

هزینه چرخه عمر و سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز در راستای توسعه مدل‌های یکپارچه ارزیابی اقتصادی ساختمان

مصطفی قاضی مرادی^۱، احد دهقانی قناتگستانی^۲*

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران mos.ghazimoradi@iau.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت ساخت، واحد بین‌الملل قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران ahaddehghani0604@iau.ac.ir

چکیده

هزینه چرخه عمر (LCC) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای ارزیابی اقتصادی در پروژه‌های ساختمانی، نقش کلیدی در تصمیم‌گیری‌های طراحی و مدیریت دارایی‌های عمرانی ایفا می‌کند. با این حال، کاربرد عملی این رویکرد به دلیل نبود یکپارچگی در سیستم‌های اطلاعاتی و طبقه‌بندی هزینه‌ها، به‌ویژه در مراحل اولیه طراحی، با محدودیت‌هایی مواجه است. این پژوهش با هدف توسعه یک سیستم یکپارچه طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز (CICS) برای بهبود برآورد هزینه چرخه عمر در مراحل اولیه طراحی انجام شده است. در این مقاله علمی مروری، با بررسی و تحلیل استانداردهای بین‌المللی شامل ISO 15686-5، EN 15643، ISO 12006-2 و ICMS و همچنین سیستم‌های طبقه‌بندی نظیر: Uniclass، OmniClass و MasterFormat، یک چارچوب یکپارچه پیشنهادی توسعه داده شده است. ساختار ارائه‌شده با ترکیب ابعاد چرخه عمر، گروه‌های عملکردی و تیپ‌های ساختمانی، امکان سازمان‌دهی داده‌های هزینه‌ای در سطوح مختلف را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، رویکرد مبتنی بر واحدهای عملکردی به‌عنوان مبنای تحلیل هزینه در مرحله پیش از طراحی معرفی شده است که موجب کاهش عدم قطعیت در برآوردهای اولیه می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی سیستم‌های طبقه‌بندی با ساختارهای چرخه عمر می‌تواند دقت، شفافیت و قابلیت ردیابی داده‌های هزینه‌ای را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد. در نهایت، چارچوب ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای بهبود تصمیم‌گیری اقتصادی در مراحل اولیه طراحی و ارتقای پایداری پروژه‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: هزینه چرخه عمر، توسعه پایدار، طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز، تحلیل هزینه ساختمان

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، صنعت ساخت‌وساز به‌عنوان یکی از ارکان اصلی اقتصاد جهانی، نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد اقتصادی، توسعه زیرساختی و شکل‌دهی به محیط‌های شهری ایفا کرده است. این صنعت سهم قابل توجهی از تولید ناخالص داخلی کشورها را به خود اختصاص می‌دهد؛ به‌طوری که حدود ۱۳ درصد از تولید ناخالص داخلی^۱ جهانی و بخش قابل توجهی از اقتصاد کشورهای توسعه‌یافته را شامل می‌شود (Oxford Economics, 2021; Eurostat, 2023). با وجود اهمیت اقتصادی

^۱ GDP

این بخش، اثرات زیست‌محیطی و مصرف منابع در صنعت ساخت‌وساز نیز بسیار قابل توجه است، به گونه‌ای که این صنعت یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و تولیدکنندگان پسماند در جهان محسوب می‌شود. از سوی دیگر، ماهیت خاص ساختمان‌ها به عنوان دارایی‌هایی با عمر طولانی موجب می‌شود که تصمیمات اتخاذ شده در مراحل اولیه طراحی و ساخت، پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی بلندمدتی در طول چرخه عمر آن‌ها ایجاد کند. برخلاف بسیاری از محصولات صنعتی، هزینه‌های مرتبط با ساختمان تنها به مرحله ساخت محدود نمی‌شود، بلکه بخش عمده‌ای از آن در طول دوره بهره‌برداری، نگهداری، تعمیرات و حتی پایان عمر ساختمان تحقق می‌یابد. در بسیاری از موارد، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌توانند سهمی بیش از ۴۰ درصد از کل هزینه‌های چرخه عمر را تشکیل دهند (Rivero-Camacho et al., 2023). این موضوع اهمیت نگاه چرخه‌عمر محور در تصمیم‌گیری‌های طراحی و مدیریت پروژه‌های ساختمانی را به طور جدی برجسته می‌کند.

در این راستا، مفهوم هزینه چرخه عمر (LCC)^۲ به عنوان یک ابزار تحلیلی کلیدی برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌های ساختمانی مطرح شده است. LCC امکان ارزیابی جامع هزینه‌ها را از مرحله پیش از ساخت تا پایان عمر مفید ساختمان فراهم می‌کند و به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که گزینه‌های طراحی مختلف را نه تنها بر اساس هزینه اولیه، بلکه بر اساس هزینه کل در طول زمان مقایسه کنند. این رویکرد به ویژه در پروژه‌های عمومی و زیرساختی اهمیت بیشتری دارد، زیرا تصمیمات سرمایه‌گذاری در این حوزه‌ها معمولاً تعهدات مالی بلندمدت برای دولت‌ها و نهادهای عمومی ایجاد می‌کند (MITMA, 2021). در سطح سیاست‌گذاری بین‌المللی، اهمیت این رویکرد با تصویب دستورالعمل اتحادیه اروپا^۳ بیش از پیش تقویت شده است. این دستورالعمل، مفهوم هزینه چرخه عمر را به عنوان یکی از معیارهای اصلی در ارزیابی مناقصات عمومی معرفی کرده و رویکرد سنتی تمرکز صرف بر هزینه اولیه را به چالش کشیده است (European Parliament, 2014). همچنین چارچوب‌های ارزیابی پایداری مانند Level(s) و BREEAM نیز از LCC به عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی ساختمان‌ها استفاده می‌کنند (Dodd et al., 2021; BREEAM-SE, 2023). این روند نشان‌دهنده حرکت نظام ساخت‌وساز به سمت تصمیم‌گیری‌های داده‌محور و چرخه‌عمر محور است. با وجود این پیشرفت‌ها، کاربرد عملی هزینه چرخه عمر همچنان با چالش‌های اساسی مواجه است. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، نبود اجماع کامل در تعریف دامنه و اجزای LCC در استانداردهای بین‌المللی است. برای مثال، در استاندارد ISO 15686-5، هزینه چرخه عمر عمدتاً به هزینه‌های مرتبط با ساخت تا پایان عمر مفید محدود می‌شود، در حالی که در استاندارد EN 15643، دامنه تحلیل گسترده‌تر بوده و هزینه‌های پیش از ساخت، بهره‌برداری و حتی برخی درآمدها و اثرات اقتصادی جانبی را نیز شامل می‌شود (ISO, 2017; CEN, 2021). این تفاوت در تعاریف، امکان مقایسه‌پذیری نتایج مطالعات مختلف را محدود کرده و موجب ابهام در کاربرد عملی این شاخص شده است (Goh & Sun, 2016).

در کنار این مسئله، نبود یک سیستم یکپارچه برای طبقه‌بندی اطلاعات هزینه‌ای در طول چرخه عمر ساختمان نیز یکی دیگر از موانع اصلی توسعه LCC محسوب می‌شود. اگرچه سیستم‌های متعددی مانند: Uniclass، MasterFormat، OmniClass و ICMS توسعه یافته‌اند (ICMS, 2019; NBS, 2019; CSI & CSC, 2016)، اما همچنان تفاوت‌های ساختاری میان این نظام‌ها و عدم یکپارچگی آن‌ها با مدل‌های هزینه‌سازی، مانع از ایجاد یک چارچوب جامع برای تحلیل هزینه چرخه عمر شده است. علاوه بر این، در بسیاری از پروژه‌ها، داده‌های مربوط به مراحل پیش از ساخت، بهره‌برداری و پایان عمر به صورت ناقص یا غیرقابل اعتماد در دسترس هستند، که این موضوع دقت مدل‌های LCC را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Vázquez-López et al., 2020). در ایران، مطالعات مرتبط با هزینه چرخه عمر در صنعت ساخت‌وساز طی دو دهه اخیر به تدریج گسترش یافته است، اما تمرکز اصلی اغلب پژوهش‌ها بر مرحله ساخت و برآورد اولیه هزینه‌ها بوده و کمتر به تحلیل جامع چرخه عمر ساختمان پرداخته شده است (محمدی و رضایی، ۱۳۹۸؛ کریمی و احمدی، ۱۳۹۹). بخش

^۲ Life Cycle Cost^۳ Directive 2014/24/EU

قابل توجهی از تحقیقات داخلی، LCC را به عنوان ابزاری برای مقایسه اقتصادی گزینه‌های طراحی یا مصالح ساختمانی به کار گرفته‌اند، در حالی که ابعاد بهره‌برداری، نگهداری و پایان عمر کمتر مورد توجه قرار گرفته است (حسینی، ۱۳۹۷). در نتیجه، نیاز به توسعه مدل‌های یکپارچه طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز که بتوانند داده‌های هزینه‌ای را در تمام مراحل چرخه عمر به صورت ساختاریافته و قابل تحلیل سازمان‌دهی کنند، به وضوح احساس می‌شود. چنین سیستم‌هایی می‌توانند نقش مهمی در بهبود دقت برآورد هزینه، افزایش قابلیت مقایسه پروژه‌ها و ارتقای تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی ایفا کنند.

بر این اساس، این مقاله مروری با هدف بررسی رویکردهای موجود در حوزه هزینه چرخه عمر و سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز، و همچنین تحلیل نقاط قوت و محدودیت آن‌ها، انجام شده است. تمرکز اصلی مطالعه بر شناسایی شکاف‌های موجود در یکپارچگی داده‌ها و ارائه زمینه‌ای برای توسعه چارچوب‌های جدید طبقه‌بندی اطلاعات در راستای بهبود ارزیابی اقتصادی ساختمان در طول چرخه عمر است.

۲. مبانی نظری و چارچوب استاندارد‌های هزینه چرخه عمر

مفهوم هزینه چرخه عمر (LCC) به عنوان یکی از رویکردهای کلیدی در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های عمرانی، بر پایه این اصل استوار است که تصمیم‌گیری‌های مرتبط با طراحی و ساخت ساختمان نباید صرفاً بر هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری متمرکز باشد، بلکه باید تمامی هزینه‌های مرتبط با طول عمر دارایی را در بر گیرد (طاهری جبلی و بهنام، ۱۴۰۳). این هزینه‌ها شامل هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، تعمیرات و در نهایت هزینه‌های پایان عمر ساختمان هستند. در همین راستا، استانداردسازی مفاهیم و روش‌های محاسبه LCC نقش مهمی در افزایش قابلیت مقایسه‌پذیری و دقت تحلیل‌ها در پروژه‌های ساختمانی ایفا می‌کند (ISO, 2017). در میان چارچوب‌های استاندارد موجود، استاندارد ISO 15686-5 یکی از مهم‌ترین مراجع بین‌المللی در زمینه تحلیل هزینه چرخه عمر محسوب می‌شود. این استاندارد به عنوان بخشی از مجموعه استاندارد‌های مدیریت عمر مفید ساختمان‌ها، رویکردی ساختاریافته برای محاسبه هزینه‌های مرتبط با دارایی‌های ساخته‌شده ارائه می‌دهد. در این چارچوب، هزینه چرخه عمر عمدتاً شامل هزینه‌های مستقیم مرتبط با مراحل ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و پایان عمر است. با این حال، در کنار مفهوم LCC، استاندارد ISO مفهوم گسترده‌تری تحت عنوان هزینه کل چرخه عمر (WLC) را نیز معرفی می‌کند که علاوه بر هزینه‌های مستقیم، درآمدهای حاصل از بهره‌برداری و همچنین هزینه‌های غیرمستقیم و خارجی^۵ را نیز در بر می‌گیرد (ISO, 2017).

با وجود این تفکیک مفهومی، یکی از چالش‌های اساسی در کاربرد عملی این استاندارد، ابهام در مرز میان LCC و WLC است. در بسیاری از مطالعات، این دو مفهوم به صورت هم‌پوشان یا حتی به جای یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند که این امر می‌تواند منجر به عدم سازگاری در نتایج تحلیل‌های اقتصادی شود. علاوه بر این، محدود بودن دامنه LCC در ISO 15686-5 به مراحل پس از ساخت، باعث می‌شود برخی از هزینه‌های مهم مانند هزینه‌های پیش از ساخت^۶ یا هزینه‌های مرتبط با تصمیمات اولیه طراحی، در تحلیل‌های استاندارد کمتر مورد توجه قرار گیرند (Goh & Sun, 2016). در مقابل، استاندارد اروپایی EN 15643 رویکردی جامع‌تر و یکپارچه‌تر نسبت به ارزیابی پایداری ساختمان‌ها ارائه می‌دهد. این استاندارد که بخشی از چارچوب ارزیابی پایداری در سطح ساختمان است، تلاش می‌کند تا ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در یک سیستم ارزیابی مشترک ادغام کند. در بعد اقتصادی، EN 15643 هزینه‌های چرخه عمر را از مرحله پیش از ساخت تا پایان عمر ساختمان در یک چارچوب پیوسته در نظر می‌گیرد. این شامل هزینه‌های زمین، طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، تعمیرات و همچنین هزینه‌های تخریب و مدیریت پسماند می‌شود (CEN, 2021).

⁴ Whole Life Cost

⁵ Externalities

⁶ Pre-construction Costs

یکی از ویژگی‌های مهم این استاندارد، تأکید بر ارزیابی عملکرد در طول کل چرخه عمر دارایی است، به‌گونه‌ای که تصمیم‌گیری‌های طراحی و سرمایه‌گذاری بتوانند بر اساس پیامدهای بلندمدت اقتصادی و زیست‌محیطی انجام شوند. این رویکرد باعث می‌شود EN 15643 نه تنها به‌عنوان یک ابزار تحلیل هزینه، بلکه به‌عنوان یک چارچوب جامع برای ارزیابی پایداری ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، یکی از چالش‌های این استاندارد، پیچیدگی بالای پیاده‌سازی آن در پروژه‌های واقعی و نیاز به داده‌های گسترده و دقیق در تمامی مراحل چرخه عمر است (Dodd et al., 2021).

تفاوت اساسی میان ISO 15686-5 و EN 15643 در دامنه تعریف هزینه‌ها و سطح یکپارچگی اطلاعات نهفته است. در حالی که ISO بیشتر بر تحلیل هزینه در سطح عملیاتی و پس از ساخت تمرکز دارد، EN 15643 تلاش می‌کند تا یک دیدگاه کل‌نگر از چرخه عمر ارائه دهد که شامل تصمیمات اولیه طراحی نیز می‌شود. این تفاوت رویکردی، یکی از مهم‌ترین منابع ابهام در کاربرد LCC در مطالعات علمی و پروژه‌های اجرایی محسوب می‌شود و می‌تواند منجر به نتایج متفاوت در تحلیل‌های اقتصادی مشابه گردد (Goh & Sun, 2016). از منظر کاربردی، انتخاب میان این دو چارچوب استاندارد به هدف مطالعه، سطح دسترسی به داده‌ها و مقیاس پروژه بستگی دارد. در پروژه‌های عمومی و سیاست‌گذاری کلان، رویکرد جامع EN 15643 معمولاً ترجیح داده می‌شود، در حالی که در تحلیل‌های مهندسی و برآوردهای اجرایی، ISO 15686-5 به دلیل ساختار ساده‌تر و داده‌محورتر بودن، کاربرد بیشتری دارد. با این وجود، روندهای اخیر در صنعت ساخت‌وساز نشان می‌دهد که حرکت به سمت یکپارچه‌سازی این دو دیدگاه و توسعه مدل‌های ترکیبی برای تحلیل هزینه چرخه عمر در حال گسترش است (Rivero-Camacho et al., 2023). پژوهش‌های ایرانی رشد قابل توجهی داشته‌اند و بیشتر بر کاربرد BIM در هماهنگی طراحی، کاهش تداخلات، و بهبود مدیریت پروژه متمرکز بوده‌اند (جعفری و صادقی، ۱۳۹۹؛ امیری، ۱۴۰۰). با این حال، اتصال BIM به تحلیل هزینه چرخه عمر (5 D BIM) هنوز در مرحله توسعه قرار دارد و استفاده عملی از آن در پروژه‌های واقعی محدود است (نادری و موسوی، ۱۳۹۸). در مجموع، بررسی مبانی نظری نشان می‌دهد که اگرچه استانداردهای موجود چارچوب‌های مهمی برای تحلیل LCC ارائه کرده‌اند، اما تفاوت در دامنه تعریف، سطح جزئیات و نحوه یکپارچه‌سازی داده‌ها همچنان به‌عنوان یک چالش اساسی باقی مانده است. این موضوع ضرورت توسعه مدل‌های یکپارچه‌تر و مبتنی بر سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز را برجسته می‌کند؛ مدلهایی که بتوانند شکاف میان تحلیل‌های اقتصادی، داده‌های طراحی و اطلاعات اجرایی را در طول کل چرخه عمر ساختمان کاهش دهند.

جدول ۱- مقایسه یکپارچه سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز و ویژگی‌های کلیدی آن‌ها

سیستم / استاندارد	دامنه کاربرد	هدف اصلی	چارچوب مفهومی	اصل گروه‌بندی	ساختار کدگذاری	پوشش چرخه عمر	کاربرد در LCC
ISO 12006-2	بین‌المللی	ایجاد چارچوب طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز	مفهومی - شیء‌گرا	منابع / فرایندها / نتایج / ویژگی‌ها	ترکیبی	محدود به ساختار اطلاعاتی	پایه مفهومی
EN 15643	اروپا	ارزیابی پایداری ساختمان	چرخه عمر یکپارچه	مراحل چرخه عمر	ترکیبی	کامل (Pre-End of Life)	بسیار بالا
ISO 15686-5	بین‌المللی	تحلیل LCC	هزینه چرخه عمر	تفکیک هزینه‌های عمر	ترکیبی	ساخت تا پایان عمر	بالا
ICMS	بین‌المللی	استانداردسازی هزینه‌ها	طبقه‌بندی هزینه‌ای	اجزای هزینه پروژه	عددی	کامل	بسیار بالا
Uniclass	بریتانیا	طبقه‌بندی اطلاعات BIM	چندلایه	فضا / سیستم / عنصر	الفبایی-عددی	نسبی	متوسط تا بالا
MasterFormat	آمریکای شمالی	طبقه‌بندی آیتم‌های اجرایی	فعالیت‌محور	مصلح و فعالیت‌ها	عددی	محدود	متوسط
OmniClass	آمریکای شمالی	یکپارچه‌سازی اطلاعات ساخت	چندجدولی	چندسطحی	ترکیبی	متوسط	بالا
CEEC Code	اروپا	برنامه‌ریزی هزینه	هزینه‌محور	اقلام هزینه	ترکیبی	محدود	متوسط
ICMS + EN15643 (ترکیبی)	بین‌المللی	تحلیل LCC یکپارچه	چرخه عمر + هزینه	عملکردی + هزینه‌ای	عددی	کامل	بسیار بالا
ACCD (آندلس)	اسپانیا	بانک اطلاعات هزینه	آیتم‌های کاری	Work Unit	عددی	ساخت، بهره‌برداری	بسیار بالا

۳. سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز

یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای محاسبه دقیق هزینه چرخه عمر، وجود سیستم‌های استاندارد و ساختاریافته برای طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز است. این سیستم‌ها که تحت عنوان سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز (CICS)^۷ شناخته می‌شوند، نقش مهمی در سازمان‌دهی داده‌های فنی، هزینه‌ای و عملکردی پروژه‌های ساختمانی ایفا می‌کنند. هدف اصلی این نظام‌ها، ایجاد یک زبان مشترک برای توصیف اجزای ساختمان و فرآیندهای مرتبط با آن است تا امکان تبادل داده بین ذی‌نفعان مختلف پروژه، از مرحله طراحی تا بهره‌برداری، فراهم شود (ISO, 2015). در سال‌های اخیر، اهمیت این سیستم‌ها در حوزه تحلیل‌های مبتنی بر چرخه عمر به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. دلیل این امر آن است که محاسبه LCC نیازمند داده‌های دقیق، قابل ردیابی و ساختاریافته در تمام مراحل عمر ساختمان است و بدون وجود یک چارچوب طبقه‌بندی منسجم، یکپارچه‌سازی این داده‌ها دشوار خواهد بود. به همین منظور، سیستم‌های مختلفی در سطح بین‌المللی توسعه یافته‌اند که هر یک رویکرد متفاوتی را برای سازمان‌دهی اطلاعات ساخت‌وساز ارائه می‌دهند.

در میان این سیستم‌ها، Uniclass 2015 یکی از جامع‌ترین چارچوب‌های طبقه‌بندی اطلاعات در صنعت ساخت‌وساز محسوب می‌شود. این سیستم که در بریتانیا توسعه یافته است، یک ساختار چندلایه و سلسله‌مراتبی برای طبقه‌بندی اطلاعات پروژه‌های ساختمانی ارائه می‌دهد و عناصر مختلفی مانند فضاها، عناصر ساختمانی، فعالیت‌ها و محصولات را در قالب جداول مرتبط سازمان‌دهی می‌کند (NBS, 2019). ویژگی مهم Uniclass، قابلیت انطباق آن با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)^۸ است که امکان استفاده از آن را در محیط‌های دیجیتال و داده‌محور فراهم می‌سازد. در سطح بین‌المللی، استاندارد ICMS^۹ نقش مهمی در استانداردسازی طبقه‌بندی هزینه‌ها ایفا می‌کند (Zhang et al., 2021). این سیستم با هدف ایجاد یک زبان مشترک برای اندازه‌گیری و گزارش‌دهی هزینه پروژه‌های ساختمانی و زیرساختی در سطح جهانی توسعه یافته است. ICMS تلاش می‌کند تا امکان مقایسه‌پذیری بین‌المللی هزینه‌ها را فراهم کرده و ساختار هزینه‌ای پروژه‌ها را از منظر چرخه عمر پوشش دهد (ICMS, 2019). برخلاف برخی سیستم‌های طبقه‌بندی که بیشتر بر اجزای فیزیکی تمرکز دارند، ICMS بر ساختار هزینه و تحلیل اقتصادی پروژه‌ها تأکید دارد.

در آمریکای شمالی نیز سیستم‌های MasterFormat و UniFormat که توسط مؤسسه CSI و CSC توسعه یافته‌اند، به‌عنوان استانداردهای مرجع در طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز شناخته می‌شوند. MasterFormat عمدتاً برای سازمان‌دهی مشخصات فنی و آیتم‌های اجرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالی که UniFormat بیشتر بر طبقه‌بندی عملکردی اجزای ساختمان و برآورد هزینه در مراحل اولیه طراحی تمرکز دارد (CSI & CSC, 2016). ترکیب این دو سیستم در قالب OmniClass تلاش کرده است تا یک چارچوب جامع‌تر برای مدیریت اطلاعات پروژه‌های ساختمانی ارائه دهد. در سطح اروپا نیز تلاش‌هایی برای یکپارچه‌سازی طبقه‌بندی اطلاعات و ارزیابی هزینه انجام شده است. برای مثال، چارچوب‌های مرتبط با CEEC Code of Measurement و همچنین استاندارد EN 15643 تلاش می‌کنند تا ارزیابی اقتصادی و پایداری ساختمان را در یک ساختار مشترک ادغام کنند. این رویکرد امکان تحلیل هم‌زمان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پروژه‌ها را در قالب یک

⁷ Construction Information Classification Systems⁸ Building Information Modeling⁹ International Construction Measurement Standards

سیستم یکپارچه فراهم می‌سازد (CEN, 2021). چنین رویکردی به‌ویژه در پروژه‌های مرتبط با توسعه پایدار اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا امکان ارزیابی پیامدهای بلندمدت تصمیمات طراحی را فراهم می‌کند. در سطح ملی اسپانیا، پایگاه‌های داده هزینه ساخت‌وساز نقش کلیدی در توسعه مدل‌های LCC ایفا می‌کنند. به‌طور خاص، پایگاه داده (ACCD) ۱۰ یکی از منابع مهم برای استانداردسازی و تحلیل هزینه‌های ساخت محسوب می‌شود. این پایگاه داده اطلاعات مربوط به آیتم‌های کاری، مصالح و فعالیت‌های اجرایی را به‌صورت ساختاریافته ارائه می‌دهد و به‌عنوان مبنایی برای برآورد هزینه در پروژه‌های عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Junta de Andalucía, 2023). اهمیت این پایگاه‌ها در آن است که داده‌های واقعی پروژه‌های اجراشده را در اختیار قرار می‌دهند و امکان توسعه مدل‌های دقیق‌تر برای تحلیل هزینه چرخه عمر را فراهم می‌کنند. در زمینه سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز، در ایران هنوز یک استاندارد واحد و یکپارچه مشابه Uniclass یا OmniClass وجود ندارد و اغلب پروژه‌ها از ترکیب نظام‌های سنتی فهرست‌بها، آیتم‌های کاری و ساختارهای داخلی سازمان‌ها استفاده می‌کنند (بهرامی و عباسی، ۱۳۹۹؛ کریمی، ۱۴۰۰). این موضوع باعث شده یکپارچگی داده‌ها برای تحلیل‌های پیشرفته مانند LCC با محدودیت مواجه شود.

مرور سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز نشان می‌دهد که اگرچه چارچوب‌های متعددی در سطح بین‌المللی توسعه یافته‌اند، اما هنوز تفاوت‌های ساختاری و مفهومی میان آن‌ها وجود دارد. این تفاوت‌ها، به‌ویژه در زمینه یکپارچه‌سازی داده‌های هزینه‌ای در طول چرخه عمر ساختمان، چالش‌هایی برای توسعه مدل‌های دقیق LCC ایجاد می‌کند. بنابراین، حرکت به سمت ایجاد سیستم‌های طبقه‌بندی یکپارچه که بتوانند داده‌های فنی، عملکردی و اقتصادی را در یک چارچوب مشترک ترکیب کنند، یکی از نیازهای اساسی پژوهش‌های آینده در حوزه مدیریت هزینه چرخه عمر محسوب می‌شود.

۴. چالش‌های موجود در برآورد هزینه چرخه عمر

با وجود توسعه قابل توجه ابزارها، استانداردها و مدل‌های تحلیلی در حوزه هزینه چرخه عمر کاربرد عملی این رویکرد همچنان با مجموعه‌ای از چالش‌های ساختاری، داده‌ای و مفهومی مواجه است. این چالش‌ها باعث شده‌اند که استفاده از LCC در پروژه‌های واقعی، به‌ویژه در مراحل اولیه طراحی، با محدودیت‌هایی همراه باشد و دقت و قابلیت مقایسه نتایج در مطالعات مختلف کاهش یابد (Goh & Sun, 2016; Vázquez-López et al., 2020). یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، نبود هماهنگی در تعاریف استاندارد هزینه‌ها است. همان‌طور که در استانداردهای بین‌المللی مانند ISO 15686-5 و EN 15643 مشاهده می‌شود، تفاوت‌هایی در تعریف دامنه هزینه چرخه عمر وجود دارد. در حالی که برخی چارچوب‌ها LCC را محدود به هزینه‌های مرتبط با ساخت، بهره‌برداری و پایان عمر می‌دانند، برخی دیگر هزینه‌های پیش از ساخت، درآمدها و هزینه‌های خارجی را نیز در نظر می‌گیرند. این ناهمگونی مفهومی، منجر به تفاوت در نتایج مطالعات و کاهش قابلیت مقایسه‌پذیری آن‌ها شده است (ISO, 2017; CEN, 2021). چالش مهم دیگر، کمبود داده‌های قابل اعتماد در مراحل اولیه پروژه است. در مراحل اولیه طراحی، اطلاعات دقیق در مورد مصالح، سیستم‌های اجرایی، طول عمر اجزا و الگوهای بهره‌برداری محدود است. این کمبود داده باعث می‌شود که برآوردهای LCC در این مراحل عمدتاً مبتنی بر فرضیات یا داده‌های تاریخی باشند، که این امر می‌تواند دقت تحلیل را کاهش دهد. مطالعات نشان داده‌اند که کیفیت و دسترسی به داده‌های اولیه یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در توسعه مدل‌های قابل اتکای LCC است (Vázquez-López et al., 2020). از سوی دیگر، عدم وجود سیستم کدگذاری یکپارچه بین‌المللی نیز یکی از موانع کلیدی در یکپارچه‌سازی داده‌های هزینه‌ای محسوب می‌شود. اگرچه سیستم‌هایی مانند Uniclass، OmniClass و ICMS در سطح

¹⁰ Andalusian Construction Cost Database

بین‌المللی توسعه یافته‌اند، اما تفاوت در ساختار، سطح جزئیات و فلسفه طبقه‌بندی آن‌ها موجب شده است که هنوز یک زبان مشترک کامل برای تبادل داده‌های هزینه‌ای وجود نداشته باشد. این موضوع به‌ویژه در پروژه‌های چندملیتی یا مطالعات تطبیقی، مشکل‌ساز است و امکان ادغام مستقیم داده‌ها را محدود می‌کند (ICMS, 2019; NBS, 2019).

در ادامه، هم‌پوشانی در ساختارهای طبقه‌بندی فعالیت‌ها و اجزای ساختمانی نیز یکی دیگر از چالش‌های مهم است. بسیاری از سیستم‌های موجود، مانند MasterFormat و UniFormat، دارای هم‌پوشانی در تعریف عناصر و فعالیت‌ها هستند. این هم‌پوشانی می‌تواند منجر به دوباره‌کاری در ثبت اطلاعات، تداخل در کدگذاری و افزایش پیچیدگی تحلیل‌های هزینه شود. علاوه بر این، نبود مرزهای روشن میان طبقه‌بندی عملکردی، فیزیکی و هزینه‌ای در برخی سیستم‌ها، یکپارچگی داده‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد (CSI & CSC, 2016). یکی دیگر از عوامل محدودکننده، محدودیت دانش فنی در تیم‌های طراحی و مدیریت پروژه است. اجرای موفق LCC نیازمند درک دقیق از مفاهیم اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی و همچنین توانایی کار با سیستم‌های داده‌محور است. با این حال، در بسیاری از پروژه‌ها، سطح آشنایی تیم‌های اجرایی با ابزارهای LCC و سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات کافی نیست. این موضوع موجب می‌شود که تحلیل‌های هزینه چرخه عمر یا به‌صورت ناقص انجام شوند یا در مراحل تصمیم‌گیری به‌درستی مورد استفاده قرار نگیرند (Rivero-Camacho et al., 2023). مجموع این عوامل باعث شده است که در عمل، تمرکز تحلیل‌های هزینه‌ای همچنان بر مرحله ساخت^{۱۱} باقی بماند، در حالی که مراحل مهمی مانند بهره‌برداری، نگهداری، تعمیرات و پایان عمر کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند. این در حالی است که بخش عمده هزینه‌های واقعی یک ساختمان در طول دوره بهره‌برداری تحقق می‌یابد و عدم توجه به این مراحل می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های اقتصادی غیر بهینه در طراحی اولیه شود (ISO, 2017; Goh & Sun, 2016). Lu و همکاران مهم‌ترین چالش‌های پژوهش‌های موجود شامل نبود استانداردهای یکپارچه، محدودیت کیفیت داده‌ها، ضعف تعامل بین نرم‌افزارها و نیاز به توسعه چارچوب‌های استاندارد برای مدیریت هزینه چرخه عمر در محیط BIM است؛ از این رو، بر توسعه مدل‌های یکپارچه و استاندارد تأکید شده است (Lu et al., 2023).

در نتیجه، چالش‌های موجود در حوزه LCC نشان می‌دهد که توسعه یک رویکرد یکپارچه، مبتنی بر استانداردهای هماهنگ و سیستم‌های طبقه‌بندی سازگار، برای بهبود دقت و قابلیت کاربرد تحلیل‌های هزینه چرخه عمر ضروری است. چنین رویکردی می‌تواند نقش مهمی در کاهش عدم قطعیت‌های داده‌ای، افزایش شفافیت در تصمیم‌گیری و ارتقای پایداری اقتصادی پروژه‌های ساختمانی ایفا کند. همچنین، پایگاه‌های داده هزینه در ایران (مانند فهرست‌بهای سازمان برنامه و بودجه) بیشتر برای برآورد هزینه ساخت طراحی شده‌اند و اطلاعات کافی برای مراحل بهره‌برداری، نگهداری و پایان عمر ارائه نمی‌دهند (مرادی، ۱۳۹۷). این شکاف داده‌ای یکی از مهم‌ترین موانع توسعه مدل‌های دقیق LCC در پروژه‌های داخلی محسوب می‌شود.

۵. توسعه رویکردهای یکپارچه طبقه‌بندی برای LCC

در سال‌های اخیر، با افزایش اهمیت رویکردهای چرخه‌عمرمحور در صنعت ساخت‌وساز، تلاش‌های گسترده‌ای برای توسعه سیستم‌های یکپارچه طبقه‌بندی اطلاعات به‌منظور بهبود دقت و قابلیت کاربرد تحلیل هزینه چرخه عمر صورت گرفته است. هدف اصلی این رویکردها، ایجاد پیوند میان داده‌های فنی، هزینه‌ای و عملکردی در تمامی مراحل چرخه عمر ساختمان است تا امکان تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر در مراحل اولیه طراحی فراهم شود (ISO, 2017; CEN, 2021). یکی از مهم‌ترین

¹¹ Construction Phase

رویکردهای مطرح در این حوزه، ترکیب ساختارهای ساختار شکست کار ۱۲ (WBS) با سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز مانند OmniClass و MasterFormat است. ساختارهای ساختار شکست کار به‌عنوان یک ابزار مدیریت پروژه، امکان تجزیه پروژه به اجزای کوچکتر و قابل کنترل را فراهم می‌کند، در حالی که سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات، چارچوبی استاندارد برای سازمان‌دهی داده‌های فنی و هزینه‌ای ارائه می‌دهند. ترکیب این دو رویکرد، امکان ایجاد یک ساختار داده‌ای منسجم را فراهم می‌کند که در آن هر عنصر هزینه‌ای به یک جزء مشخص از پروژه در طول چرخه عمر متصل می‌شود (CSI & CSC, 2016; Eastman et al., 2011). این نوع یکپارچه‌سازی، نقش مهمی در کاهش شکاف میان مراحل مختلف پروژه ایفا می‌کند. به‌طور سنتی، اطلاعات طراحی، ساخت و بهره‌برداری به‌صورت جداگانه مدیریت می‌شوند، که این امر موجب ناپیوستگی داده‌ها و کاهش دقت تحلیل‌های هزینه چرخه عمر می‌شود. در مقابل، رویکردهای یکپارچه مبتنی بر ساختار شکست کار و سیستم‌های طبقه‌بندی، امکان ایجاد یک جریان پیوسته داده‌ای را فراهم می‌سازند که در آن اطلاعات از مرحله طراحی تا پایان عمر ساختمان قابل ردیابی و تحلیل هستند (Kishk et al., 2003). در همین راستا، سیستم‌هایی مانند OmniClass تلاش کرده‌اند تا با ادغام چندین ساختار طبقه‌بندی، یک چارچوب جامع برای مدیریت اطلاعات پروژه‌های ساختمانی ارائه دهند. OmniClass با استفاده از جداول چندگانه، امکان ارتباط میان عناصر فیزیکی ساختمان، فعالیت‌های اجرایی و داده‌های هزینه‌ای را فراهم می‌کند و از این طریق، زیرساخت مناسبی برای تحلیل‌های مبتنی بر LCC ایجاد می‌نماید (Gelder, 2015).

مطالعات اخیر همچنین نشان می‌دهند که استفاده از عناصر عملکردی ۱۳ به‌عنوان واحد تحلیل، می‌تواند نقش مهمی در افزایش دقت برآورد هزینه‌ها، به‌ویژه در مراحل اولیه طراحی ایفا کند. در این رویکرد، ساختمان به مجموعه‌ای از واحدهای عملکردی تقسیم می‌شود که هر یک نمایانگر یک عملکرد مشخص و قابل اندازه‌گیری هستند. این واحدها شامل ترکیبی از اجزای فیزیکی، سیستم‌های ساختمانی و نیازهای بهره‌برداری هستند و امکان تحلیل هزینه در سطحی بالاتر از اجزای منفرد را فراهم می‌کنند (Ramírez de Arellano Agudo, 2014). مزیت اصلی استفاده از واحدهای عملکردی در تحلیل LCC این است که در مراحل اولیه طراحی، زمانی که اطلاعات جزئی درباره مصالح و سیستم‌های اجرایی محدود است، امکان برآورد هزینه بر اساس عملکرد مورد انتظار ساختمان فراهم می‌شود. این امر باعث کاهش عدم قطعیت در برآوردهای اولیه و افزایش قابلیت تصمیم‌گیری در انتخاب گزینه‌های طراحی می‌گردد. علاوه بر این، استفاده از این واحدها امکان مقایسه بین گزینه‌های مختلف طراحی را بر اساس معیارهای عملکردی و اقتصادی فراهم می‌سازد (Hromada et al., 2021).

از سوی دیگر، یکپارچه‌سازی سیستم‌های طبقه‌بندی با مدل‌های اطلاعات ساختمان (BIM) نیز نقش مهمی در توسعه رویکردهای نوین LCC ایفا کرده است. مدل‌های اطلاعات ساختمان امکان اتصال مستقیم میان عناصر طراحی سه‌بعدی و داده‌های هزینه‌ای را فراهم می‌کند و در ترکیب با سیستم‌های طبقه‌بندی استاندارد، می‌تواند به‌عنوان یک بستر قدرتمند برای تحلیل چرخه عمر مورد استفاده قرار گیرد. این یکپارچگی موجب افزایش شفافیت داده‌ها و کاهش خطاهای ناشی از انتقال اطلاعات بین مراحل مختلف پروژه می‌شود (Eastman et al., 2011; Volk et al., 2014). در مجموع، توسعه رویکردهای یکپارچه طبقه‌بندی برای LCC نشان‌دهنده حرکت صنعت ساخت‌وساز به سمت سیستم‌های داده‌محور و مبتنی بر اطلاعات ساختاریافته است. این رویکردها با ایجاد ارتباط میان داده‌های طراحی، اجرا و بهره‌برداری، زمینه را برای تحلیل جامع‌تر هزینه در طول چرخه عمر فراهم کرده و نقش مهمی در بهبود تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و ارتقای پایداری پروژه‌های ساختمانی ایفا می‌کنند.

¹² Work Breakdown Structure

¹³ Functional Units

۶. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ارزیابی هزینه چرخه عمر در صنعت ساخت‌وساز، علی‌رغم توسعه گسترده استانداردها، ابزارها و چارچوب‌های تحلیلی، همچنان با چالش‌های ساختاری و مفهومی قابل توجهی مواجه است. در سطح نظری، تفاوت‌های موجود میان استانداردهای کلیدی مانند ISO 15686-5 و EN 15643 منجر به برداشت‌های متفاوت از دامنه و اجزای هزینه چرخه عمر شده است. در حالی که استاندارد ISO رویکردی محدودتر و عمدتاً مبتنی بر هزینه‌های پس از ساخت ارائه می‌دهد، استاندارد EN 15643 تلاش می‌کند تا یک دیدگاه جامع‌تر شامل هزینه‌های پیش از ساخت، ساخت، بهره‌برداری و پایان عمر را در یک چارچوب یکپارچه پوشش دهد (ISO, 2017; CEN, 2021). این عدم هم‌راستایی مفهومی، یکی از مهم‌ترین موانع در ایجاد مقایسه‌پذیری میان مطالعات مختلف LCC محسوب می‌شود (Goh & Sun, 2016). از منظر عملی، بررسی سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت‌وساز نشان داد که اگرچه سیستم‌هایی مانند: OmniClass، Uniclass، MasterFormat و ICMS نقش مهمی در استانداردسازی داده‌های پروژه‌های ساختمانی دارند، اما همچنان یکپارچگی کامل میان این سیستم‌ها وجود ندارد. این ناهمگونی ساختاری باعث شده است که داده‌های هزینه‌ای در بسیاری از پروژه‌ها به صورت جزیره‌ای و غیرقابل اتصال باقی بمانند، که این موضوع مستقیماً دقت مدل‌های LCC را تحت تأثیر قرار می‌دهد (CSI & CSC, 2016; ICMS, 2019; NBS, 2019).

یافته‌های این مقاله علمی مروی همچنین نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های موجود در کاربرد LCC، ضعف در دسترسی به داده‌های قابل اعتماد در مراحل اولیه طراحی است. در این مراحل، به دلیل عدم قطعیت بالا در انتخاب مصالح، سیستم‌های اجرایی و سناریوهای بهره‌برداری، برآوردهای هزینه عمدتاً مبتنی بر فرضیات یا داده‌های تاریخی هستند. این مسئله باعث می‌شود که بخش قابل توجهی از تحلیل‌های LCC از دقت کافی برخوردار نباشند و در نتیجه در فرآیند تصمیم‌گیری کمتر مورد استفاده قرار گیرند (Vázquez-López et al., 2020). در این میان، رویکردهای نوین مبتنی بر یکپارچه‌سازی ساختار شکست کار، سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، به عنوان راهکارهای مؤثر برای کاهش این شکاف معرفی شده‌اند. این رویکردها امکان اتصال داده‌های طراحی، اجرا و بهره‌برداری را فراهم کرده و زمینه را برای تحلیل پیوسته هزینه در کل چرخه عمر ساختمان ایجاد می‌کنند (Eastman et al., 2011; Kishk et al., 2003). به‌ویژه استفاده از سیستم‌های ترکیبی مانند OmniClass و ICMS نشان داده است که می‌توان ارتباط میان ساختار فنی پروژه و ساختار هزینه‌ای آن را به صورت منسجم برقرار کرد.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این مطالعه، نقش واحدهای عملکردی در بهبود دقت برآورد هزینه در مراحل اولیه طراحی است. برخلاف روش‌های سنتی که بر اجزای فیزیکی یا آیتم‌های اجرایی تمرکز دارند، رویکرد مبتنی بر عملکرد امکان تحلیل هزینه بر اساس نیازهای کارکردی ساختمان را فراهم می‌کند. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که اطلاعات طراحی هنوز کامل نیست، می‌تواند عدم قطعیت مدل‌های LCC را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد و مقایسه گزینه‌های طراحی را تسهیل کند (Ramírez de Arellano Agudo, 2014; Hromada et al., 2021). نتایج این مقاله مروی نشان می‌دهد که مسیر توسعه LCC در صنعت ساخت‌وساز به‌طور مستقیم به میزان یکپارچگی میان سه حوزه کلیدی وابسته است: استانداردهای مفهومی، سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات و کیفیت داده‌های پروژه. در حال حاضر، نبود هماهنگی میان این سه حوزه موجب شده است که تحلیل‌های LCC بیشتر در سطح نظری باقی بمانند و در کاربرد عملی با محدودیت مواجه شوند. بنابراین، حرکت به سمت توسعه سیستم‌های

طبقه‌بندی یکپارچه و داده‌محور که بتواند اطلاعات هزینه‌ای را در کل چرخه عمر ساختمان به‌صورت ساختاریافته و قابل ردیابی سازمان‌دهی کنند، یک ضرورت اساسی برای آینده این حوزه محسوب می‌شود. چنین سیستم‌هایی نه تنها می‌توانند دقت تحلیل‌های اقتصادی را افزایش دهند، بلکه زمینه را برای تصمیم‌گیری پایدارتر در پروژه‌های ساختمانی فراهم خواهند کرد. در نهایت، مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ادغام استانداردهای بین‌المللی، سیستم‌های طبقه‌بندی و مدل‌های اطلاعات ساختمان می‌تواند مسیر اصلی توسعه روش‌های پیشرفته LCC باشد و نقش مهمی در ارتقای پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی صنعت ساخت‌وساز ایفا کند (ISO, 2017; CEN, 2021; Eastman et al., 2011). از سوی دیگر پژوهش‌های داخلی در مسیر حرکت به سمت مدیریت هزینه چرخه عمر و BIM قرار دارند، اما هنوز نیاز به توسعه سیستم‌های طبقه‌بندی یکپارچه، پایگاه‌های داده جامع و مدل‌های ترکیبی BIM-LCC به‌طور جدی احساس می‌شود (نوری و احمدزاده، ۱۴۰۰؛ شریفی، ۱۳۹۹).

مراجع

- [۱] امیری، پ. (۱۴۰۰). کاربرد BIM در مدیریت هزینه پروژه‌های عمرانی. مجله مهندسی عمران دانشگاه تهران، ۴۸(۲)، ۶۷-۸۲.
- [۲] بهرامی، س.، و عباسی، م. (۱۳۹۹). بررسی سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات در صنعت ساخت‌وساز. مجله مهندسی معماری ایران، ۱۸(۳)، ۵۵-۷۰.
- [۳] حسینی، ع. (۱۳۹۷). بررسی روش‌های برآورد هزینه چرخه عمر در ساختمان‌ها. مجله مهندسی و مدیریت پروژه، ۱۱(۱)، ۱۱-۲۶.
- [۴] شریفی، د. (۱۳۹۹). توسعه سیستم‌های اطلاعاتی در مدیریت هزینه چرخه عمر ساختمان. مجله ساخت و توسعه پایدار، ۸(۳)، ۲۹-۴۴.
- [۵] طاهری جلی، س.، و بهنام، ب. (۱۴۰۳). چارچوب یکپارچه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و هزینه چرخه عمر برای طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی بلندمرتبه، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۶(۱۰)، ۱۲۷۴-۱۲۴۷.
- [۶] کریمی، ح.، و احمدی، ر. (۱۳۹۹). کاربرد تحلیل هزینه چرخه عمر (LCC) در بهینه‌سازی تصمیم‌گیری پروژه‌های عمرانی. مجله مدیریت ساخت، ۸(۲)، ۲۱-۲۳.
- [۷] کریمی، م. (۱۴۰۰). مقایسه سیستم‌های طبقه‌بندی اطلاعات ساخت در پروژه‌های عمرانی. نشریه فناوری ساخت، ۹(۲)، ۱۸-۳۳. عفری، م.، و صادقی، ا. (۱۳۹۹). نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در مدیریت پروژه‌های ساختمانی. مجله فناوری معماری و شهرسازی، ۱۴(۴)، ۳۳-۴۹.
- [۸] محمدی، م.، و رضایی، س. (۱۳۹۸). تحلیل هزینه چرخه عمر در پروژه‌های ساختمانی. مجله مهندسی عمران و محیط زیست ایران، ۱۲(۳)، ۴۵-۵۵.
- [۹] مرادی، ا. (۱۳۹۷). نقش بانک‌های اطلاعاتی هزینه در برآورد پروژه‌های عمرانی. مجله مدیریت ساخت ایران، ۱۳(۱)، ۱۳-۲۸.
- [۱۰] نادری، ک.، و موسوی، ف. (۱۳۹۸). یکپارچه‌سازی BIM و مدیریت هزینه در پروژه‌های ساختمانی. نشریه ساخت و مدیریت پروژه، ۱۰(۳)، ۱۵-۳۰.
- [۱۱] نوری، ر.، و احمدزاده، م. (۱۴۰۰). یکپارچه‌سازی BIM و LCC در مدیریت هزینه پروژه‌های ساختمانی. مجله مهندسی عمران پیشرفته، ۱۶(۱)، ۱-۱۷.

[۱۲] BREEAM-SE. (2023). BREEAM-SE technical manual. Sweden Green Building Council.

- [۱۳] CEN. (2021). EN 15643: Sustainability of construction works - Framework for assessment of buildings. European Committee for Standardization.
- [۱۴] CSI & CSC. (2016). MasterFormat and UniFormat: Construction specifications standards. Construction Specifications Institute & Construction Specifications Canada.
- [۱۵] Dodd, N., Cordella, M., Traverso, M., Donatello, S., & Hollberg, A. (2021). Level(s): A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. European Commission.
- [۱۶] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2nd ed.). Wiley.
- [۱۷] European Parliament. (2014). Directive 2014/24/EU on public procurement. Official Journal of the European Union.
- [۱۸] Eurostat. (2023). Construction sector statistics. European Commission.
- [۱۹] Gelder, J. (2015). *OmniClass: A strategy for classifying the built environment*. Construction Specifications Institute.
- [۲۰] Goh, B. H., & Sun, Y. (2016). The development of life-cycle costing in construction: A review. *Building Research & Information*, 44(3), 237–253.
- [۲۱] Hromada, E., et al. (2021). Life cycle costing tools for early design decision-making in buildings. *Journal of Building Engineering*, 41, 102–115.
- [۲۲] ICMS. (2019). International construction measurement standards (2nd ed.). ICMS Coalition.
- [۲۳] ISO. (2015). *ISO 12006-2: Building construction - Organization of information about construction works*. International Organization for Standardization.
- [۲۴] ISO. (2017). ISO 15686-5: Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 5: Life-cycle costing. International Organization for Standardization.
- [۲۵] Junta de Andalucía. (2023). *Andalusian construction cost database (ACCD)*. Regional Government of Andalusia.
- [۲۶] Kishk, M., Al-Hajj, A., Pollock, R., Aouad, G., Sun, M., Bakis, N., & Child, T. (2003). *Information modelling for construction projects*. University of Salford.
- [۲۷] Lu, K., Deng, X., Jiang, X., Cheng, B., & Tam, V. W. Y. (2023). A review on life cycle cost analysis of buildings based on building information modeling. *Journal of Civil Engineering and Management*, 29(3), 268–288. <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.18473>
- [۲۸] MITMA. (2021). Cost and investment analysis in public infrastructure projects. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Spain).
- [۲۹] NBS. (2019). Uniclass 2015: Classification for the construction industry. National Building Specification.

- [۳۰] Oxford Economics. (2021). Global construction market forecast report. Oxford Economics.
- [۳۱] Ramírez de Arellano Agudo, A. (2014). Cost systems in construction: Functional units and cost estimation methods. *Construction Management and Economics*, 32(6), 1–15.
- [۳۲] Rivero-Camacho, C., et al. (2023). Life cycle cost considerations in building sustainability assessment. *Journal of Building Engineering*, 68, 105–120.
- [۳۳] Vázquez-López, F., et al. (2020). Data limitations in life cycle cost analysis of buildings. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102041.
- [۳۴] Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.
- [۳۵] Zhang, S., Li, Z., Li, T., & Yuan, M. (2021). A holistic literature review of building information modeling for prefabricated construction. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(7), 485–499.

Life Cycle Cost and Construction Information Classification Systems Toward the Development of Integrated Models for Building Economic Assessment

Mostafa Ghazi Moradi¹, Ahad Dehghani Ghanatghestani²

1 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2 M.Sc. Student, Construction Management, International Qeshm Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran

Abstract

Life Cycle Cost (LCC), as one of the most important tools for economic evaluation in construction projects, plays a key role in design decision-making and infrastructure asset management. However, the practical application of this approach is limited due to the lack of integration in information systems and cost classification structures, particularly in the early design stages. This study aims to develop an integrated Construction Information Classification System (CICS) to improve life cycle cost estimation in early design phases. In this review paper, international standards including ISO 15686-5, EN 15643, ISO 12006-2, and ICMS, as well as classification systems such as Uniclass, OmniClass, and MasterFormat, are analyzed to develop an integrated framework. The proposed structure combines life cycle dimensions, functional groups, and building typologies, enabling systematic organization of cost data at different levels. In addition, a functional unit-based approach is introduced as a basis for early-stage cost estimation, which reduces uncertainty in preliminary assessments. The results indicate that integrating classification systems with life cycle structures can significantly improve the accuracy, transparency, and traceability of cost data. Ultimately, the proposed framework can serve as an effective tool for improving economic decision-making in early design stages and enhancing the sustainability of construction projects.

Keywords: Life Cycle Cost, Sustainable Development, Construction Information Classification Systems, Building Cost Analysis