Journal of Structural and Construction Engineering, 8(7), 2021, pp. 338-360

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Determination Of Financing Method For Mass housing LSF Project

Ali Yeganeh[1], Moein YounesiHeravi[2], Hashem Shariatmadar[3*], Mahdi Hokmollahi[4]

1- *PhD student, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
2- *MSc student, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
3- *Associated professor, , Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
4- *MSc student, Faculty of Engineering, Amir Kabir University, Tehran, Iran*

ABSTRACT

Light Steel Frame System (LSF) as a novel construction system is used in many developed countries such as USA, Canada and Japan but it is not tangibly requested in IRAN. Lack of knowledge in engineering, contractors and employers to this system is the main cause of little attention to it in IRAN. Considering the LSF system characteristics, mass housing project can be used as the main application of this system. Hence, dealing and managing the LSF operational and financial risks in mass housing projects is the main contribution of this paper. This system is used for implying of short-rise and mid-rise buildings (up to five floors). For Successful mass housing execution in LSF structures, exact risk identification and selection of execution method will be indispensable. Selection of investment method is important therewith. So, in this article, model for selection of LSF mass housing system financing method respect to execution and economical risks is represented. In this model effective risks are determined by expert opinion and its uncertainty is modeled by normal distribution. Then for each method IRR index is calculated. In this article, 5 methods of investment considered and Public-Private Partnership (PPP) method is introduced as financing method with maximum IRR.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 05 June 2020
Revise Date: 21 July 2020
Accept Date: 27 July 2020

Keywords:
LSF structures
Risk Identification
Financing method
Annually benefit index
Monte Carlo simulation

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.231352.2139

*Corresponding author: Hashem Shariatmadar
Email address: shariatmadar@um.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

ارائه‌ی مدل سرمایه‌گذاری پروژه‌های انبوه‌سازی سازه‌های ال‌اس‌اف

علی یگانه[۱]، معین یونسی هروی[۲]، هاشم شریعتمدار[۳*]، مهدی حکم الهی[۴]

۱- دانشجو دکتری مهندسی صنایع دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- کارشناس ارشد مدیریت ساخت دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- کارشناس ارشد مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک یا ال‌اس‌اف به‌عنوان یکی از سیستم‌های نوین ساختمانی در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته مانند آمریکا، کانادا و ژاپن گسترش یافته‌است ولی در کشور ایران با استقبال قابل توجهی مواجه نشده‌است. یکی از دلایل اصلی این موضوع، عدم شناخت کافی مهندسان، پیمانکاران و کارفرمایان با این سیستم می‌باشد. هم‌چنین با توجه به خصوصیت این سیستم ساختمانی، پروژه‌های انبوه‌سازی (عمدتا ساختمان‌های کوتاه و میان مرتبه)، می‌تواند از موارد اصلی کاربرد آن باشد. به‌همین‌سبب هدف اصلی این پژوهش معرفی ریسک‌های اجرایی و مالی در پروژه‌های انبوه‌سازی سازه‌های ال‌اس‌اف می‌باشد. اجرای موفق پروژه‌های انبوه‌سازی در سازه‌های ال‌اس‌اف نیازمند شناسایی دقیق ریسک‌های این سیستم و اتخاذ روش مناسب جهت پاسخ به هر ریسک می‌باشد. علاوه بر اتخاذ پاسخ صحیح، انتخاب روش سرمایه‌گذاری صحیح نیز ضروری می‌باشد. به همین سبب در این پژوهش مدل انتخاب روش تأمین مالی برای پروژه‌های انبوه‌سازی سیستم ال‌اس‌اف بر مبنای ریسک‌های اجرایی و اقتصادی معرفی شد و ریسک‌های مؤثر در هر روش به‌صورت عدم‌قطعیت با توزیع نرمال توسط نظرات افراد خبره تعیین و مدل گردیدند و بوسیله‌ی شبیه‌سازی، برای هر روش، نرخ بازده سالانه محاسبه گردید. هم‌چنین در این پژوهش پنج روش تأمین‌مالی بررسی گردید و روش مشارکت بخش خصوصی به عنوان روش با حداکثر بازده سالانه معرفی شد.

کلمات کلیدی: سازه‌های ال‌اس‌اف، شناسایی ریسک، روش تأمین مالی، شاخص سود سالانه، شبیه‌سازی مونت‌کارلو

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۹/۰۳/۱۶	۱۳۹۹/۰۴/۳۱	۱۳۹۹/۰۵/۰۶	۱۳۹۹/۰۵/۰۶	۱۴۰۰/۰۷/۳۰	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.231352.2139
					doi: 10.22065/jsce.2020.231352.2139

*نویسنده مسئول: هاشم شریعتمدار

پست الکترونیکی: shariatmadar@um.ac.ir

۱- مقدمه

۱-۱ معرفی ساختمان‌های ال‌اس‌اف

سیستم ساختمانی فولادی سبک سرد نوردشده (ال‌اس‌اف) از جمله سیستم‌هایی است که گرچه پیدایش آن ریشه در دغدغه‌های زیست‌محیطی و به‌تبع آن تعریف گزینه‌ی جایگزین برای ساختمان‌های چوبی داشته است، اما به تدریج جایگاه ویژه‌ای در میان سیستم‌های دارای ظرفیت تولید صنعتی یافته است. هم‌گام با میل به توسعه صنعتی‌سازی ساختمان در کشور، انجام پروژه‌های تک‌سازی و انبوه سازی با قطعات فولادی سبک سرد نورد شده نیز رواج یافته و با توجه به ظرفیت بالای تولید فولاد در کشور و مزیت‌هایی هم‌چون انعطاف بالا، وزن کم سازه و متعلقات و روش تولیدسریع، باعث شده‌است که ساختمان‌های فولادی سبک سرد نورد گزینه‌ای قابل اعتنا در صنعت ساختمان‌سازی کشور شود[۱].

این سیستم در صنعت ساختمان‌سازی کاربردهای متنوعی هم‌چون ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه، میان‌مرتبه، طبقاتی، اضافه طبقه و سایر سازه‌ها را دارد. اجزای مورداستفاده در این سیستم، نیم‌رخ‌های فلزی حاصل از نورد سرد ورق‌های فولادی با ضخامت‌های۰,۴۵ تا ۲,۵ میلی‌متر می‌باشد. جهت محافظت این عناصر در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی از آلیاژ روی به ضخامت ۴۰ تا ۱۲۰میکرون استفاده می‌شود. سیستم قاب سبک فلزی، در قالب کلی سیستم‌های دیوار باربر قرار می‌گیرد.

عناصر باربر ثقلی متشکل از مقاطع منفرد و یا ترکیبی و عمدتاً C یا U شکل و یا ترکیب این مقاطع می‌باشند. دیوارها از آرایش اجزای عمودی C شکل(استاد)، که در بالا و پایین در داخل اجزای افقی U شکل(رانر یا تراک) مهار شده‌اند، تشکیل می‌شود. اجزای باربر سقف نیز، عمدتاً با استفاده از مقاطع منفرد و یا ترکیبی C ، U و Z شکل می‌باشند. سقف طبقه آخر نیز غالباً به صورت شیب‌دار و با استفاده از خرپاهای متشکل از پروفیل‌های سردنورد اجرا می‌گردد. اتصالات در سیستم قاب سبک فلزی معمولاً به صورت سرد و با پیچ‌های خودکار سرمته‌ای انجام می‌شود. در موارد محدود امکان استفاده از انواع اتصالات دیگر مثل پیچ و مهره، پرچ یا جوش نیز مقدور می‌باشد[۲].

مراحل اجرای سیستم به‌طورکلی شامل اجرای پی، اجرای اسکلت ساختمان، اجرای پوشش سقف و نصب پانل‌های پوشش خارجی، نصب لایه‌ی عایق حرارتی، رطوبتی و صوتی و نصب پانل‌های پوششی داخلی، اجرای عملیات تأسیسات الکترونیکی و مکانیکی و در نهایت عملیات نازک‌کاری می‌باشد[۳].

به دلیل جدید بودن سیستم سازه‌های ال‌اس‌اف در کشور ایران، این سیستم هنوز برای مهندسین و کارفرمایان ناآشنا می‌باشد و بسیاری از ریسک‌های این سیستم مشخص نمی‌باشد. به‌همین‌سبب تصمیم‌گیری دررابطه با روش تأمین مالی پروژه‌های انبوه‌سازی با این سیستم، نیاز به بررسی دقیق ریسک‌های آن‌ها دارد. هم‌چنین در انتخاب روش‌های تأمین مالی پروژه‌های انبوه‌سازی در این سیستم، علاوه بر ریسک‌های اقتصادی، ریسک‌های اجرایی(فنی) نیز مؤثر هستند (منظور از از ریسک‌های اجرایی، ریسک‌های مرتبط به سه مرحله‌ی طراحی، اجرا و بهره‌برداری می‌باشد).

در این پژوهش ابتدا ریسک‌های اجرایی و اقتصادی سازه‌های ال‌اس‌اف معرفی می‌شوند. سپس مدلی برای انتخاب روش تأمین مالی پروژه‌های انبوه‌سازی ال‌اس‌اف معرفی می‌شود. ویژگی‌های اصلی این مدل اعمال اثر ریسک‌های اجرایی و اقتصادی، استفاده از نظر خبرگان و تعیین نرخ بازده داخلی با شبیه‌سازی می‌باشد.

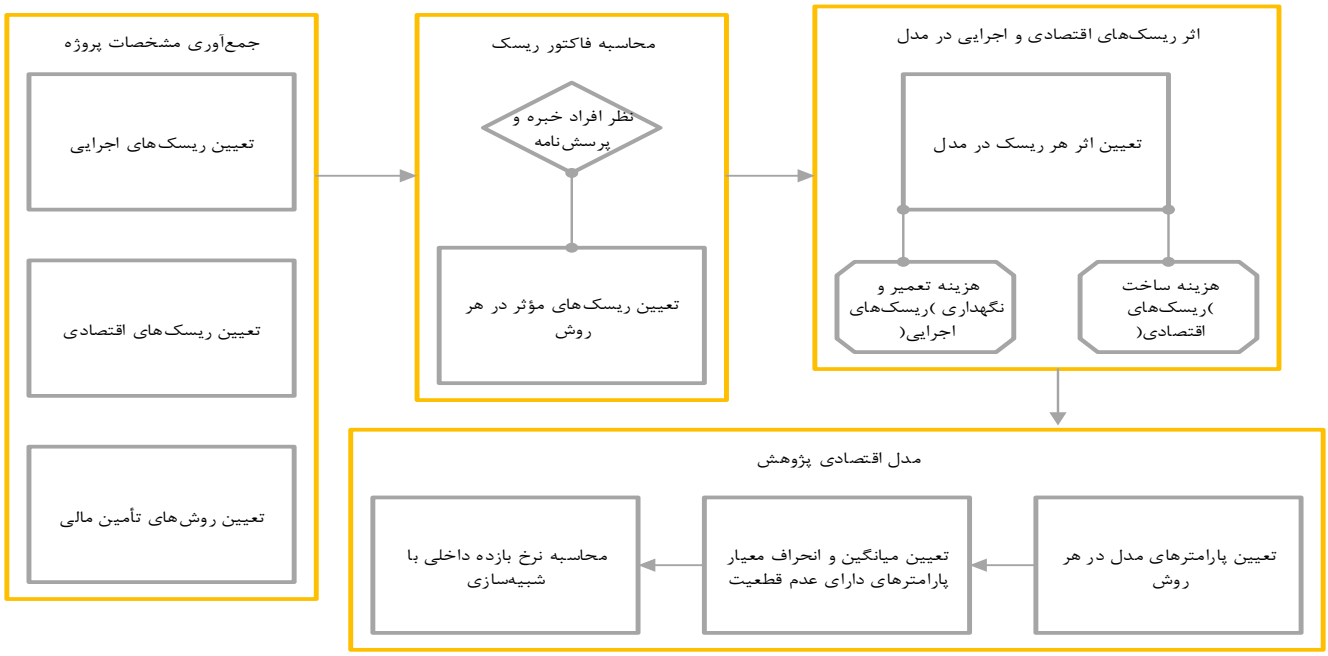
این پژوهش از منظر کارفرما بررسی شده‌است و هدف آن این است که از بین ۵ روش پیشنهادی برای تأمین مالی پروژه‌ی انبوه-سازی سازه‌های ال‌اس‌اف، روش با حداکثر سود را با توجه به ریسک‌های موجود در هر روش، به کارفرما پیشنهاد دهد.

۱-۲ روش‌های تأمین مالی مورد بررسی

روش‌های مختلفی برای تأمین مالی پروژه‌ها وجود دارد که در این پژوهش ۵ روش وام[۴]، مشارکت بخش عمومی و خصوصی[۵،۶،۷]، سرمایه گذاری مستقیم خارجی[۸]، اوراق بهادار[۸] و BOT (ساخت- بهره‌برداری- انتقال)[۵،۱۰]، با توجه به مطالعه موردی بررسی می‌شود.

۱-۳ فرآیند مورد استفاده در پژوهش

در شکل (۱) فرآیند مورد استفاده در پژوهش نشان داده‌شده است. ابتدا ریسک‌های اجرایی و اقتصادی و هم‌چنین روش‌های تأمین مالی پروژه تعیین می‌گردد. در مرحله‌ی بعد ریسک‌های مؤثر در هر روش تأمین مالی با توجه به نظر افراد خبره و رابطه‌ی فاکتور ریسک تعریف‌شده در مدل تعیین می‌گردند. در مرحله‌ی بعد اثر هر یک از ریسک‌های مؤثر در هر روش تأمین مالی تعیین می‌شود. این اثر در هزینه‌هایی ساخت و تعمیر و نگه‌داری اعمال می‌گردد. در مرحله‌ی بعد پارامترهای ثابت مدل برای هر روش تأمین مالی تعیین می‌گردد. سپس برای پارامترهای دارای عدم قطعیت که مرتبط با ریسک‌های شناسایی‌شده می‌باشند، میانگین و انحراف معیار تعیین می‌گردد و در آخر فرآیند شبیه‌سازی مدل برای تعیین نرخ بازده داخلی برای هر روش صورت می‌گیرد.



شکل ۱: دیاگرام فرآیند مورد استفاده در پژوهش

۲- مرور ادبیات

۲-۱ پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه‌ی سازه‌های ال‌اس‌اف

مطالعات صورت‌گرفته در زمینه‌ی سازه‌های ال‌اس‌اف را می‌توان در چهار گروه معرفی سازه، مباحث زیست‌محیطی و توسعه‌ی پایدار، سیستم و اجزای سازه و انرژی و حرارت طبقه‌بندی نمود. به‌عنوان مثال در گروه اول هوگلاند و بارستراند سازه‌های ال‌اس‌اف را بررسی کردند. آن‌ها سه جز اصلی سازه را دیوارهای داخلی و خارجی و کف ها عنوان کردند[۱۱]. باراستراند در پژوهشی دیگر نیز سازه‌های ال اس اف را سیستم ساخت خشک معرفی کرد و به بررسی صنعت ساخت در سوئد پرداخت. او روش های کاهش هزینه ساخت را در رکود بازار را بررسی کرد[۱۲]. مهدوی نژاد و هم‌کاران به بررسی اقتصادی سازه‌های ال‌اس‌اف در ایران پرداختند. هدف آن‌ها پاسخ به این سؤال

که، "آیا استفاده از سیستم ال‌اس‌اف هزینه‌های ساخت را کاهش می‌دهد؟"، بود. آن‌ها مطالعه موردی بر روی سازه‌هایی در شهرهای قم، کاشان، اصفهان و تهران انجام دادند. آن‌ها استفاده از سازه‌های ال‌اس‌اف را بسیار اقتصادی ارزیابی نمودند و برای کشورهای درحال‌توسعه مناسب دانستند[۱۳]. مهدوی‌نژاد و همکاران هم‌چنین به بررسی سازه‌های ال‌اس‌اف در شهر پرند ایران پرداختند(مجتمع ۵۵۰ واحدی پرند). هدف آن‌ها علاوه بر معرفی سیستم تولید و اجرا، پیشنهاد مدل بهینه‌ای برای فرآیند ساخت و اجرا بود. آن‌ها به بیان نقاط ضعف و قوت سیستم پرداختند. نکات منفی سیستم شامل کمبود نیروی کار حرفه‌ای، عدم انطباق اندازه‌های نقشه‌های معماری با قطعات پیش-ساخته، ضعف کارخانه در تولید قطعات به ابعاد و اشکال مختلف، می‌باشد[۱۴] . یگانه و شریعتمدار نیز ریسک‌های مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری سازه‌های ال‌اس‌اف را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که ۲۴,۱ درصد ریسک‌ها مربوط به مرحله‌ی طراحی، ۲۷,۶ ریسک‌ها مربوط به مرحله‌ی اجرا و ۴۸,۳ درصد مربوط به مرحله‌ی بهره‌برداری می‌باشند[۱۵]. همچنین به کارگیری سیستم‌های ال اس‌اف در آفریقای جنوبی با درنظر گرفتن شناسایی ریسک‌ها و ارزیابی چالش‌های آن مورد بررسی قرار گرفته، لیکن چارچوب خاصی در رابطه با مدیریت ریسک این سیستم ارائه نشده است[۱۶].

برای گروه دوم می‌توان به پژوهش دوداس که از جنبه‌ی زیست‌محیطی به این سازه‌ها توجه نمود، اشاره کرد. او سازه‌های ال‌اس-اف را در سه مرحله‌ی تولید، استفاده و تخریب مورد بررسی زیست‌محیطی قرارداد و در نهایت نتیجه‌گرفت که این سازه‌ها برای محیط‌زیست مشکل‌ساز نمی‌باشند[۱۷]. هم‌چنین فلاح به بررسی سازه‌های ال‌اس‌اف از منظر توسعه‌ی پایدار پرداخت و نشان داد که فولاد و مشتقات آن از این منظر گزینه‌ی بسیار مناسبی به‌حساب‌می‌آید[۱۸]. سوآرس و همکاران استفاده از دیوارهای خشک را در ذخیره سازی انرژی در سازه-های ال‌اس‌اف بررسی کردند[۱۹] .گرامی و هم‌کاران تحقیقات جدیدی در خصوص رفتار لرزه‌ای سازه‌های ال‌اس‌اف ارائه‌کردند که نشان‌داد استفاده از این سازه‌ها در مناطق با لرزه‌خیزی شدید، موجب بهبود رفتار لرزه‌ای می‌شود[۲۰] . اسماعیلی نیاری و هم‌کاران به بررسی رفتار برشی سازه‌های ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها با آزمایش بر روی تعدادی ورق‌های برشی و ضخامت آن‌ها، بین روابط تئوری و آزمایشگاهی به مقایسه پرداختند[۲۱]. به طور کلی از ال‌اس‌اف به عنوان یک سیستم ساختمانی با اثرات مثبت زیست محیطی از جنبه‌های پایداری، نوسازی، قابلیت بازیافت و قابلیت استفاده مجدد نام برده شده است[۲۲].

پژوهش‌های گروه سوم با بررسی ساختمان‌های مسکونی ال‌اس‌اف توسط ویلکویچ و جانسون شروع شد. .آن‌ها ضمن اشاره به استفاده فراوان این سیستم ساختمانی در آمریکا، ژاپن و استرالیا، اجزا وسیستم‌هایی که در ساختار ال‌اس‌اف استفاده می‌شود را بررسی نمودند. آن‌ها استفاده از یک لایه و دولایه گچ‌برگ را مقایسه کردند. آن‌ها همچنین استفاده از دال بنتی برای پی سازه را توصیه کردند[۲۳].دیویس ساختار دیوار جعبه‌ای را برای ال‌اس‌اف پیشنهاد کرد و مزایای آن را معرفی نمود[۲۴]. مورتینو یک طرح کلی پلان معماری قابل-اجرای سریع ، مدولار و بهینه‌ی انرژی را برای ساختمان‌های چندطبقه مسکونی ال‌اس‌اف ارائه‌داد. طرح او به‌گونه‌ای بود که فضاهای خالص، بهینه، قابل اجرا و شامل قطعات مدولار بودند[۲۵]. اسچفر مطالعه ای در مورد کاربرد، اعضا، تحلیل و طراحی سازه های سبک سرد نورد شده انجام داد[۲۶] . فرانکلین و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی استقامت سازه‌ای، زمان و هزینه ساخت، و پاسخ آکوستیک ساختمان های ال‌اس‌اف پرداخته است، و برخی اصلاحات را برای این سازه‌ها پیشنهاد داده اند. از سویی، بررسی رفتار لرزه‌ای و آنالیزهای سازه ای نشان داده است که سیستم ال‌اس‌اف در همراهی با دیوارهای برشی می تواند به عنوان یک سیستم مناسب در نواحی با خطر لرزه-ای بالا موردتوجه قرار بگیرد[۲۷].

در زمینه‌ی مدل‌سازی انرژی یا گروه چهارم پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته‌است. به‌عنوان مثال گورگولوفسکی روش جدیدی را برای محاسبه مقدار اشعه یو ارائه داد[۲۸]. در مورد دیگری تروآسان و پیرس به مقایسه‌ی کاهش‌صدا در دیوارهای ال‌اس‌اف در کشور نیوزلند پرداختند. آن‌ها بر روی ۱۲ دیوار آزمایش کاهش‌صدا را انجام دادند و نتیجه را با جدول‌های موجود مقایسه نمودند. اختلاف قابل قبولی بین جداول و نتایج موجود، مشاهده‌نشد[۲۹]. لاوسن و اگدن روش‌های مدرن ساخت را بررسی کردند. آن‌ها استفاده از ساختمان خورشیدی را در صنعتی سازه ساختمان توصیه نمودند[۳۰]. سانتوز و همکاران آنالیز پارامتری تبادل گرمایی سالانه ساختمان های مسکونی ال اس اف(مطالعه موردی) رادر شرایط آب و هوایی مدیترانه بررسی کردند[۳۱] . گومز و همکاران به بررسی پل حرارتی در سازه‌های ال-اس‌اف در برزیل پرداختند[۳۲]. سانتوز آریاناجام و هم‌کاران به بررسی مقاومت در برابر آتش، دیوارهای ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها به روش

اجزای محدود سازه را مدل نمودند و علاوه بر آن به آزمایش‌های واقعی نیز بر روی نمونه‌های ساخته‌شده انجام دادند. آن‌ها در پژوهش خود توانایی بالای روش اجزای محدود در مدل‌سازی عمل‌کرد سازه‌های ال‌اس‌اف در برابر حریق و هم‌چنین قابلیت بالای مقاومت در برابر حریق این سازه‌ها را تأیید کرند[۳۳]. آنجلیس و سرا به بررسی عملکرد حرارتی دیوارهای ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها حالت‌های مختلف دیوار و هسته‌ی عایق را مدل‌سازی نمودند. به‌دلیل وجود چندین نوع مصالح در این دیوارها مدل‌سازی عملکرد حرارتی آن‌ها با مشکلاتی همراه است. آن‌ها برای بدست‌آوردن مقاومت حرارتی نمونه‌ها به دلیل پیچیدگی از روش‌های استاندارد ، استفاده نکردند و فرمول جدیدی را پیشنهاد کردند. روش آن‌ها برای استفاده در نرم‌افزارها نیز مناسب است[۳۴] . پاول و هم‌کاران به بررسی ضریب کاهش صدا در دیوارهای ال‌اس‌اف پرداختند. آن‌ها برای پوشش بیرونی دیوارها، مصالحی هم‌چون سمنت‌برد، پانل‌های رزینی و پانل‌های پی‌وی‌سی را آزمایش نمودند. هم‌چنین تأثیر استفاده از نواردرزگیر بین پانل‌ها و زیر رانرها را بررسی نمودند[۳۵].

با بررسی پژوهش‌های پیشین می‌توان نتیجه‌گرفت که در زمینه‌ی انتخاب روش‌های تأمین مالی برای پروژه‌های انبوه‌سازی ال‌اس-اف و هم‌چنین مدیریت ریسک و تأثیر ریسک‌های سازه در روش‌های تأمین مالی پژوهش خاصی صورت نگرفته‌است. به همین سبب در این پژوهش با ترکیب ریسک‌های اجرایی و ریسک‌های اقتصادی در سازه‌های ال‌اس‌اف، مدلی ارائه می‌گردد که در آن نرخ سود روش‌های مختلف سرمایه‌گذاری ارزیابی می‌گردد و در نهایت مدل با حداکثر سود برای پروژه‌های انبوه‌سازی پیشنهاد می‌گردد. این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری مدیران پروژه برای انتخاب سیستم اجرای پروژه و هم چنین پیش‌بینی ریسک‌های احتمالی، مؤثر واقع شود.

۲-۲ پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه‌ی ریسک در پروژه‌های ساخت و روش‌های تأمین مالی

پژوهش‌های بسیاری در زمینه‌ی شناسایی ریسک و تعیین روش تأمین مالی پروژه‌های ساخت و ارتباط آن‌ها با یکدیگر صورت گرفته‌است[۳۶،۶،۳۷،۳۸،۳۹،۴۰]. به‌عنوان مثال گریسی و لوئیس[۴۱]، لیر و ساقیر[۴۲] و پنتالیز و ژانگ[۴۳] روش مشارکت بخش خصوصی را برای پروژه‌های دولتی پیشنهاد دادند. پژوهشی دیگر با بررسی پروژه‌های راهسازی که با روش تامین مشارکت دولت و بخش خصوصی (PPP) در ایرلند انجام می گیرند ثابت کرد که تخصیص، انتقال و مدیریت ریسک بر کیفیت روابط ذینفعان اثرگذار است[۴۴]. لی برای پروژه‌های مشارکت بخش خصوصی دسته‌بندی ارائه نمودند[۴۵]. جورجیتا نیز با آنالیز سود هزینه کارآیی این پروژه‌ها را نشان داد[۴۶]. اسمان و همکاران نشان دادند در پروژه‌های مشارکت بخش خصوصی ریسک از کارفرما به سرمایه‌گذار و مجری انتقال می‌یابد[۵]. ساستوک پس از معرفی دلایل عدم استفاده کشورهای در حال توسعه از مدل مشارکتی دولتی-خصوصی (PPP) برای پروژه های زیرساختی اجتماعی از جمله مدارس، به شناسایی تخصیص ریسک مدل این مدل از طریق مصاحبه با افراد دانشگاهی، و فعالان بخش خصوصی و دولتی در کلمبیا پرداخته است. نتایج این پژوهش نشانگر آن بود که در پروژه های فوق ریسک‌های طبیعی، مالی، ساخت و اجرا بر عهده بخش خصوصی است، در حالی‌که ریسک‌های اجتماعی و سیاسی بر عهده بخش عمومی خواهدبود[۴۷]. کی و همکاران تخصیص در پروژه-های مشارکت بخش خصوصی در چین را انجام دادند[۳۷]. عسگری در پروژه‌های B.O.T به شناسایی ریسک پرداخت و با روش‌هایی تصمیم‌گیری چندمعیاره به رتبه‌بندی آن‌ها پرداخت[۴۸]. کنگ و فنگ نیز رویکرد پیاده‌سازی ریسک در پروژه‌های B.O.T را بررسی کردند[۳۶]. جین ریسک پروژه‌های سرمایه‌گذاری را در پروژه‌های انبوه‌سازی در استرالیا بررسی کرد[۶]. بریمیلو و فرانسیس اثر وام در پروژه‌های ساخت در استرالیا را بررسی نمودند[۴۹]. ژنگ و همکاران دسته‌بندی کاملی از ریسک‌های پروژه‌های ساخت ارائه کردند و نقش روش‌های مختلف تأمین مالی را در ارتباط با ریسک‌ها بررسی کرند[۵۰]. جین و همکاران در مطالعه‌ای با هدف کمک به تصمیم گیرندگان در جهت تخصیص عادلانه ریسک مالی پروژه های PPP بین دو بخش درگیر یعنی دولت و بخش خصوصی، سعی در تعیین حد بالا و پایین طول دوره انحصاری با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای محاسبه ارزش خالص فعلی برای طرفین داشتند، که نتایج بدست آمده صحت روش آنها را تعیین کرد[۷۸].

در زمینه‌ی محاسبه و تخصیص ریسک در پروژه‌های ساخت نیز پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته‌است[۳۹،۴۰،۵۱]. پِرز با اشاره به اینکه غالب پژوهش‌های پیشین در خصوص ریسک های پروژه از منظر کارفرما به موضوع پرداخته‌اند، در پژوهش خود از طریق پرسشنامه نظرات پیمانکاران و مشاوران را اخذ نموده است. همانطور که انتظار می‌رفت، بیش از نیمی از پاسخ دهندگان باور داشته‌اند که

تخصیص ریسک قرارداد آن‌ها غیرمنصفانه بوده، و همچنین به سبب عدم وجود یک سیستم مدیریت ریسک رسمی، انتقال مستبدانه ریسک ها از کارفرما به نقش های پایین دست افزایش پیدا کرده است[۵۲]. استفاده از احتمال وقوع ریسک در محاسبه‌ی شدت ریسک بسیار مرسوم است. ایوب برای علوم مهندسی و اقتصاد این روش را بسیار توصیه کرده‌است[۵۳]. علاوه بر احتمال ریسک، پارامترهایی مانند توانایی کنترل ریسک، پیامد ریسک بر هزینه، زمان و کیفیت و توانایی اصلاح ریسک نیز در محاسبه‌ی اولویت ریسک توصیه شده-اند[۵۴،۵۵،۵۶]. خودیر و همکاران[۹]، باسونی و همکاران[۵۷] و عزیز[۵۸] نشان دادند که فاکتورهای مؤثر در پروژه‌های ساخت با توجه به احتمال وقوع ریسک می‌تواند بر هزینه ساخت اثرگذار باشد. زیادوف و همکاران نیز نشان دادند که تحلیل ریسک در پروژه‌های ساخت و تعیین اثر ریسک در هزینه‌های مختلف پروژه می‌تواند در انتخاب روش اجرایی پروژه مؤثر باشد[۵۹]. در مجموع می‌توان گفت که قالب کلی مدل‌های اشاره‌شده با تعریف شاخص اولویت ریسک (RPN) ایجاد شده‌است. ژانگ و همکاران[۶۰]، اشلی و همکاران[۶۱] و احمدی و همکاران[۶۲] این روش را برای پروژه‌های راه‌سازی در تایوان، استرالیا و ایران پیاده‌سازی نموده‌اند.

برای تحلیل مالی پروژه‌های ساخت نیز روش‌های متنوعی وجود دارد[۶۳] که در بسیاری از پژوهش‌ها به آن‌ها پرداخته شده‌است. ویبوو نشان داد که در پروژه‌های ساخت می‌بایست دیاگرام جریان مالی برمبنای ریسک‌های پروژه رسم نمود[۶۴]. او هم‌چنین از ریسک‌ها بر تأخیر در پایان پروژه را بررسی نمود. روش NPV برای فضای دارای ریسک عملکرد مناسبی داشته است[۶۵،۶۶]. در این روش ریسک‌ها به-صورت عوامل غیرقطعی مدل می‌شوند و برای آن‌ها تابع احتمال در نظر گرفته می‌شود. در این صورت استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو روش مناسبی توصیه شده‌است[۵۷،۵۸،۵۹،۶۰]. تابلاندیر و همکاران از شبیه‌سازی برای پیاده‌سازی مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت استفاده کردند[۷۱]. آمیگان و همکاران نیز استفاده از شبیه‌سازی برای محاسبه‌ی عدم قطعیت ریسک‌های موجود در روش NPV را توصیه نموده‌اند[۷۲]. لی و همکاران نیز با روش شبیه‌سازی تحلیل سرمایه‌گذاری برای پروژه‌ی نیروگاه بادی در چین را انجام دادند[۷۳]. این روش در پروژه‌های ساخت راه‌سازی در سنگاپور[۶۶] و سرمایه‌گذاری در احداث راه[۷۴] بررسی شده‌است. کورو و آرتان هم مدل کانواس (Canvas) را برای ارزیابی ریسک و تخمین عملکرد پروژه‌های مشارکتی بخش دولتی و خصوصی ارائه دادند. طبق ادعای آنان، مدل معرفی شده از سوی آن‌ها امکان ارزیابی فاکتورهای ریسک پروژه و مکانیزم‌های جبرانی که می‌تواند موجب تخفیف ریسک‌ها یا اختصاص متوازن آن‌ها به طرفین گردد، را فراهم می کند[۷۵].

۳- معرفی مدل ارائه شده در پژوهش

۳-۱ محاسبه فاکتور ریسک

در این مدل به‌منظور محاسبه‌ی درجه‌ی اهمیت ریسک، از شاخص اهمیت ریسک یا فاکتور ریسک(RPN[1]) استفاده می‌شود. هرچه این شاخص بیش‌تر باشد، ریسک دارای درجه بحرانی بودن بیش‌تری می‌باشد. به منظور محاسبه فاکتور ریسک رابطه‌ی (۱) استفاده می‌شود. در این رابطه، P بیان‌گر احتمال وقوع ریسک و C پیامد ریسک می‌باشد[۶۲].

$$RPN = P * C \quad (۱)$$

جمع‌آوری اطلاعات در مورد P و C از طریق پرسش‌نامه و نظرخبرگان صورت می‌گیرد. برای تعیین احتمال ریسک، پاسخ‌دهنده باید احتمال وقوع ریسک را مشخص کند. در مورد پیامد ریسک نیز پاسخ‌دهنده اهمیت ریسک را تعیین می‌نماید. با توجه به اطلاعات پرسش‌نامه‌ها، برای هر ریسک و به ازای هر روش تأمین مالی، یک شاخص اهمیت ریسک یا فاکتور ریسک بدست می‌آید. از آن‌جایی که پرسش‌نامه‌ها به صورت کیفی احتمال و اثر ریسک‌ها را مشخص می‌کنند، بر روی آن‌ها محاسبات فازی و فازی‌زدایی صورت می‌گیرد. پس از انجام این فرآیند، برای هر ریسک و هر روش تأمین مالی یک RPN بدست می‌آید که بر مبنای آن ریسک‌های هر روش اولویت‌بندی می-شوند. شاخص‌های P و C مقادیری بین ۰ و ۱ دارند در نتیجه فاکتور ریسک که حاصل‌ضرب این دو عدد می‌باشد، نیز بین ۰ و ۱ می‌باشد. پس از فازی‌زدایی و ضرب این مقادیر در ۱۰۰۰، این شاخص بین ۰ و ۱۰۰۰ بدست می‌آید.

[1] risk priority number

برای تعیین ریسک‌های با درجه‌ی اهمیت بالاتر، دسته‌بندی محدوده‌ی ریسک‌ها برمبنای فاکتور ریسک به چهار ناحیه پاسخ شامل اجتناب، انتقال، کاهش و پذیرش از راه‌کارهای معمول می‌باشد[۶۰،۶۱] . روش‌های کامل‌تر پاسخ به ریسک برمبنای RPN نیز امکان تعیین پاسخ‌های مناسب را ایجاد می‌کنند[۶۲،۷۶]. با توجه به محدوده‌ی پاسخ‌های ایجاد شده در این پژوهش‌ها و هم‌چنین نظرات افراد خبره، مبنای پذیرش ریسک در این پژوهش، برای درنظرگرفتن ریسک‌ها به عنوان ورودی روش مونت کارلو، ریسک‌های با RPN بیش‌تر از ۲۵۰ می‌باشد.

۳-۲ مدل اقتصادی ارائه شده

مدل ارائه شده دراین پژوهش برمبنای محاسبه نرخ سود سالانه می‌باشد. در این مدل درآمدها و هزینه‌های پروژه محاسبه خواهندشد و با حل معادله توانی ایجادشده توسط نرم‌افزار R[۲] نرخ سود بدست می‌آید. در این پژوهش کارفرما در نقش تصمیم‌گیرنده جهت انتخاب روش تأمین مالی یا سرمایه‌گذار تلقی می‌شود. ابتدا هزینه ساخت با در نظر گرفتن تورم سالانه محاسبه می‌شود.

$$Concos(i) = COR(q) * (1 + inf)^{(i-1)} \quad (۲)$$

COR : هزینه ساخت در سال q

inf : میزان تورم سالانه

Concos(i) : هزینه ساخت در سال i

سپس سرمایه لازم جهت اجرای پروژه مطابق رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود.

$$EQT + D = TPC \quad (۳)$$

EQT : نقدینگی سرمایه‌گذار

D : وام

TPC : کل هزینه پروژه

میزان وام به‌همراه سود آن در پایان پروژه از رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$DEB_c = \sum_{i=0}^{c} D_i \prod_{k=i}^{c} (1+R_k) \quad (۴)$$

DEB_c : میزان وام و سود آن در پایان دوره ساخت

R_k : نرخ بهره بانکی

سپس دریافتی سرمایه‌گذار محاسبه می‌شود.

$$REV = P_t * R_t + S - L \quad (۵)$$

[2] R studio

REV : دریافتی سالانه سرمایه‌گذار

P_t : تعرفه استفاده از خدمات

R_t : تعداد استفاده‌کنندگان

S : درآمدهای دیگر پروژه

L : اجاره زمین یا سایر تجهیزات

در رابطه‌ی (۵) مالیات نیز مؤثر می‌باشد. چون این پروژه در گروه پروژه‌های مسکن‌مهر می‌باشد، به این پروژه مالیات تعلق نمی-گیرد. در مرحله‌ی بعد میزان قابل برداشت سرمایه‌گذار مطابق رابطه‌ی (۶) محاسبه می‌گردد.

$$DIV_j = REV - COM - INT - REP \quad (۶)$$

DIVj : میزان مبلغ قابل برگشت سرمایه‌گذار پس از کسری‌ها در سال j

COM : هزینه تعمیر و نگهداری

INT : سود وام سالانه که با توجه به نرخ بهره محاسبه می‌شود.

REP : بازپرداخت وام سالانه

پس از محاسبه‌ی مبلغ قابل برگشت سرمایه‌گذار، ارزش خالص فعلی پروژه مطابق رابطه‌ی (۷) محاسبه می‌شود. در بیش‌تر پژوهش‌های گذشته در صورت مثبت بودن ارزش خالص فعلی، پروژه مطلوب ارزیابی می‌شود[۶۴،۶۵].

$$NPV = \frac{\sum_{j=c+1}^{N} DIV_j}{(1+IRR)^j} + \frac{\sum_{j=1}^{c} EQT_j}{(1+IRR)^i} \quad (۷)$$

c : زمان ساخت

N : زمان بهره‌برداری

IRR : نرخ بازده داخلی

برای محاسبه‌ی ارزش خالص فعلی در حالت وجود عدم قطعیت و ریسک، راهکارهای مختلفی ارائه شده‌است[۴۳،۶۷،۶۸]. نقطه‌ی مشترک پژوهش‌های صورت‌گرفته، استفاده از شبیه‌سازی و در نظرگرفتن توزیع احتمالی برای متغیرها می‌باشد. لی نشان داد که در صورت صفر قراردادن مقدار رابطه‌ی (۷) و محاسبه‌ی نرخ بازده داخلی با شبیه‌سازی، می‌توان شرایط دارای حداکثر نرخ بازده داخلی را به‌عنوان شرایط مطلوب ارزیابی نمود. او نشان داد که در این صورت، نتایج با ریسک‌های استفاده‌شده در مدل، انطباق بیش‌تری خواهد داشت[۷۳]. در این پژوهش نیز بر مبنای حداکثر نمودن نرخ بازده داخلی، مسئله حل خواهد شد.

۳-۳ اثر ریسک‌های اجرایی شناسایی‌شده در مدل

اثر ریسک‌های اجرایی، در پژوهش‌های صورت‌گرفته در پروژه‌های ساخت به‌صورت هزینه‌ی اضافی ساخت، لحاظ‌شده‌است[۹،۵۷]. با توجه به نظر افراد خبره و مطالعات صورت گرفته، تأثیر ریسک‌های اجرایی این پژوهش به صورت هزینه تعمیر و نگهداری در مدل اقتصادی لحاظ می‌گردد. زیرا این ریسک‌ها در صورت وقوع، هزینه‌ی اضافی در زمان بهره‌برداری پروژه ایجاد می‌نمایند. از آن‌جایی که تاکنون پژوهش خاصی در مورد ریسک‌های اجرایی بر هزینه ساخت در این سیستم انجام نشده‌است، اثر این ریسک‌ها در تمام روش‌ها یکسان فرض شده‌است و به‌ازای هر ریسک، ۵ درصد، هزینه تعمیر و نگهداری را افزایش می‌دهیم.

۳-۴ اثر ریسک‌های اقتصادی شناسایی‌شده در مدل

مطابق آمار، نرخ تورم بین ۳ تا ۲۰ درصد درنظرگرفته می‌شود. هم‌چنین تغییرات نرخ تورم و سود بانکی بر پروژه‌های ساخت در شرایط متفاوت ۵ درصد نشان داده شده‌است[۴۹]. به‌همین‌سبب درحالت عادی نرخ تورم ۱۵ درصد فرض می‌شود و برای روش‌هایی که ریسک تورم بحرانی شناخته شده‌است، نرخ تورم ۲۰ درصد درنظر گرفته خواهدشد. هم‌چنین نرخ بهره بر مبنای اطلاعات دریافتی از کارفرما در روش وام ۲۱ درصد و در روش اوراق‌بهادار ۱۷ درصد می‌باشد و و برای این دو روش، نرخ بهره بانکی با ۵ درصد افزایش، درنظر گرفته خواهدشد و در سه روش دیگر اهمیت نخواهد داشت. در ارتباط با اثر ریسک فساد مالی بر هزینه پروژه، تاکنون پژوهش خاصی صورت نگرفته‌است. راهکار مؤثر مقابله با این ریسک، ایجاد سازکار اقتصادی منسجم، استفاده از نیروهای متعهد و شفافیت مالی عنوان شده‌است[۵۱]. پس از صحبت با افراد خبره، اثر اعمال این راهکار، با افزایش ۰،۱ درصدی هزینه ساخت همراه شد.

اگرچه در این پژوهش به علت اینکه کارفرمای پروژه، تمام مسئولیت مجوزها را در قرارداد قبول نموده است، ریسک مجوزهای دولتی، رخ نخواهد داد، اما به علت یکسان‌شدن شرایط، اثر این ریسک نیز مشابه ریسک فساد مالی، اعمال خواهد شد.

اثر ریسک ناتوانی پیمان‌کار جز به‌طور مستقیم بر روی هزینه پروژه تاکنون بررسی نشده‌است اما تأثیر ضعف نیروی انسانی به صورت خطی با شیب ۰،۲ درصد پیشنهاد شده‌است[۵۹] . به‌همین سبب در روش‌هایی که این ریسک بحرانی می‌باشد، هزینه ساخت ۰،۲ درصد افزایش خواهد یافت.

اثر ریسک ضمانت‌نامه‌های بانکی، نقص در قراردادها و بالارفتن هزینه‌ها در هزینه پروژه، به طور غیرمستقیم درپژوهشی در ارتباط با صنعت فاضلاب بحث شده‌است[۵۹،۵۸]. رتبه این سه ریسک در بین ۵۲ ریسک بررسی شده ، به ترتیب ۳۳، ۱۲ و ۱۰ بدست آمده‌است. با توجه به مدل ارائه‌شده توسط عزیز[۵۸] و رتبه این ریسک‌ها در مدل، اثر مجموع این ریسک‌ها بر هزینه‌ی پروژه ۰،۰۳۳ درصد بدست می‌آید و در هرروشی که هر یک از این ریسک‌ها مؤثر باشند، هزینه ساخت ۰،۰۱۱ درصد افزایش خواهدیافت.

۳-۵ اثر عدم قطعیت ریسک‌های فوق در مدل

در صورت وجود ریسک‌های فوق، در مدل عدم قطعیت شکل خواهد گرفت[۶۷]. برای تحلیل عدم قطعیت با در نظرگرفتن توزیع احتمال برای متغیرها و شبیه‌سازی مقادیر تصادفی، عدم قطعیت برطرف خواهدشد. در تمامی پژوهش‌های انجام‌شده تاکنون برای عوامل غیرقطعی توزیع نرمال درنظر گرفته‌شده‌است. در این پژوهش نیز از توزیع نرمال استفاده می‌شود. در این پژوهش در مواردی که ریسک سبب تغییر در پارامتر می‌گردد، برای آن، توزیع احتمال با فاصله‌ی اطمینان ۹۵ درصد بر مبنای تلورانس ۱۰ درصدی متغیر، در نظرگرفته می‌شود. برای تعیین محدوده‌ی تلورانس مقدار مشخصی پیشنهاد نشده‌است و در این پژوهش با توجه به منطقی‌بودن نتایج بدست‌آمده با تلورانس ۱۰ درصد، این مقدار پذیرفته‌شده‌است. میانگین توزیع نرمال بر اساس مقدار جدید پارامتر بر اساس ریسک و انحراف معیار توزیع نیز بر اساس محدوده‌ی تلورانس تعیین می‌گردد. به دلیل تعداد دفعات زیاد حل، معادله فوق، به روش مونت‌کارلو شبیه‌سازی می‌شود [۷۱] و مقدار نرخ بازده داخلی با بیش‌ترین تکرار به عنوان جواب درنظرگرفته می‌شود. در این مدل، برای حل از ۱۰۰۰۰ تکرار و با ترکیب روش نمونه‌گیری مونت‌کارلو با شبیه‌سازی در نرم‌افزار R استفاده شده‌است[۷۷]. پس از هر بار حل مسئله، ۱۰۰۰۰ مقدار برای IRR محاسبه خواهدشد که با ترسیم هیستوگرام مربوط به آن، می‌توان مقدار مناسب IRR را برای هر روش سرمایه‌گذاری بدست آورد. البته روش‌هایی

مانند نمونه‌گیری گیبس و یا الگوریتم متروپلیس هستینگ نیز می‌تواند در این قسمت به‌کار رود که در این پژوهش از آن‌ها استفاده نشده-است

جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده در مدل

پارامتر	نماد	مقدار	توضیحات
هزینه ساخت	COR	۸۰۰ میلیارد ریال	-
تورم	inf	۱۵ درصد	در روش‌هایی که ریسک تورم اثر داشته‌باشد تغییر می‌کند
نقدینگی سرمایه‌گذار	EQT	۰	در این پژوهش سرمایه‌گذار فقط زمین پروژه را تأمین می‌کند و سرمایه ساخت صفر می‌باشد
وام	D	-	در روش اول تأمین مالی ۴۰۰ میلیارد ریال و در روش چهارم تأمین مالی ۳۰۰ میلیارد ریال می‌باشد
نرخ بهره بانکی	R_K	-	بر مبنای اطلاعات دریافتی از کارفرما در روش اول تأمین مالی ۲۱ درصد و در روش چهارم تأمین مالی۲۲ درصد می‌باشد
دریافتی سالانه سرمایه‌گذار	REV	۱۲۰ میلیارد ریال	در این پژوهش مطابق با شرایط پیش‌فروش واحدها می‌باشد که به صورت متوسط سالانه (کل مبلغ تقسیم بر ۱۰ سال) محاسبه شد
تعرفه استفاده از خدمات	P_t	۸۰۰ میلیون ریال	در این پژوهش معادل اجاره مغازه‌هاو هزینه بلیط فروشی سالن‌های ورزشی می‌باشد که تا ۵۰ سال در اختیار کارفرما قرار می‌گیرد
تعداد استفاده‌کنندگان	R_t	۱	معادل افراد استفاده کننده از خدمات که ۱ فرض می‌شود
درآمدهای دیگر پروژه	S	۰	در این پژوهش تعریف نمی‌شود
اجاره زمین یا سایر تجهیزات	L	۰	به‌علت تملک زمین توسط کارفرما تعریف نمی‌شود
هزینه تعمیر و نگهداری	COM	۸ میلیارد ریال	هزینه کل ۴۰ میلیارد ریال می‌باشد که در دوره‌ی ۵ ساله حساب شده‌است. هزینه‌ی ریسک‌های اجرایی در این قسمت لحاظ شده‌است
زمان ساخت	C	۳ سال	-
زمان بهره‌برداری	N	۱۰۰ سال	-

۴- نتایج

۴-۱ معرفی مطالعه موردی

فاز یک پروژه‌ی ۵۰۰ واحدی مسکن‌مهر شهرک مهرگان مشهد مقدس در سال ۱۳۹۲ با سیستم ال‌اس‌اف اجرا شد. در این پژوهش فاز ۲ این پروژه که هنوز اجرا نشده‌است (تا پایان سال ۱۳۹۸) و سیستم پیشنهادی آن ال‌اس‌اف می‌باشد، مورد بررسی قرار می-گیرد. در فاز یک، نوع قرارداد مشارکت بخش خصوصی می‌باشد. در این پژوهش نرخ سود هر روش تأمین مالی، محاسبه می‌گردد و روش با حداکثر سود، به عنوان روش بهینه پیشنهاد می‌گردد. برای هر پنج روش تأمین مالی پیشنهادهایی از سوی شرکت‌های داخلی و خارجی مطرح شده‌است که در این پژوهش مناسب‌ترین پیشنهاد، در هر روش تأمین مالی بررسی می‌شود. خلاصه و ساده شده پیشنهادهای شرکت‌های داخلی و خارجی در بخش بعد آورده شده‌است. فاز دو پروژه شامل ۱۰۰۰ واحد با زیربنای ۸۰۰۰۰ مترمربع، با برآورد اولیه ۸۰۰ میلیارد ریال می‌باشد. زمان ساخت ۳ سال پیش‌بینی می‌گردد. دوره‌ی بهره‌برداری یا عمر مفید مجموعه ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده‌است. میزان مالیات برای پروژه‌های مسکن‌مهر صفر می‌باشد. درآمد فروش این واحدها ۱۲۰۰ میلیارد ریال پیش‌بینی شده‌است که با توجه به شرایط پروژه‌های مسکن مهر تعیین می‌شود. برای ساده‌سازی مسئله فرض شده‌است که در یک دوره‌ی مساوی ۱۰ ساله درآمد به کارفرما تعلق می‌گیرد. هزینه تعمیر و نگهداری مربوط به کارفرما، ۱۰ درصد سود در نظر گرفته شده‌است (۴۰ میلیارد ریال) که در قرارداد تا ۵ سال به‌عهده کارفرما می‌باشد. در این پروژه چندین مغازه و سالن ورزشی نیز دیده‌شده‌است که می‌توان درآمد حاصل از اجاره‌ی مغازه‌ها و

بلیط فروشی سالن‌های ورزشی را معادل تعرفه استفاده از خدمات درنظر گرفت. برآورد اولیه کارفرما از سود سالانه این قسمت ۰,۱ درصد هزینه ساخت به مدت ۵۰ سال می‌باشد. در جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده در مدل آورده‌شده‌است. ورودی‌های فوق به‌صورت ثابت در تمامی روش‌های تأمین مالی، وارد می‌شوند ولی سایر ریسک‌های مؤثر، با توجه به نوع روش تأمین مالی باید مشخص شوند.

۴-۲ شناسایی ریسک‌های اجرایی در سازه‌های ال‌اس‌اف

ریسک‌های اجرایی سازه‌های ال‌اس‌اف اشاره‌شده در جدول ۱، در پژوهش ارائه‌شده توسط یگانه و شریعتمدار تشریح شده‌است[۱۵]. آن‌ها ۵۶ پروژه ال‌اس‌اف با زیربنای ۷۹۵۰ مترمربع را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها اشاره کرده‌اند که پروژه‌های مورد مطالعه در این پژوهش شامل طبقه‌بندی ساختمان‌های مسکونی، ویلایی، اضافه طبقات، مدارس، اداری، تجاری، فست فود، سازه‌های صنعتی و دیوارهای غیرباربر ال‌اس‌اف بود. در تمامی پروژه‌های فوق با طراحان، مجریان و کارفرمایان به صورت حضوری مصاحبه انجام شد. در جدول ۲ ریسک‌های شناسایی‌شده به همراه مرحله‌ی اجرایی ریسک آورده شده‌است

جدول۲: ریسک‌های اجرایی شناسایی‌شده

ردیف	ریسک	محدوده ریسک	ردیف	ریسک	محدوده ریسک
۱	عدم پیش‌بینی لوله کشی گاز	طراحی	۱۶	عدم احساس استقامت سازه‌ها(روانی)	بهره-برداری
۲	عدم پیش‌بینی کولر آبی و گازی	طراحی	۱۷	عدم وجود راه پله به پشت بام	بهره-برداری
۳	اشکال در طراحی فلاشینگ‌ها	طراحی	۱۸	نصب اشیا سنگین بر روی دیوارها	بهره-برداری
۴	مشکل سرمایش در واحدهای بزرگ	طراحی	۱۹	اجرای سرامیک دیواری با چسب	بهره-برداری
۵	پشتوانه‌ی علمی ناکافی آئین نامه‌های طراحی	طراحی	۲۰	گرمای بیش از حد داخل ساختمان	بهره-برداری
۶	محدودیت در طراحی ساختمان با طبقات بالا، دستک‌ها و	طراحی	۲۱	شکستن گچ برگ‌ها در اثر برخورد دانش آموزان با دیوار	بهره-برداری
۷	در نظر گرفتن اتصالات پیچ و مهره به صورت مفصلی	طراحی	۲۲	سفت شدن پنجره‌ها به مرور زمان	بهره-برداری
۸	اجرای غلط کانال انتقال آب و شکستن آن در هنگام برف سنگین	اجرا	۲۳	اشکال در عایق بندی نماهای خشک	بهره-برداری
۹	اجرای غلط شیب کانال انتقال آب	اجرا	۲۴	تخریب پذیری نمای خشک	بهره-برداری
۱۰	خطر آتش سوزی هسته‌ی عایق	اجرا	۲۵	صدا دادن دیوارها	بهره-برداری
۱۱	اجرای ناهماهنگ سرامیک چسبی	اجرا	۲۶	عایق صوتی دیوارها	بهره-برداری
۱۲	اشکال در اجرای فلاشینگ	اجرا	۲۷	آب بندی ضعیف پنجره‌ها	بهره-برداری
۱۳	عدم ثبات شغلی نیروهای اجرایی	اجرا	۲۸	ترک خوردن دیوار در محل لوله‌های برق	بهره-برداری
۱۴	عدم رتبه بندی پیمان کاران اجرایی	اجرا	۲۹	آسیب پذیری عایق رطوبتی در پروژه‌های اضافه طبقه	بهره-برداری
۱۵	عدم وجود نظارت تخصصی	اجرا			

از ۲۹ ریسک اجرایی شناسایی‌شده، می‌توان ۷ ریسک را مربوط به مرحله‌ی طراحی، ۸ ریسک را مربوط به مرحله‌ی اجرا و ۱۴ ریسک را مربوط به مرحله‌ی بهره‌برداری درنظر گرفت.

۴-۳ شناسایی ریسک‌های اقتصادی سازه‌های ال‌اس‌اف

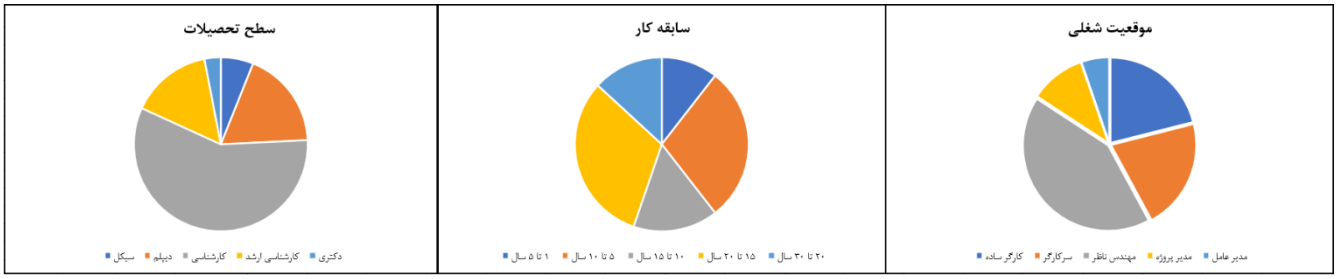
سازه‌های ال‌اس‌اف را می‌توان در زمره‌ی پروژه‌های ساخت تلقی نمود و ریسک‌های اقتصادی یکسانی برای آن‌ها در نظر گرفت. در جدول ۳ ریسک‌های اقتصادی پروژه‌های ساخت معرفی شده‌است[۶،۳۶،۳۷،۳۸،۳۹،۴۰،۴۲،۴۳].

جدول ۳ : ریسک‌های اقتصادی شناسایی شده

ردیف	نام ریسک	ردیف	نام ریسک
1	نرخ تورم	13	ناتوانی پیمان کار جز
2	نرخ بهره	14	ضمانت نامه‌های بانکی
3	اتفاقات اقتصادی اثرگذار	15	عدم وجود منابع و کارگر فنی
4	بی اعتباری بیمه	16	نقص در جمع‌آوری اطلاعات
5	فساد مالی	17	شرایط زمین پروژه
6	شرایط زیربنایی اثرگذار	18	مخالفت عوامل تاریخی
7	بی‌ثباتی دولت	19	نقص در قراردادها
8	مخالفت‌های سیاسی	20	اعتصاب کارگرها
9	عوامل فرهنگی	21	شرایط بازار محصول
10	مجوزهای دولتی	22	بالا بودن هزینه نگهداری
11	ارتباط ناکارآمد شرکا	23	شرایط جغرافیایی
12	وجود تاخیرات	24	بالا رفتن هزینه‌ها

۴-۴ تعیین ریسک‌های مؤثر در فرآیند مونت‌کارلو

همان‌طور که اشاره شد، ۲۹ ریسک اجرایی و ۲۴ ریسک اقتصادی در ارتباط با سازه‌های ال‌اس‌اف شناسایی شد. برای تعیین ریسک‌های مؤثر، نظر افراد خبره بوسیله‌ی پرسش‌نامه، جمع‌آوری گردید. افراد خبره شامل ۳۸ نفر از افراد تیم اجرایی کارفرما بودند. مطابق با پژوهش احمدی و همکاران[۶۲] این افراد بر اساس سه عامل سطح تحصیلات (از دیپلم تا دکتری)، سابقه‌ی کار (از ۱ تا ۳۰ سال) و موقعیت شغلی (از کارگر ساده تا مدیرعامل) طبقه‌بندی و رتبه‌بندی شدند. در این روش حداقل و حداکثر امتیار هر حالت ۱ تا ۵ می‌باشد و امتیاز نهایی افراد بین ۳ تا ۱۵ می‌باشد. میانگین افراد مصاحبه شونده برابر با ۴۳۰ بدست آمد که ۰,۷۵ کل امتیاز می‌باشد(۰,۷۵= (۱۵ × ۴۳۰/(۳۸). در شکل (۲) طبقه‌بندی افراد مصاحبه‌شونده بر اساس سه عامل سطح تحصیلات، سابقه‌ی کار و موقعیت شغلی گزارش شده-است. با توجه به امتیاز کسب‌شده توسط افراد خبره و هم‌چنین بررسی پژوهش‌های مشابه، می‌توان نتیجه گرفت که تعداد افراد مصاحبه-شونده کافی می‌باشند.



شکل ۲: طبقه‌بندی افراد مصاحبه‌شونده براساس روش ارائه‌شده توسط احمدی و همکاران [۶۲]

پس از تکمیل پرسش‌نامه‌ها و محاسبه‌ی فاکتور ریسک، ریسک‌های با فاکتور ریسک بالاتر از (۲۵۰ <RPN< ۱۰۰۰) به عنوان ورودی در روش مونت‌کارلو در نظر گرفته شدند. ریسک‌های مورد نظر با توجه به نوع روش تأمین مالی در جدول ۴ آورده شده اند. ریسک-هایی که در جدول ۴ آورده نشده‌اند دارای فاکتور ریسک کم‌تر از ۲۵۰ بوده و در محاسبات لحاظ نشده‌اند. هم‌چنین ریسک‌هایی که در یک ردیف از جدول با خط‌تیره نشان داده شده‌اند، به این معنی می‌باشد که برای آن روش تأمین مالی آن ریسک دارای فاکتور ریسک کم‌تر از ۲۵۰ می‌باشد و در محاسبات آن روش لحاظ نمی‌شوند.

جدول۴ : ریسک‌های موثر در روش‌های تأمین مالی (دارای فاکتور ریسک بالاتر از ۲۵۰)

ریسک	وام	مشارکت	سرمایه گذاری	اوراق بهادار	BOT
ریسک های اجرایی					
گرمای بیش از حد داخل ساختمان	×	-	×	×	-
عدم رتبه بندی پیمان کاران اجرایی	×	×	-	-	-
عدم وجود نظارت تخصصی	-	×	×	-	×
عدم ثبات شغلی نیروهای اجرایی	×	-	-	×	×
عدم احساس استقامت سازه ها(روانی)	×	×	×	×	×
نصب اشیا سنگین بر روی دیوارها	×	×	×	×	×
محدودیت در طراحی ساختمان با طبقات بالا، دستک ها و	-	-	×	×	×
عایق صوتی دیوارها	×	×	×	×	×
تخریب پذیری نمای خشک	×	×	×	×	×
ریسک های اقتصادی					
ریسک	وام	مشارکت	سرمایه گذاری	اوراق بهادار	BOT
نرخ تورم	×	×	-	×	×
نرخ بهره	×	-	-	×	×
فساد مالی	×	×	×	×	×
مجوزهای دولتی	×	-	×	×	-
ناتوانی پیمان کار جز	-	-	×	×	×
ضمانت نامه های بانکی	×	-	-	-	
نقص در قراردادها	-	-	-	-	×
بالا رفتن هزینه ها	×	-	×	×	-

۴-۵ تأثیر ریسک‌های مؤثر در هر روش

اثر ریسک‌های اجرایی به‌صورت افزایش در هزینه تعمیر و نگهداری (به‌ازای هر ریسک ۵ درصد) و اثر ریسک‌های اقتصادی به‌صورت افزایش در هزینه ساخت (مجموع افزایش هر یک از ریسک‌های اقتصادی) اعمال شده‌است. درجدول ۵ اثر هر ریسک (درصد افزایش هزینه و مجموع آن) بر هر یک از روش‌های تأمین مالی بیان شده‌است.

جدول ۵: درصد افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ساخت در هر یک از روش‌ها

	تأثیر ریسک اجرایی				تأثیر ریسک اقتصادی							
روش	تعداد ریسک مؤثر	درصد افزایش هزینه تعمیر و نگهداری	نرخ تورم	نرخ بهره	مجوزها	فساد مالی	ضمانت‌نامه‌های بانکی	بالارفتن هزینه‌ها	ناتوانی پیمان‌کار جز	نقص در قراردادها	درصد افزایش هزینه ساخت
وام	7	35	20	26	0.1	0.1	0.011	0.011	-	-	0.222
مشارکت	6	30	20	-	-	0.1	-	-	-	-	0.1
سرمایه‌گذاری	7	35	15	-	0.1	0.1	-	0.011	0.2	-	0.411
اوراق بهادار	7	35	20	22	0.1	0.1	-	0.011	0.2	-	0.411
B.O.T	7	35	20	-	-	0.1	-	-	0.2	0.011	0.311

۴-۶ تعیین پارامترهای ثابت هر روش تأمین مالی

در جدول ۶ مشخصات مقادیر پارامترهای ورودی مدل برای هر روش آورده‌شده‌است. مواردی که در جدول ۶ اشاره نشده‌است، برای همه‌ی روش‌ها یکسان خواهد بود و مانند جدول ۱ می‌باشد (موارد رنگی‌شده، در هر روش نسبت به جدول ۱ تغییر کرده‌اند). برای روش اول فرض شده‌است از وام بانکی به مبلغ ۴۰۰ میلیارد ریال با سود ۲۱ درصد و بازپرداخت ۳۰ ساله استفاده گردد. در این صورت بازپرداخت اصل وام در طی ۳۰ سال و سود وام بر مبنای عدم قطعیت ایجادشده (مطابق جدول ۷) تعیین می‌گردد. در روش مشارکت شرکت خصوصی، با مشارکت ۱۰۰ درصد و مالکیت ۵۰ درصد مجموعه، حاضر به انجام پروژه می‌باشد (تهاتر). در این صورت هزینه ساخت پرداخت نمی‌شود و فقط هزینه‌ی مجوزها به‌عهده‌ی کارفرما می‌باشد که معادل ۱۰ میلیارد ریال است. در مقابل آن دریافتی سالانه، تعرفه استفاده از خدمات و هزینه تعمیر و نگهداری به‌دلیل مالکیت ۵۰ درصدی پروژه نصف می‌گردد. در روش سوم نیز شرکت سرمایه‌گذار با سرمایه‌گذاری ۱۰۰ درصد و با شرط فروش مجموعه به قیمت ۱۶۰۰ میلیارد ریال حاضر به همکاری می‌باشد. سود حاصل به صورت مساوی تقسیم خواهد شد. در این روش نیز هزینه ساخت پرداخت نمی‌شود و فقط هزینه‌ی مجوزها به‌عهده‌ی کارفرما می‌باشد که معادل ۱۰ میلیارد ریال است. در مقابل آن دریافتی سالانه و تعرفه استفاده از خدمات به‌دلیل مالکیت ۵۰ درصدی پروژه نصف می‌گردد ولی هزینه تعمیر و نگهداری تغییر نمی‌کند.

در روش چهارم فرض شده‌است فروش اوراق بهادار به مبلغ ۳۰۰ میلیارد ریال با سود ۱۷ درصد و بازپرداخت ۳۰ ساله صورت گردد (تخمینی). در این صورت بازپرداخت اصل اوراق در طی ۳۰ سال و سود اوراق بر مبنای عدم قطعیت ایجادشده (مطابق جدول ۷) تعیین می‌گردد. در روش B.O.T شرکت سرمایه‌گذار خارجی به صورت مشارکت ۱۰۰ درصد و اجاره ۴۰ ساله حاضر به اجرای پروژه می‌باشد. در این روش نیز هزینه ساخت پرداخت نمی‌شود و فقط هزینه‌ی مجوزها به‌عهده‌ی کارفرما می‌باشد که معادل ۱۰ میلیارد ریال است. در این صورت تمامی مالکیت‌های موجود برای کارفرما، ۶۰ ساله خواهد بود (در این روش اثر استهلاک بنا دیده نشده‌است).

جدول ۶: پارامترهای ورودی در هریک از روش‌های تأمین مالی

پارامتر	نماد	وام	مشارکت	سرمایه‌گذاری	اوراق بهادار	B.O.T
وام	D	۴۰۰ میلیارد ریال	-	-	۳۰۰ میلیارد ریال	-
بازپرداخت وام سالانه	REP	۱۳,۳ میلیارد ریال	-	-	۱۰ میلیارد ریال	-
نرخ بهره بانکی	R_K	۲۱(۲۶)	-	-	۱۷(۲۲)	-
هزینه ساخت	COR	۸۰۰ میلیارد ریال	۱۰ میلیارد ریال	۱۰ میلیارد ریال	۸۰۰ میلیارد ریال	۱۰ میلیارد ریال
دریافتی سالانه سرمایه‌گذار	REV	۱۲۰ میلیارد ریال	۶۰ میلیارد ریال	۱۶۰ میلیارد ریال	۱۶۰ میلیارد ریال	۱۲۰ میلیارد ریال
تعرفه استفاده از خدمات	P_t	۸۰۰ میلیون ریال	۴۰۰ میلیون ریال	۴۰۰ میلیون ریال	۸۰۰ میلیون ریال	۸۰۰ میلیون ریال
هزینه تعمیر و نگهداری	COM	۸ میلیارد ریال	۴ میلیارد ریال	۸ میلیارد ریال	۸ میلیارد ریال	۸ میلیارد ریال
زمان بهره‌برداری	N	-	-	-	-	۶۰ سال

۴-۷ تأثیر ریسک‌ها بر عدم قطعیت پارامترهای مدل

ریسک‌های مؤثر در هر روش تأمین مالی سبب ایجاد عدم قطعیت در آن‌ها می‌گردند. این عدم قطعیت با توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص تعیین می‌شود. این بدان معناست که پارامتر دارای عدم قطعیت مقدار ثابتی را نخواهد داشت و در هر مرحله از شبیه‌سازی مقدار آن تغییر می‌کند. میانگین توزیع نرمال برای پارامترهای دارای عدم قطعیت با توجه به جداول ۵ و ۶ تعیین می‌گردد. انحراف معیار پارامترهای دارای عدم قطعیت با فرض این‌که تغییر درصدی پارامتر در حدود ۹۵ درصد توزیع نرمال قرار گیرد، تعیین می‌گردد. در جدول ۷ پارامترهای دارای عدم قطعیت و مقادیر میانگین و انحراف معیار آن‌ها برای هر روش معرفی شده‌است و پارامترهایی که دارای میانگین و انحراف معیار نیستند، دارای مقدار ثابت و مشخص خواهند بود.

جدول۷: میانگین و انحراف معیار برای پارامترهای دارای عدم قطعیت

ریسک		نرخ تورم			نرخ بهره			هزینه تعمیر و نگهداری			هزینه ساخت		
روش		مقادیر پارامتر	میانگین	انحراف معیار	مقادیر پارامتر	میانگین	انحراف معیار	مقادیر پارامتر	میانگین	انحراف معیار	مقادیر پارامتر	میانگین	انحراف معیار
وام	مقدار اصلی	۱۵	20	1.02	۲۱	26	1.33	۸	10.8	0.55	۸۰۰	801.78	40.91
	مقدار افزایش‌یافته/ درصد افزایش	۲۰			۲۶			۳۵			۰,۲۲۲		
مشارکت	مقدار اصلی	۱۵	20	1.02	۰	-	-	۸	10.4	0.53	۱۰	10.01	0.51
	مقدار افزایش‌یافته/ درصد افزایش	۲۰			۰			۳۰			۰,۱		
سرمایه‌گذاری	مقدار اصلی	۱۵	-	-	۰	-	-	۴	5.4	0.28	۱۰	10.04	0.51
	مقدار افزایش‌یافته/ درصد افزایش	۱۵			۰			۳۵			۰,۴۱۱		
اوراق بهادار	مقدار اصلی	۱۵	20	1.02	۱۷	22	1.12	۸	10.8	0.55	۸۰۰	803.29	40.98
	مقدار افزایش‌یافته/ درصد افزایش	۲۰			۲۲			۳۵			۰,۴۱۱		
B.O.T	مقدار اصلی	۱۵	20	1.02	۰	-	-	۸	10.8	0.55	۱۰	10.03	0.51
	مقدار افزایش‌یافته/ درصد افزایش	۲۰			۰			۳۵			۰,۳۱۱		

همان‌طور که از جدول ۷ مشخص است چهار پارامتر نرخ تورم (درصد)، نرخ بهره (درصد)، هزینه تعمیر و نگهداری (میلیارد ریال) و هزینه ساخت (میلیارد ریال) دارای عدم قطعیت می‌باشند و در روش‌هایی که این ریسک‌ها مهم شناخته شوند در هر مرحله بوسیله‌ی توزیع نرمال برآورد می‌شوند.

۴-۸ محاسبه‌ی نرخ بازده داخلی

پس تعیین پارامترهای هر روش، معادله‌ی (۷) تشکیل می‌گردد. مقدار پارامترهای ثابت در هر روش در معادله قرار داده‌شده و پارامترهای متغیر، با میانگین و انحراف معیار از توزیع نرمال نمونه‌گیری می‌شوند و برای هر روش ۱۰۰۰۰ مرتبه معادله حل می‌گردد و به‌این ترتیب به‌ازای هر روش، ۱۰۰۰۰ نرخ بازده داخلی بدست می‌آید.در جدول ۸ مشخصات آماری نرخ بازده داخلی هر روش آمده‌است.

جدول ۸: مشخصات آماری نرخ بازده داخلی بدست‌آمده در شبیه‌سازی برای هر روش

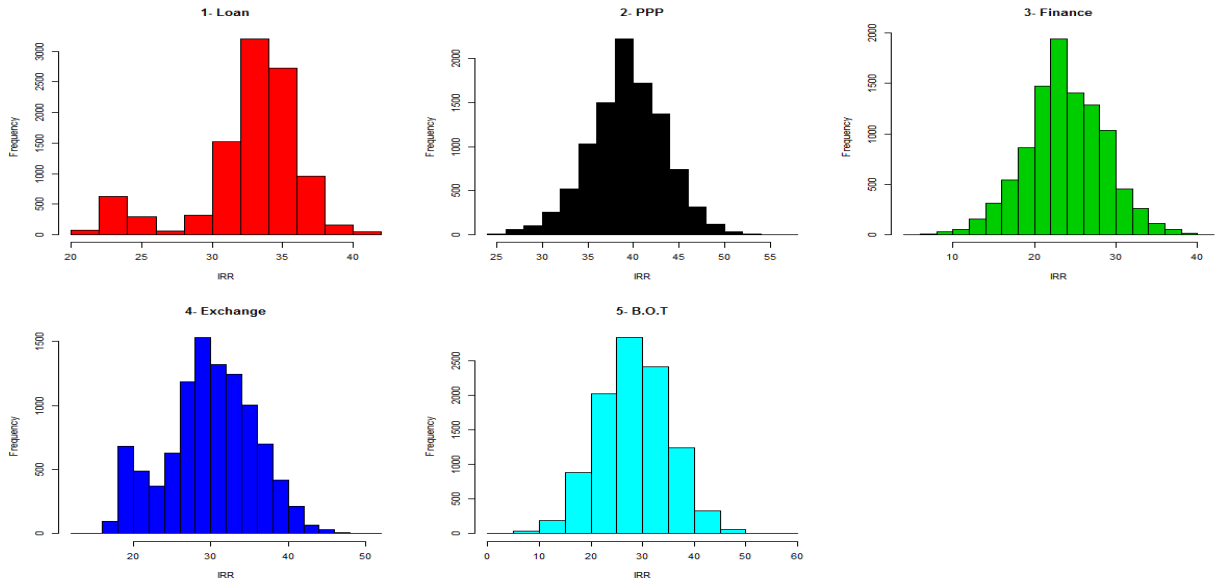
پارامتر	وام	مشارکت	سرمایه‌گذاری	اوراق بهادار	B.O.T
حداقل	20.11	25.74	5.43	12.19	3.99
حداکثر	41.70	57.18	40.69	51.19	55.18
انحراف معیار	3.68	4.09	4.77	5.81	6.75
میانه	33.36	39.32	23.52	30.02	28.29
میانگین	32.65	39.37	23.77	29.83	28.35

هیستوگرام بدست‌آمده برای مقادیر IRR محاسبه‌شده در ۱۰۰۰۰ بار تکرار در شکل (۳) آمده‌است.

۵- بحث در نتایج

۵-۱ بررسی ریسک‌های اجرایی

ریسک‌های فوق، با توجه به نظر افراد خبره مشخص گردید. در ارتباط با ریسک‌های اجرایی می‌توان این‌گونه توجیه نمود که ریسک‌هایی که در کیفیت نهایی محصول مؤثر هستند، اهمیت بیش‌تری دارند (ریسک‌های ۱، ۵، ۶، ۸، ۹). هم‌چنین می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های مشارکت و سرمایه‌گذاری از نظر اجرایی ریسک کم‌تری را به کارفرما اعمال می‌کنند و در حقیقت ریسک را بین کارفرما و سرمایه‌گذار تقسیم می‌کنند. به‌همین دلیل ریسک‌های ۲،۱ و ۴ در یکی یا هر دو روش اثر ندارند. ریسک عدم وجود نظارت تخصصی (ریسک ۳) در روش‌های وام و اوراق‌بهادار اثر ندارد. دلیل این را می‌توان در اختیار بیش‌تر کارفرما در این دو روش در اجرای پروژه و امکان وجود تیم نظارت توسط کارفرما توجیه نمود. هم‌چنین ریسک محدودیت در طراحی ساختمان با طبقات زیاد (ریسک ۷)، می‌تواند این که سوددهی پروژه پایین بیاید، را القاکند (به‌دلیل کاهش تراکم ساختمانی و عدم استفاده از حداکثر ظرفیت زمین) و به‌همین دلیل در روش‌های اوراق‌بهادار، سرمایه‌گذاری و B.O.T اثرگذار شده‌است. اثرگذار نبودن این ریسک در روش وام را می‌توان عدم به تمایل کارفرما به استفاده از حداکثر ظرفیت زمین به دلیل کمبود منابع مالی توجیه نمود. در ارتباط با روش مشارکت نیز می‌توان گفت تقسیم ریسک بین کارفرما و سرمایه‌گذار باعث کاهش شدت ریسک شده‌است.



شکل ۳: هیستوگرام بدست‌آمده برای مقادیر IRR محاسبه‌شده در ۱۰۰۰۰ بار تکرار

۵-۲ بررسی ریسک‌های اقتصادی

نتایج جدول ۵ در تأیید یافته‌های جین[۶] و اسمان و همکاران[۵] نشان می‌دهد که با مشارکت، ریسک‌های اقتصادی کاهش می‌یابد. علت اصلی این امر نیز در عدم دخالت کارفرما در فرآیند ساخت و تأمین منابع مالی می‌باشد. به عنوان مثال نرخ بهره در روش مشارکت اثرگذار نیست. ریسک فساد مالی (ریسک ۳) با توجه به فضای اقتصادی ایران، در تمام روش‌ها مشاهده شد که می‌تواند به‌عنوان یک موضوع مستقل در پژوهش‌های آتی بررسی گردد. ریسک مجوزهای دولتی (ریسک ۴) نیز به مشابه ریسک‌های قبل در روش مشارکت اثرگذار نیست. هم‌چنین چون در قراردادهای B.O.T معمولا مجوزهای دولتی به‌عهده‌ی کارفرما می‌باشد، اثر این ریسک خنثی می‌شود که می‌توان در تأیید نتیجه‌ی پژوهش عسگری و شکری‌زاده[۴۸] آن را ذکر نمود.

ریسک ناتوانی پیمان‌کار جز (ریسک ۵) در روش‌های وام و مشارکت اثر ندارد که علت آن را می‌توان به قدرت بالای کارفرما در روش‌های وام و مشارکت اشاره کرد[۶]. ریسک ضمانت‌نامه‌های بانکی (ریسک۶) در ورش وام فقط اثر دارد که علت آن تقاضای ضمانت‌نامه‌های داخلی و خارجی از سوی نهادهای وام‌دهنده می‌باشد[۴]. ریسک نقص در قراردادها (ریسک ۷) فقط در روش B.O.T مؤثر است که علت آن پیچیده و جدید بودن این قراردادها در ایران می‌باشد[۴۸]. ریسک بالارفتن هزینه‌ها (ریسک۸) در روش مشارکت اثر ندارد که علت آن، همان تقسیم و کاهش ریسک توسط کارفرما می‌باشد. تفاوت این ریسک با تورم در غیرقابل پیش‌بینی بودن ریسک می‌باشد و این ریسک، هزینه‌های غیرقابل پیش‌بینی را شامل می‌شود[۴۹].

۵-۳ تحلیل نرخ بازده داخلی در روش‌های مختلف تأمین مالی

همانند فاز ۱ پروژه، در فاز ۲ هم، روش مشارکت، حداکثر سود را مطابق محاسبات مدل، خواهدداشت. در مورد روش وام می‌توان گفت چون نرخ بهره وام از نرخ بازده داخلی کم‌تر می‌باشد، هر چه میزان وام بیش‌تر شود نرخ بازده داخلی پروژه افزایش می‌یابد. در صورتی که کارفرما نخواهد از روش مشارکت استفاده کند، می‌تواند با افزایش میزان وام نرخ بازده داخلی روش را افزایش دهد. در روش مشارکت، چون کارفرما هزینه‌ای انجام نمی‌دهد، ریسک اقتصادی کم‌تری متحمل می‌شود. به همین علت نرخ بازده داخلی حداکثر شده‌است. در این حالت ۵۰ درصد املاک متعلق به کارفرما می‌باشد (تهاتر) که با توجه به خارج نشدن جریان مالی از کارفرما، بسیار مورد نظر و مطلوب می‌باشد. در روش سرمایه‌گذاری ریسک‌های بیش‌تری به کارفرما متحمل می‌شود. به‌علاوه به دلیل تقاضای سود بالای شرکت‌های سرمایه‌گذار، نرخ سود کارفرما پایین می‌آید. ایراد دیگری که به این روش می‌توان وارد دانست، قیمت‌گذاری بالا شرکت پیمان‌کار می‌باشد که ممکن است نارضایتی مصرف‌کننده را به‌همراه داشته‌باشد. روش اوراق بهادار، مشابه روش وام می‌باشد و فقط ریسک ضمانت‌نامه‌های بانکی از بین می‌رود. به دلیل اینکه میزان سپرده ناشی از اوراق‌بهادار (تخمینی) کم‌تر از روش وام می‌باشد، نرخ بازده داخلی از روش وام، کم‌تر بدست آمد. روش B.O.T مشابه روش مشارکت، به دلیل خارج نشدن جریان نقدی، مطابق میل کارفرما می‌باشد اما اجاره‌ی ۴۰ ساله مجموعه نرخ بازده داخلی را کاهش داده‌است. درمجموع می‌توان نتیجه گرفت مشارکت‌های اقتصادی با منابع خارجی، نرخ بازده بسیار کمی برای کشور دارند.

بررسی شکل (۳) نشان می‌دهد که روش‌های وام و اوراق بهادار که در آن‌ها ریسک نرخ بهره علاوه بر ریسک تورم و هزینه‌ها مؤثر می‌باشد، پراکندگی جواب‌های بیش‌تری نسبت به سه روش دیگر دارند و مقادیر بازده داخلی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. این امر نشان‌دهنده‌ی وجود فضای عدم قطعیت بیش‌تر در این دو روش می‌باشد و ممکن است محاسبات مدل با فرض توزیع‌هایی غیرنرمال مانند توزیع نمایی نتایج بهتری را نشان دهد.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سازه‌های ال‌اس‌اف معرفی شدند و مزایا و معایب آن‌ها بررسی شد. در این پژوهش ۲۹ ریسک اجرایی مربوط به مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری و ۲۴ ریسک اقتصادی برای سیستم ال‌اس‌اف درنظر گرفته‌شد. پنج روش تأمین مالی شامل وام، مشارکت بخش خصوصی، سرمایه‌گذاری خارجی، اوراق بهادار و B.O.T برای پروژه‌های انبوه‌سازی ال‌اس‌اف در نظر گرفته‌شد.

در این پژوهش مدلی ارائه شد که بر مبنای احتمال وقوع ریسک و پیامد ریسک، فاکتور ریسک را محاسبه می‌کند. ورودی‌های این مدل بر مبنای پرسش‌نامه تهیه می‌گردد و و به ازای هر روش تأمین مالی، یک فاکتور ریسک محاسبه می‌کند. سپس با توجه به هزینه‌ها و درآمدهای پروژه و حل معادله ارزش خالص مالی پروژه، نرخ بازده داخلی پروژه را محاسبه می‌نماید. برای حل، از شبیه‌سازی و روش مونت-کارلو استفاده شد و مقدار نرخ بازده داخلی با بیش‌ترین تکرار به عنوان جواب درنظرگرفته شد.

مطالعه موردی این پژوهش، فاز دو پروژه مسکن‌مهر شهرک مهرگان مشهد می‌باشد. سیستم پیشنهادی پروژه، سیستم سازه‌ای ال‌اس‌اف می‌باشد. در این پژوهش مناسب‌ترین پیشنهادهای شرکت‌های خارجی و داخلی برای هر روش تأمین مالی بررسی شد و پس از ساده‌سازی فرضیات، نرخ بازده داخلی پروژه برای هر روش محاسبه شد. روش مشارکت بخش خصوصی با نرخ بازده داخلی ۳۹,۳۷ درصد، به عنوان مناسب‌ترین روش پیشنهاد شد و پس از آن به‌ترتیب روش‌های وام، اوراق بهادار، B.O.T و سرمایه‌گذارای نرخ بازده داخلی بهتری دارند.

با وجود مطالعه موردی بودن این پژوهش، یافته‌های آن با در نظر گرفتن محدودیت‌های پروژه‌ی مورد مطالعه، از جمله معافیت از مالیات، نداشتن سایر درآمدها در مدل و نبود اجاره زمین، برای پروژه های دیگری که قصد استفاده از این سیستم سازه‌ای را دارند، قابل استفاده بوده و به سبب یافتن ریسک‌های این سیستم در هر سه مرحله طراحی، ساخت و بهره برداری و نیز در نظر گرفتن تقریبا تمامی روش‌های مرسوم تامین مالی برای پروژه‌هایی در این سطح، ابزار قدرتمندی را برای تصمیم گیری در انتخاب روش تأمین مالی پروژه در اختیار کارفرما قرار می‌دهد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از کلیه‌ی نیروهای اداری فاز دوم پروژه‌ی مسکونی شهرک مهرگان مشهد که با در اختیار نهادن اطلاعات مربوط به فاز دوم پروژه، با ما همکاری نمودند قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. (۱۳۹۱). *آیین نامه طراحی و اجرای سازه‌های فولادی سرد نورد(بخش سازه)*. نشریه شماره۶۱۲.

[2] کمیته‌ی تدوین آیین نامه‌ی ۶۱۲ و ۶۱۳ سازمان نظام فنی و اجرایی کشور، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. (۱۳۹۳). *دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم ساختمانی سبک فولادی*. انتشارات دانشگاه شیراز.

[3] The European Light Steel Construction Association (LSK). (2005). *European Lightweight Steel-framed Construction*. Luxemburg: LSK Arcelor.

[4] Yescombe, E,R. (2014). *Principles of Project Finance*. 2nd Edition. USA: Elsevier, pp. 367-421.

[5] Osman, h. El-Gohary, N. El-Diraby, T. (2006).Stakeholder management for public private partnerships. *International Journal of Project Management*, Volume 24(7).

[6] JIN, X.H. (2010). Determinants of Efficient Risk Allocation in Privately Financed Public Infrastructure Projects in Australia. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*, Volume 136(2), pp. 138-150.

[7] M. Cabrera. A.Suarez-Alem. L Trujillo. (2015). Public Private Partnerships in Spanish Ports: Current status future prospects. *Utilities Policy*, pp 1-11.

[8] V. Subramanian, K. (2016). Law and Project Finance. *Journal of Financial Intermediation*, Volume 25, pp. 154-177.

[9] Laila Mohamed Khodeir. Ahmed Hamdy Mohamed Mohamed. Identifying the latest risk probabilities affecting construction projects in Egypt according to political and economic variables.From January 2011 to January 2013. *Housing and Building National Research Center*. vol 11, pp. 129–135 (2015).

[10] Baozhuang, Niu; Jie, Zhang. (2014). Price, capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty. *transportation research*.

[11] Höglund, T., and Burstrand, H. (1998). Slotted steel studs to reduce thermal bridges in insulated walls. *Thin-Walled Struc.*, 32(1-3): pp. 81–109

[12] Burstrand, H. (1998). Light-gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing. *J. Constr. St. Res.* 46(1–3), pp. 183–6.

[13] Mahdavinejad, M. Hajian, M. Doroodgar A. (2011). Role of LSF technology in economic housing for urban Sustainability; case of Iran. *Procedia Engineering*. Vol 21.

[14] Mahdavinejad, M., Hajian, M., and Doroodgar, A. (2012). Modeling of LSF Technology in Building Design & Construction Case-study: Parand Residential Complex Iran. *Adv. Mat. Res*. 341-342: pp. 447-451.
[15] یگانه، علی. شریعتمدار، هاشم. (۱۳۹۶). شناسایی ریسک های مراحل طراحی، اجرا و ساخت در سازه های LSF . *نشریه مهندسی سازه و ساخت*. دوره ۴ شماره ۴.
[16] Dosumu, O., and Aigbavboa, C. O. (2018). Adoption of light steel (LS) for building projects in South Africa. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 16(5), 711-733.

[17] Dudas, A. (2003). Light Steel Structures in residential house construction. *Period. Polytech. Ser.* 47(1): pp. 133–136.
[18] Fallah, M.H. (2005). Sustainable building construction. *World Sustainable Building Conference*. Tokyo.
[19] Soares, N., Santos, P., Gervásio, H., Costa, J.J., and Simões da Silva, L. (2017). Energy efficiency and thermal performance of lightweight steel-framed. (LSF) construction: A review. *Ren. Sus. Ene. Rev.* 78; pp. 194–209.
[20] Gerami, M. Lotfi, M.Nejat R. (2015). Inelastic behavior of cold-formed braced walls under monotonic and cyclic loading. *International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE).*
[21] EsmaeiliNiari, S., Rafezy, B., and Karim, A. (2015). Seismic behavior of steel sheathed cold-formed steel shear wall: Experimental investigation and numerical modeling. *Thin-Walled Struc.* 96, pp. 337–347.
[22] Celik, T., and Kamali, S. (2018). Multidimensional Comparison of Lightweight Steel and Reinforced Concrete Structures: A Case Study. *Tehnicki Vjesnik*. 25(4).
[23] Veljkovic, M., and Johansson, B. (2006). Light steel framing for residential buildings. *Thin-Walled Struc.* 44(12), pp. 1272–1279.

[24] Davies, J.M. (2006). Light gauge steel cassette wall construction – theory and practice. *J. Constr. St. Res.* 62.

[25] Murtinho,V., and Ferreira, H. (2010). Architectural concept for multi-storey apartment building with light steel framing. *St. const*. 3(3), pp. 163-168.
[26] Schafer, B.W. (2011). Cold-formed steel structures around the world A review of recent advances in applications, analysis and design. *St. Const.* 4(3), pp. 141-149.
[27] Franklin, N., Heffernan, E., and McCarthy, T. (2020). The Case for Cold-Formed Steel Construction for the Mid-Rise Residential Sector in Australia: A Survey of International CFS Professionals. *Proc., ACMSM25*, Springer Singapore, 841-851.
[28] Gorgolewski, M. (2007). Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing. *Build. and Envir.*, 42(1), pp. 230–236.
[29] Trevathan, J.W., and Pearse, J.R. (2008). The effect of workmanship on the transmission of airborne sound through light framed walls. *App. Acoust.* 69, pp. 127-131.
[30] Lawson, R.M., and Ogden, RG. (2008). Hybrid light steel panel and modular systems. *Thin-Walled Struc.* 46, pp. 720–730
[31] Santos, P., Simões da Silva, L., Gervásio, H., and Lopes, A.G. (2010). Parametric analysis of the thermal performance of light steel residential buildings in Csb climatic regions. *J. Build. Phys.* 35(1), pp 7–53.
[32] Gomes, A.P., de Souza, H.A., and Tribess, A. (2013). Impact of thermal bridging on the performance of buildings using Light Steel Framing in Brazil. *App. Ther. Eng.* 52(1), pp. 84–89.
[33] Ariyanayagam,A,D. Mahendran,M. (2014). Numerical modeling of load bearing light gauge steel frame wall systems exposed to realistic design fires. *Thin-Walled Structures*.
[34] De Angelis, E., and Serra, E. (2014). Light steel-frame walls: thermal insulation performances and thermal bridges. *Ene. Proc.* 45, pp. 362-371.
[35] Paul, S., Radavelli, G., and da Silva, A.R. (2015). Experimental evaluation of sound insulation of light steel frame façades that use horizontal inter-stud stiffeners and different lining materials. *Buil. Env.* 94, pp. 829-839.
[36] Kang,C,C. Feng,C.M. (2009). Risk measurement and risk identification for BOT projects: A multi-attribute utility approach. *Mathematical and Computer Modelling*, Volume ۴۹ (9-10), pp. 1802–1815.
[37] Ke,Y. Wang,S. Chan,A.P.C. Lam,P.T.I. (2010). Preferred risk allocation in China‟s public–private partnership (PPP) projects. *International Journal of Project Management*, Volume 28 (5), pp. 482–492.
[38] Lam,K.C. Wang,D. Lee, P,T,K. Tsang,Y.T. (2007). Modelling risk allocation decision in construction contracts. *International Journal of Project Management,* Volume 25 (5), pp. 485–493.
[39] Khazaeni,G. Khanzadi,M; Afshar,A. (2012). Fuzzy adaptive decision making model for selection balanced risk allocation. *International Journal of Project Management*, Volume 30 (4), pp. 511–522
[40] KarimiAzari,A. Mousavi,N; Mousavi,S.F; Hosseini,S.B. (2011) Risk assessment model selection in construction industry. *Expert Systems with Applications*, Volume 38 (8), Page 9105 –9111.
[41] Grimsey,D; Lewis,M. (2002). Evaluating the risk of public private partnership for infrastructure projects. *International journal of project manajment*. 20, pp. 107-118.

[42] Lyer,K.C. Sagheer,M. (2010). Hierarchical Structuring of PPP Risks Using Interpretative Structural Modeling. JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, Volume 136 (2), pp. 151-159.
[43] Pantelias,A. Zhang,Zh. (2010). Methodological Framework for Evaluation of Financial Viability of Public-Private Partnerships: Investment Risk Approach. *JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS*, Volume 16 (4), pp. 241-250 .
[44] Richard, B. Istemi, D. (2017). Risk transfer and stakeholder relationships in Public Private Partnerships. *Accounting Forum*. 41(1).
[45] Li B. (2003). Risk management of public/private partnership projects. PhD thesis. School of the Built and Natural Environment. Glasgow Caledonian University.
[46] Jakukite, J. analysing ppp. (2012). master thesis, aarthus university.
[47] Lina, M. S. Carlos A. A. Jose L. P. (2016). A Proposal for Risk Allocation in Social Infrastructure Projects Applying PPP in Colombia. *Procedia Engineering*. 145.
[48] Askari, M. Shokrizade, H.R. (2014). An Integrated Method for Ranking of Risk in BOT Projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 109, pp. 1390-1394.
[49] Bromilow, Francis J. (1981). The impact of inflation and industrial strife on the construction industry in Australia. *Engineering Costs and Production Economics*,Volume 5, Issues 3–4.
[50] Zeng,J; An,M; Smith,N.J. (2007). Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International journal of project management*; 27, pp. 589-600.
[51] Rahman MM. Kumaraswamy MM. (2002). Risk management trends in the construction industry: moving towards joint risk management. *Eng Construct Archit Manage*, 9(2), pp. 131–51.
[52] Perez, David, Gray, Jason, Skitmore, Martin (2017) Perceptions of risk allocation methods and equitable risk distribution: a study of medium to large Southeast Queensland commercial construction projects. *International Journal of Construction Management*, *17*(2), pp. 132-141.
[53] Bilal M. Ayyub. (2003). Risk Analysis in Engineering and Economics". *CRC Press*.
[54] Abdelgawad,m.s. (2011). Hybrid decision support system for risk critically assessment & risk analysis; master thesis; University of Alberta.
[55] Chin,K.S; Wang,Y.M; Poon,G.K; Yang,J.B. (2009). failure mode & effects analysis using a grup-based evidential reasoning approach"; *Computer and operation research*, 36, pp. 1768-1779.
[56] Chang, K.H; Cheng,C.H; chang,Y.H. (2010). Reprioritization of failures in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique. *soft computering*; 14, pp. 285-298.
[57] Bassiony , Mohamed Sayed. El-Karim, Ahmed Abd. El Nawawy, Omar Aly Mosa. Abdel-Alim, Ahmed Mohamed. (2015). Identification and assessment of risk factors affecting construction projects. *Housing and Building National Research Center*.
[58] Fayek Aziz, Remon. (2013). Factors causing cost variation for constructing. wastewater projects in Egypt. Alexandria Engineering Journal, 52. Pp. 51–66.
[59] Dziadosz, Agnieszka. Rejment, Mariusz. (2015). Risk analysis in construction project - chosen methods. *Procedia Engineering*. V 122, pp. 258 – 265.
[60] Wang, M. Chou, H. (2003). Risk allocation and risk handling of highway projects in Taiwan. *Journal of Management in Engineering*. Volume19(2), pp. 60–68.
[61] Ashley, D. B. Diekmann, J. E. Molenaar, K. R. (2006). Guide to risk assessment and allocation for highway construction management. *Federal Highway Administration*, US Department of Transportation.
[62] Ahmadi, M. Behzadian, K. Ardeshir,A.Kapelan, Z. (2015). COMPREHENSIVE RISK MANAGEMENT USING FUZZY FMEA AND MCDA TECHNIQUES IN HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECTS. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, pp. 300-310
[63] Rivera,S.S; Mcleod,J.E; Nunez. (2009). recommendationsgenerated about a discountinus distillation plant of biofuel; *proceedings of the world congress on engineering, London*.
[64] Wibowo,A. S.M. Kochendörfer.B. (2005). Financial Risk Analysis of Project Finance in Indonesian Toll Roads. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*. pp. 963-972.
[65] Carbonara,N; Costantino,N; Pellegrino.R. (2014). Concession Period for Ppps: A Win -Win Model for a Fair Risk Sharing. *International Journal of Project Management*. 7, pp. 1223-1232
[66] Charles,Y.J. Cheah,J. (2006). Valuing governmental support in infrastructure projects as real options using Monte Carlo simulation; *Construction Management and Economics*, pp. 37-41.
[67] Salling,K.B; Leleur,S. (2011). Transport appraisal and Monte Carlo simulation by use of the CBA-DK model; *Transport Policy*; 18, pp. 236–245
[68] Montes,G.M; Prados Martin,E; Alegre Bayo,J; Ordonez ˜ Garcia,J. (2011). The applicability of computer simulation usingMonte Carlo techniques in windfarm profitability analysis; Renewable and Sustainable Energy Reviews; 15, pp. 4746–4755.
[69] Savvides, S. (1994). Risk analysis in investment appraisal; *beech tree*;1, pp. 3-18

[70] Arnold,U; Yildiz,O. (2015). Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures e A Monte Carlo Simulation approach; *Renewable Energy*.
[71] Taillandier, Franck. Taillandier, Patrick. Tepeli, Esra. Breysse, Denys. Mehdizadeh, Rasool. Khartabil, Fadi. (2015). A multi-agent model to manage risks in construction project (SMACC). Automation in Construction, V 58, pp. 1–18.
[72] Amigun,B; Petrie,D; Görgens,J. (2011). Economic risk assessment of advanced process technologies for bioethanol production in South Africa: Monte Carlo analysis; *Renewable Energy*; 36. Pp. 3178-3186.
[73] Li,C.B; Lu,G.S; Wu,S. (2013). The investment risk analysis of wind power project in China"; Renewable Energy; 50, pp. 481-487.
[74] Andreas M Svennebring, Jarl ES Wikberg. (2013) . Net present value approaches for drug discovery. Springerplus. 2: 140.
[75] Kadir Kuru & Deniz Artan. (2020). A canvas model for risk assessment and performance estimation in public–private partnerships mation in public–private partnerships. *International Journal of Construction Management* .20(6).
[76] Abdelgawad, M.; Fayek, A. (2010). Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. *Journal of Construction Engineering and Management*, V136(9): pp. 1028–1036.
[77] Hoff, P.D. (2009). A First Course in Bayesian Statistical Methods. *Springer-Verlag.* New York.
[78] Hongyu Jin, Shijing Liu, Chunlu Liu, Nilupa Udawatta. (2019). Optimizing the concession period of PPP projects for fair allocation of financial risk. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 26(10).