

اختصاصی‌سازی مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی (ARP) در نیروگاه‌های سوخت فسیلی، مورد مطالعاتی: نیروگاه حرارتی بعثت تهران*

محمد پورابرهیمی^۱ - سیدرحمان اقبالی^{۲*} - حسن غفوری‌فرد^۳ - محسن حامدی^۴ - حسن ذوالفقارزاده^۵

۱. دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران (نویسنده مسئول).
۳. استاد گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۴. استاد گروه مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۵. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۵ تاریخ اصلاحات: ۹۹/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۹/۰۳/۲۵ تاریخ انتشار: ۰۰/۰۳/۳۱

چکیده

استفاده دوباره از ساختمان‌های موجود با استفاده حداکثری از قابلیت‌های سازه‌ای، کالبدی و مصالح بنا، رویکردی هماهنگ با اهداف توسعه پایدار است. به منظور سنجش ظرفیت و قابلیت ساختمان‌های موجود برای استفاده دوباره، مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی^۱ ابزار بسیار کارآمدی است. این مدل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب در زمینه برنامه‌ریزی شهری و معماری و نحوه برخورد با ساختمان‌ها و بناهای موجود پیش از متروک شدن آن‌ها مطرح باشد. مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی با محاسبه عمر مفید ساختمان از طریق سنجش انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی، سن فعلی ساختمان و عمر کالبدی پیش‌بینی شده برای آن، ظرفیت بنا را به منظور استفاده دوباره به‌دست می‌دهد. مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی، مدلی عمومی با کاربردی مشابه و یکسان در تمام ساختمان‌ها و قابل استفاده در تمام کشورها است. هدف مقاله اختصاصی‌سازی این مدل در نیروگاه‌های سوخت فسیلی است. به نظر می‌رسد که به این ترتیب امکان رسیدن به نتایج دقیق‌تری از مدل وجود دارد. روش پژوهش به فراخور مراحل مختلف، به این قرار است: مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای به منظور بررسی و تحلیل مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی و شناسایی انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی؛ بازدید میدانی به منظور مطالعه نمونه موردی و بررسی انواع از کارافتادگی‌ها در آن؛ انجام مصاحبه با خبرگان، استفاده از پرسشنامه مقایسه زوجی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به منظور وزن‌دهی و اولویت‌بندی انواع از کارافتادگی‌ها در نیروگاه‌های سوخت فسیلی. به منظور اعتبارسنجی نتایج، مدل اختصاصی شده قابلیت استفاده مجدد انطباقی در یک نمونه مطالعاتی اعمال شده و خروجی‌های بدست آمده، با نتایج حاصل از اعمال مدل به صورت اولیه و اصیل در همان نمونه مطالعاتی مقایسه می‌شود. تحلیل‌های انجام شده و نظر متخصصین به‌عنوان معیار و سنجش، مؤید این مطلب است که نتایج حاصل از مدل اختصاصی‌شده برای نیروگاه‌های سوخت فسیلی دقیق‌تر از مدل اولیه است.

واژگان کلیدی: مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی، استفاده دوباره، عمر مفید ساختمان، از کارافتادگی ساختمانی.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «پیاده‌سازی مدل پتانسیل استفاده مجدد انطباقی (ARP) در نیروگاه‌های سوخت فسیلی و اجرای آن در نیروگاه حرارتی بعثت تهران»، به راهنمایی نویسنده دوم و سوم و با مشاوره نویسنده چهارم و پنجم در دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، در سال ۱۳۹۷ می‌باشد.

** E_mail: s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

۱. مقدمه

استفاده مجدد از ساختمان‌ها در حقیقت نوعی بازآفرینی پایدار شهری است، زیرا عمر ساختمان‌ها را طولانی می‌کند و سبب اجتناب از تولید پسماندهای حاصل از تخریب شده و همچنین مزایای چشمگیری در زمینه اقتصادی و اجتماعی به جامعه ارائه می‌دهد (Tam & Hao, 2018, p. 1). استفاده دوباره از ساختمان‌های موجود، در برابر تخریب آن‌ها، سبب حفظ مصالح و انرژی نهفته^۲ در ساختمان، عدم استفاده غیر ضروری از منابع و نیز جلوگیری از گسترش بی‌رویه ساخت و سازها و حفظ اراضی و منابع برای استفاده نسل‌های بعد می‌شود. بنابراین، این رویکرد از منظر پایداری می‌تواند یک جایگزین جذاب به جای ساخت و سازهای جدید باشد (Sanchez & Haas, 2018, p. 998). اما همه بناها قابلیت لازم برای استفاده دوباره را ندارند و اجرای این رویکرد نیاز به مطالعه و بررسی دقیق دارد. معیارها و روش‌های مختلفی برای بررسی قابلیت بنا برای استفاده دوباره و تبدیل و انطباق آن توسط محققان مطرح شده‌است (Geraedts & Voordt, 2004; Tan, Shen, & Langston, 2014; Wang & Zeng, 2010; Bul-ten, 2007). مشکلی که در مورد چنین معیارهایی وجود دارد این است که بیشتر آن‌ها معیارهای کیفی هستند که بررسی آن‌ها می‌تواند دشوار باشد و به نتایج دقیقی ختم نشود. مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی، که توسط کریگ لانگستون^۳ (۲۰۰۷) ارائه شد، به‌عنوان ابزاری برای سنجش ظرفیت بنا برای استفاده دوباره، ضمن کمی کردن مفاهیم کیفی، شاخص‌هایی را در اختیار می‌گذارد که می‌تواند در این زمینه بسیار کارآمدتر باشد. شاخص‌های ARP بالاتر از ۵۰ درصد نشان‌دهنده بالا بودن ظرفیت بنا برای استفاده دوباره، شاخص‌های بین ۲۰ درصد تا ۵۰ درصد نشان‌دهنده ظرفیت متوسط و شاخص‌های زیر ۲۰ درصد نمایانگر ظرفیت کم بنا برای استفاده دوباره است (Langston, 2012, p. 107). مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی به محاسبه عمر مفید ساختمان، عمر مورد انتظار کالبدی ساختمان و سن فعلی آن، نیازمند است (Langston, Wong, Hui, & Shen, 2008). عمر مفید ساختمان با استفاده از رابطه ۱ زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۱: محاسبه عمر مفید (Lu): عمر مفید (به سال)؛
Lu: عمر کالبدی (به سال)؛ Oi: از کارافتادگی‌ها^۴

$$Useful\ Life(Lu) = \frac{Lp}{(1 + \sum_{i=1}^7 Oi)^{Lp}}$$

عمر کالبدی ساختمان که به کفایت و ایمنی سازه‌ای آن تفسیر می‌شود، در نتیجه تأثیر انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی کاهش یافته و منجر به عمر مفید بنا می‌شود که کوتاه‌تر از عمر کالبدی مورد انتظار آن است. انواع از کارافتادگی‌هایی که در مدل محاسبه می‌شود، به نقل از

لانگستون (۲۰۰۷، ۲۰۰۸)، شامل: از کارافتادگی کالبدی، از کارافتادگی اقتصادی، از کارافتادگی عملکردی، از کارافتادگی فنی، از کارافتادگی اجتماعی، از کارافتادگی مقرراتی و از کارافتادگی سیاسی است. در مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی، مقیاسی از ۰ تا ۲۰ درصد برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در نتیجه این از کارافتادگی‌ها استفاده می‌شود، به این صورت که میزان ۰ درصد به معنای ایمنی کامل و ۲۰ درصد به معنای آسیب‌پذیری شدید است. تنها در مورد از کارافتادگی سیاسی، این مقیاس از ۲۰- درصد تا ۲۰+ درصد می‌باشد، طوری که ۲۰- درصد به‌عنوان یک فضای حمایتی و ۲۰+ درصد به‌عنوان یک فضای مانع دیده می‌شود (Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014, p. 189). در عین حال باید توجه داشت که برای تمامی از کارافتادگی‌ها مقادیر بین ۰ تا ۲۰، شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ نیز امکان پذیر است. لانگستون (۲۰۰۸) همچنین یک الگوی محاسباتی را براساس پرسشنامه‌ای شامل سه معیار اصلی، شامل: زمینه محیطی، مشخصات شغلی و استحکام سازه‌ای، برای محاسبه عمر کالبدی پیشنهاد می‌کند. وی به این نکته اشاره می‌کند که در عین حال عمر کالبدی بنا از طریق مشاوره با متخصصین نیز قابل پیش‌بینی است. با محاسبه عمر مفید و عمر کالبدی پیش‌بینی شده و سن فعلی ساختمان، مقادیر عمر مفید مؤثر (ELu) (رابطه ۲)، سن مؤثر ساختمان (ELb) و عمر کالبدی مؤثر (ELp) محاسبه می‌شود (همگی به‌صورت درصد نسبت به عمر کالبدی پیش‌بینی شده).

رابطه ۲: محاسبه عمر مفید مؤثر (ELu): عمر مفید مؤثر؛ Lu: عمر مفید؛ Lp: عمر کالبدی

$$ELu = \frac{Lu \times 100}{Lp}$$

اگر سن مؤثر ساختمان از عمر مفید مؤثر کم‌تر باشد، ظرفیت استفاده مجدد به صورت افزایشی بوده و شاخص ARP با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

رابطه ۳: محاسبه شاخص ARP در حالت افزایشی

$$ARP_{(increasing)} = \frac{[100 - (EL_u^2/100)] \cdot EL_b}{EL_u}$$

اگر سن مؤثر بنا بیش از عمر مفید مؤثر باشد ظرفیت استفاده دوباره به صورت کاهش‌یافته بوده و شاخص ARP براساس رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

رابطه ۴: محاسبه شاخص ARP در حالت کاهش‌یافته

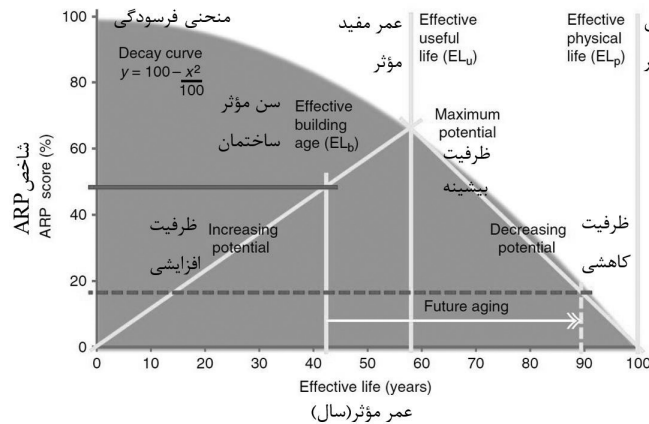
$$ARP_{(decreasing)} = \frac{[100 - (EL_u^2/100)] \cdot (100 - EL_b)}{100 - EL_u}$$

ناحیه مشخص شده زیر منحنی، ناحیه ممکن برای مدل

حیات یک ساختمان می‌باشد (Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014, p. 190). (شکل ۱).

است که از طریق رابطه $Y=100-X^2/100$ تعریف می‌شود. بیشینه محور X ، ۱۰۰ است که به معنای ۱۰۰ درصد پهنه

شکل ۱: مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی



(Langston & Shen, 2007)

دقیق‌تر انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی و نیز تعیین میزان اهمیت و وزن آن‌ها در کاهش عمر مفید بنا، با توجه به گونه‌های مختلف ساختمانی، بتوان به نتایج دقیق‌تر و مدلی اختصاصی برای هرگونه دست یافت. براساس این فرضیه، در مقاله پیش رو به اختصاصی‌سازی و پیاده‌سازی مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه‌های سوخت فسیلی پرداخته شده است. با توجه به زیرساخت‌های موجود، استحکام سازه‌ای و فضاهای باز و انعطاف‌پذیر نیروگاه‌های سوخت فسیلی و نیز با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از عمر بسیاری از این نیروگاه‌ها در کشورها سپری شده است، بررسی این موضوع در نیروگاه‌های سوخت فسیلی دارای اهمیت داشته است.

روش پژوهش به این صورت است که ابتدا انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی از طریق مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای و با بررسی ادبیات موضوع به صورت کامل شناسایی می‌شوند. در مرحله بعد به منظور وزندهی از کارافتادگی‌ها، پرسشنامه مقایسه زوجی براساس طیف لیکرت تنظیم و ضمن انجام مصاحبه با خبرگان، بین ایشان توزیع شد. نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها براساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و در نرم‌افزار Expert Choice وزندهی شد. برای اعمال مدل در نمونه مطالعاتی نیز اطلاعات لازم از طریق بازدید میدانی و مطالعات اسنادی جمع‌آوری شد.

۲. اجرای مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه حرارتی بعثت تهران

با توجه به گسترش سریع شهرها، بسیاری از نیروگاه‌ها که زمانی در حاشیه شهرها وجود داشتند، اکنون وارد بافت شهری شده‌اند. به این ترتیب علاوه بر امکان تولید پسماندهای آلوده و سمی، می‌توانند سبب آلودگی‌های

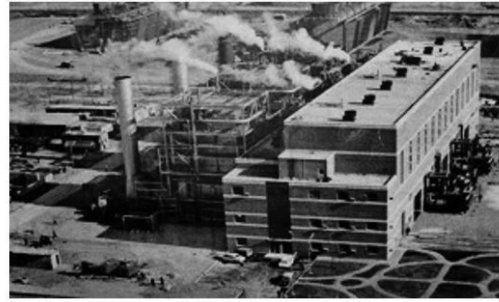
مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در مطالعات مختلفی مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌است (Langston, 2011; Conejos, 2013; Conejos, Langston, & Smith, 2015, 2014, 2012; Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014; Yung, Langston, & Chan, 2014). از جمله این مطالعات، کاربرد مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در دو پروژه تحقیقاتی هم‌زمان است، یک پروژه مربوط به دانشگاه پلی‌تکنیک هنگ‌کنگ و پروژه دیگر مشارکت بین دانشگاه بوند، معماران ویلیامز بوگ، دانشگاه دیکین^۷ و اتحادیه کلیسا^۸ در استرالیا بود. در نتایج نهایی این مطالعات که در سال ۲۰۱۰ به صورت مقاله به چاپ رسید (Shen & Langston, 2010)، به مقایسه قابلیت استفاده مجدد انطباقی از ساختمان‌ها بین مناطق شهری و غیر شهری به ترتیب در هنگ‌کنگ و استرالیا پرداخته شده است.

همان‌طور که در مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی مشخص است، محاسبه عمر مفید نقش محوری در مدل دارد و از کارافتادگی‌ها نیز نقش محوری در محاسبه عمر مفید دارند. هر چند که لانگستون (۲۰۰۷) ابتدا شش گونه از کارافتادگی را در محاسبات مدنظر قرار داد و بعداً از کارافتادگی سیاسی هم به‌عنوان یک گونه به مدل اضافه شد، اما سؤال اینجاست که آیا این‌ها تنها گونه‌های از کارافتادگی ساختمانی و مهم‌ترین آن‌ها هستند؟ از طرف دیگر در این مدل برای هر یک از انواع از کارافتادگی‌ها وزن و تأثیر یکسانی در نظر گرفته شده (از ۰ تا ۲۰ درصد)، در حالی که به نظر می‌رسد هر یک از این عوامل می‌توانند وزن متفاوتی در کاهش عمر مفید بنا داشته باشند. به‌عنوان مثال ممکن است در ساختمان‌های اداری، از کارافتادگی موقعیت مکانی و در ساختمان‌های تجاری از کارافتادگی اقتصادی بیش‌ترین تأثیر را در کاهش عمر مفید بنا داشته باشند. بنابراین به نظر می‌رسد با بررسی

این بناها قابلیت‌های بالایی برای هماهنگ شدن با بافت شهری و تأمین کاربری‌های مورد نیاز از طریق انطباق و استفاده دوباره دارند. نیروگاه حرارتی بعثت یکی از این نمونه‌ها می‌باشد. نیروگاه بعثت در سال ۱۳۴۳ در زمینی به مساحت ۲۰ هکتار در منطقه خزانه بخارانی واقع در جنوب شرقی شهر تهران بنا شد (شکل ۲).

محیطی و صوتی شوند. از طرف دیگر معمولاً چنین بناهایی با سیمای صنعتی و معمولاً با مقیاسی بزرگ، به صورت عناصری ناهمگون با بافت شهری دیده می‌شوند. اما باید توجه داشت که تخریب چنین بناهایی، که با توجه به شرایط و کاربری موجود، دیگر مناسب به نظر نمی‌رسند، لزوماً مناسب‌ترین راهکار نیست. بسیاری از

شکل ۲: نیروگاه حرارتی بعثت تهران (چپ: تصویر واحدهای نیروگاه (۱۳۹۶)، راست: منظره هوایی نیروگاه (دهه ۱۳۵۰))



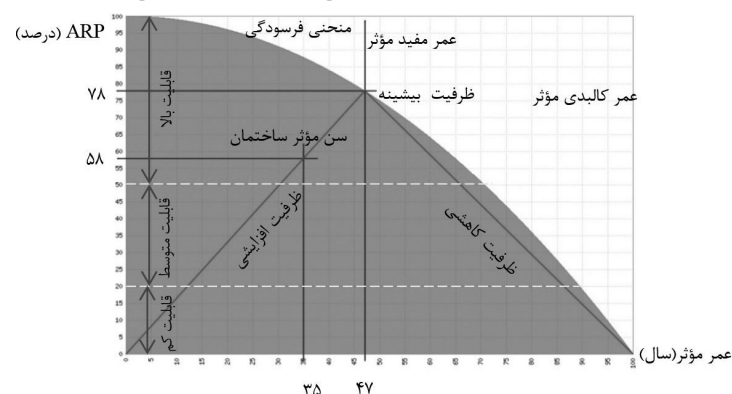
(<http://www.besatpower.ir/>)

و از کارافتادگی سیاسی براساس سطح علایق ملی و محلی حاکم بر یک پروژه. با توجه به نرخ انواع از کارافتادگی‌ها در نیروگاه بعثت، مجموع از کارافتادگی‌ها برابر ۷۵ درصد و همچنین میزان مجموع از کارافتادگی سالیانه برابر ۰.۰۰۵ است. با توجه به داده‌ها و رابطه ۱ عمر مفید برابر با ۷۱ سال می‌شود. همچنین براساس رابطه ۲ عمر مفید مؤثر نیروگاه ۴۷ سال و سن مؤثر آن ۳۵ سال ارزیابی می‌شود. بنابراین با توجه به این که سن مؤثر ساختمان از عمر مفید مؤثر کم‌تر است ($ELu > ELb$) شاخص ARP از طریق رابطه ۳ و برابر ۵۸ درصد محاسبه می‌شود.

با توجه به این که شاخص ARP نیروگاه حرارتی بعثت تهران بالاتر از ۵۰ درصد است، بنابراین از قابلیت بالایی برای استفاده دوباره برخوردار است. بیشینه ظرفیت بنا برای استفاده مجدد نیز که در سن عمر مفید آن ظاهر می‌شود از طریق معادله $Y=100-X^2/100$ محاسبه می‌شود (جاییکه x برابر با ELu می‌باشد). به این ترتیب بالاترین شاخص ARP نیروگاه بعثت تهران برابر با ۷۸ درصد می‌باشد (شکل ۳) (Pourebrahimi, Eghbali, & Ghafari Fard, 2018, p. 35).

با توجه به سال ساخت نیروگاه در ۱۳۴۳، سن فعلی آن برابر ۵۲ سال (در سال ۱۳۹۵) و عمر کالبدی پیش‌بینی شده برای آن، براساس نظر متخصصین، ۱۵۰ سال است. میزان نرخ انواع از کارافتادگی‌ها بر اساس مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی به این ترتیب است: از کارافتادگی کالبدی ۱۰ درصد، از کارافتادگی اقتصادی ۱۰ درصد، از کارافتادگی عملکردی ۲۰ درصد، از کارافتادگی فنی ۱۵ درصد، از کارافتادگی اجتماعی ۰ درصد، از کارافتادگی مقرراتی ۵ درصد و از کارافتادگی سیاسی ۱۵ درصد (Pourebrahimi, Eghbali, & Ghafari Fard, 2018, p. 35). چگونگی تأثیر هر یک از این از کارافتادگی‌ها در کاهش عمر نیروگاه بدین ترتیب است: از کارافتادگی کالبدی در نتیجه تعمیر و نگهداری ضعیف، از کارافتادگی اقتصادی در نتیجه افزایش هزینه‌ها نسبت به درآمدها، از کارافتادگی عملکردی در نتیجه فقدان انعطاف‌پذیری برای بروز شدن براساس پیشرفت فناوری، از کارافتادگی فنی در نتیجه مصرف بیشتر انرژی نسبت به استانداردهای موجود، از کارافتادگی اجتماعی در نتیجه کاهش نیاز جامعه به خدمات ارائه شده توسط آن کاربری، از کارافتادگی مقرراتی در نتیجه ورود کدها و مقررات ساختمانی جدید

شکل ۳: مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه حرارتی بعثت تهران



(Pourebrahimi, Eghbali, & Ghafari Fard, 2018)

Flier, 2011; Baum, 1991; Kintrea, 2007; Ahmad, Aspden, & Schreyer, 2005; Grover & Grover, 2015). کلمه از کارافتادگی که از میانه قرن شانزدهم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ashworth, 2004). در زبان انگلیسی برای محیط مصنوع اولین بار حدود ۱۹۱۰ به کار گرفته شد (Abramson, 2012). طبق نظر نوت^۱ و همکاران (۱۹۷۶) اصطلاح «از کارافتاده» وضعیت نهایی و «از کارافتادگی» انتقال به سمت این وضعیت را شرح می‌دهد. بنابراین از کارافتادگی گذار به سمت از کارافتاده شدن است.

با بررسی ادبیات موضوع مشخص می‌شود که تفاهم کامل و دسته‌بندی جامعی در مورد انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی وجود ندارد و محققین به تعداد و گونه‌های مختلفی از از کارافتادگی قائل هستند. با بررسی نظام‌مند ادبیات موضوع^۱، ۳۳ گونه مختلف از انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی شناسایی شد (جدول ۱).

۳. پیاده‌سازی مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه‌های سوخت فسیلی

به منظور اختصاصی‌سازی مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی ابتدا نیاز به شناسایی انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی و سپس وزن‌دهی و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس اهمیت و تأثیرشان در کاهش عمر بنا است.

۳-۱- شناسایی انواع از کارافتادگی ساختمانی

از کارافتادگی به‌عنوان فرآیند کاهش یا از دست رفتن ارزش، سودمندی یا کارایی ساختمان تعریف می‌شود که می‌تواند در نتیجه عوامل مختلفی همچون زوال کالبدی، پیشرفت تکنولوژی، تغییر مطالبات یا تغییرات محیطی اتفاق بیفتد (Burton, 1933, p. 19; Flanagan, Norman, Meadows, & Robinson, 1989; Mansfield & Pinder, 2008; Khalid, 1994; Ashworth, 2004; Thomsen &

جدول ۱: انواع گونه‌های از کارافتادگی ساختمانی

منبع	گونه از کارافتادگی	منبع	گونه از کارافتادگی
(Evelyn & Guangming, 2010)	ساختمانی	(Aksözen, Hassler, Rivallain, & Kohler, 2016)	اقتصادی
(Thomsen, Flier, & Nieboer, 2015)	کالبدی	(Johnston, 2016)	کاربری
(Raftery, 1991)	کنترلی	(Sarja, 2006)	موقعیت مکانی
(Dunse & Jones 2005)	بصری	(Dunse & Jones, 2005)	مقرراتی
(Sarja, 2006)	اکولوژی	(Rodi, Hwa, Said, Mahamood, Abdullah, & Abd Rasam, 2015)	عملکردی
(Williams, 1986)	قانونی	(Blakstad, 2001)	سازه‌ای
(Evelyn & Guangming, 2010)	سبکی	(Mora, Bitsuamlak, & Horvat, 2011)	فناوری
(Williams, 1986)	عمومی	(Kalligeros, 2003)	تنظیماتی
(Blakstad, 2001)	محیطی	(Butt, Heywood, Paul, & Jones, 2014)	مالی
(Goetz, 2012)	سیاسی	(Mora, Bitsuamlak, & Horvat, 2011)	زیباشناختی
(Grigsby, Baratz, & MacLennan, 1983)	تجهیزاتی	(Douglas, 2006)	معماری
(Grover & Grover, 2015)	مد	(Iselin & Lemer, 1993)	فرهنگی
(Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014)	تصرفی	(Chaplin, 2003)	شکلی
(Thomsen & Flier, 2011)	بازاری	(Johnston, 2016)	طراحی
(Rodi et al., 2015)	اجتماعی	(Thomsen & Flier, 2011)	کارایی
(Raftery, 1991)	استیجاری	(Caccavelli & Gugerli, 2002)	فنی
		(Nutt & Sears, 1972)	اجاره‌ای

گرفتن تعاریف، علل و همپوشانی بین آن‌ها، این ۳۳ گونه از کارافتادگی ساختمانی در ۱۰ دسته جامع طبقه‌بندی شدند:

تعاریف و علل مشابهی بین این ۳۳ گونه از کارافتادگی ساختمانی می‌توان یافت که به نوعی باعث سردرگمی در شناخت موضوع می‌شود. با رویکردی تحلیلی و در نظر

۱. از کارافتادگی اقتصادی (شامل از کارافتادگی مالی، از کارافتادگی بازاری)
۲. از کارافتادگی عملکردی (شامل از کارافتادگی کاربری و از کارافتادگی کارایی)
۳. از کارافتادگی کالبدی (شامل از کارافتادگی سازه‌ای)
۴. از کارافتادگی موقعیت مکانی (شامل از کارافتادگی زیست‌محیطی و از کارافتادگی ساختگاه)
۵. از کارافتادگی مقرراتی (شامل از کارافتادگی کنترلی، از کارافتادگی تنظیماتی، از کارافتادگی قانونی و از کارافتادگی سیاسی)
۶. از کارافتادگی اجتماعی (شامل از کارافتادگی فرهنگی و از کارافتادگی عمومی)
۷. از کارافتادگی فناوری (شامل از کارافتادگی فنی و از کارافتادگی تجهیزاتی)
۸. از کارافتادگی زیبانشناختی (شامل از کارافتادگی سبکی، از کارافتادگی طراحی، از کارافتادگی بصری، از کارافتادگی مد، از کارافتادگی شکلی و از کارافتادگی معماری)
۹. از کارافتادگی زیست‌محیطی (شامل از کارافتادگی اکولوژیکی)
۱۰. از کارافتادگی تصرفی (شامل از کارافتادگی استیجاری و از کارافتادگی اجاره‌ای).

۱-۱-۳- وزن‌دهی انواع از کارافتادگی ساختمانی

به منظور وزن‌دهی انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با انجام محاسبات در نرم‌افزار اکسپرت چویس استفاده شد. با توجه به محدودیت‌های روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تعداد هشت گونه از ۱۰ گونه جامع از کارافتادگی انتخاب شدند. براین اساس، هشت گونه از کارافتادگی‌هایی که بیش‌ترین ارجاعات براساس تعداد محققین مختلف به آن‌ها شده بود انتخاب شدند، که شامل از کارافتادگی اقتصادی، از کارافتادگی عملکردی، از کارافتادگی کالبدی، از کارافتادگی موقعیت مکانی، از کارافتادگی مقرراتی، از کارافتادگی اجتماعی، از کارافتادگی فنی و از کارافتادگی زیست‌محیطی است. در این میان از کارافتادگی

زیست‌محیطی جایگزین از کارافتادگی زیبانشناختی شد. درواقع از علل اصلی از کارافتادگی زیبانشناختی، تغییر مد و یا مطالبات اجتماعی است که تا حد زیادی این عوامل در از کارافتادگی اجتماعی و عملکردی پوشش داده شده‌اند. در عین حال نتایج حاکی از آن است که از کارافتادگی زیست‌محیطی سومین از کارافتادگی مهم در نیروگاه‌های سوخت فسیلی است که این موضوع می‌تواند از تصمیم برای جایگزینی از کارافتادگی زیست‌محیطی به جای از کارافتادگی زیبانشناختی حمایت کند.

در مرحله بعد پرسشنامه مقایسه زوجی براساس معیارهای پژوهش (هشت‌گونه از کارافتادگی) تنظیم شد. با توجه به این‌که در روش تحلیل سلسله مراتبی لزوماً به جامعه آماری بالایی احتیاج نیست، بلکه تخصص و مهارت متخصصین است که دارای اهمیت بسیار است، شش نفر از خبرگان نیروگاه‌های سوخت فسیلی با تخصص و مهارت بالا، جهت توزیع پرسشنامه شناسایی و هماهنگی‌های لازم جهت توزیع پرسشنامه‌ها شکل گرفت. در اینجا منظور از خبرگان، افرادی با تجربه و دانش بالا در زمینه نیروگاه‌های سوخت فسیلی است که می‌تواند شامل متخصصین تعمیر و نگهداری، بخش مهندسی، طراحی، مدیریت و تحقیق و توسعه باشد. جهت رسیدن به نتایج دقیق‌تر، پیش از توزیع پرسشنامه‌ها، با هرکدام از متخصصین به صورت جداگانه مصاحبه‌ای ترتیب داده شد. به این ترتیب ضمن تشریح مفاهیم و اهداف پرسشنامه‌ها توزیع شدند.

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، نتایج حاصله جهت وزن‌دهی با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، در نرم‌افزار Expert Choice مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مرحله با وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار اکسپرت چویس، نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی باید در حد قابل قبول (کم‌تر از ۰٫۱) باشد، در غیر این صورت نتایج قابل قبول نبوده و پرسشنامه‌ها باید دوباره توسط متخصصین مورد بازبینی قرار بگیرد. میانگین ماتریس مقایسه زوجی نظرات متخصصین در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: میانگین ماتریس مقایسه زوجی نظرات متخصصی (خروجی نرم‌افزار اکسپرت چویس)

مقایسه نسبی انواع از کارافتادگی‌ها							
از کارافتادگی اقتصادی	از کارافتادگی عملکردی	از کارافتادگی کالبدی	از کارافتادگی موقعیت مکانی	از کارافتادگی مقرراتی	از کارافتادگی اجتماعی	از کارافتادگی فنی	از کارافتادگی زیست محیطی
از کارافتادگی اقتصادی	۱	۱٫۹۱۲۹۳	۱٫۳۲۵۴	۰٫۵۰۷۷۸	۴٫۵۸۲۵	۱٫۷۰۷۶۴	۰٫۶۶۴۹۲
از کارافتادگی عملکردی	۲٫۴۹۸۰۵	۴٫۸۵۶۸	۰٫۷۶۴۷۲	۴٫۶۵۱۲	۰٫۹۰۶۶۸	۱٫۷۳۲۰۵	۰٫۸۳۲۶۸
از کارافتادگی کالبدی	۱٫۵۰۶	۰٫۴۹۳۲۴	۲٫۶۸۵۳	۰٫۸۶۸۳۰	۰٫۸۳۲۶۸	۰٫۵۷۶۵۶	۰٫۵۷۷۳۵
از کارافتادگی موقعیت مکانی	۰٫۵۲۲۷۵	۰٫۱۴۱۱	۰٫۵۷۶۵۶	۰٫۵۷۶۵۶	۰٫۵۷۶۵۶	۰٫۵۷۶۵۶	۰٫۵۷۶۵۶

مقایسه نسبی انواع از کارافتادگی‌ها

زیست محیطی از کارافتادگی	فنی از کارافتادگی	اجتماعی از کارافتادگی	مقرراتی از کارافتادگی	موقعیت مکانی از کارافتادگی	کالبدی از کارافتادگی	عملکردی از کارافتادگی	اقتصادی از کارافتادگی
۱.۱۵۱۶۷	۰.۷۹۷۴۳	۲.۲۳۶۰					از کارافتادگی مقرراتی
۰.۴۱۷۴۳	۰.۲۰۰۴۰						از کارافتادگی اجتماعی
۰.۶۶۴۹۲							از کارافتادگی فنی
							از کارافتادگی زیست محیطی
							نرخ ناسازگاری ۰.۰۴

همانطور که در جدول ۱ مشخص است، نرخ ناسازگاری^{۱۱} برابر ۰.۰۴ است و در محدوده قابل قبول قرار دارد. به این ترتیب، با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، وزن هریک از انواع از کارافتادگی‌ها در نیروگاه‌های سوخت فسیلی براساس برآیند نظر متخصصین محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳: وزن نهایی هریک از شاخص‌ها (از کارافتادگی‌ها) (خروجی نرم‌افزار اکسپرت چویس)

وزن	معیار (از کارافتادگی)
۰.۱۴۵	از کارافتادگی اقتصادی
۰.۱۹۴	از کارافتادگی عملکردی
۰.۰۹۵	از کارافتادگی کالبدی
۰.۰۷۵	از کارافتادگی موقعیت مکانی
۰.۱۶۹	از کارافتادگی مقرراتی
۰.۰۴۲	از کارافتادگی اجتماعی
۰.۱۳۰	از کارافتادگی فنی
۰.۱۵۱	از کارافتادگی زیست محیطی

نرخ ناسازگاری = ۰.۰۴

۳-۲- اجرای مدل اختصاصی شده قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه بعثت تهران

برای امکان‌پذیری مقایسه نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل اختصاصی شده قابلیت استفاده مجدد انطباقی و مدل اولیه در نمونه مطالعاتی، در اینجا سن بنا در همان سال ۱۳۹۵، یعنی ۵۲ سال در نظر گرفته شد. پیش از این به نرخ هریک از از کارافتادگی‌ها در نیروگاه حرارتی بعثت بر اساس مدل اولیه اشاره شد. پس از مطالعه ادبیات موضوع، ۱۱ دسته جامع از از کارافتادگی‌های ساختمانی بازشناسی شدند. براساس میزان ارجاعات توسط محققین مختلف، هشت گونه مهم از کارافتادگی شناسایی و براساس نظر متخصصین وزن‌دهی شد. به این ترتیب از کارافتادگی‌های زیست محیطی و موقعیت مکانی نیز در محاسبات مربوط به مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی لحاظ و از کارافتادگی سیاسی به‌عنوان یک گونه مجزا در محاسبات در نظر گرفته نشد. در مورد از کارافتادگی زیست محیطی باید توجه داشت که آلودگی‌های زیست محیطی نیروگاه بعثت

براساس جدول ۳ مشخص می‌شود که از کارافتادگی عملکردی با وزن ۰.۱۹۴ بیش‌ترین اهمیت را در نیروگاه‌های سوخت فسیلی دارا است. پس از از کارافتادگی عملکردی، از کارافتادگی‌های مقرراتی و زیست محیطی به ترتیب با وزن ۰.۱۶۹ و ۰.۱۵۱ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. از کارافتادگی‌های اجتماعی و موقعیت مکانی نیز اهمیت کم‌تری نسبت به سایر انواع از کارافتادگی دارند. بنابراین، رتبه‌بندی انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی در نیروگاه‌های سوخت فسیلی، براساس نظر متخصصین و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، به این ترتیب است:

(الف) از کارافتادگی عملکردی، (ب) از کارافتادگی مقرراتی، (ج) از کارافتادگی زیست محیطی، (د) از کارافتادگی اقتصادی، (ر) از کارافتادگی فنی، (و) از کارافتادگی کالبدی، (ه) از کارافتادگی موقعیت مکانی و (ی) از کارافتادگی اجتماعی.

مکانی نیروگاه نیز متوسط و ۱۰ درصد ارزیابی شد. جدول ۴ نشان‌دهنده وزن هریک از انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی و میزان هرکدام از این از کارافتادگی‌ها با و بدون در نظر گرفتن وزن آن‌ها در نیروگاه بعثت است. در اینجا جهت تأمین امکان استفاده از شاخص‌های انواع از کارافتادگی‌های نیروگاه بعثت در محاسبات مربوط به مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی، وزن کلیه از کارافتادگی‌ها با ضریب ۱۰ محاسبه شد.

نسبتاً زیاد است، اما با توجه به این که قوانین محدود کننده جدی در این زمینه در کشور وجود ندارد، از کارافتادگی زیست‌محیطی این نیروگاه متوسط و ۱۰ درصد ارزیابی شد. با توجه این که گسترش شهری سبب شده است که اکنون نیروگاه بعثت در بافت شهری قرار بگیرد، این امر می‌تواند سبب از کارافتادگی موقعیت مکانی نیروگاه شود. اما نظر به این که در همسایگی و اطراف نیروگاه کاربری‌های صنعتی نسبتاً زیادی وجود دارد، از کارافتادگی موقعیت

جدول ۴: وزن نهایی هریک از شاخص‌ها (از کارافتادگی‌ها)

میزان از کارافتادگی براساس وزن	میزان از کارافتادگی	وزن با ضریب ۱۰	شاخص‌ها (از کارافتادگی‌ها)
۱۴.۵۰	۱۰	۱.۴۵	از کارافتادگی اقتصادی
~۳۹	۲۰	۱.۹۴	از کارافتادگی عملکردی
۹.۵۰	۱۰	۰.۹۵	از کارافتادگی کالبدی
۷.۵۰	۱۰	۰.۷۵	از کارافتادگی موقعیت مکانی
~۸.۵۰	۵	۱.۶۹	از کارافتادگی مقرراتی
۰	۰	۰.۴۲	از کارافتادگی اجتماعی
~۱۹.۵۰	۱۵	۱.۳۰	از کارافتادگی فنی
~۱۵	۱۰	۱.۵۱	از کارافتادگی زیست محیطی

به ۱۵ درصد، و کاهش تأثیر از کارافتادگی کالبدی از ۱۰ درصد به ۹.۵ درصد و از کارافتادگی موقعیت مکانی از ۱۰ درصد به ۷.۵ درصد شد. نرخ از کارافتادگی‌ها و نرخ مجموع از کارافتادگی سالیانه در نیروگاه حرارتی بعثت تهران پس از وزن‌دهی آن‌ها در جدول ۵ آورده شده است.

همانطور که در جدول ۳ مشخص است، در نظر گرفتن وزن انواع از کارافتادگی‌ها سبب افزایش تأثیر از کارافتادگی اقتصادی از ۱۰ درصد به ۱۴.۵ درصد، از کارافتادگی عملکردی از ۲۰ درصد به ۳۹ درصد، از کارافتادگی مقرراتی از ۵ درصد به ۸.۵ درصد، از کارافتادگی فنی از ۱۵ درصد به ۱۹.۵ درصد و از کارافتادگی زیست‌محیطی از ۱۰ درصد

جدول ۵: وزن نهایی هریک از شاخص‌ها (از کارافتادگی‌ها)

اجتماعی	موقعیت مکانی	مقرراتی	فنی	زیست محیطی	عملکردی	اقتصادی	کالبدی	انواع از کارافتادگی
۰	۷.۵	۸.۵	۱۹.۵	۱۵	۳۹	۱۴.۵	۹.۵	میزان از کارافتادگی
					۱۱۳			مجموع از کارافتادگی‌ها
				۰.۰۰۷	(۱.۱۳/۱۵۰)			نرخ مجموع از کارافتادگی سالیانه

$$ELb = \frac{Lb \times 100}{Lp} = \frac{52 \times 100}{150} = 35$$

$$ELu = \frac{Lu \times 100}{Lp} = \frac{53 \times 100}{150} = 35$$

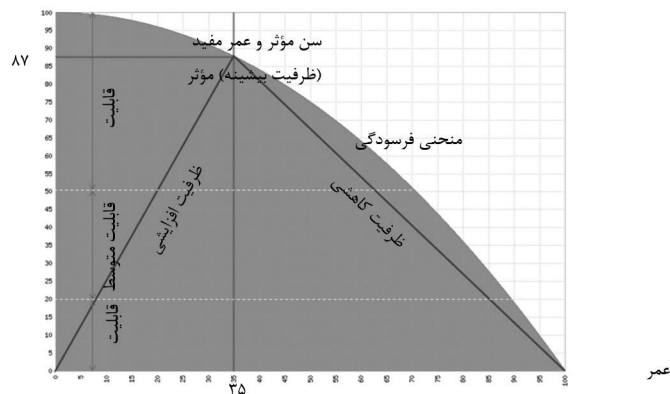
بنابراین عمر مفید مؤثر برابر با ۳۵ سال و سن مؤثر ساختمان نیز برابر ۳۵ سال ارزیابی می‌شود. با توجه به این که عمر مفید مؤثر و سن مؤثر بنا برابر با هم است، شاخص ARP (بیشینه قابلیت استفاده دوباره نیز در همین سن اتفاق می‌افتد) با توجه به رابطه $Y=100-X^2/100$ محاسبه می‌شود که برابر با ۸۷ درصد می‌باشد (شکل ۴).

با توجه به داده‌های جدول ۵ و رابطه محاسبه عمر مفید، عمر مفید نیروگاه حرارتی بعثت تهران ۵۳ سال ارزیابی می‌شود.

$$Useful\ Life(Lu) = \frac{Lp}{(1 + \sum_{i=1}^7 Oi)^{Lp}} = \frac{150}{(1 + 0.007)^{150}} = 53$$

همانطور که پیش از این توضیح داده شد، عمر مفید، سن فعلی ساختمان و عمر کالبدی پیش بینی شده باید برحسب درصد نسبت به عمر کالبدی پیش‌بینی شده محاسبه شوند که به ترتیب به‌عنوان عمر مفید مؤثر (ELu)، سن مؤثر ساختمان (ELb) و عمر کالبدی مؤثر (ELp) شناخته می‌شوند.

شکل ۴: مدل اختصاصی قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه حرارتی بعثت تهران



محاسبه عمر مفید مؤثر و سن مؤثر ساختمان، با توجه به معادلات مربوطه شاخص ARP برابر با ۵۸ درصد و به صورت افزایشی ارزیابی شد. در عین حال بیشینه شاخص ARP برابر با ۷۸ درصد است که در سن ۷۱ سالگی ظاهر می‌شود. نتایج حاصل از اعمال مدل اختصاصی نیروگاه‌های سوخت فسیلی در نیروگاه حرارتی بعثت تهران با استفاده از داده‌های ثابت نسبت به مرحله قبل بدین قرار است: نرخ مجموع از کارافتادگی سالانه برابر با ۰.۰۰۷ محاسبه شد. با توجه به بالاتر رفتن نرخ از کارافتادگی، عمر مفید کوتاه‌تر می‌شود. براین اساس و با توجه به معادلات مربوطه عمر مفید نیروگاه ۵۳ سال (تا سال ۱۳۹۶) محاسبه شد. بنابراین براساس نتایج حاصل از مدل اکنون قابلیت استفاده مجدد انطباقی نیروگاه به صورت کاهش می‌باشد. با توجه به برابر بودن عمر مفید مؤثر و سن مؤثر نیروگاه، شاخص ARP در حالت بیشینه قرار دارد و برابر با ۸۷ درصد است که نشان‌دهنده قابلیت بسیار بالای نیروگاه برای استفاده دوباره می‌باشد (جدول ۶).

بنابراین پیاده‌سازی مدل اختصاصی قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه بعثت نیز حاکی از بالا بودن ظرفیت نیروگاه برای استفاده دوباره است. اما با توجه به این‌که داده‌ها و از جمله سن ساختمان براساس زمان اعمال مدل اولیه (سال ۱۳۹۵) در نظر گرفته شد، بنابراین در حال حاضر پتانسیل بنا برای استفاده دوباره به صورت کاهش است.

۴. مقایسه و تحلیل نتایج

به منظور بررسی نتایج اختصاصی‌سازی قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه‌های سوخت فسیلی، پس از طی مراحل پژوهش، مدل مورد بحث به دو صورت اولیه و به صورت اختصاصی شده در یک نمونه مطالعاتی (نیروگاه برق بعثت تهران) اعمال شد. نتایج حاصل از اعمال مدل اولیه (براساس داده‌های سال ۱۳۹۵) به این شرح است: نرخ مجموع از کارافتادگی سالانه برابر با ۰.۰۰۵ و بر این اساس عمر مفید نیروگاه برابر ۷۱ سال محاسبه شد. با

جدول ۶: وزن نهایی هر یک از شاخص‌ها (از کارافتادگی‌ها)

مدل ARP	عمر کالبدی پیش‌بینی شده	نرخ از کارافتادگی سالیانه	عمر مفید پیش‌بینی شده	عمر مفید مؤثر	شاخص ARP	بیشینه شاخص ARP	ظرفیت استفاده دوباره
مدل اولیه	۱۵۰ سال	۰.۰۰۵	۷۱ سال	۴۷ سال	٪۵۸	٪۷۸	ظرفیت استفاده مجدد بالا و افزایشی
مدل اختصاصی شده	۱۵۰ سال	۰.۰۰۷	۵۳ سال	۳۵ سال	٪۸۷	٪۸۷	ظرفیت استفاده مجدد بسیار بالا و در حالت بیشینه

تأثیر انواع از کارافتادگی‌ها در کاهش عمر مفید بر اساس گونه ساختمانی، می‌تواند منجر به نتایج دقیق‌تری گردد. در عین حال نظر متخصصین نیز می‌تواند به‌عنوان معیار اعتبار نتایج تحقیق در نظر گرفته شود. بدین ترتیب که طی مصاحبه‌های انجام شده با خبرگان نیروگاه‌های سوخت فسیلی به منظور وزن‌دهی از کارافتادگی‌ها، همگی بر این عقیده بودند که براساس اصول کلی و استانداردهای موجود به لحاظ بازدهی اقتصادی و نیرو، عمر مفید این

مقایسه نتایج حاصل از اعمال مدل به دو صورت بالا نشان‌دهنده این است که به صورت کلی نیروگاه حرارتی بعثت تهران قابلیت بالایی برای استفاده دوباره دارد. همچنین براساس نتایج حاصل از مدل اختصاصی میزان از کارافتادگی سالانه بیش‌تر و در نتیجه عمر مفید کوتاه‌تر محاسبه شد. در حقیقت با اعمال وزن انواع از کارافتادگی عمر مفید حدود ۱۸ سال کوتاه‌تر محاسبه شد. به صورت منطقی و علمی، در نظر گرفتن وزن و

نیروگاه هم اکنون (در زمان انجام مصاحبه در سال ۱۳۹۷) اتمام رسیده است، اما به لحاظ شرایط خاص کشور و اداره دولتی این مجموعه است که به کار خود ادامه می‌دهد. بنابراین دیدگاه متخصصین نیز موید فرضیه اصلی تحقیق است؛ مبنی بر این که با تعیین اهمیت انواع از کارافتادگی با توجه به گونه ساختمانی می‌توان به نتایج دقیق‌تری از مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی دست یافت. به این ترتیب از طریق تعیین مهم‌ترین انواع از کارافتادگی‌ها و وزن‌دهی آن‌ها براساس میزان تأثیرشان در کاهش عمر مفید نیروگاه‌های سوخت فسیلی و اعمال آن‌ها در مدل عمومی قابلیت استفاده مجدد انطباقی، مدل اختصاصی نیروگاه‌های سوخت فسیلی حاصل می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله بهینه‌سازی و اختصاصی‌سازی مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در نیروگاه‌های سوخت فسیلی انجام شده است. ضمن بررسی مدل، مشخص می‌شود که از طریق بازشناسی انواع از کارافتادگی‌های ساختمانی و وزن‌دهی آن‌ها براساس تأثیرشان در نیروگاه‌های سوخت فسیلی، رسیدن به مدل اختصاصی امکان‌پذیر است. در این راستا ابتدا انواع از کارافتادگی‌ها از طریق بررسی نظام‌مند ادبیات موضوع شناسایی و در ۱۱ گونه اصلی دسته‌بندی شدند. پس از این مرحله به وزن‌دهی انواع از کارافتادگی‌ها در نیروگاه‌های سوخت فسیلی پرداخته شد. این مرحله با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در نرم افزار اکسپرت چویس انجام شد. به این ترتیب که با توجه به محدودیت‌های روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

از نظر تعداد معیارهای قابل وزن‌دهی، ابتدا هشت‌گونه از کارافتادگی با بیش‌ترین ارجاعات در ادبیات موضوع جهت وزن‌دهی شناسایی شدند. در مرحله بعد، پرسشنامه مقایسه زوجی بر اساس این از کارافتادگی‌ها تنظیم شد. به منظور رسیدن به نتایج دقیق‌تر، پیش از توزیع پرسشنامه‌ها بین خبرگان، ابتدا طی مصاحبه‌ای با آن‌ها مفاهیم و اهداف تشریح شد. سرانجام نتایج با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس تحلیل و انواع از کارافتادگی براساس اهمیت در نیروگاه‌های سوخت فسیلی وزن‌دهی شدند. در نهایت انواع از کارافتادگی براساس وزن و اهمیتشان در نیروگاه‌های سوخت فسیلی، در مدل عمومی قابلیت استفاده مجدد انطباقی اعمال شد. به این ترتیب مدل بهینه و اختصاصی شده برای نیروگاه‌های سوخت فسیلی حاصل شد. مقایسه نتایج حاصل از اعمال مدل اختصاصی و مدل عمومی در نیروگاه حرارتی بعثت تهران، به‌عنوان نمونه موردی، نشان‌دهنده دقیق‌تر بودن خروجی‌های مدل اختصاصی شده است.

تحقیق پیش رو و فرآیند طی شده در آن می‌تواند مبنا و اساسی برای اختصاصی‌سازی مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی در گونه‌های مختلف ساختمانی باشد. به این ترتیب به جای یک مدل عمومی، می‌توان مدل‌های اختصاصی در دست داشت که بر اساس نوع بنا مورد استفاده قرار بگیرد و نتایج دقیق‌تری حاصل شد. نظر به اهمیت استفاده دوباره از ساختمان‌های موجود برای رسیدن به پایداری در محیط مصنوع، نتایج حاصل از این مقاله می‌تواند به صورت کاربردی مورد استفاده قرار بگیرد و فرآیند اختصاصی‌سازی مدل در سایر گونه‌های ساختمانی نیز مورد بررسی و پژوهش قرار بگیرد.

پی‌نوشت

1. Adaptive Reuse Potential Model
2. Embodied Energy
3. Craig Langston
4. Obsolescence
5. Bond University
6. Williams Boag Architects
7. Deakin University
8. Uniting Church in Australia
9. Nutt
10. Systematic Literature Review
11. Inconsistency

REFERENCES

- Abramson, D.M. (2012). From Obsolescence to Sustainability, Back Again, and Beyond, *Design and Culture*, 4(3), 279-298. <https://doi.org/10.2752/175470812X13361292229078>
- Ahmad, N., Aspden, C., & Schreyer, P. (2005). Depreciation and Obsolescence', Paper Prepared for the Meeting of the Canberra Group on Non-Financial Assets in Canberra, 29 March – 1 April.
- Aksözen, M., Hassler, U., Rivallain, M., & Kohler, N. (2016). Mortality Analysis of an Urban Building Stock, *Building Research & Information*, 45(3), 259-277. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1152531>
- Ashworth, A. (2004). *Cost Studies of Buildings* (4th ed.), Published by Pearson Education.
- Baum, A. (1991). *Property Investment Depreciation and Obsolescence*, London: Routledge Publishing.
- Blakstad, S.H. (2001). *A Strategic Approach to Adaptability in Office Buildings.* Ph.D. diss., Norwegian University of Science and Technology.
- Bullen, P.A. (2007). Adaptive Reuse and Sustainability of Commercial Buildings, *Facilities*, 25(1/2), 20-31. [DOI:10.1108/02632770710716911](https://doi.org/10.1108/02632770710716911)
- Burton, J.E. (1933). Building Obsolescence and the Assessor. *The Journal of Land & Public Utility Economics*, 9(2), 109-120. <https://doi.org/10.2307/3139079>
- Butt, T.E., Heywood, C.A., Paul, P., & Jones, K.G. (2014). Sustainability of and Obsolescence in the Built Environment: Two Contrary Notions. *The Journal of Record*, 7(2), 116-122. [DOI:10.1089/SUS.2014.9801](https://doi.org/10.1089/SUS.2014.9801)
- Caccavelli, D., & Gugerli, H. (2002). TOBUS - a European Diagnosis and Decision-making Tool for Office Building Upgrading. *Energy and Buildings*, 34(2), 113-119. <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-and-buildings/vol/34/issue/2>
- Chaplin, R.I. (2003). The Threat of Obsolescence to Police Precincts on the Heritage 'Beat'. *International Journal of Heritage Studies*, 9(2), 117-133. <https://doi.org/10.1080/13527250304775>
- Conejos, S. (2013). *Designing for Future Building Adaptive Reuse*' Doctoral Dissertation, Institute of Sustainable Development and Architecture Bond University, Gold Coast, Australia.
- Conejos, S., Langston, C., & Smith, J. (2012). Designing for Future Buildings: Adaptive Reuse as a Strategy for Carbon Neutral Cities. *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*, 3(2), 33-52. [DOI:10.18848/1835-7156/CGP/v03i02/37103](https://doi.org/10.18848/1835-7156/CGP/v03i02/37103)
- Conejos, S., Langston, C., & Smith, J. (2014). Designing for Better Building Adaptability: A Comparison of AdaptSTAR and ARP Models. *Habitat International*, 41, 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.07.002>
- Conejos, S., Langston, C., & Smith, J. (2015). Enhancing Sustainability through Designing for Adaptive Reuse from the Outset. *Facilities*, 33(9/10), 531-552. [DOI:10.1108/F-02-2013-0011](https://doi.org/10.1108/F-02-2013-0011)
- Douglas, J. (2006). *Building Adaptation*' (2nd ed.). UK: Butterworth-Heinemann.
- Dunse, N., & Jones, C. (2005). Rental Depreciation, Obsolescence and Location: the Case of Industrial Properties. *Journal of Property Research*, 22(2-3), 205-223. <https://doi.org/10.1080/09599910500453988>
- Evelyn, T., & Guangming, L. (2010). Developing a Model for Computing the Building Adaptation Potential Index for Public Housing in Singapore. *Architectural Science Review*, 53(4), 429-440. <https://doi.org/10.3763/asre.2009.0081>
- Flanagan, R., Norman, G., Meadows, J., & Robinson, G. (1989). *Life Cycle Costing Theory and Practice*. Published by BSP Professional Books
- Geraedts, R., & Van der Voordt, T. (2002). Offices for Living in. An Instrument for Measuring the Potential for Transforming Offices into Homes. *Open House International*, 28(3), 80-90. https://www.researchgate.net/publication/236000473_OFFICES_FOR_LIVING_IN_An_instrument_for_measuring_the_potential_for_transforming_offices_into_homes
- Goetz, E.G. (2012). Obsolescence and the Transformation of Public Housing Communities in the US. *International Journal of Housing Policy*, 12(3), 331-345. <https://doi.org/10.1080/14616718.2012.709671>
- Grigsby, W., Baratz, M., & Maclennan, D. (1983). *The Dynamics of Neighborhood Change and Decline*' (Research Report Series: 4). Philadelphia: University of Pennsylvania.
- Grover, R., & Grover, C. (2015). Obsolescence- a Cause for Concern? *Journal of Property Investment & Finance*, 33(3), 299-314. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JPIF-02-2015-0016/full/html>
- Iselin, D.G., & Lemer, A.C. (1993). *The Fourth Dimension in Building: Strategies for Minimizing Obsolescence.*' National Research Council (U.S.). Committee on Facility Design to Minimize Premature Obsolescence., Washington, D.C.
- Johnston, K. (2016). *Obsolescence and Renewal: Transformation of Post War Concrete Buildings.*' master thesis, University of Maryland

- Kalligeros, K. (2003). Framework for the Optimal Design of Corporate Facilities for Contracting Operations'. 6th SMESME International Conference, Athens, Greece.
- Khalid, G. (1994). Obsolescence in Hedonic Price Estimation of the Financial Impact of Commercial Office Buildings: The Case of Kuala Lumpur. *Construction Management and Economics*, 12(1), 37-44. <https://doi.org/10.1080/01446199400000005>
- Kintrea, K. (2007). Housing Aspirations and Obsolescence: Understanding the Relationship. *Journal of Housing and the Built Environment*, 22(4), 321-338. [DOI:10.1007/s10901-007-9087-4](https://doi.org/10.1007/s10901-007-9087-4)
- Langston, C. (2011). Estimating the Useful life of Buildings', 36th Australasian University Building Educators Association (AUBEA) Conference (418-432), April Gold Coast.
- Langston, C. (2012). Validation of the Adaptive Reuse Potential (ARP) Model Using IconCUR. *Facilities*, 30(3), 105-123. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02632771211202824/full/html>
- Langston, C., Wong, F.K.W., Hui, E.C.M., & Shen L.Yin. (2008). Strategic Assessment of Building Adaptive Reuse Opportunities in Hong Kong. *Building and Environment*, 43, 1709-1718.
- Langston, C., Yung, E.H.K., & Chan, E.H.W. (2013). The Application of ARP Modelling to Adaptive Reuse Projects in Hong Kong. *Habitat International*, 40, 233-243. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.05.002>
- Mansfield, J.R., & Pinder, J.A. (2008). Economic" and "Functional" Obsolescence: Their Characteristics and Impacts on Valuation Practice. *Property Management*, 26(3), 191-206. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02637470810879233/full/html>
- Mora, R., Bitsuamlak, G., & Horvat, M. (2011). Integrated Life-cycle Design of Building Enclosures. *Building and Environment*, 46, 1469-1479. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.018>
- Nutt, B., & Sears, D. (1972). Functional Obsolescence in the Planned Environment. *Environment and Planning*, 4, 13-29. https://econpapers.repec.org/article/saeenvira/v_3a4_3ay_3a1972_3ai_3a1_3ap_3a13-29.htm
- Pourebrahimi, M., Eghbali, R., & Ghafari Fard, H. (2018). Assessment of Tehran Beasat Thermal Power Plant Reuse Potential, Based on Adaptive Reuse Potential (ARP) Model. *Hoviatshahr*, 12(2), 29-40. https://hoviatshahr.srbiau.ac.ir/article_12986.html?lang=en
- Raftery, J. (1991). Principles of Building Economics, BSP Professional.
- Rodi, W.N.W., Hwa, T.K., Said, A.S., Mahamood, N.M., Abdullah, M.I., & Abd Rasam, A.R. (2015). Obsolescence of Green Office Building: A Literature Review. *Procedia Economics and Finance*, 31, 651-660. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01153-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01153-3)
- Sanchez, B., & Haas C. (2018). A Novel Selective Disassembly Sequence Planning Method for Adaptive Reuse of Buildings. *Journal of Cleaner Production*, 183, 998-1010. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.201>
- Sarja, A. (2006). Predictive and Optimised Life Cycle Management. Taylor & Francis.
- Shen, L.y., & Langston, C. (2010). Adaptive Reuse Potential; an Examination of Differences between Urban and Non-urban Projects. *Facilities*, 28(1/2), 6-16. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02632771011011369/full/html>
- Tam, V.W.Y., & Hao, J.J.L. (2018). Adaptive Reuse in Sustainable Development. *International Journal of Construction Management*, 19(6), 1-13.
- Tan, Y., Shen L.Y., & Langston, C. (2014). A Fuzzy Approach for Adaptive Reuse Selection of Industrial Building in Hong Kong. *International Journal of Strategic Property Management*, 18(1), 66-76. [DOI:10.3846/1648715X.2013.864718](https://doi.org/10.3846/1648715X.2013.864718)
- Thomsen, A., & Flier, K.V.D. (2011). Understanding Obsolescence: a Conceptual Model for Buildings. *Building Research & Information*, 39(4), 352-362. [DOI:10.1080/09613218.2011.576328](https://doi.org/10.1080/09613218.2011.576328)
- Thomsen, A., Flier, K.V.D., & Nieboer, N. (2015). Analysing Obsolescence, an Elaborated Model for Residential Buildings. *Structural Survey*, 33(3), 210-227. [DOI:10.1108/SS-12-2014-0040](https://doi.org/10.1108/SS-12-2014-0040)
- Wang, H.J., & Zeng, Z.T. (2010). A Multi-objective Decision-making Process for Reuse Selection of Historic Buildings. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1241-1249. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.034>
- Wilkinson, S.J., Remøy, H., & Langston, C. (2014). Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-Making (1st ed.), Published by John Wiley & Sons, Ltd.
- Williams, A. (1986). Remediating Industrial Building Obsolescence: The Options. *Property Management*, 4(1), 5-14. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb006609/full/html>
- Yung, E.H.K., Langston, C., & Chan, E.H.W. (2014). Adaptive Reuse of Traditional Chinese Shophouses in Government-led Urban Renewal Projects in Hong Kong. *Cities*, 39, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.02.012>

نحوه ارجاع به این مقاله

پورا برهیمی، محمد؛ اقبالی، سیدرحمان؛ غفوری‌فرد، حسن؛ حامدی، محسن و ذوالفقار زاده، حسن. (۱۴۰۰). اختصاصی‌سازی مدل قابلیت استفاده مجدد انطباقی (ARP) در نیروگاه‌های سوخت فسیلی، مورد مطالعاتی: نیروگاه حرارتی بعثت تهران. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۴(۳۴)، ۶۵-۷۷.

DOI: 10.22034/AAUD.2020.200742.1983

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_131888.html



COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Customization of Adaptive Reuse Potential (ARP) Model for Fossil Fuel Power Plants; Case Study: Besat Thermal Power Plant, Tehran*

Mohammad Pourebrahimi^a- Seyed Rahman Eghbali^{b**}- Hassan Ghafari Fard^c-
Mohsen Hamed^d- Hasan Zolfagharzadeh^e

^a Ph.D. in Architecture, Faculty of Architecture and Urban Development, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

^b Associate Professor of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Development, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran (Corresponding Author).

^c Professor of Electronics, Faculty of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

^d Professor of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

^e Associate Professor of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Development, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Received 06 September 2019;

Revised 29 April 2020;

Accepted 14 June 2020;

Available Online 21 June 2021

ABSTRACT

Adaptive reuse of existing buildings, by maximum use of buildings structural, physical and material potentials, is regarded as an approach meeting sustainable development goals. The Adaptive Reuse Potential (ARP) model is seen as a very effective tool to measure the re-usability potentials of existing buildings. This model can serve as an appropriate tool in architecture and urban planning in dealing with existing buildings and structures before becoming obsolete. The Adaptive Reuse Potential model evaluates buildings reuse potential by calculating the useful life of the building through measuring different building obsolescence types, the current age of the building, and its predicted physical life. The Adaptive Reuse Potential model is a general model uniformly applied in all building types and can be used in all countries. This paper aimed to customize this model to fossil fuel power plants, which may yield highly accurate results. The research methods as consistent with different stages were as follows: documentary and library studies were used to study and analyze the Adaptive Reuse Potential model and determine all building obsolescence types; field surveys to investigate the case study; interviewing experts; using a pairwise comparison questionnaire and the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to weight and prioritize the types of obsolescence in fossil fuel power plants. To validate the results, the customized Adaptive Reuse Potential model was deployed to a case study and the outputs are compared with those outputs obtained from applying the original model in the same case study. According to performed analyzes and based on the experts views, it is affirmed that the results obtained from the customized Adaptive Reuse Potential model for fossil fuel power plants were more accurate than those of the primary model.

Keywords: Adaptive Reuse Potential Model, Reuse, Building Useful Life, Building Obsolescence.

* This article is taken from the first author's doctoral dissertation entitled "Implementation of Adaptive Reuse Potential (ARP) Model in Fossil Fuel Power Plants in Besat Thermal Power Plant in Tehran", as supervised by the second and third authors and read by the fourth and fifth authors at the Faculty of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, 2018.

** E_mail: s.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

1. INTRODUCTION

Reusing buildings is a kind of sustainable urban revitalization, as it lengthens the life of buildings and prevents the production of waste from destruction, generating substantial economic and social benefits for the society (Tam & Hao, 2018, p. 1). Reusing the existing buildings rather than demolishing them helps preserve the materials and embodied energy, prevents the unnecessary use of the resources, avoids the uncontrolled expansion of constructions, and preserves lands and resources for future generations. Therefore, from a sustainability perspective, this approach can serve as an attractive alternative to new constructions (Sanchez & Haas, 2018, p. 998). However, not all buildings have the needed potential to be reused, and implementing such an approach requires a thorough investigation. Various criteria and methods have been proposed by researchers to investigate the building potential to be reused and re-adapted (Geraedts & Voordt, 2004; Tan, Shen, & Langston, 2014; Wang & Zeng, 2010; Bullen, 2007). The problem with the criteria is that most of them are qualitative, thus making them difficult to study while yielding inaccurate results. The Adaptive Reuse Potential (ARP) model, developed by Craig Langston (2007), serves as a tool to measure the reusability potential of the building; this model quantifies the qualitative concepts to make indicators much more effective in this regard. ARP indicators above 50% suggest higher building reuse potential, indicators between 20% and 50% suggest moderate, and indicators below 20% suggest low building reuse potentials (Langston, 2012, p. 107). The Adaptive Reuse Potential model estimates the useful life of the building, its expected physical life, and current age (Langston, Wong, Hui, & Shen, 2008). The useful life of a building is calculated using the following Equation:

Equation 1: Calculation of Useful Life: Useful Life (by Years) (Lu); Physical Life (by Years) (Lp); Obsolescence (Oi)

$$\text{Useful Life}(Lu) = \frac{Lp}{(1 + \sum_{i=1}^7 Oi)^{Lp}}$$

An investigation of the physical life of a building refers to its structural safety which helps reduce building obsolescence, leading to a useful life that is shorter than the expected physical life. As Langston (2007, 2008) suggested, types of obsolescence estimated by the model include physical obsolescence, economic

obsolescence, functional obsolescence, technical obsolescence, social obsolescence, regulatory obsolescence, and political obsolescence. In the Adaptive Reuse Potential model, a scale of 0 to 20% is used to assess the vulnerability from the obsolescence, with 0% meaning full safety and 20% severe vulnerability. As regards political obsolescence, this scale varies from -20% to +20%, with -20% considered as a supportive space and +20% a barrier (Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014, p. 189). However, it should be stated that for all obsolescence, values between 0 to 20 include 5, 10 and 15, also. Langston (2008) also proposes a computational model using a 3-criteria questionnaire, including environmental context, job particulars, and structural strength, to calculate the physical life. He suggested that at the same time, the physical life of the building could be projected via consultation with experts.

By calculating the useful life and predicted physical life as well as the current age of the building, the values of effective useful life (ELu) (Equation 2), the effective building life (ELb), and the effective physical life (ELp) are estimated (all indicated by a percentage of the predicted physical life).

Equation 2: Calculation of Effective Useful Life (ELu); Useful Life (Lu) and Physical Life (Lp)

$$ELu = \frac{Lu \times 100}{Lp}$$

If the effective life of a building is found to be less than the effective useful life, the reuse potential is increasing with the ARP indicator calculated using Equation 3.

Equation 3: Calculation of the ARP Indicator in an Increasing State

$$ARP_{(increasing)} = \frac{[100 - (ELu^2/100)] \cdot ELb}{ELu}$$

If the effective life of a building is greater than the useful life, the reuse potential is decreasing, and the ARP index is calculated using Equation 4.

Equation 4: Calculation of ARP Indicator in a Decreasing State

$$ARP_{(decreasing)} = \frac{[100 - (ELu^2/100)] \cdot (100 - ELb)}{100 - ELu}$$

The area under the curve is a possible area for the model, defined by the equation $Y = 100 - X^2/100$. The maximum X-axis is 100, demonstrating 100% of the living space of a building (Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014, p. 190) (Fig. 1).

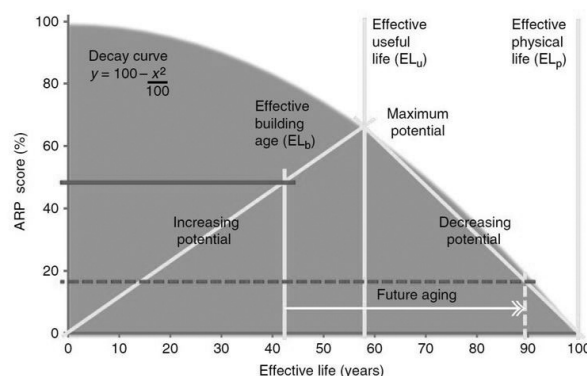


Fig. 1. Adaptive Reuse Potential (ARP) Model
(Langston & Shen, 2007)

The Adaptive Reuse Potential model has been investigated and used in various studies (Langston, 2011, 2012; Conejos, 2013; Conejos, Langston, & Smith, 2015, 2014, 2012; Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014; Yung, Langston, & Chan, 2014). One study has examined the deployment of the model in two concomitant research projects; one pertaining to the Hong Kong Polytechnic University and the other a partnership project between the Bond University, Williams Boag Architects, Deakin University, and the Church Union in Australia. The study, published in an article in 2010 (Shen & Langston, 2010), investigated the ARP model in urban and non-urban buildings in different areas in Hong Kong and Australia, respectively.

As demonstrated by the ARP model, the useful life and obsolescence have pivotal roles in calculating the useful life in the model. Although Langston (2007) first proposed six types of obsolescence for the computations, then adding political obsolescence as a type to the model, the question is: Are these the only and most important types of building obsolescence? On the other hand, this model provides the same weight and effect (from 0 to 20%) for each type of obsolescence, while each of these factors seems to have a different weight with the reduction of the useful life. For example, in office buildings, location obsolescence, and commercial buildings, economic obsolescence may have the highest impact on reducing useful life. Thus, a thorough examination of building obsolescence and also the determination of their significance and weight with the reduction of their useful life, consistent with different types of construction would yield highly accurate results and a specific model for each type of obsolescence. According to this hypothesis, the present article concerned the utilization of an Adaptive Reuse Potential model at fossil fuel power plants.



Looking at the existing infrastructure, and considering the structural strength and presence of the open and flexible spaces of fossil fuel power plants, and the fact that these power plants are aging, it is important to study this issue in such plants.

The research first identifies the types of building obsolescence through documentary and library studies and by reviewing the literature on the subject. In the next stage, to weigh the obsolescence, a pairwise comparison questionnaire was developed using a Likert scale and then provided to experts via interviews. The results from the questionnaires were weighted using the Hierarchical Analysis Process (AHP) method and using Expert Choice software. To employ the model in the sample under study, the necessary data was collected by field visits and documentary studies.

2. EMPLOYING THE ADAPTIVE REUSE POTENTIAL MODEL IN BESAT THERMAL POWER PLANT IN TEHRAN

With the rapid development of cities, many power plants, once laid on the outskirts of cities, are now finding their way into the urban texture. In this way, they may not only produce contaminated and toxic waste but also create environmental and noise pollution. On the other hand, such industrial and large-scale buildings are seen to have integrated with the urban texture via heterogeneous elements. However, it should be pointed out that it is no longer appropriate to demolish such buildings under the existing conditions. Many of these buildings have high potentialities to merge with the urban texture, thus providing the required uses through adaptation and reuse. Besat thermal power plant is one of these structures. This plant was built in 1964 on a 20-hectare plot in the Kahazaneh-Bukhara area situated southeast of Tehran (Fig. 2).

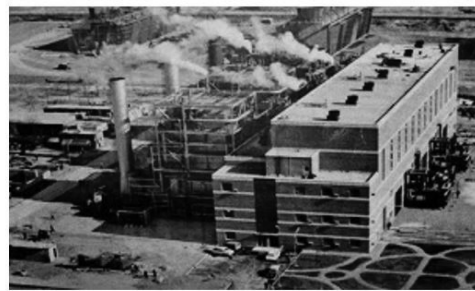


Fig. 2. Besat Thermal Power Plant in Tehran (Left: Image of Power Plant Units (2017), Right: Aerial View of the Power Plant (1970s))
(<http://www.besatpower.ir/>)

Because the power plant was built in 1964, its current age is now 52 years (as of 2016) and its predicted physical life is 50 years, as suggested by experts. Types of obsolescence for the building using the Adaptive Reuse Potential model are as follows: physical obsolescence (10%), economic obsolescence (10%), functional obsolescence (20%), technical obsolescence (15%), social obsolescence (0%), regulatory obsolescence (5%) and political obsolescence (15%) (Pourebrahimi,

Eghbali, & Ghafari Fard, 2018, p. 35). The extent to which each of the obsolescence affects the reduction of power plant life is as follows: Physical obsolescence occurs due to poor maintenance, economic obsolescence due to rising costs exceeding revenues, functional obsolescence as a result of inflexibility for catching up to modern technology, technical obsolescence as a result of consuming too much energy than existing standards, social obsolescence as a result

of the society's reduced need for services provided by the building, regulatory obsolescence due to the introduction of new building codes and regulations, while political obsolescence from national and local interests over a project. Considering the types of obsolescence at the Besat power plant, the total number of obsolescence amounted to 75% (0.005 on a year-on-year basis). As the data and Equation 1 suggested, the useful life was 71 years. Also, considering Equation 2, the effective useful life of the power plant was 47 years, and its effective age 35 years. Thus, because the effective life of the building was less than the

effective useful life ($EL_u > EL_b$), the ARP indicator was estimated by equation 3, to be at 58%.

Because the ARP indicator of the Besat thermal power plant in Tehran was greater than 50%, therefore, it is highly capable of being reused. The maximum reuse capacity of a building, represented in its useful life, is also calculated by the equation $Y = 100 - X^2/100$ (where x is equal to EL_u). Thus, the maximum ARP indicator of the Besat power plant in Tehran is 78% (Fig. 3) (Pourebrahimi, Eghbali, & Ghafori Fard, 2018, p. 35).

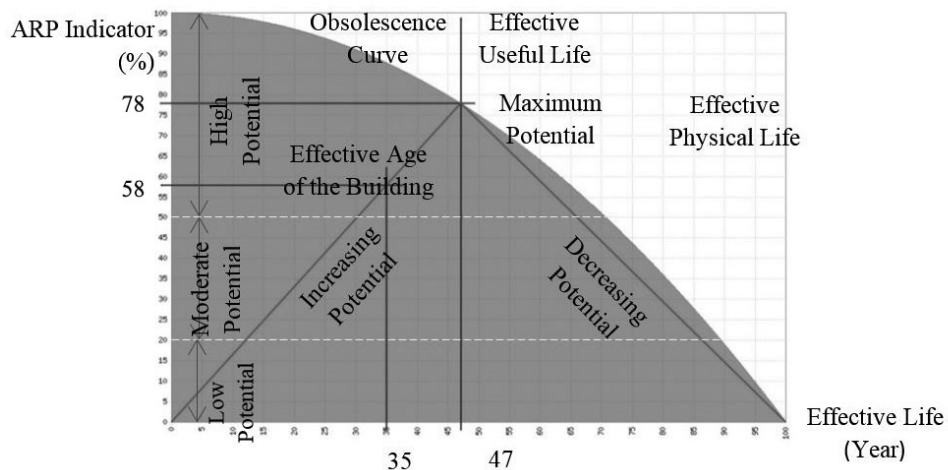


Fig. 3. Adaptive reuse potential model in Besat thermal power plant in Tehran (Pourebrahimi, Eghbali, & Ghafori Fard, 2018)

3. CUSTOMIZATION OF ADAPTIVE REUSE POTENTIAL MODEL IN FOSSIL FUEL POWER PLANTS

To utilize the Adaptive Reuse Potential model, it is required to first identify the types of building obsolescence and then weight and rank them based on their significance and impact with the reduction of the life of the building.

3.1. Identifying Types of Building Obsolescence

Obsolescence is defined as the process of devaluation, and lost utility and inefficiency of a building that is caused by factors such as physical decay, technological advancement, changing demands, or environmental changes (Burton, 1933, p. 19; Flanagan, Norman;

Meadows, & Robinson, 1989; Mansfield & Pinder, 2008; Khalid, 1994; Ashworth, 2004; Thomsen & Flier, 2011; Baum, 1991; Kintrea, 2007; Ahmad, Aspden, & Schreyer, 2005; Grover & Grover., 2015). The term obsolescence, once used in the mid-sixteenth century (Ashworth, 2004), was first introduced to English for a constructed environment around 1910 (Abramson, 2012). According to Note et al. (1976), the term "obsolete" describes the final state and "obsolescence" the transition to this state. Thus, obsolescence is a transition to becoming obsolete.

A review of the literature shows that there is no full consensus nor an inclusive classification of types of construction obsolescence, and researchers have proposed different types of it. A systematic examination of the literature on the subject yielded 33 different types of construction obsolescence (Table 1).

Table 1: Types of Building Obsolescence

Types of Obsolescence	Sources	Types of Obsolescence	Sources
Site	(Evelyn & Guangming, 2010)	Economic	(Aksözen, Hassler, Rivallain, & Kohler, 2016)
Physical	(Thomsen, Flier, & Nieboer, 2015)	Use	(Johnston, 2016)
Control	(Raftery, 1991)	Locational	(Sarja, 2006)
Visual	(Dunse & Jones 2005)	Legal	(Dunse & Jones, 2005)

Types of Obsolescence	Sources	Types of Obsolescence	Sources
Ecological	(Sarja, 2006)	Functional	(Rodi, Hwa, Said, Mahamood, Abdullah, & Abd Rasam, 2015)
Statutory	(Williams, 1986)	Structural	(Blakstad, 2001)
Style	(Evelyn & Guangming, 2010)	Technological	(Mora, Bitsuamlak, & Horvat, 2011)
Community	(Williams, 1986)	Regulatory	(Kalligeros, 2003)
Environmental	(Blakstad, 2001)	Financial	(Butt, Heywood, Paul, & Jones, 2014)
Political	(Goetz, 2012)	Aesthetic	(Mora, Bitsuamlak, & Horvat, 2011)
Equipment	(Grigsby, Baratz, & MacLennan, 1983)	Architectural	(Douglas, 2006)
Fashion	(Grover & Grover, 2015)	Cultural	(Iselin & Lemer, 1993)
Tenure	(Wilkinson, Remøy, & Langston, 2014)	Image	(Chaplin, 2003)
Market	(Thomsen & Flier, 2011)	Design	(Johnston, 2016)
Social	(Rodi et al., 2015)	Utility	(Thomsen & Flier, 2011)
Tenant	(Raftery, 1991)	Technical	(Caccavelli & Gugerli, 2002)
		Rental	(Nutt & Sears, 1972)

These 33 types of structural obsolescence have been similarly defined, confusing the subject. Using an analytical approach and considering their definitions, causes, and overlaps, the 33 types of structural obsolescence were classified under 10 comprehensive categories:

1. Economic obsolescence (e.g., financial obsolescence, market obsolescence)
2. Functional obsolescence (e.g., use obsolescence and performance obsolescence)
3. Physical obsolescence (e.g., structural obsolescence)
4. Location obsolescence (e.g., environmental obsolescence and site obsolescence)
5. Regulatory obsolescence (e.g., control obsolescence, regulatory obsolescence, legal obsolescence, and political obsolescence)
6. Social obsolescence (e.g., cultural obsolescence and general obsolescence)
7. Technology obsolescence (e.g., technical obsolescence and equipment obsolescence)
8. Aesthetic obsolescence (e.g., style-based obsolescence, design obsolescence, visual obsolescence, fashion obsolescence, form obsolescence, and architectural obsolescence)
9. Environmental obsolescence (e.g., ecological obsolescence)
10. Proprietary obsolescence (e.g., leasing obsolescence and rental obsolescence).

3.1.1. Weighting Types of Building Obsolescence

To weigh the types of construction obsolescence, the hierarchical analysis process was used and calculations were carried out on the Expert Choice software. Due to the limitations of the hierarchical analysis

process method, 8 out of 10 inclusive categories of obsolescence were selected. Accordingly, the eight categories included economic obsolescence, functional obsolescence, physical obsolescence, location obsolescence, regulatory obsolescence, social obsolescence, and social obsolescence, technical obsolescence, and environmental obsolescence. In the meantime, environmental obsolescence replaced aesthetic obsolescence. Aesthetic obsolescence occurred due to fashion change or social demands, mainly compensated for in social and functional obsolescence. In the meantime, the findings suggested that environmental obsolescence was the third most important category to affect the fossil fuel power plants, as this issue can support the decision to replace aesthetic obsolescence with environmental aesthetics. In the next stage, the pairwise comparison questionnaire was developed using the research criteria (eight types of obsolescence). Because the hierarchical analysis method does not necessarily need a high statistical population, and the proficiency and skills of experts are required, six highly proficient and skilled experts of fossil fuel power plants were chosen to distribute the questionnaire. Experts here are people with high experience and knowledge at fossil fuel power plants who may refer to maintenance technicians, engineers, designers, managers and researchers, and developers. To yield more accurate results, each of the experts was separately interviewed before the questionnaires were given out. Thus, before the distribution, the concepts and objectives were described.

After the questionnaires were collected, the results were analyzed on Expert Choice software by weighting by hierarchical analysis process. At this stage, the data were entered into the Expert Choice software; meantime, the inconsistency rate of the matrix pairwise

comparison of the main criteria should be at an acceptable level of less than 0.1), otherwise the results could not be accepted and the questionnaires should

be revised by experts. The mean pairwise comparison matrix of expert opinions is provided in Table 2.

Table 2: Mean Pairwise Comparison Matrix of Expert Views (Output of Expert Choice Software)

Relative Comparison of Obsolescence								
	Economic obsolescence	Functional obsolescence	Physical obsolescence	Location obsolescence	Regulatory obsolescence	Social obsolescence	Technical obsolescence	Environmental obsolescence
Economic Obsolescence	1	1.91293	1.3254	0.50778	4.5825	1.70764	0.66492	
Functional Obsolescence		2.49805	4.8568	0.76472	4.6512	1.73205	0.90668	
Physical Obsolescence			1.506	0.49324	2.6853	0.86830	0.83268	
Location Obsolescence				0.52275	2.1411	0.57656	0.57735	
Regulatory Obsolescence					2.2360	0.79743	1.15167	
Social Obsolescence						0.20040	0.41743	
Technical Obsolescence							0.66492	
Environmental Obsolescence								
Inconsistency Rate	0.04							

As shown in Table 1, the inconsistency rate was 0.04 within the acceptable range. Thus, using the hierarchical analysis process method, the weight

of each type of obsolescence at fossil fuel power plants was estimated using outputs provided by the experts (Table 3).

Table 3: Final Weight of Each Indicator of Obsolescence (Expert Choice Software Output)

Criterion (Obsolescence)	Weight
Economic Obsolescence	0.145
Functional Obsolescence	0.194
Physical Obsolescence	0.095
Location Obsolescence	0.075
Regulatory Obsolescence	0.169
Social Obsolescence	0.042
Technical Obsolescence	0.130
Environmental Obsolescence	0.151
Inconsistency Rate: 0.04	

Table 3 demonstrates that functional obsolescence with a weight of 0.194 is the most important as regards the fossil fuel power plants. Following functional obsolescence, regulatory and environmental obsolescence ranked second and third with weights of 0.169 and 0.151, respectively. Social obsolescence and location obsolescence were found to have less importance than other types of obsolescence. Therefore, ranking building obsolescence at fossil fuel power plants, as according to experts' opinion and hierarchical analysis process, was as follows: a) Functional obsolescence, b) Regulatory obsolescence, c) Environmental obsolescence, d) Environmental obsolescence, e) Technical obsolescence, f) Physical obsolescence, G) location obsolescence and h) Social obsolescence.

3.2. Running the Customized Adaptive Reuse Potential Model at Besat Power Plant in Tehran

To compare the results from implementing the customized Adaptive Reuse Potential model and the original model in the case study, building age was considered to be 52 years as of 2016. Earlier, each of the obsolescence at the Besat thermal power plant was mentioned using the primary model. After literature review, 11 inclusive categories of building obsolescence were identified. Eight important types of obsolescence were identified and weighted using the views of the experts. Thus, environmental and location obsolescence were included in the Adaptive Reuse Potential model computations and political obsolescence removed as a separate type. As regards

the environmental obsolescence, it should be noted that the Besat power plant produces relatively high environmental pollution, but because that there are no serious prohibiting laws in this field in the country, the environmental obsolescence was considered to be moderate at 10%. Because the urban expansion has merged the Besat power plant within the urban context, this could lead to the obsolescence of the power plant location. However, because there are relatively many industrial sites close to the power plant, the location

obsolescence of the power plant was also considered to be moderate of 10%. Table 4 illustrates the weight of each type of construction obsolescence and the level of each with and without considering their weight at the Besat power plant. Here, to use the indicators of different types of obsolescence at Besat power plant in the computations of the Adaptive Reuse Potential model, the weight coefficient of all obsolescence was calculated 10.

Table 4: Final Weight of Each Indicator (Obsolescence)

Indicators (Indicators)	Weight-based Obsolescence	Level of Obsolescence	Weight Coefficient of 10
Economic Obsolescence	14.50	10	1.45
Functional Obsolescence	~39	20	1.94
Physical Obsolescence	9.50	10	0.95
Location Obsolescence	7.50	10	0.75
Regulatory Obsolescence	~8.50	5	1.69
Social Obsolescence	0	0	0.42
Technical Obsolescence	~19.50	15	1.30
Environmental Obsolescence	~15	10	1.51

As shown in Table 3, the weight of different types of obsolescence increases the impact of economic obsolescence from 10% to 14.5%, functional obsolescence from 20% to 39%, regulatory obsolescence from 5% to 8.5%, and technical obsolescence from 15% to 19.5% and environmental

obsolescence from 10% to 15%, while decreases the impacts of physical obsolescence from 10% to 9.5% and location obsolescence from 10% to 7.5%. The rate of obsolescence and the total annual rate of obsolescence at the Besat thermal power plant in Tehran after being weighted are summarized in Table 5.

Table 5: Final Weight of Each Indicator (Obsolescence)

Types of Obsolescence	Physical	Economic	Functional	Environmental	Technical	Regulatory	Location	Social Obsolescence
Level of Obsolescence	9.5	14.5	39	15	19.5	8.5	7.5	0
Total Obsolescence Rate	(1.13/150)			113	0.007			
Total Annual Obsolescence Rate								

According to Table 5 and the equation for the calculation of the useful life, the useful life of the Besat thermal power plant in Tehran was estimated to be 53 years.

$$Useful\ Life(Lu) = \frac{Lp}{(1 + \sum_{i=1}^7 Oi)^{Lp}} = \frac{150}{(1 + 0.007)^{150}} = 53$$

As explained earlier, the useful life, current building age, and predicted physical life should be estimated as a percentage of predicted physical life, known as effective useful life (ELu), effective building age (ELb), and effective physical life (ELp), respectively.

$$ELb = \frac{Lb \times 100}{Lp} = \frac{52 \times 100}{150} = 35$$

$$ELu = \frac{Lu \times 100}{Lp} = \frac{53 \times 100}{150} = 35$$

Thus, the effective useful life was 35 years and the effective age of the building 35 years. Because that the effective useful life and the effective age of the building were equal, the ARP indicator (maximum reusability also occurs at the same age) is calculated from the equation $Y = 100 - X^2/100$ which is 87%. (Fig. 4).

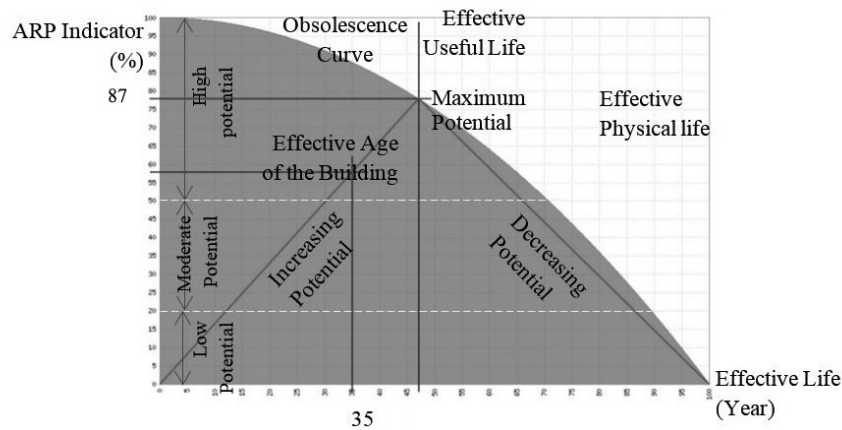


Fig. 4. Adaptive Reuse Potential Model at the Besat Thermal Power Plant in Tehran

Therefore, the Adaptive Reuse Potential model at the Besat power plant also indicated the high capacity of the power plant to be reused. However, considering that the data, including the age of the building, were regarded using the initial model (2016), therefore, the building potential for reuse was indicating a decreasing trend.

4. COMPARISON AND ANALYSIS OF RESULTS

To investigate the results from customizing the Adaptive Reuse Potential model at fossil fuel power plants, the studied model was run as primary and customized forms on a case study (Besat power plant in Tehran). The results from the primary model (using data from 2016) are as follows: The total annual obsolescence rate was 0.005 and accordingly, the useful

life of the power plant was estimated to be 71 years. Estimating the effective useful life and effective age of the building, the ARP score was 58% and experienced an increasing trend. In the meantime, the maximum ARP index was 78%, demonstrating an effective age of 71. The results from running the customized model for the Besat thermal power plant in Tehran using constant data as compared to the previous stage are as follows: The total annual obsolescence rate was calculated to be 0.007. As the rate of obsolescence went higher, the useful life shortened. Accordingly, the useful life of the power plant was estimated to be 53 years (up to 2017). Thus, the Adaptive Reuse Potential model of the power plant showed a decreasing trend. Because the effective useful life and the effective age of the power plant were equal, the ARP index was at a maximum rate of 87%, indicating the very high reusable potential of the power plant (Table 6).

Table 6: Final Weight of Each Indicator (Obsolescence)

ARP Model	Predicted Physical Life	Annual Obsolescence	Predicted Physical Life	Effective Useful Life	ARP Indicator	ARP Maximum Indicator	Reuse Potential
Primary Model	150 Years	0.005	71 Years	47 Years	58%	78%	Higher Reuse Potential
Specific (Customized) Model	150 Years	0.007	53 Years	35 Years	87%	87%	Maximum Reuse Potential

A comparison of the results from running the model in the two forms suggested that the Besat thermal power plant in Tehran was generally experiencing a higher reuse potential rate. Also, as the data from the specific model showed, the annual obsolescence rate was higher and thus, the useful life was calculated to be shorter. As the types of obsolescence were weighted, the useful life was calculated to be about 18 years shorter. Rationally speaking, considering the weight and the impacts of different types of obsolescence on the reduction of the building useful life according to the building type, can yield highly accurate results. In the meantime, the views of experts could validate the research results. Thus, interviews with experts

of fossil fuel power plants on weighting the types of obsolescence demonstrated that the useful life of the Besat power plant was already exhausted (at the time of interview in 2018) according to standards and from an economic point of view; however, due to some conditions in the country and the way the government handles the affairs, this plant is still that operating. Therefore, experts also reaffirmed the main hypothesis stating that determining the importance of types of obsolescence could yield more accurate results via the ARP model. Thus, by determining the obsolescence types and weighting them the customized ARP model for fossil fuel power plants is obtained.

5. CONCLUSION

This paper aimed to optimize and customize the Adaptive Reuse Potential models at fossil fuel power plants. Examining the model, it was made clear that a specific model could be achieved by identifying the types of building obsolescence and weighting them based on their impact on fossil fuel power plants. In this regard, types of obsolescence were systematically reviewed and 11 types were classified. After this stage, the types of obsolescence at fossil fuel power plants were weighted. This step was performed using the Hierarchical Analysis Process method on Expert Choice software. Meanwhile, because of the limitations of the hierarchical analysis process method in terms of weighting criteria, the first eight types of mostly mentioned obsolescence were identified for weighting. In the next step, a pairwise comparison questionnaire was developed using the types of obsolescence. To yield more accurate results, before the questionnaires were provided to the experts, they were interviewed about the concepts and objectives. Finally, the results were analyzed using Expert Choice software and the types of obsolescence were weighted based on importance in fossil fuel power plants. In

sum, the types of obsolescence were run in the general Adaptive Reuse Potential model based on their weight and importance at fossil fuel plants. Thus, an optimal and specific model for fossil fuel power plants was developed. Comparison of the results from the specific and general model at Besat thermal power plant in Tehran, as a case study, suggested that the outputs of the specific model were more accurate.

The present research process can serve to customize the Adaptive Reuse Potential model in different types of buildings. Thus, instead of a general model, a specific model can be used using the type of building with more accurate results. As regards the importance of reusing existing buildings to achieve sustainability in a constructed environment, the results of this paper can be applied practically and the process of the specific model be studied for future research.

REFERENCES

- Abramson, D.M. (2012). From Obsolescence to Sustainability, Back Again, and Beyond. *Design and Culture*, 4(3), 279-298. <https://doi.org/10.2752/175470812X13361292229078>
- Ahmad, N., Aspden, C., & Schreyer, P. (2005). Depreciation and Obsolescence', Paper Prepared for the Meeting of the Canberra Group on Non-Financial Assets in Canberra, 29 March- 1 April.
- Aksözen, M., Hassler, U., Rivallain, M., & Kohler, N. (2016). Mortality Analysis of an Urban Building Stock, *Building Research & Information*, 45(3), 259-277 . <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1152531>
- Ashworth, A. (2004). *Cost Studies of Buildings* (4th ed.), Published by Pearson Education.
- Baum, A. (1991). *Property Investment Depreciation and Obsolescence*, London: Routledge Publishing.
- Blakstad, S.H. (2001). *A Strategic Approach to Adaptability in Office Buildings.*' Ph.D. diss., Norwegian University of Science and Technology.
- Bullen, P.A. (2007). Adaptive Reuse and Sustainability of Commercial Buildings. *Facilities*, 25(1/2), 20-31. <DOI:10.1108/02632770710716911>
- Burton, J.E. (1933). Building Obsolescence and the Assessor. *The Journal of Land & Public Utility Economics*, 9(2), 109-120. <https://doi.org/10.2307/3139079>
- Butt, T.E., Heywood, C.A., Paul, P., & Jones, K.G. (2014). Sustainability of and Obsolescence in the Built Environment: Two Contrary Notions. *The Journal of Record*, 7(2), 116-122. <DOI:10.1089/SUS.2014.9801>
- Caccavelli, D., & Gugerli, H. (2002). TOBUS - a European Diagnosis and Decision-making Tool for Office Building Upgrading. *Energy and Buildings*, 34(2), 113-119. <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-and-buildings/vol/34/issue/2>
- Chaplin, R.I. (2003). The Threat of Obsolescence to Police Precincts on the Heritage 'Beat'. *International Journal of Heritage Studies*, 9(2), 117-133. <https://doi.org/10.1080/13527250304775>
- Conejos, S. (2013). *Designing for Future Building Adaptive Reuse'* Doctoral Dissertation, Institute of Sustainable Development and Architecture Bond University, Gold Coast, Australia.
- Conejos, S., Langston, C., & Smith, J. (2012). Designing for Future Buildings: Adaptive Reuse as a Strategy for Carbon Neutral Cities. *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*, 3(2), 33-52. <DOI:10.18848/1835-7156/CGP/v03i02/37103>
- Conejos, S., Langston, C., & Smith, J. (2014). Designing for Better Building Adaptability: A Comparison of AdaptSTAR and ARP Models. *Habitat International*, 41, 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.07.002>
- Conejos, S., Langston, C., & Smith, J. (2015). Enhancing Sustainability through Designing for Adaptive Reuse from the Outset. *Facilities*, 33(9/10), 531-552. <DOI:10.1108/F-02-2013-0011>
- Douglas, J. (2006). *Building Adaptation'* (2nd ed.). UK: Butterworth-Heinemann.
- Dunse, N., & Jones, C. (2005). Rental Depreciation, Obsolescence and Location: the Case of Industrial Properties. *Journal of Property Research*, 22(2-3), 205-223. <https://doi.org/10.1080/09599910500453988>
- Evelyn, T., & Guangming, L. (2010). Developing a Model for Computing the Building Adaptation Potential Index for Public Housing in Singapore. *Architectural Science Review*, 53(4), 429-440. <https://doi.org/10.3763/asre.2009.0081>
- Flanagan, R., Norman, G., Meadows, J., & Robinson, G. (1989). *Life Cycle Costing Theory and Practice*. Published by BSP Professional Books
- Geraedts, R., & Van der Voordt, T. (2002). Offices for Living in. An Instrument for Measuring the Potential for Transforming Offices into Homes. *Open House International*, 28(3), 80-90. https://www.researchgate.net/publication/236000473_OFFICES_FOR_LIVING_IN_An_instrument_for_measuring_the_potential_for_transforming_offices_into_homes
- Goetz, E.G. (2012). Obsolescence and the Transformation of Public Housing Communities in the US. *International Journal of Housing Policy*, 12(3), 331-345. <https://doi.org/10.1080/14616718.2012.709671>
- Grigsby, W., Baratz, M., & MacLennan, D. (1983). *The Dynamics of Neighborhood Change and Decline'* (Research Report Series: 4). Philadelphia: University of Pennsylvania.
- Grover, R., & Grover, C. (2015). Obsolescence- a Cause for Concern? *Journal of Property Investment & Finance*, 33(3), 299-314. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JPIF-02-2015-0016/full/html>
- Iselin, D.G., & Lemer, A.C. (1993). *The Fourth Dimension in Building: Strategies for Minimizing Obsolescence.'* National Research Council (U.S.). Committee on Facility Design to Minimize Premature Obsolescence., Washington, D.C.
- Johnston, K. (2016). *Obsolescence and Renewal: Transformation of Post War Concrete Buildings.'* Master Thesis, University of Maryland

- Kalligeros, K. (2003). Framework for the Optimal Design of Corporate Facilities for Contracting Operations'. 6th SMESME International Conference, Athens, Greece.
- Khalid, G. (1994). Obsolescence in Hedonic Price Estimation of the Financial Impact of Commercial Office Buildings: The Case of Kuala Lumpur. *Construction Management and Economics*, 12(1), 37-44. <https://doi.org/10.1080/01446199400000005>
- Kintrea, K. (2007). Housing Aspirations and Obsolescence: Understanding the Relationship. *Journal of Housing and the Built Environment*, 22(4), 321-338. [DOI:10.1007/s10901-007-9087-4](https://doi.org/10.1007/s10901-007-9087-4)
- Langston, C. (2011). Estimating the Useful life of Buildings', 36th Australasian University Building Educators Association (AUBEA) Conference (418-432), April Gold Coast.
- Langston, C. (2012). Validation of the Adaptive Reuse Potential (ARP) Model Using IconCUR. *Facilities*, 30(3), 105-123. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02632771211202824/full/html>
- Langston, C., Wong, F.K.W., Hui, E.C.M., & Shen L.Yin. (2008). Strategic Assessment of Building Adaptive Reuse Opportunities in Hong Kong. *Building and Environment*, 43, 1709-1718.
- Langston, C., Yung, E.H.K., & Chan, E.H.W. (2013). The Application of ARP Modelling to Adaptive Reuse Projects in Hong Kong. *Habitat International*, 40, 233-243. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.05.002>
- Mansfield, J.R., & Pinder, J.A. (2008). Economic" and "Functional" Obsolescence: Their Characteristics and Impacts on Valuation Practice. *Property Management*, 26(3), 191-206. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02637470810879233/full/html>
- Mora, R., Bitsuamlak, G., & Horvat, M. (2011). Integrated Life-cycle Design of Building Enclosures. *Building and Environment*, 46, 1469-1479. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.018>
- Nutt, B., & Sears, D. (1972). Functional Obsolescence in the Planned Environment. *Environment and Planning*, 4, 13-29. https://econpapers.repec.org/article/saeenvira/v_3a4_3ay_3a1972_3ai_3a1_3ap_3a13-29.htm
- Pourebrahimi, M., Eghbali, R., & Ghafari Fard, H. (2018). Assessment of Tehran Beasat Thermal Power Plant Reuse Potential, Based on Adaptive Reuse Potential (ARP) Model. *Hoviatshahr*, 12(2), 29-40. https://hoviatshahr.srbiau.ac.ir/article_12986.html?lang=en
- Raftery, J. (1991). Principles of Building Economics, BSP Professional.
- Rodi, W.N.W., Hwa, T.K., Said, A.S., Mahamood, N.M., Abdullah, M.I., & Abd Rasam, A.R. (2015). Obsolescence of Green Office Building: A Literature Review. *Procedia Economics and Finance*, 31, 651-660. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01153-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01153-3)
- Sanchez, B., & Haas C. (2018). A Novel Selective Disassembly Sequence Planning Method for Adaptive Reuse of Buildings. *Journal of Cleaner Production*, 183, 998-1010. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.201>
- Sarja, A. (2006). Predictive and Optimised Life Cycle Management. Taylor & Francis.
- Shen, L.y., & Langston, C. (2010). Adaptive Reuse Potential; an Examination of Differences between Urban and Non-urban Projects. *Facilities*, 28(1/2), 6-16. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02632771011011369/full/html>
- Tam, V.W.Y., & Hao, J.J.L. (2018). Adaptive Reuse in Sustainable Development. *International Journal of Construction Management*, 19(6), 1-13.
- Tan, Y., Shen L.Y., & Langston, C. (2014). A Fuzzy Approach for Adaptive Reuse Selection of Industrial Building in Hong Kong. *International Journal of Strategic Property Management*, 18(1), 66-76. [DOI:10.3846/1648715X.2013.864718](https://doi.org/10.3846/1648715X.2013.864718)
- Thomsen, A., & Flier, K.V.D. (2011). Understanding Obsolescence: a Conceptual Model for Buildings. *Building Research & Information*, 39(4), 352-362. [DOI:10.1080/09613218.2011.576328](https://doi.org/10.1080/09613218.2011.576328)
- Thomsen, A., Flier, K.V.D., & Nieboer, N. (2015). Analysing Obsolescence, an Elaborated Model for Residential Buildings. *Structural Survey*, 33(3), 210-227. [DOI:10.1108/SS-12-2014-0040](https://doi.org/10.1108/SS-12-2014-0040)
- Wang, H.J., & Zeng, Z.T. (2010). A Multi-objective Decision-making Process for Reuse Selection of Historic Buildings. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1241-1249. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.034>
- Wilkinson, S.J., Remøy, H., & Langston, C. (2014). Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-Making (1st ed.), Published by John Wiley & Sons, Ltd.
- Williams, A. (1986). Remedying Industrial Building Obsolescence: The Options. *Property Management*, 4(1), 5-14. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb006609/full/html>
- Yung, E.H.K., Langston, C., & Chan, E.H.W. (2014). Adaptive Reuse of Traditional Chinese Shophouses in Government-led Urban Renewal Projects in Hong Kong. *Cities*, 39, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.02.012>

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Pourebrahimi, M., Eghbali, S.R., Ghafori Fard, H., Hamed, M., & Zolfagharzadeh, H (2021). Customization of Adaptive Reuse Potential (ARP) Model for Fossil Fuel Power Plants; Case Study: Besat Thermal Power Plant, Tehran. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*. 14(34), 61-72.

DOI: 10.22034/AAUD.2020.200742.1983

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_131888.html

**COPYRIGHTS**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

