - 0.04 (MS)^2 + 0.28 (C) - 843.32 (SP) + 1440.17 (SP)^2$	(۴)
$R^2 = 0.962$	
$SI = -2170.03 + 1839.56 (W/C) - 2148.49(W/C)^2 - 7.80 (MS) + 0.84 (MS)^2 + 3.14 (C) + 3851.46 (SP) - 5511.29 (SP)^2$	(۵)
$R^2 = 0.948$	
$T20 = 97.86 + 118.76 (W/C) - 191.49(W/C)^2 - 0.58 (MS) + 0.09 (MS)^2 - 0.45 (C) + 337.94 (SP) - 538.19 (SP)^2$	(۶)
$R^2 = 0.960$	
$CS (7 day) = 4395.29 - 17709.3 (W/C) + 20765.04(W/C)^2 + 21.35 (MS) - 3.14 (MS)^2 + 5.21 (C) - 12476.2 (SP) + 18992.16 (SP)^2$	(۷)
$R^2 = 0.741$	
$CS (14 day) = 5690.49 - 6293.57 (W/C) + 6778.67(W/C)^2 + 7.70 (MS) - 0.40 (MS)^2 - 12.70 (C) + 2352.23 (SP) - 3182.49 (SP)^2$	(۸)
$R^2 = 0.804$	
$CS (28 day) = -7440.4 + 12891.17 (W/C) - 17039.2(W/C)^2 + 22.73 (MS) - 3.51 (MS)^2 + 7.13 (C) + 18865.08 (SP) - 29424.0 (SP)^2$	(۹)
$R^2 = 0.778$	



شکل ۳ مقایسه نتایج تجربی و پیش بینی شده

the high strength self-compacting concrete. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 125, pp.18-32.

- [10] Mahdikhani, M. & Ramezani-pour, A.A., 2015. New methods development for evaluation rheological properties of self-consolidating mortars. CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS, 75, pp.136-143. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.094>.
- [11] Mehrinejad Khotbehsara, M. et al., 2018. Effect of SnO₂, ZrO₂, and CaCO₃ nanoparticles on water transport and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash: Experimental observations and ANFIS predictions. Construction and Building Materials, 158, pp.823-834. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.067>.
- [12] Mehrinejad Khotbehsara, M. et al., 2015. Effect of nano-CuO and fly ash on the properties of self-compacting mortar. Construction and Building Materials, 94, pp.758-766. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.063>.
- [13] Madandoust, R. et al., 2015. An experimental investigation on the durability of self-compacting mortar containing nano-SiO₂, nano-Fe₂O₃ and nano-CuO. Construction and Building Materials journal, 86, pp.44-50.
- [14] Mohseni, E. et al., 2015. Single and combined effects of nano-SiO₂, nano-Al₂O₃ and nano-TiO₂ on the mechanical, rheological and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash. Construction and Building Materials, 84, pp.331-340.
- [15] Benli, A., Karatas, M. & Gurses, E., 2017. Effect of sea water and MgSO₄ solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash /silica fume. Construction and Building Materials journal, 146, pp.464-474.
- [16] ASTM C 150-07, 2008. Standard Specification for Portland Cement, American Society for Testing and Materials.
- [17] ASTM C 128-01, 2003. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, American Society for Testing and Materials.
- [18] ASTM C 136-01, 2001. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials.
- [19] ASTM C494/C494M-17, 2002. Standard specification for chemical admixtures for concrete, American Society for Testing and Materials.
- [20] EFNARC, 2005. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete,
- [21] Mehdipour, I. et al., 2013. Effect of mineral admixtures on fluidity and stability of self-consolidating mortar subjected to prolonged mixing time. Construction and Building Materials, 40, pp.1029-1037.
- [22] Libre, N.A., Khoshnazar, R. & Shekarchi, M., 2010. Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures. Construction and Building Materials, 24(7), pp.1262-1271.
- [23] ASTM C 1610/C 1610M-06a, 2009. Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using, American Society for Testing and Materials.
- [24] ASTM C 109/C 109M-02, 2000. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), American Society for Testing and Materials.

۵- جمع بندی و خلاصه

در این مطالعه، به بررسی تاثیر میکروسلیس و فوق روان کننده بر کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم پرداخته شد و نتایج زیر حاصل شد.

۱. افزودن میکروسلیس باعث افزایش مقاومت فشاری، و کاهش جریان اسلامپ کوچک در ملات می شود.
۲. نسبت آب به سیمان یکی از پارامترهای مهم در افزایش مقاومت فشاری کوتاه مدت است که نسبت به دیگر پارامترها تاثیر بیشتری دارد و با کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت فشاری بیشتری حاصل شد.
۳. با توجه به پیش بینی های انجام شده و نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی بین این دو خروجی داده ها وجود دارد و اختلاف ناچیز است.
۴. تاثیر مقدار فوق روان کننده در آزمایش های جریان اسلامپ کوچک، حلقه کوچک، ستون جدانشدگی کوچک، T20 و مقاومت فشاری ۲۸ روزه نسبت به سایر متغیرها، بیشتر بوده است و در سایر آزمایش ها، مقدار آب به سیمان نسبت به سایر متغیرها، بیشترین تاثیر را دارد.

۶- مراجع

- [1] Sahmaran, M., Christianto, H.A. & Yaman, I.O., 2006. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. Cement & Concrete Composites, 28, pp.432-440.
- [2] Nunes, S. et al., 2013. Mixture design of self-compacting glass mortar. Cement & Concrete Composites, 43, pp.1-11.
- [3] Nepomuceno, M., Oliveira, L. & Lopes, S.M.R., 2012. Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders. Construction and Building Materials, 26, pp.317-326.
- [4] Güneş, E. et al., 2015. Utilization of cold bonded fly ash lightweight fine aggregates as a partial substitution of natural fine aggregate in self-compacting mortars. Construction and Building Materials, 74, pp.9-16.
- [5] Yaseri, S. et al., 2018. The development of new empirical apparatuses for evaluation fresh properties of self-consolidating mortar: a theoretical and experimental study. Construction and Building Materials, 167, pp.631-648.
- [6] Rizwan, S.A. & Bier, T.A., 2012. Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars. Construction and Building Materials, 27, pp.398-403.
- [7] Eskandari-naddaf, H. & Kazemi, R., 2018. Experimental evaluation of the effect of mix design ratios on compressive strength of cement mortars containing cement strength class 42.5 and 52.5 MPa. Procedia Manufacturing, 22, pp.392-398.
- [8] Aziminezhad, M., Mahdikhani, M. & Memarpour, M.M., 2018. RSM-based modeling and optimization of self-consolidating mortar to predict acceptable ranges of rheological properties. Construction and Building Materials, 189, pp.1200-1213.
- [9] Simsek, B., Tansel, Y. & Simsek, E.H., 2013. A TOPSIS-based Taguchi optimization to determine optimal mixture proportions of

System Dynamics Method: A Comprehensive Approach to Performance Management in Construction Projects

روش پویایی سیستم: رویکردی جامع برای مدیریت عملکرد در پروژه های ساخت

Shohreh Moradi

Master Student, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

Ramin Ansari*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

Roohollah Taherkhani

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

شهره مرادی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

رامین انصاری*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

روح اله طاهرخانی

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*Corresponding author's email address:

raminansari@edu.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۱

Abstract

Today, the construction industry has become one of the mother industries, which forms a wide range of related industries. Rapid changes in the construction environment require different efforts for a company or organization to survive and grow, and their life depends on how they manage their projects correctly. The success of construction projects is one of the main goals of project managers. One of the ways to evaluate and control project success is to apply project performance management. According to the existing conditions, companies and organizations recognize the importance of performance evaluation to improve their competitiveness. Therefore, in this research, by reviewing and reviewing the research literature related to project performance evaluation, the most key indicators of performance measurement have been identified and presented. According to the calculations and investigations, the most important key indicators are: safety, cost, quality, schedule, productivity, customer satisfaction, profitability, team satisfaction, environment and sustainability. Also, considering that construction projects are always progressing and becoming more complex and have many linear and non-linear relationships and structures, these projects can be considered a type of dynamic systems. System dynamics has been used for nearly four decades to analyze and improve the performance of construction projects. Therefore, another part of this research deals with the application of system dynamics in the performance management of construction projects and shows the use and evolution of this method in recent years. Studies show that the correct management of project performance and the use of the system dynamics method in this field have a great impact on the success and improvement of the performance of construction projects. Examining the models presented in recent years and their growth and progress in the field of project performance management and their impact on the success of the project is indicative of this.

Keywords

Performance management, construction projects, key performance indicators, system dynamics, project success

چکیده

امروزه صنعت ساخت و ساز، به یکی از صنایع مادر تبدیل شده است که طیف گسترده ای از صنایع وابسته را تشکیل می دهد. تغییرات سریع در محیط ساخت و ساز برای یک شرکت یا سازمان نیاز به تلاشهای مختلفی برای زنده ماندن و رشد دارد و حیاتشان به نحوه مدیریت صحیح آنها در انجام پروژه هایشان بستگی دارد. موفقیت پروژه های ساخت یکی از اهداف اصلی مدیران پروژه است. یکی از راههای ارزیابی و کنترل موفقیت پروژه، اعمال مدیریت عملکرد پروژه است. با توجه به شرایط موجود، شرکت ها و سازمان ها اهمیت ارزیابی عملکرد را برای بهبود رقابت خود تشخیص می دهند. از این رو در این تحقیق با مرور و بررسی ادبیات تحقیق مربوط به ارزیابی عملکرد پروژه ها، کلیدی ترین شاخص های اندازه گیری عملکرد، شناسایی و ارائه شده است. طبق محاسبات و بررسی های انجام شده مهمترین شاخصهای کلیدی به ترتیب اولویت عبارتند از: ایمنی، هزینه، کیفیت، زمانبندی، بهره وری، رضایت مشتری، سودآوری، رضایت تیم، محیط زیست و پایداری. همچنین، با توجه به اینکه پروژه های ساخت و ساز همواره در حال پیشرفت و پیچیده تر شدن و دارای روابط و ساختارهای خطی و غیر خطی زیادی هستند، می توان این پروژه ها را نوعی از سیستمهای پویا به شمار آورد. پویایی سیستم نزدیک به چهار دهه است که برای تحلیل و بهبود عملکرد پروژه های ساخت بکار رفته است. از این رو بخش دیگری از این تحقیق به کاربرد پویایی سیستم در مدیریت عملکرد پروژه های ساخت پرداخته و سیر استفاده و تکامل این روش را طی سال های اخیر نشان می دهد. مطالعات نشان می دهد که مدیریت صحیح عملکرد پروژه و استفاده از روش پویایی سیستم در این زمینه، تاثیر زیادی بر موفقیت و بهبود عملکرد پروژه های ساخت و ساز دارد. بررسی مدلهای ارائه شده طی سالهای اخیر و رشد و پیشرفت آنها در زمینه مدیریت عملکرد پروژه و تاثیرشان بر موفقیت پروژه گویای این مطلب است.

کلمات کلیدی

مدیریت عملکرد، پروژه های ساخت و ساز، شاخص های کلیدی عملکرد، پویایی سیستم، موفقیت پروژه



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



۱- مقدمه

موفقیت پروژه های ساخت هدف اصلی مدیران پروژه است. با این حال تعریف و ارزیابی آن چندین سال است که موضوع حل نشده بحث و گفتگوها است. از آنجایی که صنعت ساخت و ساز یک عنصر کلیدی پیشرفت و توسعه کشور است، موفقیت در اجرای پروژه های مربوط به این صنعت باید مورد توجه خاصی قرار بگیرد [۱]. گرچه تعریف موفقیت پروژه برای هر یک از ذینفعان متفاوت است، اما مفهوم کلی آن بر پایه دستیابی به اهداف اصلی و انتظارات پروژه است. یکی از راه های بررسی، ارزیابی و کنترل موفقیت پروژه، اعمال مدیریت عملکرد پروژه است. در واقع عملکرد پروژه زیرمجموعه ای از موفقیت پروژه است [۲].

پیش بینی دقیق و قابل اطمینان از عملکرد پروژه برای موفقیت پروژه های ساختمانی حیاتی است. چنین پیش بینی هایی در دستیابی به هشدارهای اولیه مشکلات بالقوه تأثیر بسزایی دارد. در صنعت ساخت مدیران پروژه باید بتوانند پیش بینی های قابل اطمینانی در مورد وضعیت آینده پروژه انجام دهند. چنین پیش بینی هایی ممکن است به پیمانکاران در کنترل پروژه ها در مرحله ساخت کمک کند و هشدارهای اولیه در برابر مشکلات بالقوه به آنها بدهد [۳]. همچنین ارزیابی موفقیت پروژه یک ابزار مفید برای صنعت ساخت و ساز در زمینه تلاش برای مدیریت، کنترل و بهبود سیاستها و پیش بینی موفقیت آینده پروژه ها است [۴].

یافتن مفهوم موفقیت پروژه دشوار است، زیرا پروژه ها پیچیده و پویا هستند. تعری این مفهوم می تواند بسته به نوع صنعت، تیم پروژه و یا دیدگاه افراد متفاوت باشد [۵]. یک معمار ممکن است موفقیت را از نظر ظاهر زیبایی شناختی، یک مهندس ممکن است از نظر صلاحیت فنی، یک حسابدار از نظر هزینه های صرف شده طبق بودجه، یک مدیر منابع انسانی از نظر رضایت کارکنان و مقامات اجرایی از نظر سهام بازار، ارزیابی کنند [۶]. در سالهای گذشته تعریف ساده برای موفقیت پروژه تنها بر اساس مراحل پیاده سازی چرخه عمر پروژه بود. اما در حال حاضر برای تعری موفقیت پروژه از ابتدا تا انتهای مراحل و چرخه عمر پروژه مورد نیاز است [۷].

۲- ادبیات تحقیق

در واقع تعریف مدیریت پروژه بر پایه مفهوم اصلی، موفقیت کلی اهداف و انتظارات پروژه است. این اهداف و انتظارات شامل: مسائل فنی، مالی، آموزشی، اجتماعی و حرفه ای است. موفقیت پروژه پایه ای برای مدیریت و کنترل پروژه های فعلی و برنامه ریزی و هدایت پروژه های آینده است [۴]. بعدها با پیشرفت تحقیقات، موفقیت پروژه به دو جزء: (۱) موفقیت مدیریت پروژه و (۲) موفقیت محصول پروژه تقسیم بندی شد.

در همین زمینه، در سال ۲۰۱۲ یک مدل جامع برای ارزیابی موفقیت پروژه های ساختمانی (با در نظر گرفتن دو جزء موفقیت: مدیریت پروژه و محصول پروژه) توسعه داده شد [۸]. نتایج تحقیق نشان داد که این مدل جامع کمی در کنار قضاوت ذهنی و کارشناسانه می تواند به عنوان یک ابزار قابل اعتماد برای پیمانکاران بکار گرفته شود

و موفقیت پروژه را تعیین کند. برای ارزیابی موفقیت پروژه ها از گذشته تا کنون از معیارهای متفاوتی بهره گرفته شده است. به طور سنتی در گذشته از سه معیار هزینه، زمان و کیفیت استفاده می شد. اما بسیاری از محققان معتقدند که موفقیت تنها از طریق این سه معیار قابل اندازه گیری نیست، زیرا موفقیت پروژه ها مقوله پیچیده تری است [۹]. با مرور نتایج مطالعات اخیر میتوان دریافت که مثلث آهنین مدیریت پروژه، دیگر به تنهایی پاسخگوی تمامی نیازهای مدیر پروژه در زمینه کنترل همه جانبه عملکرد پروژه نیست؛ زیرا در پروژه های پیچیده امروزی لازم است تا ابعاد دیگر عملکرد مانند: ایمنی، محیط زیست و ذینفعان نیز توسط مدیر پروژه ارزیابی شوند [۱۰].

گروهی از محققان در سال ۱۹۹۱ استدلال کردند که این سه مقوله (زمان، هزینه و کیفیت) کافی نیست و عوامل دیگری مانند کیفیت روابط بین طرفین و انعطاف پذیری برای ترکیب تغییرات که می تواند بر رضایت مشتری و در نهایت موفقیت و شکست پروژه تأثیرگذار باشد، در نظر گرفتند [۱۱]. از سال ۱۹۸۰ به بعد تأکید بیشتری روی شاخص های عملکرد غیرمالی و چندبعدی برای درک و مدیریت بهتر عملکرد پروژه های ساخت شده است [۱۲-۱۵].

در تحقیقات بعدی محققان شاخص های عملکرد کلیدی را به شاخص های عینی و ذهنی (کمی و کیفی) طبقه بندی کردند [۱۶]. در سال ۲۰۰۹ اثر دوباره کاری بر عملکرد پروژه را هم از نظر کارفرما و هم پیمانکار مورد ارزیابی قرار دادند [۱۷]. در سال های بعدی، اثرات تأخیر در زمان تحویل پروژه های ساخت و در نهایت عملکرد پروژه مورد بررسی قرار گرفت [۱۸]. این اثرات شامل افزایش هزینه، افزایش زمان، هدر رفتن و کاهش بهره برداری از نیروی انسانی، کاهش سود، اختلاف بین طرفین درگیر و در نهایت رها کردن پروژه است. در سال ۲۰۱۴ کاربرد عملی ارزیابی یکپارچه عملکرد پروژه های ساخت و ساز مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق شاخص های عملکردی شامل: صدور صورت وضعیت، زمانبندی، سود آوری، هزینه، کیفیت، ایمنی، رضایت مشتری و رضایت تیم در نظر گرفته شده است و در نهایت یک شاخص کلی برای ارزیابی عملکرد پروژه ها ارائه شده است [۱۹]. در تحقیق بعدی انجام شده معیارهای عملکرد پروژه های ساخت باتوجه به فازهای انجام پروژه ها ارزیابی شده اند [۲۰]. در سال ۲۰۱۶ محقق دیگری صلاحیت پروژه های ساخت و روابط آنها با عملکرد پروژه ها را ارزیابی و مدلسازی کرد [۲۱]. در سال ۲۰۱۷ از روش پویایی سیستم برای مدلسازی روابط بین استراتژی مناقضه و عملکرد پروژه های ساخت استفاده شد [۲۲]. در همین سال در راستای مدیریت عملکرد پروژه های ساخت مدلی برای پیش بینی عملکرد پروژه های ساخت با رویکرد پویایی سیستم ارائه شد [۲۳].

۳- شاخص های کلیدی عملکردی

شاخص های عملکردی، اطلاعات حیاتی برای نظارت و کنترل پروژه ها و اطمینان از دستیابی به اهداف اصلی دارند [۳]. محققان در سال ۲۰۰۹ بررسی کردند که شاخص های عملکرد کلیدی (KPI) اولین گام ضروری در ایجاد چارچوب اندازه گیری عملکرد مناسب می باشد



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

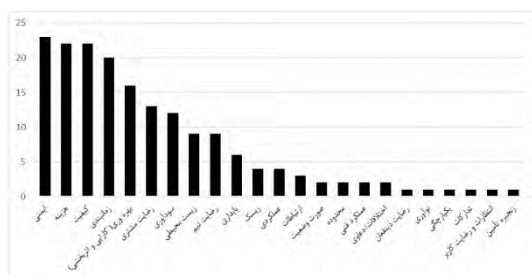
مهندسی مدیریت ساخت

[۲۳]. همه تحقیقات، گروهی از شاخص های عملکردی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است، خلاصه ای از این تحقیقات در جدول ۱ آورده شده است.

در این تحقیق با توجه به توضیحات قبلی و تحقیقات طبقه بندی شده مطابق جدول ۱، یک رتبه بندی برای ترتیب اولویت شاخص های عملکردی طی سالهای اخیر انجام شده که در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، مهمترین شاخص هایی که طی سالهای اخیر مورد بررسی قرار گرفته اند به ترتیب اولویت عبارتند از: ایمنی، هزینه، کیفیت، زمانبندی، بهره وری، رضایت مشتری، سودآوری، محیط زیست، رضایت تیم و پایداری.

جدول ۱ شاخص های کلیدی عملکرد مورد بررسی در تحقیقات پیشین

مرجع	سال انتشار	شاخص های کلیدی عملکرد مورد بررسی
[۲۴]	۱۹۸۴	سودآوری، بهره وری
[۲۵]	۱۹۹۷	کیفیت
[۲۶]	۲۰۰۰	بهره وری
[۲۷]	۲۰۰۲	زمان/برنامه زمانبندی، هزینه، کیفیت، سودآوری، ایمنی، محیط زیست، رضایت تیم، رضایت مشتری، بهره وری، عملکرد فنی، عملیاتی.
[۲۸]	۲۰۰۳	زمان/برنامه زمانبندی، هزینه، کیفیت، سودآوری، ایمنی، محیط زیست، رضایت مشتری، پایداری.
[۲۹]	۲۰۰۴	سودآوری، بهره وری
[۱۶]	۲۰۰۴	زمان/برنامه زمانبندی، هزینه، کیفیت، سودآوری، ایمنی، محیط زیست، رضایت تیم، رضایت مشتری، بهره وری، عملکرد فنی، رضایت و توقعات کاربر.
[۳۰]	۲۰۰۵	سودآوری، بهره وری.
[۳۱]	۲۰۰۶	بهره وری
[۳۲]	۲۰۰۶	زمان، هزینه، ایمنی، رضایت مشتری، ارتباطات، بهره وری.
[۳۳]	۲۰۰۸	سودآوری، بهره وری.
[۱۴]	۲۰۰۸	زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی، محیط زیست، محدوده، نوآوری، پایداری
[۲۳]	۲۰۰۹	زمان، هزینه، سودآوری، ایمنی، رضایت مشتری، بهره وری
[۳۴]	۲۰۱۰	ایمنی
[۳۵]	۲۰۱۰	زمان، هزینه، کیفیت، رضایت تیم، محدوده، ارتباطات، یکپارچگی، ریسک، تدارکات.
[۳۶]	۲۰۱۰	زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی، رضایت مشتری، عملیاتی.
[۳۷]	۲۰۱۱	بهره وری
[۳۸]	۲۰۱۲	ایمنی
[۳۹]	۲۰۱۳	پایداری
[۲]	۲۰۱۳	رضایت تیم.
[۴]	۲۰۱۳	زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی، محیط زیست، محدوده، نوآوری، پایداری.
[۱۹]	۲۰۱۴	زمان، هزینه، کیفیت، سودآوری، ایمنی، رضایت تیم، رضایت مشتری، صورت وضعیت
[۴۰]	۲۰۱۵	ایمنی
[۴۱]	۲۰۱۶	پایداری
[۲۳]	۲۰۱۷	هزینه
[۴۲]	۲۰۱۷	زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی.
[۳]	۲۰۱۷	زمان، هزینه، کیفیت، سودآوری، ایمنی، محیط زیست، رضایت تیم، رضایت مشتری
[۴۳]	۲۰۱۸	هزینه
[۴۴]	۲۰۱۸	زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی، محیط زیست، پایداری، بهره وری
[۱]	۲۰۱۸	ایمنی



شکل ۱ رتبه بندی شاخص های عملکردی

۴- پویایی سیستم در مدیریت پروژه

در تحقیقاتی که از شبیه سازی برای مدلسازی یک مفهوم یا پدیده استفاده می کنند، انتخاب روش شبیه سازی مناسب بسیار حائز اهمیت است. انتخاب روش شبیه سازی باید متناسب با هدف مورد نظر باشد. برای انتخاب روش شبیه سازی ویژگی هایی در ذهن مدلساز نقش می بندد که باید در نظر گرفته شود. روش شبیه سازی انتخاب شده باید قادر باشد دسته ای از عوامل که مدلساز خواهان استفاده از آنها است را به خوبی در نظر بگیرد. پویایی سیستم (SD) یکی از این روشهای شبیه سازی است [۴۵]. پویایی سیستم که توسط پروفسور فورستر در سال ۱۹۵۸ ابداع شده است، یک روش شناخته شده برای شناخت، تجسم و تجزیه و تحلیل سیستم های بازخورد دینامیکی پیچیده است [۴۶].

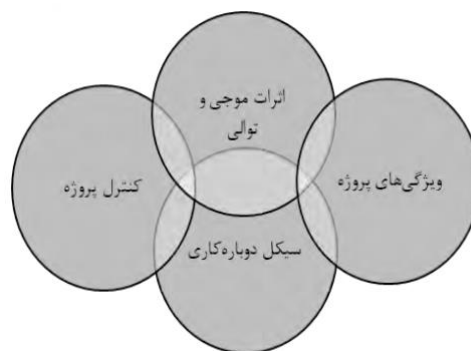
پویایی سیستم قادر به بررسی رفتارهای سیستم از یک دید کلی است که تمرکز ویژه ای بر تعاملات بین عناصر سیستم دارد [۴۷]. پویایی سیستم مجموعه ای از ابزارهای مفهومی است که به ما توانایی درک ساختار و پویایی سیستم های پیچیده را می دهند و در نهایت با مدلسازی دقیق و شبیه سازی کامپیوتری، قادر به طراحی سیاستهای موثرتری خواهیم بود [۴۶]. مدیریت پروژه یکی از کاربردهای موفق پویایی سیستم می باشد [۴۸]. این در حالی است که رویکردهای کلاسیک، پروژه را مجموعه ای از کارهای متوالی یا موازی می دانند که با هزینه معین و در زمان مشخص انجام می شود و در صورتی که پروژه های بزرگ دارای پیچیدگی هایی هستند که نیاز به پویایی سیستم را آشکار می کند. تفاوت این دو رویکرد (پویایی سیستم و کلاسیک) در سطح پرداختن به جزئیات فعالیتها و فاکتورهای موثر بر آنها می باشد. پروژه های بزرگ مقیاس به دسته سیستم های پویای پیچیده تعلق دارند. چنین سیستم هایی:

- ۱- بطور فزاینده ای پیچیده هستند و از چندین مولفه به هم وابسته تشکیل شده اند؛
 - ۲- بسیار پویا هستند؛
 - ۳- شامل چندین فرآیند بازخورد هستند،
 - ۴- شامل روابط غیرخطی هستند؛
 - ۵- شامل هر دو داده سخت و نرم هستند [۴۹].
- پویایی سیستم به عنوان یک ابزار مدلسازی برای استفاده در مدیریت پروژه گزارش شده است [۵۰]. در این مطالعه مهمترین ساختارهای پویایی سیستم در مدلسازی پروژه ها در ۴ گروه مطابق شکل ۲ طبقه بندی شده اند.

و مدیریت کیفیت [۵۳]، یک مدل فرآیندی از عناصری که می تواند دوباره کاری در یک پروژه را تحت تاثیر قرار بدهد، توسعه داده شده است.

روش کار به این صورت بوده است که ابتدا برای هر یک از زیرسیستم ها یک مدل تعیین کرده و سپس در پایان مدل حلقوی علیت کلی برای پروسه دوباره کاری در یک پروژه ارائه داده شده است. مدل کلی در شکل ۳ نشان داده شده است. این مدل تاثیر فاکتورهای دوباره کاری در سیستم پروژه را نشان می دهد و می تواند برای پیگیری اثرات فاکتورهای دوباره کاری بر روی خروجی های سیستم پروژه، مانند مدت زمان و هزینه استفاده شود. به عنوان مثال، کار گروهی و حل مسئله در کارگاه می تواند هزینه های دوباره کاری را کاهش دهد. اما این مدل تاثیرات عوامل اصلی خروجی بر متغیرهای علیت سیستم پروژه را نشان نمی دهد، نهایتاً مدل مفهومی کلی ارائه شده که همه روابط و تاثیرات را به طور کامل نشان می دهد. یکی از نتایج این تحقیق اثبات تبدیل دوباره کاری به یک ویژگی اجتناب ناپذیر در پروژه است که ممکن است احتمال سرریز زمان و هزینه را افزایش دهد و منجر به مشاجره و در نهایت موجب نارضایتی مشتری شود.

یکی دیگر از کاربردهای پویایی سیستم در بهبود مدیریت عملکرد توسط گروهی دیگر از محققان در سال ۲۰۰۳ انجام شد [۵۴]. در این تحقیق به بررسی رفتار پویای عملکرد پروژه ها با استفاده از رویکرد پویایی سیستم پرداخته شده است. مدل ارائه در این مقاله طبق فرضیه های دینامیکی در نظر گرفته شده مطابق شکل ۴ است.

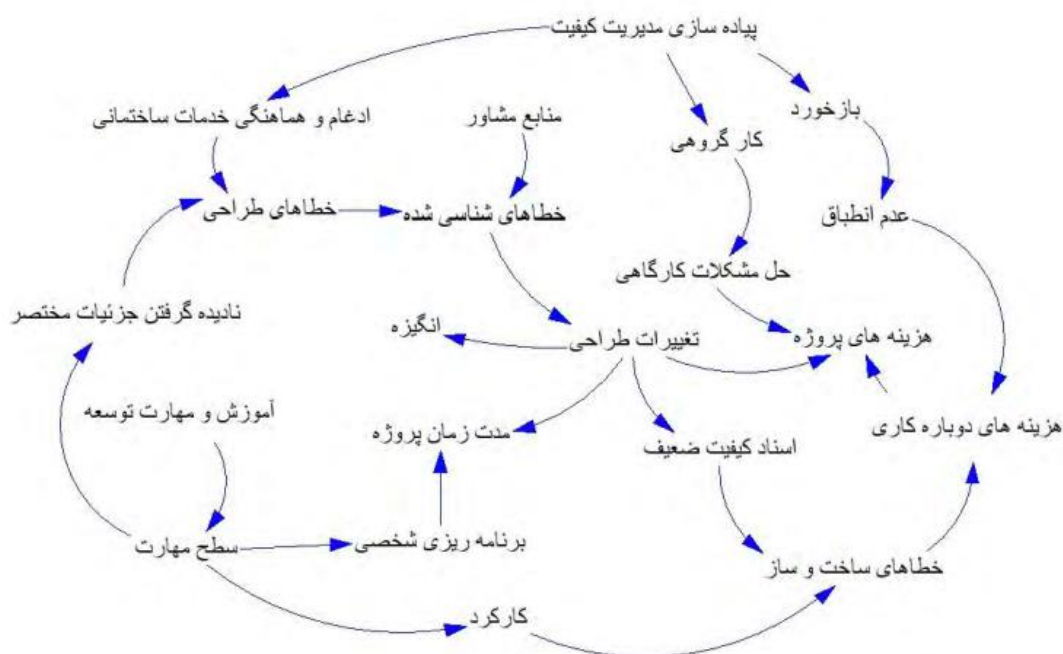


شکل ۲ طبقه بندی مهمترین ساختارهای پویایی سیستم در مدلسازی [۵۱].

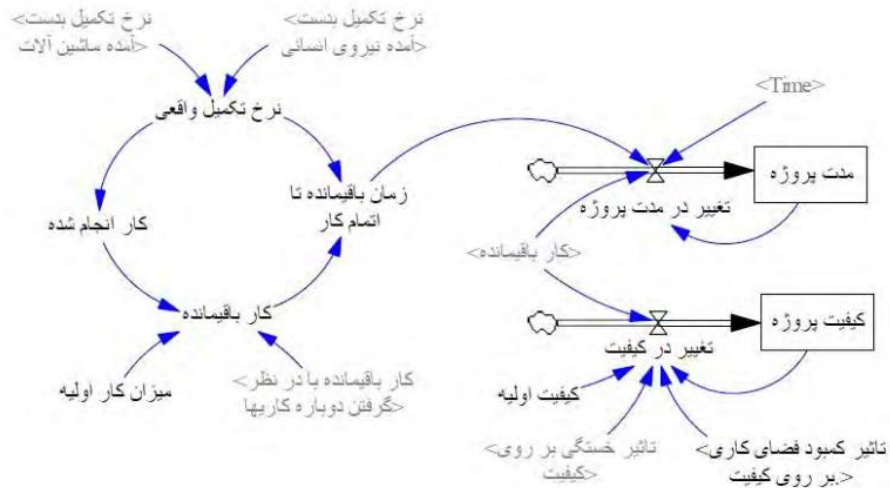
روش پویایی سیستم که به کاربرد اصول و تکنیکهای کنترل بازخور، با مسائل مدیریتی، سازمانی و اقتصادی و اجتماعی می پردازد هم اکنون نزدیک ۴ دهه است که به منظور تحلیل و بهبود عملکرد پروژه ها در صنعت ساخت و ساز به کار رفته است.

۵- مدل های پویایی سیستم ارائه شده در زمینه مدیریت عملکرد پروژه های ساخت و ساز

یکی از اولین کاربردهای مدلسازی پویایی سیستم در بهبود مدیریت عملکرد پروژه در سال ۱۹۹۸ در زمینه تعیین ساختار علیت دوباره کاری در ساخت و ساز است [۵۲]. در این تحقیق با استفاده از طبقه بندی سیستم پروژه به زیرسیستم های (فنی و عملیاتی، منابع انسانی



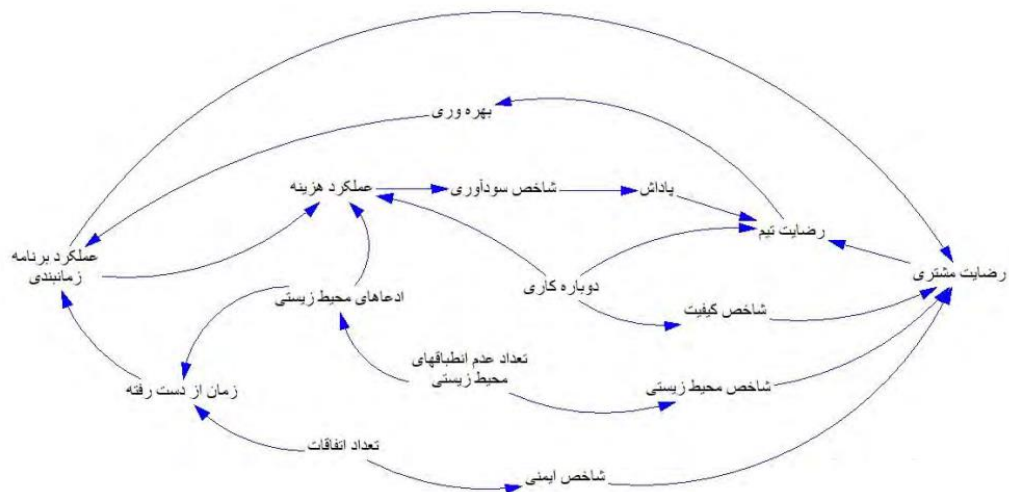
شکل ۳ مدل های ارائه شده زیرسیستم ها و مدل اصلی و کلی نهایی [۵۲].



شکل ۵ زیرسیستم مدیریت عملکرد کیفیت و زمان [۵۵]

در این مدل هشت شاخص عملکردی هزینه، برنامه زمانی، کیفیت، رضایت تیم، رضایت مشتری، ایمنی، سودآوری و محیط زیست در نظر گرفته شده است. پروژه های ساخت و ساز، سیستم های پیچیده و پویایی هستند که اجزای این سیستم ها دارای وابستگی های متقابل زیادی هستند، همانطور که در نمودار حلقوی نشان داده شده در شکل ۱۲ این وابستگی ها مشخص است. به عنوان نمونه سودآوری، وابسته به هزینه است که در بسیاری حالات هزینه متاثر از ایمنی و کیفیت است که این دو نیز بر رضایت مشتری اثر می گذارند. نمونه دیگری از این وابستگی ها، روابط میان دوباره کاری و دیگر شاخص ها است. دوباره کاری دارای تاثیر منفی روی عملکرد زمان و هزینه است. همچنین موجب استرس، خستگی و تضعیف روحیه کارکنان است. نیز می شود که باعث تاثیر منفی بر عملکرد رضایت تیم م شود و نمونه های دیگری از این قبیل که از تحلیل شکل ۱۲ برمی آید.

به این ترتیب طی سالهای بعدا نیز برخی از محققان روش پویایی سیستم را برای بررسی عملکرد پروژه های ساخت و ساز مورد استفاده قرار دادند. با این حال بیشتر تحقیقات بر جنبه محدودی از عملکرد متمرکز بودند، به عنوان مثال در زمینه برنامه زمانبندی [۵۶]، کیفیت و دوباره کاری [۵۷] و محیط زیست [۴۷] کارهایی انجام شد. اما در سال ۲۰۱۷ با پرداختن به بحث پیش بینی عملکرد پروژه های ساخت و ساز با رویکرد پویایی سیستم گام مهمی در این مسیر برداشته شد [۳]. مدلهای پیش بینی عملکرد موجود، محدودیت هایی در زمینه وابستگی متقابل بین شاخص های عملکردی چندبعدی داشته اند. از این رو در این مقاله، یک مدل پویایی سیستم برای شبیه سازی پیچیدگی و وابستگی متقابل بین انواع شاخص های عملکردی و پیش بینی آنها در طول زمان توسعه داده شده است. همچنین این مدل میتواند به عنوان مبنایی برای شبیه سازی سناریوهای مختلف مدیریتی ارائه شده در جهت کشف بهترین راه حلهای جلوگیری و اصلاح تاثیرات منفی عملکرد ضعیف، استفاده شود.



شکل ۶ مدل مفهومی پیشبینی عملکرد پروژه [۳]

۶- نتیجه گیری

در صنعت ساخت و ساز، مدیران پروژه باید قادر باشند، پیش بینی های مورد اطمینانی از وضعیت آینده پروژه ها انجام دهند. با این حال با توجه به پیچیدگی و پشرفت پروژه های ساخت، چنین پیش بینی هایی نیازمند اطلاعات حیاتی از پروژه است، که این اطلاعات برای ارزیابی عملکرد پروژه و در نهایت پیش بینی آن مورد استفاده قرار می گیرد. شاخص های کلیدی مورد استفاده برای ارزیابی عملکرد پروژه های ساخت از طریق بررسی جامع ادبیات تحقیق مربوطه جمع آوری و بررسی شد و پس از تهیه نمودار استفاده این شاخص ها در سالهای اخیر اولویت بندی شدند. مهمترین این شاخص ها به ترتیب اولویت استفاده در تحقیقات عبارتند از: ایمنی، هزینه، کیفیت، زمانبندی، بهره وری، رضایت مشتری، سودآوری، رضایت تیم، محیط زیست و پایداری. از میان تحقیقات مورد بررسی از همان سالهای اولیه استفاده از تکنیک مدیریت عملکرد پروژه، ۵۲٪ آنها به بررسی شاخص ایمنی به عنوان شاخص کلیدی عملکرد در پروژه های ساخت و ساز در تعامل با دیگر شاخص ها و یا به تنهایی پرداخته اند که ۷۳٪ این تحقیقات مربوط به ۱۰ سال اخیر است. شاخص های بعدی شاخص هزینه و کیفیت هستند که ۴۰٪ تحقیقات را به خود اختصاص داده اند که ۶۳٪ آنها مربوط به ۱۰ سال اخیر است. شاخص زمان/برنامه زمانبندی نیز به عنوان ۴امین شاخص کلیدی طی سالهای اخیر شناخته شده است که ۴۵٪ تحقیقات از این شاخص در تعامل با شاخص های دیگر و یا به صورت تنها استفاده کرده اند که ۶۰٪ آنها مربوط به ۱۰ سال اخیر است. به این ترتیب شاخص های بهره وری با ۳۶٪ رضایت مشتری ۳۱٪ سودآوری، ۲۷٪ زیست محیطی و رضایت تیم هر کدام، ۲۰٪ و پایداری ۱۳٪ در رتبه های بعدی قرار دارند. پس از اولویت بندی شاخص ها مهمترین روابط و استانداردهای اندازه گیری و ارزیابی هر کدام از این شاخص ها ارائه شده است. این روابط و استانداردها با بررسی تحقیقات پیشین و تعیین معتبرترین و دقیق ترین روش ها انتخاب شده اند. همچنین در ادامه روش پویایی سیستم به عنوان یک رویکرد پویا برای مدیریت پروژه، معرفی شده است. در واقع مدیریت پروژه یکی از کاربرهای موفق پویایی سیستم در سالهای اخیر است. پویایی سیستم، رویکردی برای تجزیه و تحلیل سیستم های پیچیده و یک ابزار موثر برای ارزیابی توانایی سیستم برای تنظیم تغییر و آزمایش تصمیمات جدیدی است که باید برای فرایند تصمیم گیری موثرتر مورد استفاده قرار گیرد. یکی از کاربردهای این رویکرد، استفاده در زمینه مدیریت عملکرد پروژه های ساخت است. درواقع پیش بینی و مدیریت عملکرد پروژه های ساخت، فرایند پیچیده و پویایی است که بهتر است برای بررسی و مطالعه در این زمینه از رویکرد پویایی سیستم استفاده شود تا روابط متقابل و پیچیده بین شاخص های کلیدی عملکردی به طور دقیق شبیه سازی و مدل کاملی برای کار ارائه شود. در پایان با ارائه کاربردهای موفق رویکرد پویایی سیستم در زمینه مدیریت عملکرد طی سالهای اخیر و تجزیه و تحلیل مدلهای ارائه شده در این تحقیقات، اهمیت این موضوع نمایان شده است.

۷- پیشنهاد تحقیقات آتی

در اکثر موارد، یک روش شبیه سازی نمی تواند به تنهایی عوامل مختلف با دسته بندی های متفاوت را در نظر بگیرد، به این ترتیب محقق ناچار به ترکیب دو یا چند روش برای حل مسئله و مدلسازی می شود. هرچه پیچیدگی های موجود در یک مسئله بیشتر باشد، نیاز به یک روش شبیه سازی ترکیبی بیشتر نمایان می شود. پروژه های ساخت هم به دلیل پیچیدگی ها و پیشرفتهای روزافزونی که دارند، نیازمند شبیه سازی های قوی و ترکیبی هستند. از این رو برای پژوهش های آتی، می توان روش پویایی سیستم را با روش های دیگری از جمله سیستم های خبره، استدلال مبتنی بر مورد و روش شبیه سازی عامل محور ترکیب کرد تا نتایج دقیق تر و نزدیکتری به واقعیت کسب کرد. در واقع میتوان با در نظر گرفتن تمامی ابعاد عملکردی پروژه ها و هم چنین در نظر گرفتن همه انواع پروژه ها، ارزیابی جامعی از عملکرد آنها ارائه داد تا بتوان به اطلاعات دقیقی راجع به عملکرد آتی همه انواع پروژه ها دست پیدا کرد.

۸- مراجع

- [4] Chovichien, V., & Nguyen, T. A. (2013). *List of indicators and criteria for evaluating construction project success and their weight assignment*. Paper presented at the Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2013).
- [5] Parfitt, M. K., & Sanvido, V. (1993). *Journal of Management in Engineering*, 9(3), 243-249.
- [6] Freeman, M., & Beale, P. (1992). *Measuring project success*.
- [7] Iram, N., Khan, B., Sahibzada, U. F., & Ahmad, M. S. (2016). Critical factors influencing the project success: An analysis of projects in manufacturing and construction industries in punjab, pakistan. *International Journal of Business Studies Review*, 1(1), 34-43.
- [8] Heravi, G., & Ilbeigi, M. (2012). Development of a comprehensive model for construction project success evaluation by contractors. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(5), 526-542.
- [9] Kennerley, M., & Neely, A. (2002). A framework of the factors affecting the evolution of performance measurement systems. *International journal of operations & production management*, 22(11), 1222-1245.
- [10] Ogunlana, S. O. (2010). Beyond the 'iron triangle': Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. *International journal of project management*, 28(3), 228-236.
- [11] Ward, S., Curtis, B., & Chapman, C. (1991). Objectives and performance in construction projects. *Construction Management and Economics*, 9(4), 343-353.
- [12] Neely, A., Mills, J., Platts, K., Richards, H., Gregory, M., Bourne, M., & Kennerley, M. (2000). Performance measurement system design: developing and testing a process-based approach. *International journal of operations & production management*, 20(10), 1119-1145.
- [13] Excellence, C. (2006). UK Construction Industry Key Performance Indicators: Handbook. CE, London, 14.
- [14] Rankin, J., Fayek, A. R., Meade, G., Haas, C., & Manseau, A. (2008). Initial metrics and pilot program results for measuring the performance of the Canadian construction industry. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(9), 894-907.
- [15] Leong, T. K., Zakuan, N., Mat Saman, M. Z., Ariff, M., Md, S., & Tan, C. S. (2014). Using project performance to measure effectiveness of quality management system maintenance and practices in construction industry. *The scientific world journal*, 2014.
- [16] Chan, A. P., & Chan, A. P. (2004). Key performance indicators for measuring construction success. *Benchmarking: an international journal*, 11(2), 203-221.
- [17] Hwang, B.-G., Thomas, S. R., Haas, C. T., & Caldas, C. H. (2009). Measuring the impact of rework on construction cost performance. *Journal of construction engineering and management*, 135(3), 187-198.
- [18] Owolabi James, D., Amusan Lekan, M., Oloke, C., Olusanya, O., & Tunji-Olayeni, P. (2014). Causes and effect of delay on project construction delivery time. *IJER April*.
- [19] Nassar, N., & AbouRizk, S. (2014). Practical application for integrated performance measurement of construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 30(6), 04014027.
- [20] Yun, S., Choi, J., de Oliveira, D. P., & Mulva, S. P. (2016). Development of performance metrics for phase-based capital project benchmarking. *International journal of project management*, 34(3), 389-402.
- [21] Omar, M. N., & Fayek, A. R. (2016). Modeling and evaluating construction project competencies and their relationship to project performance. *Automation in Construction*, 69, 115-130.
- [22] Wibowo, M. A., Astana, I. N. Y., & Rusdi, H. (2017). Dynamic modelling of the relation between bidding strategy and construction project performance. *Procedia Engineering*, 171, 341-347.
- [23] Skibniewski, M. J., & Ghosh, S. (2009). Determination of key performance indicators with enterprise resource planning systems in engineering construction firms. *Journal of construction engineering and management*, 135(10), 965-978.
- [1] Mohammadi, A., Tavakolan, M., & Khosravi, Y. (2018). Factors influencing safety performance on construction projects: A review. *Safety science*, 109, 382-397.
- [2] Fung, H. P., & Siow, H. (2013). Open Journal of Social Science Research OJSSR, 1(9), 238-249.
- [3] Leon, H., Osman, H., Georgy, M., & Elsaid, M. (2017). System dynamics approach for forecasting performance of construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 34(1), 04017049.



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



success-conceptual model and expected relationships. *Int. J. Inf. Syst. Proj. Manag.*, 4, 5-22.

- [42] Demirkesen, S., & Ozorhon, B. (2017). Impact of integration management on construction project management performance. *International journal of project management*, 35(8), 1639-1654.
- [43] Xue, H., Zhang, S., Su, Y., Wu, Z., & Yang, R. J. (2018). Effect of stakeholder collaborative management on off-site construction cost performance. *Journal of Cleaner Production*, 184, 490-502.
- [44] Cha, H. S., & Kim, K. H. (2018). Measuring project performance in consideration of optimal best management practices for building construction in South Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(5), 1614-1625.
- [45] Nasirzadeh, F., Khanzadi, M., & Mir, M. (2017). Hybrid simulation by combining system dynamics and agent-based modeling approaches in construction projects. *Iranian Structural Engineering Society, Journal of Structural and Construction Engineering*, doi: 10.22065/jsce.2017.86046.1178.in persian.
- [46] Banihashemi, S., Hosseini, M. R., Golizadeh, H., & Sankaran, S. (2017). Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries. *International journal of project management*, 35(6), 1103-1119.
- [47] Bayer, S. (2004). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. In: JSTOR.
- [48] Ding, Z., Yi, G., Tam, V. W., & Huang, T. (2016). A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste management*, 51, 130-141.
- [49] Rodrigues, A., & Bowers, J. (1996). The role of system dynamics in project management. *International journal of project management*, 14(4), 213-220.
- [50] Serman, J. D. (1992). System dynamics modeling for project management. *Unpublished manuscript, Cambridge, MA*, 246.
- [51] Lyneis, J. M., & Ford, D. N. (2007). System dynamics applied to project management: a survey, assessment, and directions for future research. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 23(2-3), 157-189.
- [52] Love, P. E., Mandal, P., & Li, H. (1999). Determining the causal structure of rework influences in construction. *Construction Management & Economics*, 17(4), 505-517.
- [53] Evans, J., & Lindsay, W. (1996). The Management and Control of Quality, 3rd edn (New York: West).
- [54] Ogunlana, S. O., Li, H., & Sukhera, F. A. (2003). System dynamics approach to exploring performance enhancement in a construction organization. *Journal of construction engineering and management*, 129(5), 528-536.
- [55] Nasirzadeh, F., Afshar, A., & Khanzadi, M. (2008). Dynamic risk analysis in construction projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(8), 820-831.
- [56] Choi, K., & Bae, D.-H. (2009). Dynamic project performance estimation by combining static estimation models with system dynamics. *Information and software technology*, 51(1), 162-172.
- [57] Walworth, T., Yearworth, M., Davis, J., & Davies, P. (2013). *Early estimation of project performance: the application of a system dynamics rework model*. Paper presented at the 2013 IEEE International Systems Conference (SysCon).
- [24] Miller, D. M. (1984). Profitability= productivity+ price recovery. *Harvard Business Review*, 62(3), 145-153.
- [25] Bernolak, I. (1997). Effective measurement and successful elements of company productivity: The basis of competitiveness and world prosperity. *International Journal of Production Economics*, 52(1-2), 203-213.
- [26] Ren, X. (2000). Development of environmental performance indicators for textile process and product. *Journal of Cleaner Production*, 8(6), 473-481.
- [27] Chan, A. P., Scott, D., & Lam, E. W. (2002). Framework of success criteria for design/build projects. *Journal of Management in Engineering*, 18(3), 120-128.
- [28] Xiao, H., & Proverbs, D. (2003). Factors influencing contractor performance: an international investigation. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 10(5), 322-332.
- [29] Grünberg, T. (2004). Performance improvement: Towards a method for finding and prioritising potential performance improvement areas in manufacturing operations. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 53(1), 52-71.
- [30] Tangen, S. (2005). Demystifying productivity and performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(1), 34-46.
- [31] Park, H.-S. (2006). Conceptual framework of construction productivity estimation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 10(5), 311-317.
- [32] Dawood, N., Sikka, S., Marasini, R., & Dean, J. (2006). *Development of key performance indicators to establish the benefits of 4D planning*. Paper presented at the Proceedings 22nd Annual ARCOM Conference.
- [33] Bottazzi, G., Secchi, A., & Tamagni, F. (2008). Productivity, profitability and financial performance. *Industrial and Corporate Change*, 17(4), 711-751.
- [34] Al-Humaidi, H., & Tan, F. H. (2010). Construction safety in Kuwait. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24(1), 70-77.
- [35] Wang, Q., El-Gafy, M., & Zha, J. (2010). *Bi-level framework for measuring performance to improve productivity of construction enterprises*. Paper presented at the Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice.
- [36] Ali, A. S., & Rahmat, I. (2010). The performance measurement of construction projects managed by ISO-certified contractors in Malaysia. *Journal of Retail & Leisure Property*, 9(1), 25-35.
- [37] Pekuri, A., Haapasalo, H., & Herrala, M. (2011). Productivity and performance management-managerial practices in the construction industry. *International Journal of Performance Measurement*, 1(1), 39-58.
- [38] Xu, Y., Wang, T., Song, B., Pang, L., & Xie, Y. (2012). Forecast of safety situation in construction industry based on composite model. *Procedia Engineering*, 45, 119-124.
- [39] Araújo, C., Bragança, L., & Almeida, M. G. d. (2013). *Sustainable construction key indicators*. Paper presented at the Portugal SB13-Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20-20 Targets.
- [40] Fang, D., Wu, C., & Wu, H. (2015). Impact of the supervisor on worker safety behavior in construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 31(6), 04015001.
- [41] Silvius, A. G., & Schipper, R. (2016). Exploring the relationship between sustainability and project



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



روش پویایی سیستم : رویکردی جامع برای مدیریت عملکرد در پروژه های ساخت