مطالعات علوم محیط زیست، دوره چهارم، شماره اول، فصل بهار ۱۳۹۸، صفحه ۹۱۷-۹۲۸

بهینه سازی مصالح مصرفی ساخت با بکارگیری فناوری‌های نوین ساختمانی و پیامدهای آن در توسعه پایدار با دیدگاه کاهش انتشار آلاینده کربن دی اکسید

محمود رحیمی[۱]، پوریا ایلدرآبادی[۲*]، پیمان امیدوار[۳]

۱- استادیار گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز ، تهران، ایران

۲*- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت، تفت، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: ildarabadi.pouria@gmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۳۱

چکیده

آلودگی‌های ناشی از توسعه شهر نشینی و صنعت ساخت‌وساز همواره یکی از دغدغه‌های بشر بوده است. همچنین مسائل زیست‌محیطی ناشی از صنعت ساختمان توجه بیشتر متخصصان توسعه پایدار و فعالان محیط‌زیست را به خود جلب کرده است. مشکلات پدید آمده از این صنعت در بحث توسعه پایدار را می‌توان در اثر بکارگیری روش‌های نامناسب طراحی ساختمان‌ها دانست. بطوریکه این طراحی‌ها باعث افزایش مصرف مصالح در ساخت‌وسازها می‌شود. از این‌رو مقاله حاضر نقش طراحی مناسب سیستم‌های سازه‌ای سقف در ساختمان‌های بتنی را بر توسعه پایدار با دیدگاه کاهش انتشار آلاینده CO_2 مورد بررسی قرار می‌دهد. به‌منظور دست‌یابی به این هدف اسکلت ساختمان الیزه شماره یک شهر مشهد باز طراحی شد. فرآیند باز طراحی سازه مورد نظر با بکارگیری سیستم سازه‌ای سقف وافل دک دو طرفه انجام شد. سپس مقدار بتن مصرف شده در اثر بکارگیری سیستم‌های سازه‌ای دال دوطرفه و وافل دک دوطرفه برآورد شد. در نهایت میزان آلاینده CO_2 تولید شده در اثر بکارگیری دو سیستم سازه‌ای سقف محاسبه گردید. براساس نتایج بدست آمده، در اثر تغییر سیستم سازه‌ای سقف، حدود ۸۰۰۰۰۰ کیلوگرم در مصرف بتن صرفه جویی می‌شود. همچنین براساس محاسبات انجام شده از انتشار حدود ۸۰۰ تن آلاینده CO_2 جلوگیری شود.

کلمات کلیدی

"توسعه پایدار" ,"مصرف مصالح" ,"سازه بتنی" ,"کاهش CO_2"

Optimization of Material Consumption Using Novel Technologies in Construction Industry and Its Influences on Sustainable Development Considering CO_2 Emission Mitigation

[1]Mahmoud Rahimi, [2*]Pouria Ildarabadi,[3]Peyman Omidvar

1- Assistant Professor of Urban Planning and Design Department, Islamic Azad University, central Tehran Branch, Iran.

2*- Phd student of Civil Engineering and Construction Management, Islamic Azad University, Taft branch, Iran.

*Email Address: ildarabadi.pouria@gmail.com

3- Msc student of Civil Engineering- Structural Engineering, Islamic Azad University, Mashhad branch, Iran.

Abstract

The pollution arising from urbanization development and construction industry has consistently been one of the major concerns of any society. Also, adverse environmental consequences of the construction industry have attracted the attention of environmentalists and sustainable development experts. The problems encountered by the construction industry within the field of sustainable development can be associated with implication of improer design methods for buildings. Sometimes, these design methods lead to an increase in material consumption. Hence, this paper investigates the role of appropriate design of roofing systems in concrete structures in sustainable development with a particular emphasis on CO_2 emission mitigation. For achieve this goal, the residential Elizeh 1 tower, located in Mashhad, was redesigned. The redesign process of this tower was performed based on using the two-way waffle slab roofing system. Following that, a comparison between the amount of concrete usage corresponding to each roofing system was carried out. Finally, the CO_2 emission related to each slab system was calculated. According to the outcomes, the amount of concrete usage was decreased by about 800 tons as a direct result of using two-way waffle slab system. Moreover, based on the calculations, the amount of CO_2 pollutant will be reduced by 800 tons.

Keywords

‘‘sustainable development’’, ‘‘material consumption’’, ‘‘concrete structure’’, ‘‘CO_2 mitigation’’

۱- مقدمه

آسایش و ایجاد شرایط لازم برای یک زندگی مطلوب، همواره هدف انسان بوده است. تغییرات انجام شده در روی کره‌ی زمین، به دست بشر و به‌منظور ایجاد آسایش و رفاه انسان صورت گرفته است. زندگی شهری با به‌کارگیری شیوه‌های سنتی برای ادامه‌ی زندگی در کنار طبیعت شکل گرفت و توسعه‌ی صنایع مختلف باعث شد تا جوامع شهرنشین به‌طور قابل ملاحظه‌ای گسترش یابند. همچنین گسترش و پیشرفت روزافزون صنعت، منجر به دخل و تصرف در طبیعت و تخریب منابع طبیعی، معادن، انرژی-های طبیعی و جنگل‌ها شده است. انسان به‌صورت نا آگاهانه به تخریب محیط‌زیست خود پرداخت و اکنون شاهد نتایج سهل انگاری‌های خویش است. تولید آلودگی‌های ناشی از صنایع، از بین رفتن منابعی که نه تنها انسان امروز بلکه نسل‌های آینده نیز به آنها نیاز دارند، به مرحله‌ای رسیده است که زنگ خطر تهدید و نابودی محیط‌زیست به صدا درآمده است. اکنون بشر برای تأمین شرایط آسایش و حفظ بقای خود و دیگر موجودات، به دنبال راهکارهایی برای رفع این تهدیدات است.

امروزه برای دست‌یابی به بخشی از اهداف توسعه‌ی پایدار، توجه به محیط‌زیست و صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی از مباحث بسیار مهم می‌باشد. به‌طوریکه حفظ منابع انرژی، جلوگیری از آلوده کردن هوا و محیط‌زیست، کاهش میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و هم‌زیستی با شرایط طبیعی و اقلیمی، به یکی از مهمترین تدابیر در عرصه‌ی معماری و شهرسازی تبدیل شده است. از این رو مهندسین ملزم به رعایت اصول و قواعد خاصی در زمینه‌ی ساخت‌وساز می‌باشند. همچنین افزایش جمعیت، کشورهای جهان را بیش از پیش با مشکل کمبود انرژی و افزایش آلودگی روبرو ساخته است (Halati & He, 2018).

به‌طور کلی واژه‌ی توسعه‌ی پایدار از اواسط دهه‌ی 70 میلادی و پس از بحران نفتی سال 1973، بسیار به‌کار رفته است. امروزه بحث توسعه‌ی پایدار، یکی از بحث‌های بسیار مهم و رایج در سطح بین المللی است. سازمان‌ها و نهادهای طرفدار محیط‌زیست در جهان و همچنین سازمان ملل از مهمترین ارگان‌های اثرگذار در این امر هستند. کنفرانس جهانی توسعه‌ی پایدار در سال ۱۹۹۲ در شهر ریودوژانیرو کشور برزیل برگزار شد (معروف به اجلاس زمین)، در این اجلاس قطعنامه‌ای در جهت اهداف توسعه‌ی پایدار راهبردهایی برای کشورهای جهان صادر شد و همه‌ی کشورها ملزم به پیروی از این قطعنامه شدند. ۱۰ سال بعد، در شهر ژوهانسبورگ کنفرانس دیگری در سطح وزرای کشورها و کارشناسان محیط‌زیست برگزارشد. هدف از این کنفرانس تأکید بر مصوبات کنفرانس ریو و اجرایی‌تر کردن این مصوبات در سطح جهانی بود. مهمترین تعریفی که در اجلاس ریو از توسعه‌ی‌پایدار ارائه شد، از این قرار است: «توسعه‌ای که نیازهای کنونی بشر را بدون به مخاطره افکندن نیاز نسل‌های آینده، برآورده سازد و در آن به محیط‌زیست و نسل‌های فردا نیز توجه شود». هرچند تاکنون تعریف‌های زیادی از توسعه‌ی پایدار ارائه شده، ولی محور تمامی آنها توجه به نسل‌های بعدی، آینده‌ی محیط‌زیست و حفاظت از محیط‌زیست جهانی بوده است (Timothy et al, 2018). توجه به فرهنگ، ویژگی‌های بومی و تجربیات گذشته، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید شونده و پرهیز از بکارگیری انرژی‌های تجدید ناپذیر از اصول توسعه‌ی پایدار است. ازجمله تعاریف توسعه‌ی پایدار براساس منابع مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

براساس تعریف کمیسیون جهانی سازمان ملل، توسعه‌ی پایدار عبارت است از: «توسعه‌ای که پاسخگوی نیازهای فعلی باشد، بدون آنکه توان نسل‌های آینده را در تأمین نیازهای خود تحت تأثیر قرار دهد». همچنین بانک جهانی توسعه‌ی پایدار را چنین تعریف می‌کند: «توسعه‌ای که دوام یابد».

بر اساس طرح "OECD"[1] بناهای پایدار به بناهایی اتلاق می‌شود که «کم‌ترین تأثیرات مخرب را بر محیط‌های ساخته شده و طبیعی مجاور خود، ناحیه‌ی اطراف و همچنین زمینه‌ی کلی خود داشته باشند». ساختمان‌های پایدار به تمام چرخه‌ی حیات ساختمان، محیط با کیفیت، کارکرد مطلوب و آینده توجه می‌کند.

طراحی پایدار و همگن به طراحی‌ای گفته می‌شود که در آن هر جزئی به عنوان بخشی از کل بزرگتر به خوبی مورد توجه قرار گیرد (Louise et al, 1992).

با توجه به مباحث بیان شده می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که نخستین گام برای دست‌یابی به اهداف توسعه پایدار در صنایع مختلف، شناسایی پیامدهای گوناگون ناشی از آن صنعت می‌باشد. صنعت ساختمان نیز بخشی از محیط‌زیست را تشکیل می‌دهد و بخش اعظمی از آلودگی‌های زیست‌محیطی را ایجاد می‌کند. با

[1] Organization for economic cooperation and development سازمان همکاری و توسعه اقتصادی

این حال نمی‌توان ساخت‌وساز را متوقف کرد، ولی با برنامه‌ریزی دقیق، می‌توان ساختمان‌هایی طراحی و اجرا کرد که کم‌ترین تأثیر منفی را بر آلودگی‌های محیط‌زیست داشته باشند. از این‌رو پژوهش حاضر به مقایسه دو نوع سیستم سازه‌ای سقف در طراحی سازه‌های بتن آرمه و نقش آن در توسعه‌ی پایدار می‌پردازد. این فرآیند با در نظرگیری مقدار بتن مصرفی با رویکرد بکارگیری دو سیستم سازه‌ای متفاوت صورت می‌گیرد. به‌طوریکه نخست، مدلسازی با استفاده از سیستم سقف سازه‌ای دال دوطرفه صورت می‌گیرد و سپس مدلسازی با بکارگیری سیستم سازه‌ای سقف وافل دک دوطرفه انجام می‌پذیرد. در نهایت با برآورد بتن مصرفی در هر یک از طراحی‌ها میزان بتن مصرف شده بدست خواهد آمد و در نتیجه مقدار CO_2 حاصل از استفاده هر سیستم محاسبه می‌گردد. با انجام این فرآیند میزان اثرگذاری سیستم‌های سازه‌ای مورد بررسی، بر توسعه پایدار مشخص خواهد شد.

۲- پیشینه پژوهش

مباحث مربوط به محیط‌زیست از دیرباز همواره مورد توجه کشورهای مختلف قرار گرفته است. همچنین پیامدهای ناشی از صنایع مختلف بر محیط‌زیست اثرگذار خواهد بود و نیز این پیامدها در رسیدن به اهداف توسعه‌ی پایدار نقش موثری را ایفا می‌کنند. در دهه‌های اخیر پژوهش‌هایی موضوع توسعه پایدار را در صنعت ساختمان مورد بررسی قرار داده‌اند. این پژوهش‌ها با بکارگیری روش‌های مختلف آنالیز داده‌ها، از قبیل سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی (SAFE[1])، (HQE[2])، (SPSS[3])، (AHP[4]) و سایر روش‌های تحلیل داده به تحلیل و اندازه گیری شاخص‌های توسعه‌ی پایدار پرداخته‌اند. در زمینه سطح توسعه‌ی پایدار شهری پژوهشی به بررسی چند کلان شهر در ایران پرداخته است. این پژوهش با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی انجام صورت گرفته است. به‌طوریکه با شناسایی عوامل آب، خاک، هوا، سرمایه‌ی اجتماعی، رفاه (ثروت)، بهداشت و دانش به‌عنوان شاخص‌های اثرگذار، توسعه پایدار شهری را در شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، شیراز و تبریز بررسی کرده است(QalaNooyi, 2011- young ho et all, 2014). همچنین در زمینه‌ی ارزیابی زیست‌محیطی ساختمان‌های مسکونی در سال ۱۳۸۹ مقاله‌ای ابتدا با تدوین شاخص‌های کیفیت در یک آپارتمان مسکونی به بررسی کیفیت زیست‌محیطی ساختمان پرداخته است. در این مقاله برای تحلیل داده‌ها از روش HQE استفاده شده است و در نهایت ساختمان مورد بررسی بر اساس امتیاز اختصاص داده شده به آن با حالت ایده آل مقایسه شده است (Young ho et al, 2014). در سال ۲۰۱۴ پژوهشی با ارائه یک رویکرد بهینه سازی توسعه یافته، بین اهداف توسعه‌ی پایدار و نیاز تصمیم گیرندگان عرصه ساخت‌وساز یک تعادل ایجاد کرده است. این رویکرد با در نظرگیری یک قاب بتنی مسلح شده تحت بارهای ثقلی و جانبی انجام شده است. سپس با در نظر گیری محدودیت‌های شکل‌پذیری بر اساس آین نامه ASCE 2010 به طراحی قاب بتنی پرداخته است و میزان مصرف فولاد در مقاطع بتنی را به‌منظور کاهش تولید CO_2 بررسی کرده است (Zare et al, 2015). برای تعیین سطح توسعه یافتگی و الویت‌بندی توسعه شهری، مقاله‌ای با شناسایی شاخص‌های توسعه‌پایدار (بیش از ۶۵ مورد) به مطالعه موردی شهرستان‌های استان خراسان رضوی پرداخته است. در این پژوهش ابتدا با بهره‌گیری از نرم‌افزارSPSS شاخص‌های مورد استفاده عامل‌سازی شده است. سپس با استفاده از روش موریس و روش امتیاز استاندارد شده، جایگاه شهرستان‌ها مشخص شده است (Ebrahimzadeh & Ghasemi, 2015). در بحث روش‌های توصیفی-تحلیلی مطالعه‌ای به بررسی توسعه‌ی پایدار شهری در شهر کرمانشاه انجام شده است. در این مطالعه نقش مدیریت در توسعه‌ی پایدار شهری مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش با بهره‌گیری از اطلاعات کتابخانه‌ای، پرسشنامه‌ای (شامل بیش از ۸۰ عامل) تدوین کرده است تا بتواند جنبه‌های مختلف توسعه‌پایدار شهری را با استفاده از نرم افزار SPSS مشخص نماید (Louise et al, 1992). همچنین پژوهش دیگری با بکارگیری روش توصیفی-تحلیلی به ارزیابی شاخص‌های کالبدی مسکن شهری با رویکرد توسعه پایدار در شهر سامان انجام داده است. در این پژوهش پنج شاخص کالبدی که شامل مصالح، کیفیت، قدمت، نما و تعداد طبقات می‌باشد شناسایی شد. این شاخص‌ها با توجه به نظر کارشناسان امتیاز دهی شدند و سپس با استفاده از روش AHP در نرم افزار Expert choice وزن دهی شده‌اند. در نهایت وضعیت شهر سامان از نظر شاخص‌های تعیین شده مشخص

[1] Sustainability Assessment By Fuzzy Evaluation
[2] High Quality Environment
[3] Statistical package for social science
[4] Analytical hierarchy process

گردید (Bahare et al, 2010). در بخش سیستم‌های کف، پژوهشی به ارزیابی سه نوع سیستم تیرچه بلوک شامل، بتنی، خاک رسی و پلی استایرن پرداخته است. معیارهای توسعه پایدر در این پژوهش عوامل زیست‌محیطی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی انتخاب شده‌اند. همچنین این پژوهش برای تحلیل داده‌ها و تعیین اثرات هر یک از سیستم‌ها به روی معیارهای انتخاب شده از روش AHP استفاده شده است. در نهایت بهترین نوع تیرچه از انواع موارد مورد بررسی براساس معیارهای توسعه پایدار معرفی شده است (chen et al, 2010). در زمینه ساختمان‌های بتنی مقاله‌ای معیارهای توسعه‌ی پایدار را در روش‌های ساخت‌وساز مورد ارزیابی قرار داده است. در این مقاله ساختمان‌های بتنی در مراحل اولیه ساخت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. روش بکار گرفته شده در این پژوهش بر اساس طراحی و تدوین یک پرسشنامه و مصاحبه با افراد متخصص می‌باشد. این پژوهش در ایالت متحده آمریکا انجام شده است و داده‌های جمع آوری شده بر مبنای ساختمان‌های پیش ساخته و ساخت‌وساز در محل بوده است. نتایج این پژوهش با مقایسه عملکرد دو نوع سیستم پیش‌ساخته و ساخت‌وساز در محل ارایه شده است، بطوریکه رویکرد توسعه پایدار مبنای مقایسه بوده است(Bazazan & Khosravani, 2016). در زمینه تولید و انتشار آلاینده‌ها از قبیل CO_2 و اثرات آن بر توسعه‌ی پایدار پژوهش‌هایی نیز صورت گرفته است. در این زمینه پژوهشی با هدف سنجش میزان انتشار آلاینده CO_2 ناشی از مصرف انرژی توسط فعالیت‌های اقتصادی و میزان مصرف انرژی توسط خانوارها انجام شده است. اطلاعات این مقاله براساس داده‌های تجربی می‌باشد و با استفاده از روش داده–ستانده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. جدول‌های داد–ستانده علاوه بر روش تحلیل، یک چارچوب آماری قوی و منسجم بشمار می‌رود. جوهره اصلی این جدول‌ها اقتصاد یک کشور است، که به بخش‌ها یا زیربخش‌هایی تجزیه می‌شوند، به‌طوریکه ارتباطی معنادار با هم داشته باشند. همچنین داده‌های این پژوهش با استفاده از ترازنامه‌ی انرژی و ترازنامه‌ی هیدروکربوری منتشر شده توسط وزارت نیرو سال ۱۳۹۰ گردآوری شده است. در نهایت، میزان مصرف انواع انرژی و دی اکسید کربن ناشی از آن برای بخش‌های اقتصادی و خانوارها به تفکیک محاسبه شده است (Momeni et al, 2016).

با توجه به مباحث بیان شده عوامل متعددی در مسیر دست‌یابی به اهداف توسعه پایدار تاثیر گذار هستند. تولید و انتشار آلاینده‌ها نیز در این مبحث قرار می‌گیرند. گازهای گلخانه‌ای برمبنای دی اکسید کربن عمدتا مربوط به کشورهای در حال توسعه و اقتصادهای نوظهور است، که برای حفظ رشد اقتصادی خود مجبور به افزایش مصرف انرژی هستند. در پی تحقیق و جست-وجو پیرامون جوانب مختلف ماهیت کربن دی اکسید در کشورهای مختلف، نگرانی‌هایی نسبت به وضعیت سه منبع حیاتی، آب شیرین، تولید بیولوژیکی و منابع انرژی در تمامی مراحل زندگی انسان وجود دارد. فن‌آوری‌های بسیاری در حیطه کاهش مصرف انرژی با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام پذیرفته است، لیکن به‌دلیل عوامل مختلفی از قبیل فقدان دانش فنی و هزینه‌های بالا در سرمایه‌گذاری بصورت کامل اجرا نشده‌اند. همچنین بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه توسعه‌ی پایدار به صورت مطالعه موردی در شهرهای متفاوت صورت گرفته است و نتایج به صورت نسبی بوده و برای هر شهر متفاوت می‌باشد. لذا استفاده از نتایج این پژوهش‌ها به عنوان الگویی جامع و کامل برای ارزیابی توسعه‌ی‌پایدار در شهرهای دیگر شاید خروجی قابل قبولی نداشته باشد. از این رو پژوهش حاضر سعی بر این دارد با بکارگیری سیستم‌های سقف سازه‌ای وافل دک دوطرفه و دال دوطرفه میزان کاهش بتن و سیمان مصرفی در سازه‌های بتنی را مورد ارزیابی قرار دهد، تا میزان تاثیر گذاری آن بر توسعه پایدار با رویکرد کاهش CO_2 مورد سنجش و اندازه گیری قرار گیرد.

۳-CO_2 حاصل از تولید سیمان

در فرآیند توسعه همگام با محیطزیست کاهش استفاده از منابع تجدید ناپذیر در صدر اولویت راهبردی کشورهای در حال توسعه است، زیرا از اتلاف مقدار متنابعی از انرژی جلوگیری می‌شود. امروزه با بالارفتن مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی به منظور تولید انرژی، احساس نیاز برای حرکت به سمت توسعه‌ی پایدار کاملا محسوس می‌باشد. در این بین طراحان در تلاش‌اند که با بکارگیری ملاحظاتی در ساخت‌وساز بناها، در کاهش مصرف انرژی موثر واقع شوند (Zare et al, 2015 – Rahmi, 2014). مبحث تامین انرژی از مهم‌ترین ابزارهای لازم برای رسیدن به رشد و توسعه‌ی اقتصادی کشورها است. یکی از بزرگترین مشکلات نسل‌های

آتی آلودگی محیط‌زیست است. به عبارتی، پخش یا آمیختن مواد خارجی به آب و هوا یا زمین، به گونه‌ای که کیفیت فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی آنها را دچار تغییر می‌کند و برای انسان و سایر موجودات زنده زیان بار است (Momeni et al, 2016).

بهینه‌سازی در مصرف انرژی، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی را به‌همراه دارد. این عامل باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به محیط‌زیست می‌شود (Tavoosi & mojtahednejad, 2016). در بین گازهای گلخانه‌ای موجود در اتمسفر، CO_2 بیشترین تاثیر را بر روی گرمایش و آلودگی کره‌ی زمین دارد. این گاز عمدتا از احتراق سوخت‌های فسیلی در صنایع مختلف حاصل می‌شود (Stephan & Crawford, 2011). روش‌های زیادی جهت جداسازی این گاز از خروجی کارخانه‌ها و فضاهایی که دی اکسید کربن تولید می‌کنند وجود دارد، اما این روش‌ها نمی‌توانند میزان دی اکسید کربن موجود در اتمسفر را کاهش دهند. از آنجایی که مصرف انرژی در بخش صنعت ساختمان حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی اکثر کشورهای جهان را به خود اختصاص داده است، بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش حائز اهمیت است (Partoy, 2009). صنعت سیمان از صنایعی است که بیشترین مقدار دی‌اکسیدکربن را آزاد می‌کند (حدود ۵ درصد از کربن دی اکسید منتشر شده در جو)، به گونه‌ای که هر کیلوگرم کلینکر پرتلند تقریبا ۱ کیلووات CO_2 را در جو منتشر می‌کند. همچنین در فرآیند تولید سیمان به ازای تولید هر ۱۰۰۰ کیلوگرم سیمان، ۹۰۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن آزاد می‌گردد. لذا صنایع سیمان به روش‌های مختلف پتانسیل بالایی برای کنترل و کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای دارند (Taehee et al, 2016). در این حوزه می‌توان به مواد افزودنی تولید کلینکر اشاره کرد، بطوریکه در تولید کلینکر استفاده از مواد افزودنی حاوی کربنات (سرباره، خاکستر و فلورایت) و یا مواد افزودنی فاقد کربنات کلسیم باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. همچنین استفاده از سوخت‌هایی با هیدروکربن پایین‌تر (تبدیل سوخت از مازوت به گاز طبیعی، استفاده از لاستیک یا زیست‌توده)، استفاده از حرارت اتلافی کوره و نیز کاهش CO_2 در خروجی کوره کلینکر باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به محیط می‌شود (Yeo & Potra, 2015).

در مقیاس زمانی زمین شناسی، تمام CO_2 تولید شده که از فرآیند کالسیناسیون به دست می‌آید، در طی فرآیند کربناته شدن جذب می‌شود، به خصوص پس از پایان عمر کار، و پس از خرد شدن سنگ آهک بتن، روند کربناتیزاسیون به میزان قابل توجهی سرعت می‌گیرد. کربناته شدن یک فرایند انتشار، با توجه به کیفیت بتن و شرایط قرار گرفتن آن در معرض هوای اتمسفر است (Yeo & Potra, 2015). CO_2 حاصل شده از فرآیند تولید سیمان در کوره ۶۰ درصد کل تولید گازهای گلخانه‌ای است (Zare et al,2015). دی‌اکسید کربن در فرآیند تولید سیمان به صورت دو منبع مختلف می‌شود. منبع اول CO_2 حاصله از فرآیند پخت مواد خام (کلسیناسیون)، و مرحله دوم CO_2 حاصله از احتراق سوخت است. با توجه به این اصل تقریبا نیمی از دی‌اکسید کربن تولید شده در صنعت سیمان حاصل از سوخت و نیمی حاصل از تبدیل مواد خام به کلینکر می‌باشد. با این حال، باید در نظر داشت که این یک تعادل پیچیده است. بطوریکه صنعت بتن از یک سو تلاش می‌کند تا بقایای کربن تولید شده از بتن را با مخلوط کردن سیمان با افزودنی‌ها و بهینه‌سازی طراحی‌ها کاهش دهد، اما از سوی دیگر تولیدکنندگان سعی در عرضه بیشتر سیمان دارند (Rahimi, 2014).

٤-دال‌های بتن آرمه (دال دوطرفه و وافل دک دوطرفه یا دال مشبک)

دال‌های بتن آرمه از مهمترین اجزای سازه‌ای سازه‌های بتنی محسوب می‌شوند. دال‌ها علاوه بر نقش نگهداری بارهای قائم و انتقال آنها به تکیه‌گاه‌ها، در برابر نیروهای جانبی به عنوان یک سیستم باربر نیز عمل می‌کنند. دال‌ها از نظر نوع تکیه‌گاه انواع مختلفی دارند و آن‌ها را می‌توان در دو گروه دال‌های یک طرفه و دال‌های دو طرفه تقسیم بندی نمود. دال‌های یک طرفه هنگام بارگذاری در یک جهت انحنا پیدا می‌کنند و در نتیجه بار کف را در یک جهت انتقال می‌دهند. در مقابل، دال‌های دوطرفه پس از اعمال بار (هنگامی که تحت بارگذاری قرار می‌گیرند)، دال در دو طرف انحنا پیدا می‌کند و در نتیجه بار کف در هر دو جهت به تکیه‌گاه‌های اطراف انتقال می‌یابد. بدین ترتیب دال‌های دو طرفه بر خلاف دال‌های یک طرفه تحت لنگرهای خمشی در دو جهت قرار می‌گیرند. از این رو آرماتورهای خمشی نیز در آنها در دو جهت قرار داده می‌شوند. نوع دیگر دال‌های دو طرفه دال‌های

تخت هستند، در این نوع دال‌ها از تیر استفاده نمی‌شود و در نتیجه بار کف مستقیما از دال به ستون‌های اطراف انتقال می‌یابند. مشکل این دال، انتقال لنگر در محل اتصال ستون به دال است، به طوریکه مسئله کنترل برش دال در اطراف ستون به سختی صورت می‌گیرد و در بسیاری از موارد ضخامت دال در محل ستون‌ها پاسخگوی این تنش‌ها نخواهد بود. برای غلبه بر این مشکل باید ضخامت دال افزایش یابد و از سر ستون در انتهای ستون‌ها استفاده نمود. در نتیجه دال‌های تخت نمی‌توانند سیستم مناسبی برای تحمل نیروهای جانبی به‌وجود آورند. از این رو با افزایش دهانه‌ی دال‌ها ضخامت آنها نیز افزایش می‌یابد و وزن کف عامل تعین کننده‌ای در طراحی‌ها می‌شود. برای کاهش اثر وزن در برخی موارد از دال مشبک استفاده می‌شود. دال مشبک در واقع یک دال تیرچه‌ای دوطرفه است که در آن با استفاده از قالب‌های جعبه‌ای شکل فضاهای خالی در قسمت تحتانی دال به‌وجود می‌آورند (Keynia, 2002).

با این وجود از بین انواع دال‌های دوطرفه، دال‌هایی که در آنها، در چهار طرف دال، یعنی رو خط ستون‌ها، تیر وجود دارد از همه معقول‌تر هستند. این دال‌ها به‌خاطر وجود تیر در روی خط ستون‌ها صلبیت کافی را دارند و در نتیجه سیستم سازه‌ای مناسبی را برای تحمل بارهای جانبی به‌وجود می‌آورند (Keynia, 2002).

در نهایت با توجه به تجربیات و طراحی‌های صورت گرفته تاکنون، از نظر محدوده‌ی کاربرد، دال‌های یک طرفه توپر معمولا برای دهانه‌های کمتر از ۴/۵ متر مناسب‌اند. از سوی دیگر، دال‌های تیرچه‌ای تا دهانه‌های ۱۰ متر قابل رقابت با سایر سیستم‌های کف هستند. دال‌های تخت معمولا برای دهانه‌های تا ۷/۵ متر بهترین کارآیی را دارند که با استفاده از سرستون این طول را می‌توان تا ۹ متر افزایش داد. دال‌های مشبک نیز اغلب برای دهانه‌های در محدوده‌ی ۹ تا ۱۲ متر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Keynia, 2002).

۵-رویکرد HQE

رویکرد HQE روشی برای ارزیابی کیفیت محیطی با در نظر گرفتن محیطزیست در صنعت ساخت‌وساز می‌باشد. HQE به اختصار از سه کلمه‌ی فرانسوی Haute Qualite Environnementale گرفته شده است، که به معنای کیفیت بالای زیست محیطی می‌باشد. HQE سعی در ایجاد یک تعادل بین نیازهای انسان و محیطزیست دارد. به بیان دیگر با توجه به محدودیت‌های منابع تجدیدناپذیر و تاثیر گازهای گلخانه‌ای از یک سو و درخواست‌های کاربران عرصه‌ی ساخت-وساز از سوی دیگر، دو خواسته‌ی تعارض با یکدیگر می‌باشند و روش QHE در تلاش برای متعادل ساختن این دو عامل است. بطور کلی این روش بصورت همزمان به تمامی جنبه‌های ساختمان می‌پردازد و هدف اصلی آن صرفه‌جویی در منابع، کاهش پسماندها، کاهش انتشار آلاینده‌ها و بطور کلی کاهش اثرات مخرب بر محیطزیست است. همچنین این اهداف با درنظرگیری آسایش و سلامت ساکنین و افراد درگیر در پروژه-های ساخت می‌باشد (Young ho et al, 2014).

این رویکرد یک روش همه جانبه بوده که می‌تواند در تمامی چرخه‌ی عمر یک پروژه‌ی ساخت مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌تواند در پروژه‌های نوسازی و بهسازی کارایی داشته باشد. از دیگر مزایای این روش می‌توان به ابعاد اقتصادی و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های ساخت اشاره کرد. بطوریکه می‌تواند با بهینه‌سازی از طریق کاهش مصرف مصالح با درنظرگیری کیفیت ساخت پروژه‌ها، هزینه‌های ساخت‌وساز را بطور قابل توجهی کاهش دهد(Young ho et al, 2014).

٦-انجام پژوهش، مقایسه دو نوع سیستم سازه‌ای

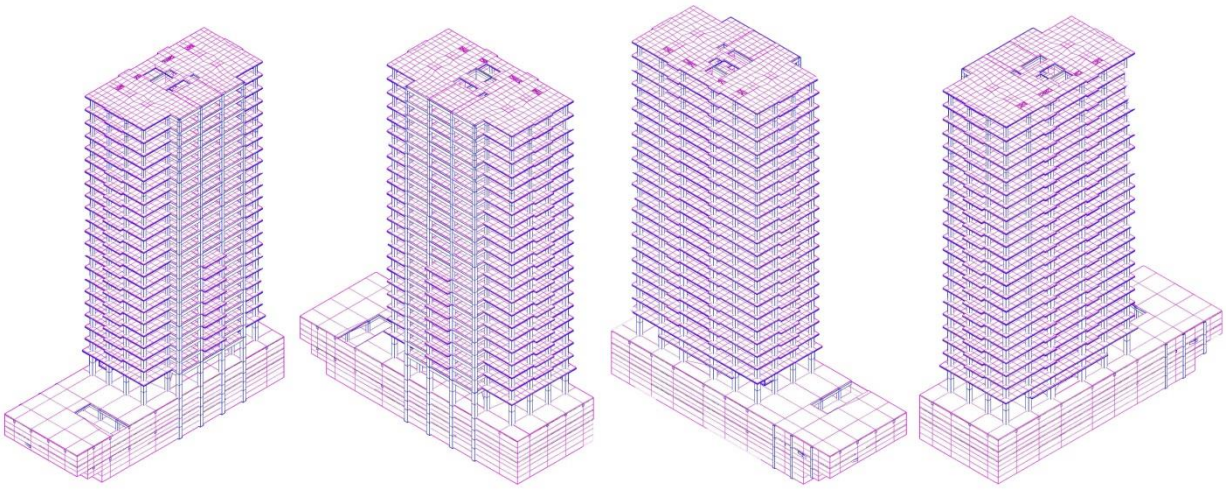
برای دستیابی به اهداف این پژوهش ساختمان برج الیزه شماره‌ی یک، واقع در شهر مشهد مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین برای ارزیابی ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش از روش HQE استفاده می‌شود. اسکلت سازه‌ی مورد بررسی بر اساس بتن‌آرمه طراحی شده و زیربنای آن حدود ۳۵۵۰۰ مترمربع است. دلیل انتخاب این سازه توجه به مرتفع سازی در کلان شهرها می‌باشد. از طرف دیگر نظر به اینکه در کلان شهرها میزان انتشار آلاینده‌ها به حد بحرانی رسیده است، کاهش مصرف مصالح و در پی آن کاهش تولید آلاینده‌ها می‌تواند نقش موثری در حفاظت از محیطزیست ایفا کند (Young ho et al, 2014).

پژوهش حاضر به بررسی کاهش مصرف مصالح بتنی در سازه-های بتن‌آرمه می‌پردازد. این فرآیند با طراحی و مقایسه‌ی دو نوع سیستم سازه‌ای سقف متفاوت، در برج الیزه شماره یک مشهد انجام می‌پذیرد. بطوریکه سازه‌ی مورد بررسی با دو سیستم سازه-ای سقف وافل‌دک دوطرفه و سیستم دال دوطرفه طراحی می-شود. در نهایت مقدار بتن مصرفی حاصل از هر یک از طراحی‌ها

با یکدیگر مقایسه می‌شود. در نتیجه با کاهش مقدار مصرف سیمان، میزان CO_2 حاصل از تولید آن نیز کاهش پیدا خواهد کرد.

۷- مشخصات سازه‌ای

در این بخش مشخصات کلی سازه‌ای مورد تحلیل و طراحی مشخص می‌شود. سازه مورد بررسی یک ساختمان مسکونی بتنی ۲۸ طبقه می‌باشد. این ساختمان ۴ طبقه پارکینگ و ۲۴ طبقه مسکونی دارد. سازه‌ی ساختمان مورد بررسی در شکل (۱) رسم شده است.



شکل (۱) سازه‌ی ساختمان مورد بررسی (برج الیزه شماره یک مشهد)

مشخصات مصالح مصرفی برای طراحی سازه بتنی مورد بررسی مطابق با جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱) مشخصات مصالح

پارامتر	مقدار
Concrete compressive strength	$f'_c = 25\ MPa$
Reinforcement yield strength	$f_y = 400\ MPa$
Modulus of elasticity of steel	$E_s = 2 \times 10^5\ MPa$
Specific mass of concrete	$\rho_c = 2500\ kg/m^3$
Specific mass of steel	$\rho_s = 7850\ kg/m^3$
Lightweight concrete factor	$\lambda = 1\ for\ normal\ weight$
Strength reduction factor for shear	$0.817 \leq \emptyset_b \leq 0.9$
Strength reduction actor for axial force	$0.65 \leq \emptyset_s \leq 0.9$
Maximum usable strain at extreme concrete compression fiber	$\varepsilon_{cu} = 0.003$

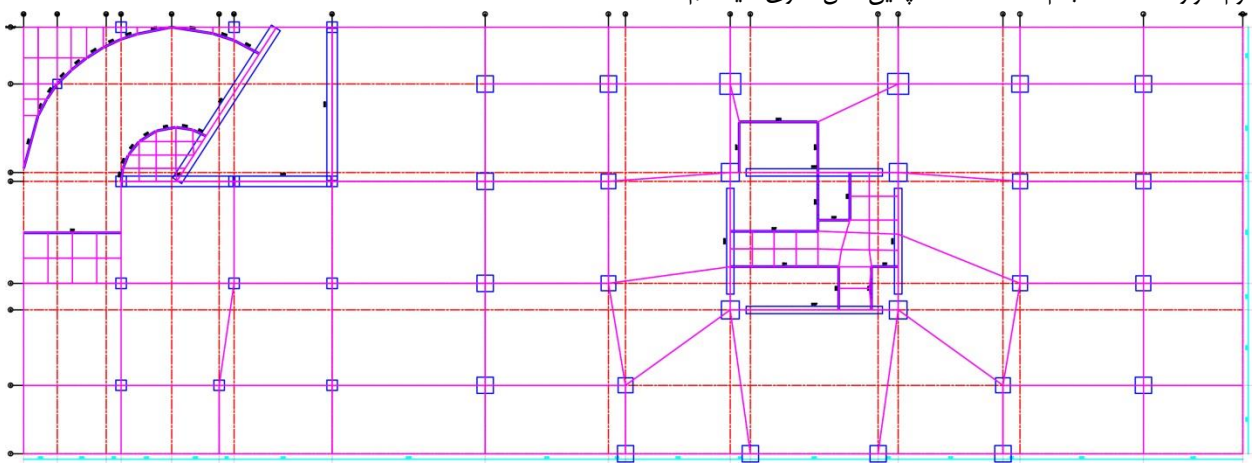
همچنین به‌منظور آنالیز سازه و مشخص شدن تلاش‌های داخلی اعضا و طراحی مقاطع سازه‌ای در این پژوهش، از آیین‌نامه ACI 318-08 و نرم افزار etabs برای طراحی مقاطع بتنی استفاده می‌شود. از این‌رو برای اندازه گیری و مقایسه مقدار بتن مصرفی (سیمان) در سازه‌های بتن آرمه، طراحی براساس دو سیستم سازه-ای دال دوطرفه و سیستم سقف دال مجوف (وافل دک دو طرفه، ابعاد قالب‌ها ۸۰*۸۰ می‌باشد) انجام می‌پذیرد. در ادامه

به‌منظور مقایسه‌ی میزان بتن مصرفی در نتیجه‌ی تغییر در سیستم سازه‌ای سقف در ساختمان‌های بتن آرمه، ساختمان برج الیزه شماره یک واقع در شهر مشهد به عنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. اسکلت این ساختمان بتن آرمه طراحی شده و سیستم باربر جانبی آن دیوار برشی است. همچنین طراحی اولیه سیستم سازه‌ای سقف این سازه دال دو طرفه در نظر گرفته شده است. از این‌رو برای مقایسه سیستم سازه‌ای سقف دال دوطرفه و سیستم سقف وافل دک دوطرفه، این سازه با سیستم سازه‌ای سقف وافل دک دوطرفه بازطراحی می شود. همچنین برای درک بهتر و روشن شدن اهمیت موضوع در بحث

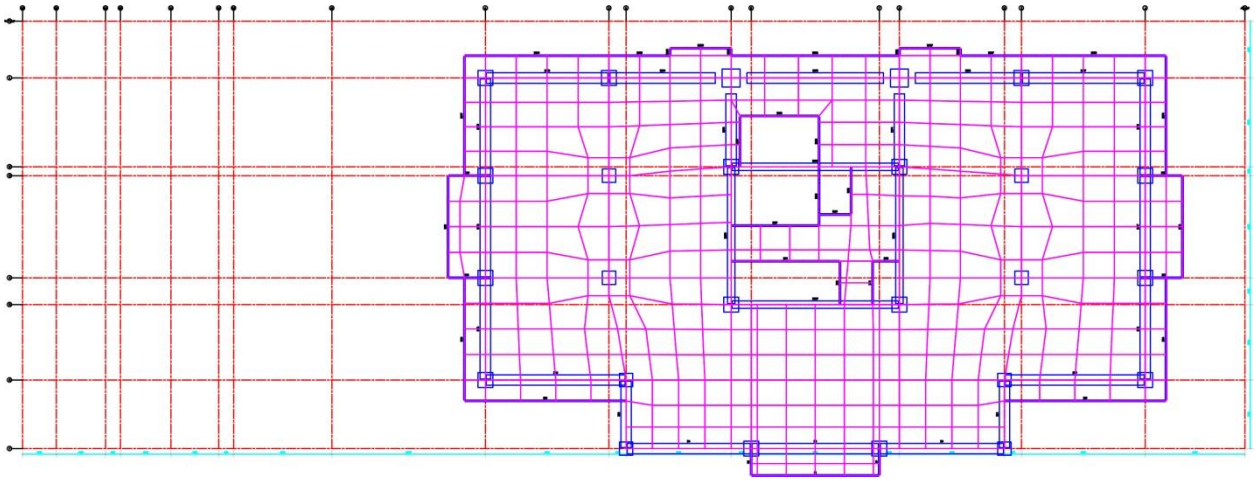
نقش سیستم‌های سازه‌ای سقف در کاهش مصالح مصرفی، ابعاد مختصات قرارگیری المان‌های تیر، ستون و دیوارهای برشی سازه ثابت درنظر گرفته شده‌اند و تنها سیستم سازه‌ای سقف بازطراحی شده است.

۶-۱- خروجی طراحی

طراحی سازه براساس آیین نامه ACI318-08 و با استفاده از نرم افزار Etabs انجام شده است. همچنین مدل سازی سیستم سازه‌ای سقف در نرم افزار Safe صورت پذیرفته است. همانطور که در قسمت قبل بیان شد طراحی سازه با ثابت در نظر گرفتن پلان ستون‌ها و تیرها انجام شده است. جانمایی ستون‌ها و تیرها در سازه مورد بررسی برای پارکینگ و طبقات مسکونی در شکل-های (۲و ۳) رسم شده‌اند.

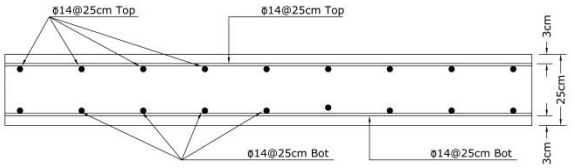


شکل (۲) جانمایی ستون‌ها و تیرها در پارکینگ

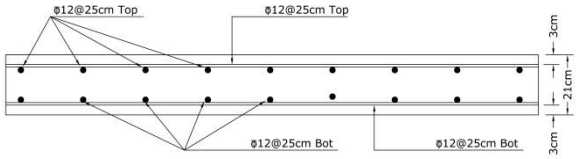


شکل (۳) جانمایی ستون‌ها و تیرها در طبقات

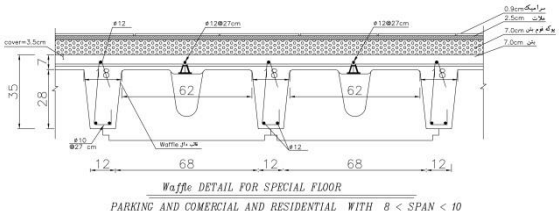
در نهایت باتوجه به طراحی‌های انجام شده و خروجی نرم افزارهای طراحی، مشخصات سیستم سازه‌ای سقف برای دو حالت مورد بررسی (سیستم سازه دال دو طرفه و وافل دک دو طرفه) مطابق با شکل‌های (۴، ۵ و ۶) می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در سیستم سازه‌ای دال دوطرفه برای طبقات پارکینگ و طبقات مسکونی جزئیات اجرایی متفاوت می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵) و در حالت استفاده از سیستم سازه‌ای وافل دک دوطرفه جزئیات اجرایی سقف (شکل ۶) برای تمامی طبقات پاسخگوی شرایط سازه می‌باشد. لازم به ذکر است در تعیین ضخامت دال دوطرفه اصلی ترین مساله خیز کوتاه مدت و بلند مدت است. در صورتی که کنترل خیز در دال‌های دوطرفه براساس محاسبات دقیق انجام نگیرد، آیین نامه‌ها حداقل ضخامتی را برای دال دوطرفه لازم می‌دانند.



شکل (۴) جزئیات سقف دال دوطرفه برای طبقات پارکینگ

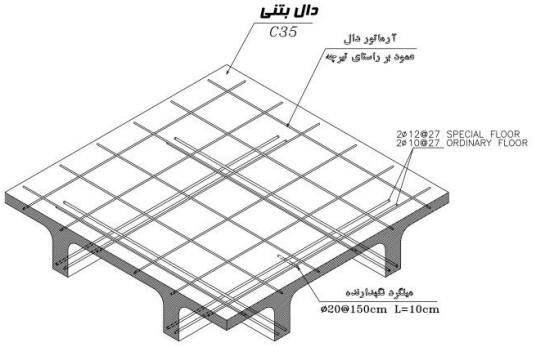


شکل (۵) جزئیات سقف دال دوطرفه برای طبقات مسکونی



شکل (۶) جزئیات سقف وافل دک دو طرفه

شکل‌های (۴، ۵ و ۶) نشان دهنده‌ی جزئیات اجرایی سیستم‌های سازه‌ای سقف طراحی شده می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌شود، ضخامت دال بتنی برای سیستم دال دوطرفه در طبقات پارکینگ برابر با ۲۵ سانتی‌متر (شکل ۴) و برای طبقات مسکونی برابر با ۲۱ سانتی‌متر (شکل ۵) می‌باشد. این در حالی است که ضخامت دال بتنی برای سیستم سقف دال مجوف (وافل دک دوطرفه) برابر ۷ سانتیمتر (شکل ۶) می‌باشد. با توجه به شکل‌های (۴، ۵ و ۶) مشاهد می‌شود که ضخامت دال بتنی در سقف وافل دک دوطرفه (شکل ۵) به میزان قابل توجهی کمتر از ضخامت دال دو طرفه (شکل‌های ۴ و ۵) است. این موضوع بیانگیر کاهش مصرف بتن در سقف‌ها می‌باشد که با کاهش چشمگیری همراه است. بتن مصرفی برای سازه‌ی مورد بررسی از نوع C35 می‌باشد و برای تولید یک مترمکعب این رده‌ی بتن حدودا ۴۰۰ کیلوگرم سیمان مصرف می‌شود. شکل (۷) جزئیات اجرایی سقف وافل دک دوطرفه می‌باشد.



شکل (۷) جزئیات سقف وافل دک دو طرفه

در سازه‌ها عواملی همچون منطقه لرزه خیزی، تعداد طبقات، میزان کفایت دیوار برشی، نظم پلان، کاربری، نوع سیستم باربر جانبی و عواملی از این دست در مقدار مصالح مصرفی اثر گذار هستند. مقادیر لیست شده در جدول (۲) برآورد مصالح مصرفی مورد نیاز برای پروژه‌ی طراحی شده بررسی در این پژوهش می‌باشد.

جدول (۲) مقادیر مصرف بتن در اعضای مختلف سازه‌ای (m^3)

اعضای سازه‌ای	دال دوطرفه	وافل دک دو طرفه
تیر	۱۹۶۰	۱۹۶۰
ستون	۲۱۳۶	۲۱۳۶
دیوار	۴۴۲۶	۴۴۲۶
سقف	۷۴۷۰	۵۶۸۰

جدول (۲) نشان می‌دهد که در نتیجه‌ی تغییر سیستم سازه‌ای سقف و با ثابت درنظر گرفتن جانمایی ستون‌ها، تیرها و دیوارهای برشی مقدار بتن مصرفی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. به‌طوریکه این مقدار با کاهش ۲۳/۹٪ مصرف بتن سقف‌ها در اثر به‌کارگیری سیستم سازه‌ای سقف وافل دک دوطرفه نسبت به دال دو طرفه می‌باشد. همچنین مقدار بتن مصرفی نسبت به سطح زیربنا سازه در اثر تغییر سیستم سازه‌ای سقف در جدول (۳) لیست شده است.

جدول (۳) مقادیر بتن مصرفی برای سیستم‌های وافل دک دو طرفه و دال دوطرفه نسبت به زیر بنا

سیستم سقف سازه ای	دال دوطرفه	وافل دک دو طرفه
کاربری	مسکونی	مسکونی
تعداد طبقات	۲۸	۲۸

۰,۴۰	۰,۴۵	حجم بتن در هر متر مربع زیر بنا(m^3)
۳۵۵۰۰	۳۵۵۰۰	زیر بنای کل سازه
۱۴۲۰۲	۱۵۹۹۲	مقدار کل بتن مصرف شده

جدول (۳) بیانگر این نکته است که در هر مترمربع زیر بنا مقدار ۰/۰۵ مترمکعب کاهش مصرف بتن خواهیم داشت. به بیان دیگر با مقایسه‌ی مقدار بتن مصرف شده در دوحالت مورد بررسی نشان داده می‌شود که طراحی سازه با استفاده از سیستم سازه‌ای سقف وافل دک دو طرفه مقدار ۱۷۹۰ مترمکعب در مصرف بتن صرفه جویی شده است، که در نتیجه‌ی این کاهش مصرف بتن سیمان بکار رفته شده در بتن نیز کاهش خواهد یافت. همچنین بتن مصرف شده از نوع C35 می‌باشد که مقدار سیمان موجود در این رده‌ی بتن حدود ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. از این رو با نظر به اینکه مقدار ۱۷۹۰ مترمکعب در بتن مصرفی صرفه-جویی شده است، می‌توان به این نتیجه دست یافت که به میزان ۸۰۵۵۰۰ کیلوگرم در مصرف سیمان صرفه جویی خواهد شد.

مشاهده می‌شود که تنها با تغییر سیستم سازه‌ای سقف حدود۸۰۰ تن کاهش مصرف سیمان در یک سازه بتن آرمه خواهیم داشت. این موضوع در مبحث توسعه‌ی پایدار در بخش آلاینده‌های اثر گذار محیطزیست می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. بطوریکه با درنظرگیری مقدار CO_2 ایجاد شده در اثر تولید سیمان (به ازای تولید هر ۱۰۰۰ کیلوگرم سیمان، حدود ۹۰۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن آزاد می‌گردد) از انتشار آلاینده‌ی CO_2 حدود ۸۰۰ تن جلوگیری خواهد شد. این نکته لازم به ذکر است که این مقدار کاهش انتشار آلاینده تنها در اثر به‌کارگیری و انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب در یک سازه بلند مرتبه در کلان شهر مشهد می‌باشد. با این وجود اگر دست اندرکاران و مهندسین صنعت ساختمان با سیستم های سازه‌ای متفاوت و مزایای آنها آشنایی داشته باشند، پیامدهای منفی ناشی از صنعت ساختمان بر توسعه-ی پایدار کاهش خواهد یافت.

۸-نتیجه گیری

در این مقاله، میزان کاهش مصرف بتن در سازه‌های بتن‌آرمه در اثر تغییر سیستم سازه‌ای سقف مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این کار، سازه‌ی ساختمان الیزه شماره یک واقع در شهر مشهد بازطراحی شد. طراحی سازه با دو سیستم سازه‌ای سقف وافل‌دک دوطرفه و سیستم دال دوطرفه صورت پذیرفت. بطوریکه برای مشخص شدن و مقایسه اثر تغییر سیستم سازه‌ای سقف در میزان بتن مصرفی ساخت سازه، جایگذاری و ابعاد تیرها، ستون‌ها و دیوارها در هر دو حالت طراحی ثابت درنظر گرفته شد. همچنین برای ارزیابی پژوهش انجام شده و پیامدهای آن بر توسعه‌ی پایدار روش HQE مورد استفاده قرار گرفت. پس از انجام آنالیز سازه و طراحی بر اساس دو سیستم سازه‌ای سقف وافل‌دک دوطرفه و دال دوطرفه میزان بتن مصرف شده برای سقف‌ها مشخص شد. نتایج به‌دست آمده بر مبنای طراحی-های انجام شده بیانگر کاهش مصرف بتن در طراحی سازه با سیستم سازه‌ای سقف وافل دوطرفه نسبت به سیستم سازه‌ای دک دوطرفه بتن مصرف شده حدود۵۶۸۰ مترمکعب می‌باشد و طراحی سازه با استفاده از دال دوطرفه بتن مصرفی حدود ۷۴۷۰ مترمکعب می‌باشد. همان‌طور که بیان شد طراحی‌ها با ثابت درنظر گرفتن جانمایی و ابعاد تیرها، ستون‌ها و دیوار برشی‌ها انجام شده است تا میزان کاهش مصرف بتن تنها با تغییر سیستم سازه‌ای سقف مشخص شوند. این میزان کاهش بتن مصرفی که حدود ۱۷۹۰ مترمکعب برای سقف‌ها است و حدود ۰/۰۵ مترمکعب در هر متر زیربنا می‌باشد. از این‌رو پیامدهای ناشی از کاهش مصرف بتن بر توسعه‌ی پایدار را می‌توان به شرح زیر عنوان کرد:

۱- با توجه به کاهش مصرف بتن که حدود ۱۷۹۰ مترمکعب می-باشد و رده‌ی بتن مصرفی که C35 است، میزان ۸۰۵۵۰۰ کیلوگرم در مصرف سیمان صرفه‌جویی می‌گردد (میزان سیمان بکار گرفته شده در یک مترمکعب بتن رده‌ی C35 حدود ۴۵۰ کیلوگرم می‌باشد). این میزان کاهش مصرف سیمان حدود ۸۰۰ تن کاهش تولید و انتشار آلاینده‌ی CO_2 را به‌همراه خواهد داشت.

۲- با توجه به کاهش مصرف بتن در ساخت سازه می‌توان به این نکته اشاره کرد که بعد از عمر مفید ساختمان و هنگام تخریب آن پسماند و نخاله‌ی کمتری وارد محیطزیست می‌شود.

۳- با نگاهی به میزان کاهش بتن مصرف شده می‌توان به جنبه‌ی کاهش آب مصرفی در خصوص تولید بتن اشاره نمود که در مصرف آب نیز صرفه‌جویی خواهد شد.

۴- کاهش مصرف بتن در ساخت سازه پیامدهای اقتصادی، شامل کاهش هزینه‌های ساخت را به‌همراه دارد.

بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بکارگیری سیستم مناسب سازه‌ای جنبه‌های مفیدی در زمینه‌ی اقتصاد، سرمایه-گذاری، کاهش مصرف منابع و افزایش کیفیت محیط زیست را به‌همراه خواهد داشت. این در حالی است که اکثر مهندسین صنعت ساخت‌وساز در کشور تنها به جنبه‌ی مالی و مدت زمان ساخت اهمیت می‌دهند و به پیامدهای ناشی از ساخت‌وساز توجه چندانی نمی‌کنند. این موضوع بیانگر این نکته است که اکثر ساخت و سازها در کشور بر اساس روش‌های قدیمی و بدون مطالعات اولیه می‌باشد. بطوریکه اگر در ابتدای ساخت یک سازه در فاز مطالعات توجیهی تمامی جنبه‌های زیست‌محیطی، هزینه‌ی ساخت، کاهش مصرف مصالح و بکارگیری روش‌های مناسب طراحی مورد نظر طراح قرار گیرد، پیامدهای منفی ساخت‌وساز بر توسعه‌ی پایدار کاهش خواهد یافت.

منابع

- Bahare. R, Rehan. S, Kasun. H. "Sustainability assessment of flooring systems in the city of Tehran: An AHP-based life cycle analysis", Journal of Construction and Building Materials, 2010; 25, 2053-2066.
- Bazazan. F, Khosravani. N. "Measurement of carbon dioxide emissions by different production and households due to energy consumption in Iran (environmental-input data approach)". Journal of Environmental and Natural Resource Economics.2016; 1, 1-25.
- Chen. Y, Okudan. G, Riley. D. "Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings". Journal of Automation in Construction, 2010; 19, 235-244.
- Ebrahimzadeh. E, Ghasemi. E. "Evaluation of Urban Housing Indicators with Sustainable Development Approach Case Study: Saman City". Journal Urban - Regional Studies and Research. 2015; 36, 84-104.
- Halati. A, He. Y. "Intersection of economic and environmental goals of sustainable development initiatives". Journal of Cleaner Production. 2018; 189, 813-829.
- Keynia. A. M. "Analysis and design of concrete structures". Jahad, Isfahan Unit. Printing time. 2002.
- Louise O. FrescoSalomon B. Kroonenberg. "Time and spatial scales in ecological sustainability". Journal of Land Use Policy.1992; 9, 155-168.
- Momeni. F, Kamal. E, Khanporardebil. R. "Study of the status of sustainable development in Iran using carbon footprint index". Journal of Environmental and Natural Resource Economics. 2016; 1, 65-93.
- Partoy. A. "Utilizing Clean Development Mechanism in the Cement Industry". Journal of Clean Development Mechanism. 2009.
- Qala Nooyi. M. "Environmental Assessment of Buildings through HQE; Case Study: (Three-storey residential flats in five Isfahan area)". Journal of Environmental Studies. 2011; 37, 123-134.
- Rahmi. A. "The Role of Building Thermal Simulation for Energy Efficient Building Design". Journal of Energy Procedia. 2014; 47, 217-226.
- Stephan. R, Crawford. H. "Towards a more holistic approach to reducing the energy demand of dwellings". Journal of Energy Procedia Engineering. 2011; 21, 1033-1041.
- Taehee. K, Hee-kown. L, Gi-deok. K, l. Seung-woo, C. Gi-tak, Y. Byoung-woo." Analysis on the Chemical and Mechanical Stability of the Grouting Cement for CO2 Injection Well". Journal of Energy Procedia. 2013; 37, 5702-5709.
- Tavoosi. H, Movagharnejad. K. "Simulation of the Direct Air Capture of carbon dioxide". Journal of Farayandno. 2016; 10, 78-89.
- Timothy O. Olawumi, Daniel W.M.Chan. "A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development". Journal of Cleaner Production. 2018; 183, 231-250.
- Yeo. D, Potra. F. A." Sustainable Design of Reinforced Concrete Structures through CO2 Emission Optimization". Journal of Structural Engineering. 2015; 141, 1-7.
- Young oh. D, Noguchi. T, Kitagaki. R, Park. W." CO2 emission reduction by reuse of building material waste in the Japanese cement industry". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014; 38, 796-810.
- Zare. A, Homayounifar. M, Razmi. M. J. "Evaluation of Razavi Khorasan Province Based on Sustainable Development Indicators". Journal of Economic Research and Regional Development. 2015; 22, 162-190.