



ISSN: 2538-3809

فصلنامه علمی تخصصی

تازه‌ترین مهندسی

سال هفتم، شماره ۲ (پیاپی ۳۸)، تابستان ۱۴۰۱، جلد دو

ساخت و تحلیل دستگاه اندازه‌گیری و مقایسه ضربه کلت
محمد امین فرهمندفر، اصغر مهدیان

ارائه مدل ارزیابی روش‌های تامین منابع مالی پروژه‌های
بلندمدت به‌سازی با تلفیق آنتروپی شانون و تاپسیس فازی
امیرحسین معلمیان، مصطفی قاضی مرادی

مقایسه تطبیقی پوشش‌های پیش ساخته در نماهای
ساختمانی؛ مقایسه سیستم‌های چاپ سه بعدی و سنتی
لیلی زمانی، شایان شیرمحمدی، نیلوفر عرب زاده، علیرضا مشبکی
اصفهانی

تحلیل مسائل و چالش‌های امنیتی در اینترنت اشیاء
مهدی رضاتبار، یاسره یوسف تبار

کاربرد انواع آسفالت و الیاف آسفالتی در جاده‌ها و معابر
شهری و لزوم به کارگیری روش‌های نوین روسازی آسفالتی
در موارد تخریبی، تعمیر و نگهداری
امین رضائی



نشریه

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲۴۸۷ / ۰۲۶۴۴۴۵۳۱۳۱ / ۰۲۱۳۳۲۰۲۴۸۷
نشانی: کرج، آزادگان، ابتدای بلوار مطهری، کوچه شهید سنجابی، پلاک ۲۸، واحد ۴ کدپستی: ۳۱۳۳۹۵۲۵۹۵
www.NRES.ir @Shij.journals@gmail.com

چاپ

تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۳۹۳
انتشارات هنر و علوم دانشگاهی، تلفن: ۰۲۱۳۳۸۴۰۷۹۲

صاحب امتیاز و مدیر مسئول: امیر حسین یوسفی
زیر نظر شورای سردبیری
مدیر اجرایی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی و داوری تحریریه: (به ترتیب حروف الفبا)

- دکتر محمدعلی ارجمند، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- دکتر شهرزاد اسدی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر رضا افضل، عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
- دکتر علی جباری، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر نعمت حسینی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر راحله خادمیان، عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
- دکتر چنگیز دهقانپایان، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران
- دکتر علی رحمانی هنزکی، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- دکتر قدرت الله رودینی، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر مرتضی زیودار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر علی فروغی، عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز
- دکتر محمدحسین کاظمی، عضو هیئت علمی دانشگاه شاهد
- دکتر علی لکی روحانی، عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان
- دکتر سیدحمید هاشمی، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر هجیر کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه یاسوج

فراخوان پذیرش مقاله:

نشریه «پژوهش‌های نوین علوم مهندسی» توسط موسسه مطبوعاتی مطالعات کاربردی شباک و با همکاری علمی اساتید برجسته دانشگاه‌های کشور به انتشار مقالات علمی در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی می‌پردازد. از این‌رو از تمام اساتید، صاحب‌نظران، کارشناسان، دانشجویان و پژوهشگران دعوت می‌شود با ارسال مقالات علمی خود از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.Nres.ir در پربارتر کردن این نشریه، ما را یاری نمایند. برای ارسال مقاله کافی است تا در وبسایت ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید.

محورها و موضوعات پذیرش مقاله:

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| - مهندسی صنایع | - مهندسی برق و الکترونیک |
| - مهندسی عمران | - مهندسی انرژی و فیزیک |
| - مهندسی مکانیک | - مهندسی شیمی، نفت و پلیمر |
| - مهندسی معدن | - مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات |
| - مهندسی هوا فضا | - مبانی علوم مهندسی |
| - مهندسی مواد و متالورژی | - مدیریت دانش در علوم مهندسی |

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	ساخت و تحلیل دستگاه اندازه‌گیری و مقایسه ضربه کلت محمد امین فرهمندفر، اصغر مهدیان
۱۱	ارائه مدل ارزیابی روش‌های تامین منابع مالی پروژه‌های بلندمرتبه‌سازی با تلفیق آن‌تروپی شانون و تاپسیس فازی امیرحسین معلمیان، مصطفی قاضی مرادی
۲۳	مقایسه تطبیقی پوشش‌های پیش ساخته در نماهای ساختمانی؛ مقایسه سیستم‌های چاپ سه بعدی و سنتی لیلی زمانی، شایان شیرمحمدی، نیلوفر عرب زاده، علیرضا مشبکی اصفهانی
۳۱	تحلیل مسائل و چالش‌های امنیتی در اینترنت اشیاء مهدی رضاتبار، یاسره یوسف تبار
۳۹	کاربرد انواع آسفالت و الیاف آسفالتی در جاده‌ها و معابر شهری و لزوم به کارگیری روش‌های نوین روسازی آسفالتی در موارد تخریبی، تعمیر و نگهداری امین رضائی

ساخت و تحلیل دستگاه اندازه گیری و مقایسه ضربه کلت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰

کد مقاله: ۹۱۲۵۶

محمد امین فرهمندفر^{۱*}، اصغر مهدیان^۲

چکیده

در این پروژه ضمن بررسی نمونه دستگاه مقایسه‌ی ضربه کلت، با بررسی نیازهای موجود و طراحی جدید و بومی، یک نمونه با کارایی مد نظر ساخته شده است. طی این مقاله به اقدامات انجام شده و روند طی شده جهت رسیدن به این دستاورد پرداخته می‌شود. هدف این پروژه بررسی و ساخت تجهیزاتی جهت تست و مقایسه میان سلاح‌های کمری که در تمامی ارگان‌های نظامی مورد استفاده است، بوده دستاورد آن طراحی دستگاهی است که حداکثر ثبات و دقت را حفظ کرده و برای اکثر سلاح‌های گرم دستی قابل استفاده باشد و حداکثر دقت را در حداقل هزینه در اختیار قرار دهد. با جمع‌آوری داده‌هایی از تنها نمونه خارجی دستگاه و سپس بررسی ضربه ناشی از شلیک گلوله کالیبر ۹ میلی‌متر، طراحی مکانیزم‌های مد نظر و تحلیل در نرم‌افزار المان محدود انجام شده و در نهایت با هدف کاهش هزینه ساخت و تست نمونه اولیه روش تولید مناسب پیشنهاد گردیده است. این دستگاه کارایی‌های بسیار زیادی در حوزه تست و بهینه‌سازی سلاح‌های کمری داشته و به ارتقا عملکرد کلت‌ها کمک شایانی نموده است.

واژگان کلیدی: ضربه، روش تولید، کالیبر ۹، نرم افزار المان محدود، ارتقا، بهینه‌سازی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (نویسنده مسئول)
fmaf.farahmand@aut.ac.ir

۲- هیئت علمی دانشگاه مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر

۱- مقدمه

سلاح‌ها اهمیت بسیار بالایی در دفاع از شخص و یا جامعه دارند و در این میان سلاح‌های کمری نوعی بسیار متداول و دارای پیشینه‌ی طولانی‌تری هستند و همچنان جای خود را در میان سلاح‌های به روز حفظ کرده‌اند و به روز شده‌اند. برای ارتقا و یا بررسی میان انواع آن‌ها نیازمند تجهیز هیستیم تا بتوان به این مهم دست یافت. در این مقاله به بررسی و ساخت تجهیز هیستیم جهت تست و مقایسه میان سلاح‌های کمری پرداخته شده است که در تمامی ارگان‌های نظامی مورد استفاده بوده و هدف از این کار طراحی دستگاهی است که حداکثر ثبات و دقت را حفظ کرده و برای اکثر سلاح‌های گرم دستی قابل استفاده بوده و حداکثر دقت را در حداقل هزینه در اختیار قرار دهد. همه چیز به گونه‌ای طراحی شده که تیراندازی آزمایشی به صورت بی‌خطر، قابل حمل، دقیق و ساده باشد. این دستگاه به منظور رفع خطای انسانی اسلحه را به طور دقیق آزمایش می‌کند و یک شلیک کاملاً ایمن در آزمایش خواهد داشت. افتخار این را داریم که بگوییم در این زمینه تنها یک شرکت در دنیا عمل کرده است که شرکت «رنسوم رست»^۱ می‌باشد که نمونه خارجی امکانات بسیار محدودی نسبت به دستگاه ساخته شده دارد. در ابتدا می‌بایست گفت که منابع مورد بررسی برای این موضوع به پنج محدوده تقسیم می‌شود که عبارتند از: نیروها و فشارها، گلوله‌ها و کالیبرها، نمونه خارجی دستگاه، اجزا داخلی و روش‌های امان محدود با توجه به جدید و کاربردی بودن این وسیله بیشتر مطالب و مقالات در رابطه با تست‌های گرفته شده توسط این دستگاه به منظور طراحی، ارتقا و یا بهینه سازی سلاح‌های کمری است بنابراین در این مقاله بر اساس پژوهش‌های مورد نیاز در جهت طراحی و بومی سازی دستگاه، به ارائه پیشینه پژوهشی پرداخته شده است.

شرکت رنسوم رست در سال ۲۰۱۹ [۱] جزئیات طراحی خود را در قالب یک نمونه تولید انبوه به ارائه گذاشته تا علاوه بر ارگان‌های نظامی افرادی هم که به صورت شخصی دارای سلاح‌های کمری هستند قابلیت استفاده و بهره‌گیری عمومی از این دستگاه را داشته باشند. شرکت SMI^۲ که یک شرکت تولید انبوه انواع فنرهای مورد نیاز دنیا می‌باشد در سال ۱۹۹۱ طی پژوهش انجام شده و استفاده از تمامی ظرفیت‌های ساخت این شرکت [۲] منجر به انتشار کتاب استانداردهای طراحی و تولید انواع فنرهای صنعتی و خاص گردید. دیویدسون در سال ۲۰۱۶ طی کتابی [۳] به بررسی ضرائب مختلف دیسک‌های اصطکاکی در شرایط مختلف پرداخته و به ارائه تاثیر جنس دیسک‌های اصطکاکی در ضربه اصطکاک و روش ساخت آن‌ها اشاره نموده است. دنگ [۴] در سال ۲۰۱۴ طی مقاله‌ای به محاسبه تاثیر فشار و نیروی گلوله کالیبر ۹ به روش اجزا محدود ارائه نموده است. طی این پژوهش تاثیر خان اسلحه و فشار پشت گلوله مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. در سال ۱۹۸۰ ویلیامز [۵] در کتابی به معرفی دقیق انواع گلوله و مشخصات دقیق آن‌ها پرداخته است. از مشخصه‌های مهم هر گلوله که در این کتاب ذکر گردیده می‌توان به سرعت، وزن و میزان باروت موجود در گلوله علاوه بر ابعاد دقیق آن اشاره نمود. احمد [۶] طی پژوهشی در راستای تاثیرات دیسک‌های اصطکاکی در سال ۲۰۱۹ به طراحی دیسک‌های آلومینیومی و ترکیبات کامپوزیت فلزی در ساخت این دیسک‌ها اشاره نموده است. جاسک [۷] در سال ۲۰۰۶ به بررسی نیازهای ساختی و آنالیز سلاح‌های کمری تولید انبوه و تولیدات دستی پرداخته و مشخصات دقیق مورد نیاز در این پژوهش برای راه اندازی و کاربرد آن‌ها ارائه نموده است. روث و ماهر [۸] طی پژوهش در سال ۲۰۱۶ به بررسی دینامیک موج متشکله از شلیک گلوله از اسلحه با استفاده از آنالیز داده‌های تئوری و تجربی پرداخته اند. هبرت [۹] در راستای تاثیر خوش دستی و رعایت استانداردهای طراحی اکونومیک و الزام آن در این قبیل محصولات به ارائه پیش نیازها پرداخته و در سال ۲۰۰۰ این مجموعه تجربیات را در قالب مقاله‌ای گردآوری نموده است. در سال ۲۰۰۴ کیو [۱۰] با بررسی تجربی دیسک‌های اصطکاکی فولادی مورد استفاده در صنایع مختلف به تاثیر ساخت و متریال مورد استفاده در ضرائب اصطکاکی حاصله پرداخته است. کیم [۱۱] در سال ۲۰۲۰ به بررسی دقیق کالیبر ۹ میلیمتری در نفوذ در مواد مختلف بر اساس جنس ماده و انرژی مورد نیاز، در قالب نتایج تجربی تست استاندارد نظامی پرداخته است و از این مجموعه در قالب یافتن میزان انرژی اولیه این کالیبر می‌توان به خوبی بهره برد.

۲- روند طراحی

به منظور طراحی این دستگاه بایستی پس از جمع آوری اطلاعات نمونه خارجی و نیاز صنعت با استفاده از شناخت دقیق ظرفیت صنعتی داخل کشور، با محاسبه حدودی ضربه ناشی از شلیک گلوله بر اساس تحقیقات صورت گرفته، مقالات و نتایج تجربی و استفاده از این نتایج در انتخاب دیسک اصطکاکی و طراحی فنر پیچشی پرداخت. برای انتخاب جنس بدنه دستگاه بر اساس نتایج محاسبات می‌توان حتی از جنس کامپوزیت نیز استفاده نمود اما برای تعبیه مقاومت مناسب و استفاده از دستگاه در هر محیطی و تکنولوژی ساخت در دسترس به انتخاب آهن ST3037 پرداخته شده است. پس از طی موارد فوق با انجام مهندسی معکوس قطعه مورد نظر در نرم افزار کتیا مدل سازی شده و با توجه به نیاز صنعت قابلیت‌های مازاد با طراحی مکانیزم‌های مورد نیاز افزوده شده است. پس از طی این مراحل برای اطمینان اولیه از صحت عملکرد دستگاه تست اولیه در قالب استفاده از نرم افزار آباکوس به منظور بررسی مدل سازی صورت گرفته و متریال انتخابی انجام گرفته و پس از آن تست طراحی معادل ثانویه برای این

1 Ransom rest

2 Spring Manufacturers Institute

دستگاه طراحی شده و در نهایت در گام آخر پس از اطمینان از مراحل فوق دستگاه تحت بارگذاری قرار گرفته و تست سلاح در آن صورت گرفته است.

۳- تئوری طراحی دستگاه

۳-۱ محاسبه ضربه

در حالت کلی می توان ضربه ایجاد شده توسط نیروی F بین زمان های t_1 و t_2 را به صورت زیر نوشت:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad (۱)$$

$$P = \frac{F}{A} \quad (۲)$$

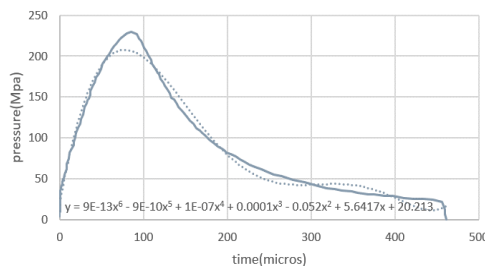
بنابر استفاده از رابطه ۲، رابطه ۱ به شکل ذیل قابل تبدیل است:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} P.A dt \quad (۳)$$

حال با استفاده از مشخصات گلوله کالیبر ۹ می توان برای محاسبه ضربه ناشی از شلیک گلوله از رابطه ذیل استفاده نمود:

$$J = A \int_{t_1}^{t_2} P dt = V(m_p + 1.5m_c) = 390 \times ((0.001) \times (7.45 + 1.5 \times 0.39)) = 3.1336 (kg.m / s) \quad (۴)$$

از روشی دیگر با توجه به نمودار ذیل که از نتایج تست فشار پشت گلوله حاصل گردیده است می توان ضربه را به شکل ۱ ذیل محاسبه نمود.



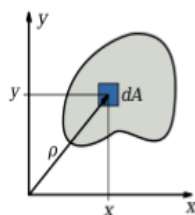
شکل ۱- نمودار فشار ناشی از شلیک گلوله

با استفاده از رابطه ۲ و در نظر گرفتن سطح مقطع گلوله و رابطه فشار بر حسب زمان مطابق تصویر فوق مقدار ضربه ناشی برابر خواهد بود:

$$J = A \int_{t_1}^{t_2} P dt = \left(\frac{\pi}{4} (0.009^2) \right) \int_{t_1}^{t_2} P dt = 3.189 (kg.m / s) \quad (۴)$$

۳-۲ محاسبه گشتاور دوم سطح:

خاصیتی است که به وسیله آن می توان رفتار یک تیر در مقابل خمش و تغییر شکل حول محورهای آن را بررسی نمود. میزان تنش و تغییر شکل خمشی تیر به مولفه های بار وارده و شکل هندسی مقطع بستگی دارد، هر مقدار ممان اینرسی مقطع بیشتر باشد میزان تنش و تغییر شکل خمشی مقطع کمتر خواهد بود، به همین دلیل است که تیرها با ممان اینرسی بزرگتر، مانند مقاطع I شکل، در ساختمان ها مورد استفاده واقع می شوند. برای یک المان دو بعدی گشتاور دوم سطح با استفاده از شکل بصری ذیل قابل محاسبه خواهد بود:



شکل ۲- المان دو بعدی

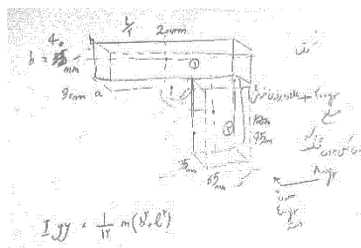
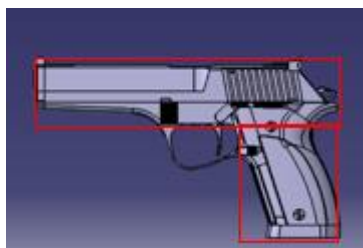
$$I_x = \int_S y^2 dA \quad (۵)$$

$$I_y = \int_S x^2 dA \quad (۶)$$

$$I_{xy} = \int_S xy dA \quad (۷)$$

$$I_0 = \int_S r^2 dA \quad (۸)$$

با توجه به روابط فوق برای استفاده در طراحی و محاسبه اولیه دستی بایستی برای راحتی محاسبات کلت و دستگاه را به اجزا ذیل خرد نموده و محاسبات انجام گردد بدین منظور مطابق شکل ۳ و ۴، محاسبات به شرح ذیل خواهد بود:



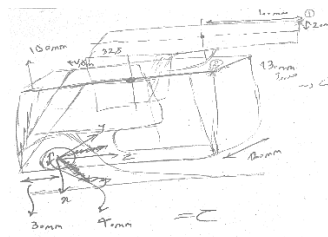
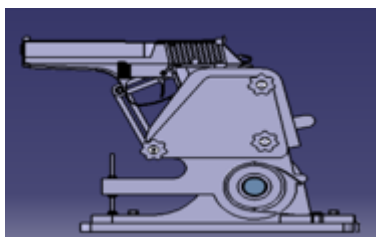
شکل ۳- تصویر کلت در محاسبات گشتاور دوم سطح

با توجه به وزن کلت در حدود ۱ کیلوگرم و بخش بندی فوق که ناحیه فوقانی در حدود ۰,۴ کیلوگرم و ناحیه دیگر که شامل خشاب و گلوله‌ها خواهد بود در حدود ۰,۶ کیلوگرم خواهند بود.

$$I_{yy} = \int_S x^2 dA = \frac{1}{12} m(b^2 + l^2) \quad (9)$$

$$\rightarrow 1) I_{yy} = \frac{1}{12} (0.4)(0.04^2 + 0.2^2) = 1.3866 \times 10^{-3} \quad (10)$$

$$\rightarrow 2) I_{yy} = \frac{1}{12} (0.6)(0.065^2 + 0.095^2) = 6.625 \times 10^{-4} \quad (11)$$



شکل ۴- تصویر دستگاه در محاسبات گشتاور دوم سطح

برای محاسبات خود دستگاه که مطابق شکل فوق به صورت یک مکعب مورد تقریب واقع شده است، نیز برابر خواهد بود با:

$$I_{yy} = \int_S x^2 dA = \frac{1}{12} m(b^2 + l^2) \quad (12)$$

$$\rightarrow 3) I_{yy} = \frac{1}{12} (6)(0.13^2 + 0.15^2) = 0.0197 \quad (13)$$

$$z_{C.G} = 75cm, x_{C.G} = 65cm \quad (14)$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 \quad (15)$$

$$\rightarrow I_{total} = 0.064616203 \quad (16)$$

۳-۳- محاسبه سختی فنر پیچشی و طراحی آن

به منظور محاسبه سختی فنر پیچشی با استفاده از روابط انرژی جنبشی و محاسبات فوق، روابط به شرح ذیل خواهند بود. از رابطه ۳ و ۴ و همچنین برابری این رابطه با حاصل ضرب گشتاور دوم سطح در سرعت دورانی، رابطه ذیل صورت می گیرد.

$$I_{total} \omega = 0.064616203 \times \omega = \int P l dt = 0.4575129 \quad (17)$$

$$\rightarrow \omega = 7.080467108 \quad rad / s \quad (18)$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} K (\theta_2^2 - \theta_1^2) = \frac{1}{2} K (0.177218616 - 0.007615435495) \quad (19)$$

$$\rightarrow K = 19.099$$

جدول ۱- پارامترهای مورد نیاز طراحی فنر پیچشی

پارامتر	شرح پارامتر	مقدار
$D (mm)$	قطر حلقه فنر	۵۲
$s (psi)$	سفتی گشتاور فنر	۲۰۰۰۰۰
$J = F \times t (N.s)$	ضربه	۳,۲
$l (m)$	طول مفتول	۰,۱۴۶
$t (ms)$	زمان توقف دستگاه	۷,۵
$T (^\circ/^\circ)$	تورک ناشی از پیچش	۰,۰۶۷
$E (psi)$	مدول الاستیک یانگ	14.7×10^7
$d (mm)$	قطر مفتول	۴,۳۷

با توجه به توضیحات فوق سختی فنر محاسبه گردید اما برای طراحی و ساخت آن با استفاده از کتاب طراحی فنرها [۲] بایستی روند ذیل طی گردد. طبق این مرجع برای محاسبات و تکمیل دفترچه طراحی فنر قید شده در مرجع، بایستی پارامترهای پیش فرض ذیل انتخاب گردیده و سپس روند طراحی ادامه یابد.

حال با داده‌های فوق به محاسبات ذیل جهت بدست آوردن قطر مفتول و تعداد دور فنر پرداخته شده است:

$$\text{for } t = 7.5 \text{ ms} \quad \& \quad F \times t = 3.2 \rightarrow F = 426.67 \text{ N} = 95.91848 \text{ lb} \quad (20)$$

$$M = F \times R = 95.91848 \times 1.023622_{in} = 98.1843 (\text{lb.in}) \quad (21)$$

$$S = \frac{32M}{\pi d^3} \rightarrow d = 0.171003127_{in} = 4.37 \text{ mm} \quad (22)$$

$$M = \frac{ETd^4}{10.8DN} \rightarrow N = 3.975095 \approx 4 \quad (23)$$

حال تمامی داده‌های مورد نیاز تکمیل گردیده و در صورت اهمیت بالایی تفرانس‌های ساخت طبق تصاویر ذیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت و به سازنده اعلام خواهد شد.

Table 2.
TORSION SPRINGS

Free Angle Tolerances, $\pm$ degrees

Number of Coils N_t	Spring Index, D/d									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
1	2	3	3.5	4	4.5	5	5.5	5.5	6	
2	4	5	6	7	8	8.5	9	9.5	10	
3	5.5	7	8	9.5	10.5	11	12	13	14	
4	7	9	10	12	14	15	16	16.5	17	
5	8	10	12	14	16	18	20	20.5	21	
6	9.5	12	14.5	16	19	20.5	21	22.5	24	
8	12	15	18	20.5	23	25	27	28	29	
10	14	19	21	24	27	29	31.5	32.5	34	
15	20	25	28	31	34	36	38	40	42	
20	25	30	34	37	41	44	47	49	51	
25	29	35	40	44	48	52	56	60	63	
30	32	38	44	50	55	60	65	68	70	
30	43	53	63	70	77	84	90	95	100	

Table 1.
TORSION SPRINGS

Coil Diameter Tolerances, $\pm$ in. (mm)

Wire Dia., In. (mm)	Spring Index, D/d							
	4	6	8	10	12	14	16	
0.015	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
(0.38)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.08)	(0.08)	(0.10)	(0.10)
0.023	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006
(0.58)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.08)	(0.10)	(0.10)	(0.13)	(0.15)
0.035	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.009
(0.89)	(0.05)	(0.05)	(0.08)	(0.10)	(0.15)	(0.18)	(0.23)	(0.23)
0.051	0.002	0.003	0.005	0.007	0.008	0.010	0.012	0.012
(1.30)	(0.05)	(0.08)	(0.13)	(0.15)	(0.20)	(0.25)	(0.30)	(0.30)
0.076	0.003	0.005	0.007	0.009	0.012	0.015	0.018	0.018
(1.93)	(0.08)	(0.13)	(0.18)	(0.20)	(0.30)	(0.38)	(0.46)	(0.46)
0.114	0.004	0.007	0.010	0.012	0.018	0.022	0.028	0.028
(2.90)	(0.10)	(0.18)	(0.25)	(0.30)	(0.46)	(0.56)	(0.71)	(0.71)
0.172	0.006	0.010	0.013	0.016	0.027	0.034	0.042	0.042
(4.37)	(0.15)	(0.25)	(0.33)	(0.51)	(0.69)	(0.86)	(1.07)	(1.07)
0.250	0.008	0.014	0.022	0.030	0.040	0.050	0.060	0.060
(6.35)	(0.20)	(0.36)	(0.56)	(0.76)	(1.02)	(1.27)	(1.52)	(1.52)

شکل ۵- تفرانس‌های طراحی فنر پیچشی

۳-۴- ضرائب دیسک اصطکاکی

یکی از چالش‌ها در تحلیل و تست تئوری این دستگاه اصطکاکی فیبر و صفحه متحرک در ورژن مکانیزم اصطکاکی دستگاه بوده که مستلزم بررسی بسیار دقیق و استفاده از آخرین تحقیقات انجام شده در این زمینه است که با استفاده از موارد یاد شده موانع مرتفع گردید.

Reference values of friction coefficients for friction materials

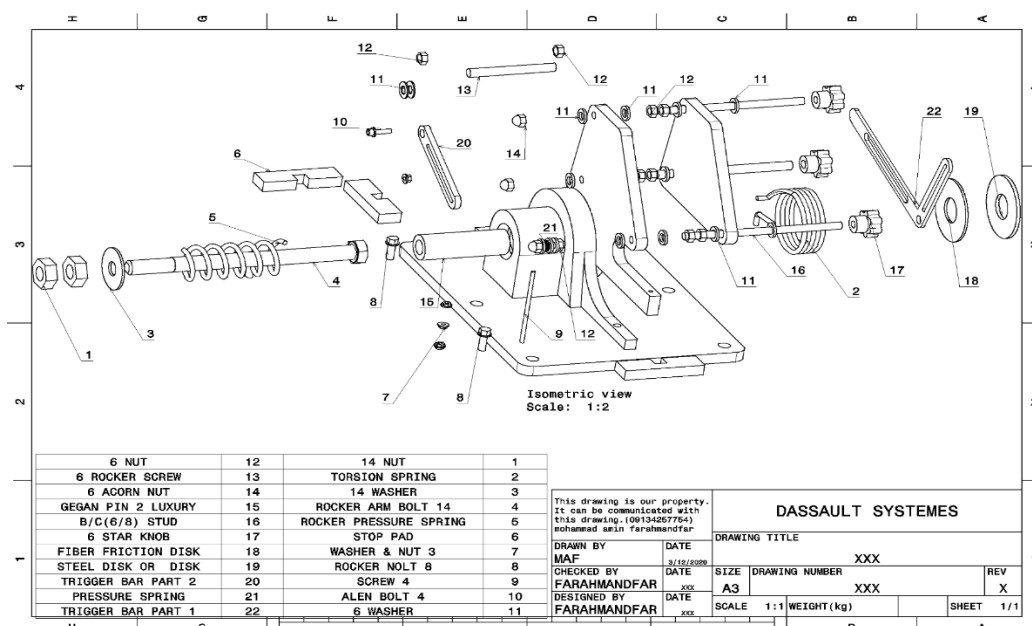
Friction face	Backing	Coefficient of friction		Max. temp. (°C)	Max. surface pressure (N/cm²)
		Lubricated	Dry		
Phosphor bronze	Chr. plated hard steel	0.03-0.05	—	260	100
Hard steel	Chr. plated hard steel	0.03	—	260	140
Lignum vitae	Steel	0.16	0.2-0.35	200	40-60
Leather	Steel	0.12-0.15	0.3-0.5	90	7-28
Leather	Oak	—	0.3-0.5	90	7-28
Fibre	Steel	—	0.3-0.5	90	5-10
Cork	Steel	0.15-0.25	0.3-0.5	90	3.5-70
Felt	Steel	0.18	0.22	135	—
Bakelite	—	—	—	—	—
Synthetic resin bonded paper	Steel	0.1-0.15	0.25	200	70
Synthetic resin bonded fabric	Steel	—	0.05	300	—
Teflon	Steel	—	0.05	300	—

شکل ۶- ضرائب اصطکاکی دیسک اصطکاکی [۳]

۴- طراحی و ساخت دستگاه

با توجه به نیاز صنعت مبنی بر تست سلاح‌های کمربندی و الزام شرایط استاندارد بارگذاری و خشاب گذاری دستگاه، طراحی برای بازگشت دستگاه به حالت اولیه (پیش از شلیک) و تست سلاح‌های با قدرت بالاتر از کالیبر ۹ برای شرایط خاص فنر پیچشی مورد نظر طراحی گردیده تا با کمک دیسک اصطکاکی به جهت سنجش حالت‌های پیچیده‌تر از قدرت کافی برخوردار باشد. از آنجا که هزینه تمام شده دستگاه از اولویت‌های صنعت مورد نظر بوده است، اهمیت انتخاب متریال بهینه و روش ساخت در این پروژه بسیار بالاست. بدین منظور پس از طراحی دستگاه در نرم افزار کتیا، روش‌های مختلف ساخت دستگاه شامل روش‌های ماشینکاری با دستگاه، ریخته‌گری، فرز و لیزر مورد ارزیابی قرار گرفت که به ترتیب هزینه‌هایی برابر با ۲۹، ۳۴، ۱۷ و ۶ میلیون تومان را در بر داشت. برای ساخت به روش لیزر نوآوری نوینی در صنعت ساخت با استفاده از ساخت مرحله‌ای و فناوری چسب‌های چند فازی و استفاده ابزار خاص مورد استفاده قرار گرفته و ترکیب دانش مهندسی و روش ساخت مهندسی منجر به صرفه جویی اقتصادی در

این مورد گردیده است چرا که هزینه واردات این دستگاه (نمونه خارجی) که قابلیت‌های کمتری نسبت به نمونه بومی تولید شده دارد معادل ۳۵ میلیون تومان خواهد بود.



شکل ۷- نمای انفجاری دستگاه

در شکل ذیل میله‌ای زائد در فک قرار گیری کلت قرار گرفته تا محل قرارگیری کلت به خوبی نمایان باشد اما از جهت ضخامت برابری با کلت نداشته اما همان طور که در شکل گویاست پیچ‌های تنظیم قابلیت قرارگیری را تقویت می‌کنند.



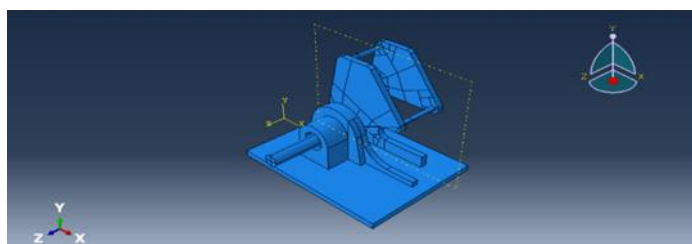
شکل ۸- دستگاه ساخته شده

۵- صحت سنجی عملکرد

تست تئوری این دستگاه، با داشتن ضربه حاصله از شلیک گلوله کالیبر ۹ و استفاده از قوانین حاکم بر سرعت دورانی و بازوی گشتاور ضربه مورد نظر شبیه سازی شده است. برای تست تئوری نیز از نرم افزار آباکوس استفاده شده، به شبیه سازی کامل قطعات اصلی دستگاه پرداخته و با قراردادن نیروها و سایر تنظیمات تحلیل دینامیکی دستگاه انجام شده است.

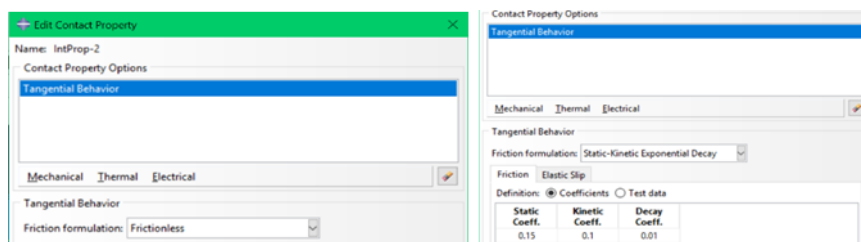
۵-۱- تست اجزا محدود دستگاه

در این حالت طراحی کتیا دستگاه با در نظر گرفتن جزئیات دیسک اصطکاکی مورد ارزیابی و تحلیل دینامیکی در نرم افزار آباکوس قرار گرفته است که در شکل ذیل مدل طراحی شده و فراخوانی شده در این نرم افزار مشاهده می‌گردد:



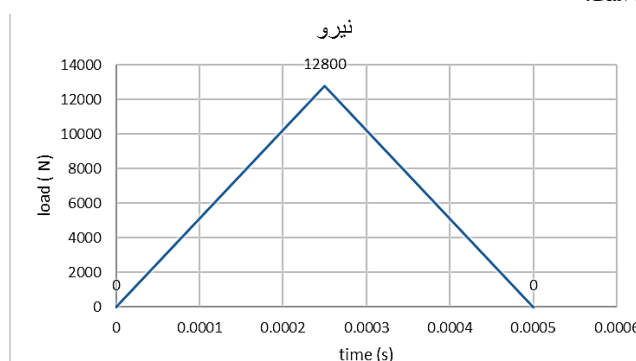
شکل ۹- مدل فراخوانی شده دستگاه در نرم افزار آباکوس

سیس با تعبیه خواص متریکال استفاده شده در پروسه طراحی، در این نرم افزار و انتخاب زمان حل معادل ۰,۰۸ ثانیه و تعبیه خواص دیسک اصطکاکی از طریق ماژول اندرکنش اصطکاکی در این نرم افزار به ضرائب ذیل پرداخته شده است.



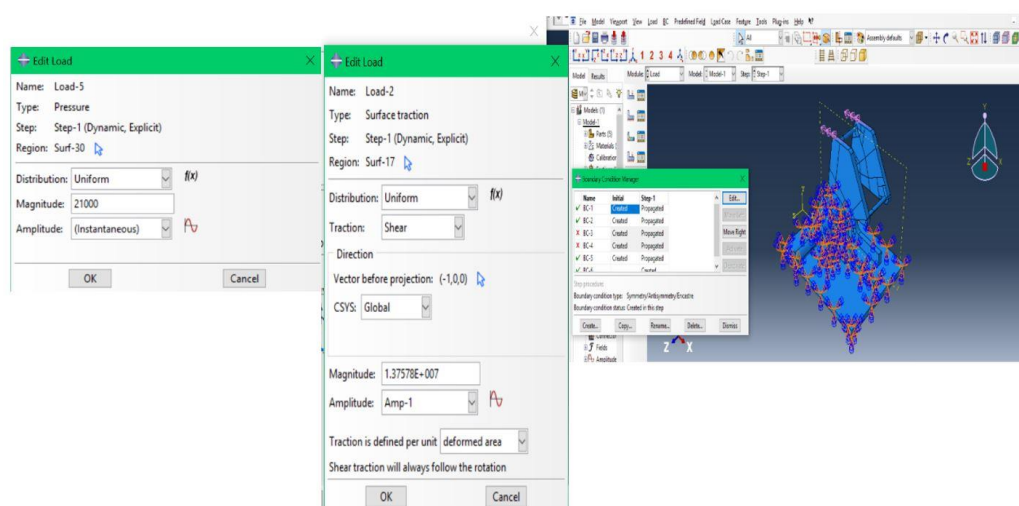
شکل ۱۰- ضرائب دیسک اصطکاکی در نرم افزار آباکوس

حال پس از تعبیه شرایط فوق، باید به تعبیه شرایط بارگذاری مساله پرداخت. بدین منظور با توجه به محاسبات تئوری صورت گرفته ضربه معادل ۳,۲ خواهد بود که با توجه به زمان ورود ضربه که معادل ۰,۵ میلی ثانیه در کل خواهد بود نسبت به بارگذاری مثلی به شکل ذیل عمل شده است.



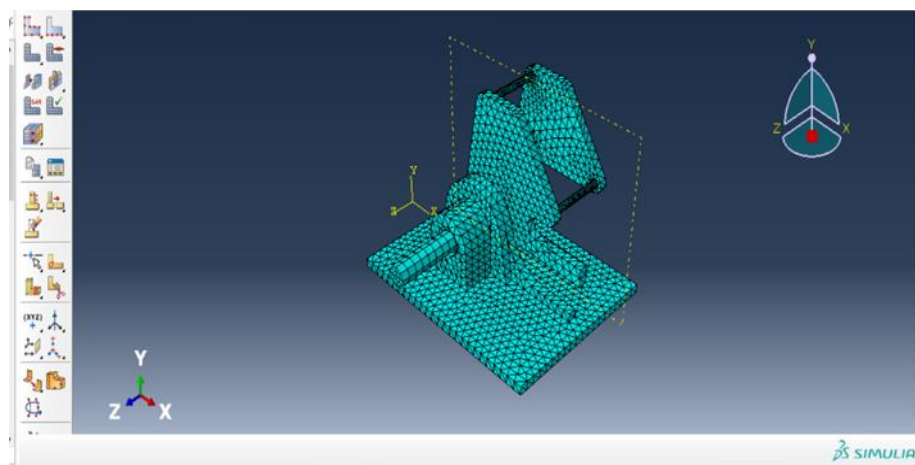
شکل ۱۱- نمودار بارگذاری ضربه معادل

نیروی معادل که از نوع برشی وارده بر فک متحرک دستگاه می باشد به صورت ذیل در نرم افزار آباکوس تعریف گردیده است.



شکل ۱۲- بارگذاری نیرو معادل

پس از بارگذاری یاد شده با تعبیه مش مناسب برای دستگاه به شکل ذیل به بررسی شرایط مختلف مش و نتایج پرداخته شده است.



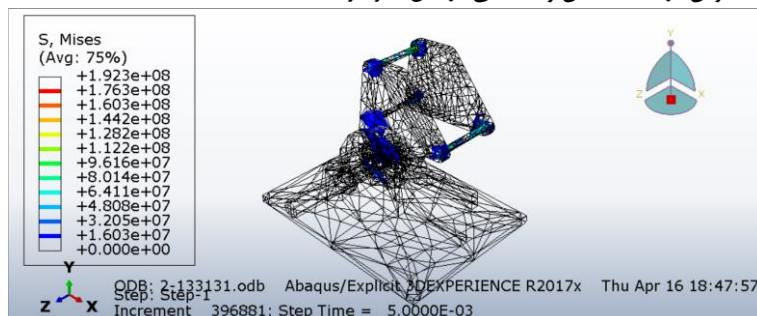
شکل ۱۳- مش دستگاه

براساس تحلیل صورت گرفته نتایج همگرایی حل بر اساس تطابق حل با نتایج آزمایش تجربی صورت گرفته توسط دستگاه با کلت برتا کالیبر ۹ مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج به شرح جدول ذیل است.

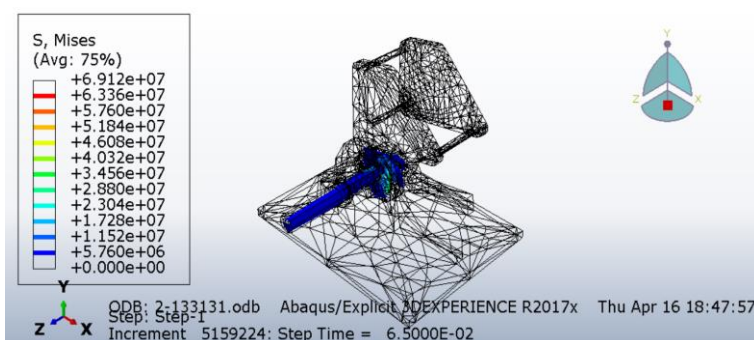
جدول ۲- مقایسه نتایج تست آباکوس

اندازه مش	زمان پیشینه جابجایی	پیشینه جابجایی	پیشینه تنش	زمان توقف فک متحرک
۰,۱	۱۵ میلی ثانیه	۲,۵۹۹ سانتی متر	$3,214 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه
۰,۰۵	۸ میلی ثانیه	۲,۴۹۵ سانتی متر	$2,478 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه
۰,۰۲۵	۸ میلی ثانیه	۲,۴۹۴ سانتی متر	$2,475 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه
۰,۰۱۲۵	۸ میلی ثانیه	۲,۴۹۳ سانتی متر	$2,473 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه

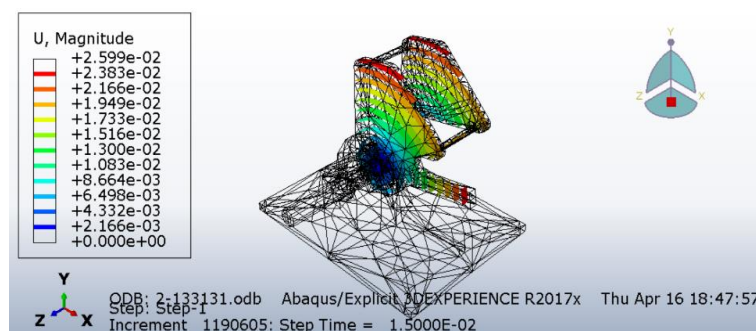
نتایج نرم افزار آباکوس در حالات تنش و جابجایی در ذیل ذکر گردیده است.



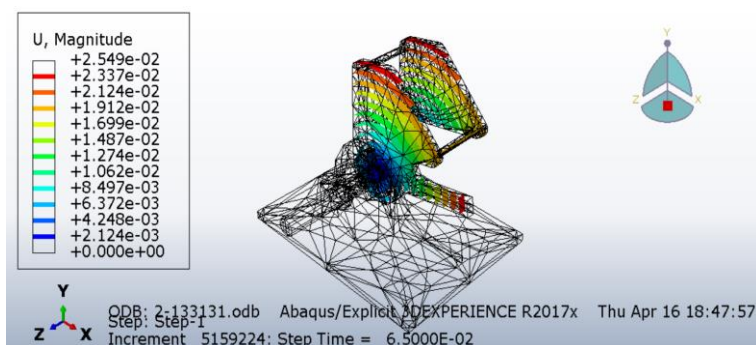
شکل ۱۴- نتایج تنش برای زمان ۰/۰۰۵ ثانیه



شکل ۱۵- نتایج تنش برای زمان ۰/۰۶۵ ثانیه



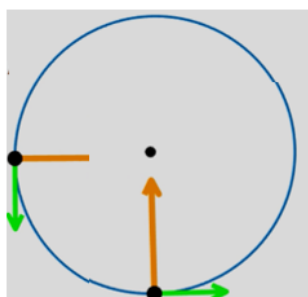
شکل ۱۶- نتایج جابجایی برای زمان ۰/۰۱۵ ثانیه



شکل ۱۷- نتایج جابجایی برای زمان ۰/۰۶۵ ثانیه

۵-۲- تست تجربی دستگاه

به منظور تست تجربی دستگاه ۲ رویکرد موجود است در رویکرد اول تست مورد نظر برای اعمال ضربه معادل به وسیله فلزی تست به دستگاه بسته شده و سپس ضربه معادل به دستگاه بر اساس اصل بازوی دورانی و سرعت برخورد اعمال می‌گردد و نتایج حاکی از جابجایی معادل ۲٫۸ سانتی متری فک متحرک است.



شکل ۱۸- نتایج تست عملی رویکرد اول



شکل ۱۹- نتایج تست عملی رویکرد دوم برای نمونه خارجی دستگاه

طی رویکرد دوم تست تجربی دستگاه طی شلیک گلوله کالیبر ۹ است که به دلایلی برای صحت سنجی عملکرد تصویر نمونه خارجی دستگاه مورد قیاس قرار گرفته است که مطابق نتایج آن جابجایی حداکثری معادل ۲٫۶۸ سانتی متر می‌باشد. البته این مقادیر با تنظیم مقدار ثابت فشار وارده بر دیسک اصطکاکی دستگاه بدون استفاده از قفل مکانیزم و فنر پیچشی است تا قیاس نتایج مورد نظر بدون دخالت شرایط مازاد صورت گیرد.

۶- بحث و نتیجه گیری

ابتدا با توجه به شناخت موضوع شروع به جمع‌آوری اطلاعات در مورد موضوع شده و در همین مرحله با استفاده از فیلم‌ها و تصاویر موجود در اینترنت برای نمونه‌ی خارجی این دستگاه شروع به شناخت مکانیزم‌های استفاده شده در دستگاه گردیده است.

حال از طریق شناخت عملکرد کلت و گلوله به تجزیه و تحلیل نیروها پرداخته شده است؛ با طی این روند و شناخت نیروها و انجام برخی محاسبات دستی جنس مواد و وسایلی که می‌بایست استفاده می‌شد مشخص گردیده و با توجه به نیاز سازمان‌ها و مشتریان امکانات مورد نیاز داخلی را در عین استاندارد بودن دستگاه در جهت افزایش کارایی آن ایجاد شده است که از جمله آن‌ها مکانیزم خنثی سازی ضربه فنر پیچشی و امکان قفل دستگاه جهت نصب لودسل و علاوه بر آن نصب درجه بندی و به نوعی نمایشگر آنالوگ بر روی دستگاه را می‌توان نام برد. از آنجا که هدف در ساخت رسیدن به نمونه اولیه‌ای با حداقل هزینه و بیشترین دقت و کارایی بوده است قطعات پس از طراحی در نرم‌افزار کتیا و گرفتن خروجی مورد نیاز توسط لیزر برش خورده و آماده شدند. اتصال آن‌ها توسط فرایند خاص ساخت مهندسی و پیچ‌های استاندارد موجود انجام گردیده است. فنر خاص طراحی شده نیز توسط دستگاه فنر پیچی تولید و بر روی دستگاه نصب گردیده است. سایر تجهیزات استفاده شده نیز بر اساس مکانیزم‌های ساده طراحی شده تهیه شده است؛ در همین حین می‌بایست محاسبات دقیق تئوری به پیش می‌رفت پس با مدلسازی دستگاه علاوه بر این که در نرم‌افزار کتیا این کار شده بود در نرم‌افزار آباکوس نیز انجام شده است و نتایج بدست آمده با نتایج واقعی هر دو نمونه داخلی و خارجی مورد مقایسه واقع گردیده که تطابق بسیار خوبی دارند. بنابر طراحی صورت گرفته این دستگاه علاوه بر قابلیت‌های نمونه خارجی شامل:

- تست دقت کلت
 - مقایسه ضربه و دقت کلت ها با هم
 - تست برد گلوله
 - تست تغییر خان کلت و تاثیر آن بر برد و ضربه
- قابلیت‌های جدید مورد نیاز صنعت شامل:
- تست به صورت عامل نگهدارنده فنر پیچشی
 - امکان تست با استفاده از لودسل
 - امکان قفل دستگاه
 - نمایش گر درجه و سفتی فنر آنالوگ
- را نیز دارا می‌باشد.

منابع

1. Ransom Rest International Corporation, products, Arizona, <https://ransomrest.com>, Last modified: June 13 2019.
2. SMI (1991). Spring Manufacturers Institute, Torsion Springs, Handbook of Spring Design, SMI International.
3. A.Davidson (2016). Handbook of Precision Engineering Mechanical Design Applications, Palgrave.
4. Deng, S., et al. (2014). "Transient finite element for in-bore analysis of 9 mm pistols." Applied Mathematical Modelling 38(9-10): 2673-2688.
5. Williams, M. (June 1, 1980). Practical Handgun Ballistics, Charles C Thomas Pub Ltd.
6. Ahmed, M. J., et al. (2019). "Characterization of Areva javanica fiber—A possible replacement for synthetic acrylic fiber in the disc brake pad." Journal of Industrial Textiles 49(3): 294-317.
7. Gacek, J., et al. (2006). "The analysis of application and requirements small caliber reference ammunition and Polish achievement in the field of working out national reference ammunition." Problemy Techniki Uzbrojenia 35.
8. Routh, T. K. and R. C. Maher (2016). Recording anechoic gunshot waveforms of several firearms at 500 kilohertz sampling rate. Proceedings of Meetings on Acoustics 171ASA, Acoustical Society of America.
9. Hebert, J. J. (2000). "Hand size counts in safe handgun use." Ergonomics in Design 8(4): 29-33.
10. Qu, X., et al. (2004). "The effect of steel fiber orientation on frictional properties of asbestos-free friction materials." Polymer composites 25(1): 94-101.
11. Kim, B.-R., et al. (2020). "A Study of Frangibility of 9MM Bullet Related to Material Composition and Sinter Condition." Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 21(5): 615-622.

ارائه مدل ارزیابی روش‌های تامین منابع مالی پروژه‌های بلندمرتبه‌سازی با تلفیق آنتروپی شانون و تاپسیس فازی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۲

کد مقاله: ۴۰۴۰۳

امیرحسین معلمیان^۱، مصطفی قاضی مرادی^۲

چکیده

منابع مالی موتور محرکه فعالیت‌های اقتصادی هستند و بدون داشتن منابع مالی و یا عدم پیش بینی و برنامه ریزی در جهت تامین آن‌ها، اجرای طرح‌های سرمایه گذاری امکان پذیر نبوده و یا اینکه با مشکل مواجه خواهد شد؛ بنابراین قبل از شروع هرگونه فعالیت، باید منابع مالی مورد نیاز برای اجرای فعالیت یا پروژه، برآورد و در مورد روش‌های تامین مالی آن، مطالعه و بررسی لازم انجام گیرد. نحوه تامین مالی و تهیه بودجه اجرایی لازم برای انجام پروژه‌های بلندمرتبه سازی و بهره برداری از آن‌ها در حال حاضر به عنوان یکی از مهم ترین چالش‌های پیش‌روی کشورهای در حال توسعه مطرح می باشد. با توجه به وضعیت خاص کشورهای در حال توسعه و بحران‌های مالی در این کشورها امکان تامین سرمایه مورد نیاز برای اجرای پروژه‌های بزرگ به راحتی فراهم نمی شود، بنابراین انتخاب یک مدل تامین مالی مناسب در مورد پروژه‌ها مساله مهمی است. هدف این مقاله ارائه مدل مناسب تامین منابع مالی مورد نیاز پروژه برای اطمینان از به انجام رسیدن آن است. در این تحقیق، پس از بررسی پیشینه پژوهش‌های انجام شده در ۱۶ مقاله داخلی و ۹ مقاله خارجی در زمینه تامین مالی پروژه‌های بلندمرتبه سازی، با مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، انواع روش‌ها و معیارهای تامین منابع مالی بدست آمد و به نتایج مورد نظر دست پیدا شد. همچنین بوسیله انجام مصاحبه نیمه ساختاریافته با ۵ نفر از خبرگان تامین مالی، صحت‌سنجی و تکمیل روش‌ها و معیارهای تامین منابع مالی انجام شد. سپس با انجام ۱۳۲ پرسشنامه مطابق طیف لیکرت پنج گزینه‌ای از مهندسين، مديران و سرمایه‌گذاران پروژه‌های مرتبط، با استفاده از روش آنتروپی شانون وزن‌دهی هر یک از معیارهای تامین مالی انجام شد. در مرحله بعدی، با مطالعه موردی یک پروژه ساختمانی بلندمرتبه و با استفاده از روش تاپسیس فازی به رتبه‌بندی سه روش پرکاربرد تامین مالی یعنی استقراض، افزایش سرمایه و پیش‌فروش پرداخته شد که در نتیجه این مدل تامین مالی، روش استقراض با نمره ۰.۶۹۶۱ رتبه اول را در بین سه روش مورد بررسی بدست آورد.

واژگان کلیدی: تامین مالی، بلندمرتبه‌سازی، روش‌های تامین منابع مالی، آنتروپی شانون، تاپسیس فازی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز (نویسنده مسئول)
ah.moallemian@gmail.com

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز

۱- مقدمه

منظور از روش‌های تامین مالی پروژه، روش‌هایی هستند که با بکارگیری آن‌ها، ساختار، نوع منابع پولی اعم از نقدی و اعتباری، روش بازپرداخت مبالغ استقراضی مورد نیاز پروژه مشخص می‌شوند. در این روش روابط قراردادی تامین کننده مالی با نهادهای مربوط مانند دستگاه اجرایی، وزارت امور اقتصادی و دارایی، بانک مرکزی، بانک عامل، سرمایه گذار و پیمانکار، تعیین و منابع مالی مورد نیاز مشخص می‌شوند. برای انتخاب یک روش از میان روش های گوناگون تامین مالی نیاز است که مدیران مالی شرکت ها، فاکتورها و عوامل گوناگونی را مدنظر قرار دهند تا بتوانند با یک دید همه جانبه، روش تامین مالی بهینه را انتخاب کنند. این عوامل یا تحت کنترل سرمایه‌گذاران قرار دارند یا تحت کنترل آن‌ها نیستند و از محیط بیرون بر آن‌ها تحمیل می‌شوند. گاهی این عوامل آنقدر تاثیرگذارند که نادیده گرفتن آن منجر به انتخاب یک روش تامین مالی نادرست می‌شود و هزینه های هنگفتی بر کارفرمایان وارد می‌سازد. از این عوامل می‌توان به عواملی هم‌چون قوانین و مقررات داخلی، قوانین و مقررات بین المللی، سیاست های پولی بانک مرکزی، سیاست های مالی دولت و میزان دسترسی به بازارهای جهانی اشاره کرد. ساختار استفاده شده برای پروژه ممکن است در یک کشور به دلیل قوانین و شرایط خاص آن مؤثر نباشد. در حالی که به طور مؤثری در کشور دیگر استفاده شود. نکته مهم در این خصوص انتخاب شکل صحیح روش تامین مالی با توجه به شرایط هر پروژه و شرایط کشور میزبان است. یافتن راهکارهای تامین مالی مورد نیاز پروژه از مراحل اولیه برای اطمینان از به انجام رسیدن پروژه است. این مسأله در ایران به دلیل تحریم‌ها و تبعات آن طی سال های اخیر و عدم وجود روابط و تعاملات بین المللی مناسب با غرب، از جانب سرمایه گذاران داخلی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. از سوی دیگر، تامین مالی پروژه های بلندمرتبه سازی از اهمیت اجتماعی بالایی برخوردار است. به دلیل مخاطرات بالا و جذابیت پایین سرمایه گذاری در وضعیت حال حاضر کشور و رکود گسترده در این صنعت، جذب سرمایه با روش‌های معمول امکان پذیر نیست یا به کندی صورت می‌گیرد. از این رو لازم است که بخشی از انتظارات سرمایه‌گذاران در تامین مالی این پروژه‌ها را به محصول و عملکرد پروژه معطوف داشت. کارفرمایان و سرمایه‌گذاران جهت تصمیم‌گیری در مورد نحوه تامین مالی این پروژه‌ها، نیازمند مدلی هستند که به روشی نظام‌مند شیوه‌های تامین مالی ممکن را مطابق اولویت‌ها و انتظارات خود بررسی نمایند و روش یا ترکیبی از روش‌ها را که موجب برآوردن نیازهای مالی پروژه و کنترل مناسب ریسک این پروژه ها گردد، تعیین نماید.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش‌های انجام شده^۱

در زمینه روش های تامین مالی از ابعاد مختلف پژوهش های گوناگونی صورت گرفته است که در مقاله دیگری از همین محققان به تفصیل بیان شده‌است. براساس بررسی‌های انجام شده در بین پژوهش های صورت گرفته داخلی و خارجی در رابطه با ارائه مدل ارزیابی روش‌های تامین منابع مالی پروژه های بلندمرتبه سازی با تلفیق آنتروپی شانون و تاپسیس فازی به صورت کلان و جامع که این مقاله قصد بررسی آن را دارد، تاکنون پژوهشی صورت نگرفته است. در جدول شماره ۱ و ۲ به معرفی پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده داخلی و خارجی پیرامون موضوعات مرتبط با این پژوهش و نتیجه این تحقیقات به اختصار پرداخته شده‌است.

جدول شماره ۱. پژوهش‌های انجام شده داخلی

سال	محققان	عنوان	نتایج
۱۳۸۱	انواری رستمی	طراحی مدل ریاضی چنددوره‌ای مختلط اعداد صحیح برنامه‌ریزی آرمانی برای تامین مالی بهینه شرکت‌ها	مدل پیشنهادی مدیران مالی شرکت‌ها را در امر تامین مالی بهینه یاری می‌رساند و نشان می‌دهد که چگونه می‌توان به اهداف متعدد و متضاد مورد نظر سهامداران تا حد ممکن دست یافت
۱۳۸۵	عبدی، حمید	بررسی موانع اصلی موفقیت بخش خصوصی داخلی در مشارکت پروژه‌های عمرانی	بیان کرده‌است که یکی از روش‌های رفع مشکلات تامین منابع مالی مشارکت بخش خصوصی در اجرای پروژه‌های عمرانی کشور می‌باشد.
۱۳۸۵	مهدی‌زاده چله‌بری، علیرضا	تجزیه تحلیل روش‌های ارزیابی بانک‌های داخلی از برآورد هزینه‌های سرمایه گذاری پروژه‌های عمرانی	بانک‌های داخلی بعنوان یکی از ابزارهای دولت و در راستای سیاست‌های آن، بر اساس اصول بانکداری بدون ربا با مشارکت در طرح‌های سرمایه‌گذاری بخش خصوصی اقدام به تامین قسمت عمده‌ای از نیاز مالی آنها می‌نمایند.
۱۳۸۸	نورش و عابدی	رابطه بین شیوه‌های تامین مالی و درصد تغییرات هزینه سرمایه رابطه خطی وجود دارد ولی معنادار بودن این رابطه بسته به نوع شیوه تامین مالی و سال مورد رسیدگی متفاوت می‌باشد.	که در اکثر موارد بین شیوه‌های تامین مالی و درصد تغییرات هزینه سرمایه رابطه خطی وجود دارد ولی معنادار بودن این رابطه بسته به نوع شیوه تامین مالی و سال مورد رسیدگی متفاوت می‌باشد.

۱ بر اساس مقاله دیگری از همین محققان تحت عنوان " مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه تامین مالی پروژه‌های بلندمرتبه‌سازی و شناسایی خلاءهای تحقیقاتی"

سال	محققان	عنوان	نتایج
۱۳۹۰	سلامی، سید رضا؛ رضائی، هادی؛ صدیقی گاریز، سیماء؛ جمالی، احمد	انتخاب روش مناسب سرمایه‌گذاری خارجی با به کارگیری تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در صنایع پالایش نفت جمهوری اسلامی ایران	از میان روش‌های مختلف سرمایه‌گذاری خارجی در طرح‌های احداث و توسعه پالایشگاه‌های نفتی کشور، روش سرمایه- گذاری ساخت، بهره‌برداری و انتقال نسبت به سایر روش‌ها در بالاترین اولویت قرار گرفته و به عنوان مناسب‌ترین روش سرمایه‌گذاری در این صنعت انتخاب می‌گردد.
۱۳۹۲	کریم زاده، مصطفی؛ نوروزی، محمد؛ نادم، مسعود	بررسی تأثیر منابع تأمین مالی و میزان تمرکز سهام‌داران بر واکنش بازار بورس تهران به سودهای گزارش شده شرکت‌ها	منبع تأمین مالی بر واکنش بازار به سودهای گزارش شده تأثیری معنی دار دارد به طوری که با افزایش میزان اتکال شرکت به تأمین مالی از طریق بدهی واکنش بازار به سودهای گزارش شده کاهش می‌یابد.
۱۳۹۳	کریمی، آصف؛ بوذرجمهری، شهریار	تحلیل سازوکارهای تأمین مالی کسب و کارهای کوچک و متوسط	اعطای تسهیلات مالی با نرخ بهره پایین در بالاترین رتبه قرار دارد. همچنین نتایج نشان داد که این سازوکارها از شش عامل تسهیلاتی، پشتیبانی، مشاوره ای - آموزشی، ارتباطی مشارکتی، فنی تخصصی و قوانین و مقررات تأثیر می‌پذیرند
۱۳۹۳	فدایی‌واحد، میثم؛ مایلی، محمدرضا	اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تأمین مالی در ایران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی	عوامل مؤثر بر انتخاب روش تأمین مالی در ۳ طبقه کلی عوامل مربوط به منبع تأمین مالی کننده، شرکت تأمین مالی شونده و عوامل کلان اقتصادی و سیاسی دسته‌بندی شده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از برتری معیار تأمین مالی شونده نسبت به سایر معیارها می‌باشد و توجه مدیران را به عوامل داخلی شرکت همچون ساختار سرمایه و وضعیت اعتباری در زمان تصمیم‌گیری جلب می‌نماید.
۱۳۹۳	مینویی، مهرزاد؛ مرادی حقیقت، رضا؛ شاهجویی، میثم؛	ارزیابی روش‌های تأمین مالی در صنعت نفت ایران با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی	با در نظر گرفتن کلیه معیارها روش‌های تأمین مالی به ترتیب اولویت عبارتند از: بیع متقابل خارجی، بیع متقابل خارجی با شریک داخلی، بیع متقابل داخلی با شریک خارجی، بیع متقابل داخلی و روش ترکیبی.
۱۳۹۵	ذاکرنیا، احسان؛ خواجهمزاده‌دزفولی، مهدی؛ فدایی‌واحد، میثم	اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر انتخاب شیوه تأمین مالی در ایران با استفاده از متغیرهای کلامی و در محیط فازی مبتنی بر متغیرهای کلامی	عوامل مؤثر بر انتخاب روش تأمین مالی به سه دسته کلی تقسیم‌بندی شده‌است. این عوامل عبارتند از: عوامل مربوط به منبع تأمین مالی کننده، شرکت تأمین مالی شونده و عوامل کلان سیاسی و اقتصادی. سپس برای هر کدام از عوامل کلی، یک سری عوامل جزئی نیز بیان شده است و بر اساس اهمیت و اولویت عوامل جزئی نیز اولویت‌بندی شده‌است.
۱۳۹۷	هاشمی، مهران	مدل برآورد هزینه ساخت سازه‌ای ساختمان‌های بلند مرتبه مسکونی در مرحله پیش از طراحی	مدلی چهار لایه که کمترین میزان خطا را دارد به عنوان مدل تخمین هزینه ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه ارائه می‌دهد.
۱۳۹۷	اسدی، امیرمهدی	ارزیابی و اولویت‌بندی انواع روش‌های تأمین مالی پروژه‌های عمرانی بلندمرتبه سازی	استفاده از روش صکوک در تأمین مالی پروژه‌های بلند مرتبه سازی مورد پیشنهاد می‌باشد. برترین روش شامل روش صکوک تعیین شده است. مرتبه دوم برای روش اوراق مشارکت بدست آمده است. همچنین کم‌ترین امتیاز برای روش صندوق سرمایه‌گذاری مسکن تعیین گردید.
۱۳۹۷	متولی، منصوره	بررسی رابطه روش‌های تأمین مالی بر فرصت‌های سرمایه‌گذاری	تأمین مالی داخلی، تأمین مالی عملیاتی، تأمین مالی از بازار سرمایه، تأمین مالی از محل فروش دارایی‌های ثابت و تأمین مالی از محل جریان وجه نقد عملیاتی نمی‌تواند بر فرصت‌های سرمایه‌گذاری شرکت رابطه‌ای داشته باشد.
۱۳۹۹	مصدق منشادی، محمدرضا	شناسایی و انتخاب بهترین روش تأمین مالی پروژه‌های عمرانی شهری (مطالعه موردی شهرداری کرج)	روش مشارکت در سرمایه، گواهی سپرده مشارکتی و اوراق استصناع به ترتیب از مهم‌ترین روش‌های تأمین مالی طرح‌های عمرانی شهری در شهرداری کرج می‌باشد. براساس نتایج این پژوهش اوراق مشارکت ساختاریافته و اوراق مشارکت خطوط اعتباری نیز از عوامل تأثیرگذار در تأمین مالی طرح‌های عمرانی می‌باشد
۱۳۹۹	یگانه، صابوناتی	ارائه مدلی جهت ارزیابی روش‌های تأمین منابع مالی پروژه‌های بلند مرتبه با استفاده از منطق فازی	پس از ساخت مدل فازی با استفاده از پرسشنامه‌های تکمیل شده نتایج این مدل استخراج گردیده که این نتایج نشان می- دهد روش تأمین مالی صکوک نسبت به روش تأمین مالی اوراق مشارکت ۳۰۷ درصد افزایش حالات قابل قبول را دارد.
۱۳۹۹	جباری، امید. صفایی، مهدی. امین‌نژاد، بابک	رتبه‌بندی روش‌های تأمین مالی از منابع خارجی در پروژه‌های عمرانی	وام‌های بین‌المللی با وزن نسبی ۰.۳۱۴ رتبه اول، انواع قراردادهای BOT با وزن نسبی ۰.۲۱ و فاینانس با وزن نسبی ۰.۱۷۱، جایگاه دوم و سوم را به خود اختصاص دادند. یافته‌های

سال	محققان	عنوان	نتایج
			مطالعه نشان می‌دهد که به طور کلی معیار نرخ بازده بیشتر با وزن نسبی ۰,۶۴ نسبت به معیارهای ریسک کمتر با وزن نسبی ۰,۲۶ و سقف تامین وجوه بیشتر با وزن نسبی ۰,۱ از اهمیت بالاتری در تامین مالی از منابع خارجی در پروژه‌های عمرانی برخوردارند و بایستی به آن‌ها توجه بیشتری نمود.

جدول شماره ۲. پژوهش‌های انجام شده خارجی

سال	محققان	عنوان	نتایج
۲۰۰۶	براندر و بتیگنس	تامین مالی کارآفرینی از طریق بانک را در مقابل تامین مالی از طریق سرمایه پرمخاطره در آمریکا	تامین مالی از طریق بانک سبب اعمال تلاش‌های کارا شده است. تامین مالی از طریق سرمایه پرمخاطره سبب ایجاد مشکل دو جانبه ذهنی برای کارآفرین و سرمایه‌گذار می‌شود. سودهای کارآفرین از مدیریت سرمایه پرمخاطره بدست می‌آید، اما کارآفرین باید بخشی از مالکیت را تسلیم نماید؛ که این امر موجب کاهش تلاش‌های کارآفرین می‌شود.
۲۰۰۶	لی	بررسی نقش ارتباطات سیاسی در تامین مالی و عملکرد شرکت‌های خصوصی و کارآفرینان در چین	حزب کمونیست نقش مثبتی در عملکرد کارآفرینان با استفاده از کنترل سرمایه انسانی ایفا می‌کند. همچنین حزب کمونیست به کارآفرینان عضو حزب برای بدست آوردن منابع مالی از بانک‌ها و سایر نهادهای مالی ضعیف‌تر کمک بیشتری می‌نماید.
۲۰۰۷	چو	مشکلات بانک‌های منطقه ای ژاپن را در تامین مالی کارآفرینان از دیدگاه اقتصاد سیاسی	دولت باید برای حفظ منافع سیاسی، سرمایه‌گذاری‌های مربوط به طرح‌های کارآفرینی و بهینه‌سازی آن‌ها را در اولویت قرار دهد. این محقق عدم ضمانت بازپرداخت وام را باعث کاهش انگیزه بانک‌ها در ارائه تسهیلات به کارآفرینی و دخالت دولت مرکزی را در این زمینه کارساز می‌داند.
۲۰۰۷	کیتائو	تاثیر سیاست‌های مالیاتی را بر سرمایه‌گذاری در طرح‌های کارآفرینانه در آمریکا	کاهش مالیات بر درآمد موجب افزایش سرمایه‌گذاری در بازار سهام و سرمایه‌گذاری در طرح‌های کارآفرینانه می‌شود. همچنین هنگامی کاهش مالیات سبب افزایش سرمایه‌گذاری در کسب و کارهای نوین می‌شود که مالیات بر درآمدهای تجاری کاهش یابد.
۲۰۱۶	اکاترینا چیرکونوا، آنا کورنیلاو، جولیا س	تحقیق در مورد ابزارهای تامین مالی پروژه‌های نوآوری و سرمایه‌گذاری ساختمانی	نویسندگان پویایی مقدار و نرخ تامین مالی پروژه‌های ساخت‌وساز را ارائه کرده‌اند. بسته به بخش ساخت‌وساز، نویسندگان یک نقشه طبقه‌بندی از ابزارهای تامین مالی پروژه، بسته به زمان‌بندی، عضویت و امکان اجرای آن‌ها در قالب یک مشارکت دولتی و خصوصی پیشنهاد کرده‌اند. محک‌زنی ابزار برای تامین مالی پروژه‌های نوآوری و سرمایه‌گذاری مزایا و معایب آن‌ها را آشکار کرده‌است، توصیه‌هایی برای انتخاب ابزار بهینه برای تامین مالی پروژه‌های ساخت‌وساز ارائه شده‌است.
۲۰۱۶	رومان گورسکو، ویکتور اپیفانو	مکانیزم تامین مالی پروژه در ساخت سازه‌های زیرزمینی	نتایج پروژه تحقیقاتی مکانیزم تامین مالی پروژه برای پروژه‌های سرمایه‌گذاری در ساخت‌وساز زیرزمینی را با در نظر گرفتن مزایا و معایب پروژه ارائه می‌دهد، مراحل اساسی و اجزای فرآیند تامین مالی پروژه، شرکت کنندگان اصلی و حامیان مالی آن مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین سه نوع اصلی تامین مالی پروژه، بسته به میزان ریسکی که وام‌دهنده متحمل می‌شود، مورد مطالعه قرار گرفت
۲۰۱۸	اولگا الکساندروا، النا یولوا	ابزارهای لیزینگ تامین مالی ساخت و سازه‌های بلند	این یک جستجوی فعال و ابزار اجاره ای است که در رفتار اقتصادی سازمان های ساختمانی استفاده می شود. مطالعه بخش بلندمرتبه سازی در ساختار فعالان بازار لیزینگ به طور قابل توجهی چارچوب سیستم لیزینگ را گسترش می دهد. طرح عوامل داخلی و خارجی اجاره در شکل گیری نتیجه در بخش لیزینگ اقتصاد ارائه می شود.
۲۰۲۱	سباستین گریگلويز، سیمون مایر، اروان مورلس	تامین مالی بهینه با استفاده از رمزارز ها	آن‌ها مدلی را توسعه داده اند که در آن یک شرکت نوپا برای تامین مالی یک پلتفرم دیجیتال توکن صادر می‌کند و این باعث ایجاد تعارض نمایندگی بین توسعه دهندگان سیستم عامل و افراد خارجی می‌شود. سپس نشان داده‌اند که تامین

۲۰۲۱	عزت‌الدین غلام‌الله، کریستوس الکساکیس، مایکل داولینگ	مباحث اقتصاد اسلامی و تحقیقات مالی	مالی رمزارز به تأمین مالی سهام ترجیح داده می‌شود. نشان می‌دهد که ادبیات اقتصاد اسلامی و مالی را می‌توان با ۱۱ عنوان به خوبی توصیف کرد. این مباحث شامل مسائل اقتصادی، مالی و اخلاقی است. تحقیقات آنها می‌تواند برای ارائه ساختار روشنی برای برنامه‌های تحقیقاتی در حال انجام در اقتصاد و امور مالی اسلامی و همچنین چارچوبی برای درک توسعه تحقیقات در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد.
------	---	------------------------------------	---

با توجه به بررسی نتایج پژوهش‌های انجام شده به‌طور خلاصه چالش‌ها و خلاه‌های اصلی در پژوهش‌های مطالعه شده، در نهایت می‌توان بیان نمود، باتوجه به وضعیت نابسامان اقتصادی حال حاضر کشور و سایه رکود سنگین در صنعت ساخت و ساز، اهمیت استفاده از بهترین و مطمئن‌ترین روش تأمین منابع مالی پروژه بیش از گذشته می‌باشد.

۳- روش تحقیق

۳-۱- مطالعات اولیه

در گام نخست، مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای در مراجع علمی معتبر انجام گرفت که اهداف این مطالعات عبارتند از:

(الف) شناسایی انواع روش‌های تأمین منابع مالی

(ب) ویژگی‌های هر روش تأمین منابع مالی (نقاط ضعف و قوت)

(ج) شناسایی معیارهای انتخاب روش تأمین منابع مالی

(د) ویژگی‌ها و تفاوت‌های بلندمرتبه‌سازی با سایر پروژه‌ها

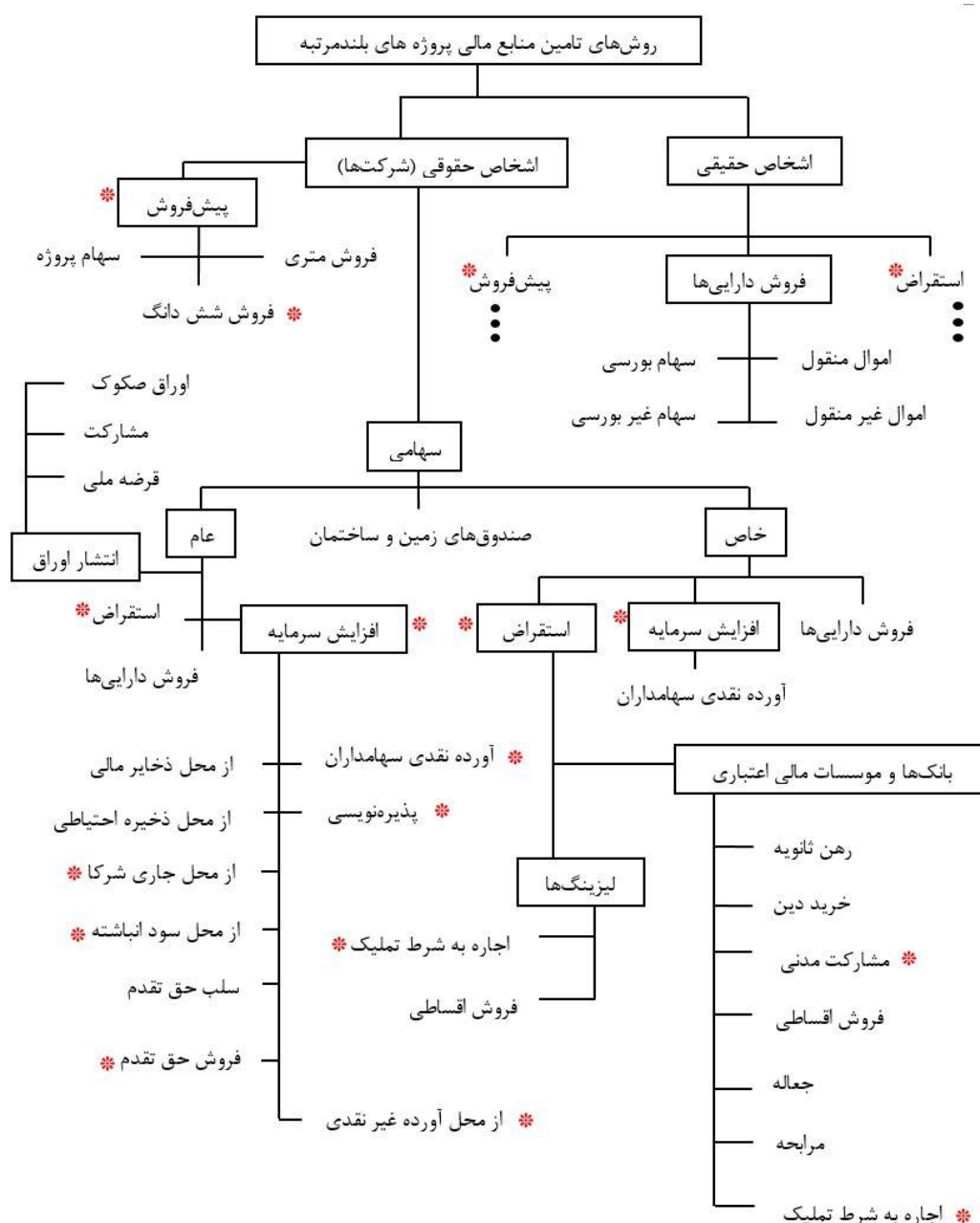
۳-۲- مصاحبه نیمه ساختار یافته

در گام دوم، مصاحبه نیمه ساختاریافته‌ای با هدف صحت‌سنجی، بومی‌سازی و در صورت لزوم تکمیل معیارها و روش‌های تأمین مالی، همچنین مشخص نمودن اعتبار کاربرد روش‌ها، انجام شد. این مصاحبه با ۵ نفر از خبرگان، کارفرمایان و صاحب‌نظران تأمین مالی انجام گرفت که به نتایج مورد نظر برای انتخاب معیارهای مناسب روش‌های تأمین مالی پروژه‌های بلندمرتبه دست پیدا شد. در جدول شماره ۳، دسته‌بندی معیارهای تأمین منابع مالی آورده شده است.

جدول شماره ۳. دسته‌بندی معیارهای تأمین منابع مالی

سیاست‌های مالی دولت	معیارهای کلان اقتصادی - سیاسی
سیاست‌های پولی بانک مرکزی	
سیاست‌های نظارتی سازمان بورس	
وجود محدودیت‌های شرعی و قانونی	
بازده مورد انتظار	معیارهای مربوط به منبع تأمین مالی کننده
سطح ریسک‌پذیری	
حجم تأمین مالی	
افق زمانی تأمین مالی	
ساختار بهینه سرمایه	معیارها و شرایط داخلی شرکت یا پروژه تأمین مالی شونده
هزینه فرآیند تأمین مالی	
وضعیت اعتباری شرکت	
سازوکار تقسیم سود مربوط به ابزار مالی	
محدودیت‌های مربوط به (محل) استفاده از وجوه ابزار مالی	
ریسک‌های مرتبط با ابزار	

پس از انجام این مصاحبه، علاوه بر تکمیل و دسته‌بندی معیارهای تأمین مالی (نتایج بدست آمده از گام اول روش تحقیق)، اعتبار و صحت هریک از آن‌ها نیز مورد تأیید مصاحبه‌شوندگان قرار گرفت. همچنین دسته‌بندی دیگری از انواع روش‌های تأمین منابع مالی داخلی نیز بدست آمد که در ادامه آورده شده است.



جدول شماره ۴. دسته بندی انواع روش‌های تامین منابع مالی داخلی پروژه‌های بلندمرتبه

بعد از انجام مصاحبه نیمه ساختاریافته و دستیابی به نتایج مورد نظر، پرسشنامه‌ای با جامعه آماری مناسب این پژوهش انجام شد که در ادامه بیان شده‌است.

۳-۳- پرسشنامه

در مرحله بعد، پرسشنامه ساختار یافته‌ای مطابق طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت جهت تعیین اوزان معیارهای تامین مالی از مدیران و کارفرمایان انجام شد. این پرسشنامه در سه دسته کلی مطابق دسته‌بندی معیارهای تامین مالی (جدول شماره ۲) و ۱۴ سوال تشکیل شده است که شامل ۱۴ معیار تامین مالی می‌باشد. اهمیت هر یک از این معیارهای تامین مالی از مخاطبین که پرسیده شده است.

این پرسشنامه از ۳ قسمت کلی تشکیل شده‌است:

- قسمت اول که شامل مشخصات اصلی پاسخ‌دهندگان مانند نام و نام خانوادگی، سابقه کاری، موقعیت شغلی، تحصیلات و ... می‌باشد که به منظور تجزیه و تحلیل جمعیت آماری و شناخت نمونه آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- قسمت دوم سنجش هریک از معیارهای شناسایی و جمع‌بندی شده از گام‌های اول و دوم توسط خبرگان می‌باشد.
 - هدف از این قسمت، جمع‌آوری داده‌ها به منظور تجزیه و تحلیل جهت دستیابی به هدف اصلی پژوهش می‌باشد.
 - قسمت سوم اولویت‌سنجی روش‌های تامین منابع مالی می‌باشد. در این راستا از خبرگان درخواست شده که روش‌های تامین منابع مالی را اولویت‌بندی نمایند.
- جامعه آماری این پرسشنامه، کلیه مهندسين پروژه‌های بلندمرتبه سازی در شهر تهران می‌باشد. نمونه آماری نیز مطابق فرمول کوکران^۱ مشخص خواهد شد.

۴- تحلیل داده‌ها

۴-۱- اعتبار ابزار

در مرحله اول، فرآیند مصاحبه نیمه‌ساختار یافته انجام‌شده به تایید خبرگان و مدیران مالی خواهد رسید تا از صحت عملکرد اطمینان حاصل شود.

در مرحله بعد، روایی و پایایی (قابلیت اعتماد) پرسشنامه انجام‌شده با استفاده از فرمول ضریب آلفای کرونباخ^۲ و به کمک نرم افزار SPSS تایید خواهد شد.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{S^2} \right) \quad (۱)$$

Reliability

Scale: ALL VARIABLES

Case Processing Summary

		N	%
Cases	Valid	30	100.0
	Excluded ^a	0	.0
	Total	30	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.670	.678	14

شکل شماره ۱. نتیجه نرم افزار SPSS روایی پرسشنامه

در این فرمول، k تعداد آیتم‌ها، S_i^2 واریانس آیتم شماره i ، S^2 واریانس کل آزمون (واریانس مجموع نمرات آیتم‌ها) می‌باشد.

در مرحله آخر، روش‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل داده‌های این پژوهش از منظر علمی بررسی می‌شود. روش تاپسیس فازی و آنتروپی شانون که ابزار تصمیم‌گیری در این مدل می‌باشد، حاصل مطالعات و جستجوی هدفمند در شیوه‌های علمی تصمیم‌گیری جهت یافتن روشی بوده‌است که بتواند نیازهای مسئله و اهداف این پژوهش را برآورده نماید.

بخشی از این مطالعات در ادبیات موضوع ارائه شده‌است. نتایج حاصل از نرم افزار SPSS به شرح شکل ۱ زیر است.

مطابق نتایج بدست آمده، ضریب آلفای کرونباخ کلی پرسشنامه برابر ۰.۶۷ می‌باشد که در بازه ۰.۶ تا ۰.۷ قابل قبول است.

۴-۲- آنتروپی شانون

در گام اول از محاسبات آنتروپی شانون برای دستیابی به اوزان هر یک از ۱۴ معیار تامین منابع مالی، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری شانون مطابق نتایج بدست آمده در گام قبلی (تعداد پاسخ‌های پرسشنامه برای هر گزینه)، تشکیل شد. در گام دوم مطابق فرمول‌های آنتروپی شانون، ماتریس نرمال شده (P_{ij}) تشکیل داده شد. نرمال سازی داده‌ها به این صورت می‌باشد که درایه هر ستون بر مجموع ستون تقسیم می‌شود.

در گام سوم و چهارم از محاسبات آنتروپی شانون، میزان آنتروپی (E_{ij}) و همچنین درجه انحراف (D_j) محاسبه شد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot \ln(P_{ij}), k = \frac{1}{\ln(m)} \quad (۲)$$

$$d_j = 1 - E_j(j:1, \dots, n) \quad (۳)$$

1 Cochran formula

2 Cronbach's alpha

در گام پنجم و نهایی آنتروپی شانون، محاسبات وزن (Wij) هریک از این ۱۴ معیار تامین منابع مالی انجام شد که در ادامه آورده شده‌است.

$$W_j = \frac{dj}{\sum_{j=1}^m dj} \quad (4)$$

جدول شماره ۵. اوزان معیارهای تامین منابع مالی (نتایج نهایی حاصل از آنتروپی شانون)

۰,۶۰۴	سیاست‌های مالی دولت	معیارهای کلان اقتصادی - سیاسی
۰,۰۵۱۰	سیاست‌های پولی بانک مرکزی	
۰,۰۱۵۶	سیاست‌های نظارتی سازمان بورس	
۰,۰۲۸۵	وجود محدودیت‌های شرعی و قانونی	
۰,۱۰۹۱	بازده یا سود مورد انتظار	معیارهای مربوط به منبع تامین مالی کننده
۰,۰۶۵۰	سطح ریسک‌پذیری	
۰,۱۰۸۶	حجم تامین مالی	
۰,۰۹۶۹	افق زمانی تامین مالی	
۰,۱۰۱۸	ساختار بهینه سرمایه	معیارها و شرایط داخلی شرکت یا پروژه تامین مالی شونده
۰,۰۵۷۰	هزینه فرآیند تامین مالی	
۰,۰۵۸۹	وضعیت اعتباری شرکت	
۰,۱۱۳۴	سازوکار تقسیم سود مربوط به ابزار مالی	
۰,۰۵۰۴	محدودیت‌های مربوط به (محل) استفاده از وجوه ابزار مالی	
۰,۰۸۳۴	ریسک‌های مرتبط با ابزار مالی	

پس از بدست آمدن اوزان هریک از معیارهای تامین منابع مالی با روش آنتروپی شانون، با استفاده از روش تاپسیس فازی رتبه‌بندی روش‌های تامین مالی بر اساس مطالعه موردی انجام شد که در ادامه آورده شده‌است.

۳-۴- تاپسیس فازی

جهت ارائه مدل تامین مالی مدنظر این پژوهش، لازم است داده‌های یک پروژه بصورت مطالعه موردی^۱ پیاده‌سازی و نتیجه‌گیری شود. بدین منظور در ادامه مدل تامین منابع مالی مناسب برای یک پروژه ساختمانی بلندمرتبه بدست آورده شده است.

۳-۴-۱- مطالعه موردی



شکل ۱- بنای مورد مطالعه

مشخصات پروژه و قرارداد ساختمانی مورد بررسی:

کارفرما: شرکت مدیریت ساختمانی آریان پاسارگاد

مشاور: شرکت مهندسين مشاور آيين تدبير

پیمانکار: شرکت راه و ساختمان بلندطبقه

ماده ۱. موضوع: موضوع پیمان عبارتست از تهیه مصالح و اجرای کامل کلیه عملیات باقیمانده ساختمانی (ابنیه، تاسیسات برقی، تاسیسات مکانیکی)، محوطه‌سازی، تا مرحله راه‌اندازی و تحویل نهایی پروژه مسکونی ۲۴ طبقه در مجتمع اداری-تجاری-مسکونی پارسه با حدود ۳۷۰۰۰ مترمربع زیربنا، واقع در تهران- منطقه ۲۲- اتوبان خرازی - بلوار شهید اردستانی - خیابان زحمت‌کش - مجتمع پارسه بلوک B

ماده ۲. مبلغ پیمان: مبلغ پیمان ۶۳۹۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال (ششصد و سی و نه میلیارد ریال) است. مبلغ پیمان با توجه به اسناد و مدارک پیمان تغییر می کند.

ماده ۳. مدت و تاریخ پیمان: مدت پیمان برابر ۲۴ ماه خورشیدی است. تاریخ پیمان برابر است با ۱۳۹۸/۱۰/۱ پس از شروع به کار پیمانکار در این پروژه، با توجه به افزایش شدید قیمت ها در طول ساخت، کارفرما می بایست برای انجام مراحل نازک کاری و تاسیسات مکانیکی تامین منابع مالی مورد نیاز پروژه را انجام دهد. پس از برگزاری جلسات مدیران شرکت کارفرما برای تامین منابع مالی پروژه، تصمیم بر آن شد که از میان تمامی روش های تامین مالی موجود، یکی از سه روش پیش - فروش، افزایش سرمایه یا استقراض را برای تامین مالی برگزینند. به همین دلیل در این پژوهش، این سه روش تامین مالی بر اساس مدل پیشنهادی رتبه بندی می شوند تا مناسب ترین روش تامین مالی با توجه به شرایط پروژه مورد بررسی انتخاب شود. در گام اول تاپسیس فازی، ابتدا از مدیران شرکت کارفرما خواسته شد متناسب با شرایط پروژه مورد بررسی و شرایط داخلی شرکت خود، ۱۴ معیار تامین مالی را براساس ۳ روش منتخب تامین مالی بصورت فازی و با استفاده از اعداد مثلثی نمره دهی کنند. مطابق جدول شماره ۶ (ارتباط اعداد مثلثی با متغیرهای کلامی)، ارتباط متغیرهای کلامی این ۳ روش مورد بررسی تامین مالی، با هر یک ۱۴ معیار تامین مالی بوسیله اعداد مثلثی مشخص شد. (جدول شماره ۵) این متغیرها بسته به شرایط هر پروژه ساختمانی و شرایط سرمایه گذاران استفاده کننده از این مدل متفاوت می باشد.

جدول شماره ۶. ارتباط اعداد مثلثی با متغیرهای کلامی

اعداد مثلثی فازی مطابق با متغیرهای زبانی	متغیرهای زبانی
(۱,۱,۳)	بسیار کم
(۱,۳,۵)	کم
(۳,۵,۷)	متوسط
(۵,۷,۹)	زیاد
(۷,۹,۹)	بسیار زیاد

در گام دوم، مطابق فرمول های تاپسیس فازی ماتریس نرمال شده تشکیل شد.
اگر معیار بار مثبت داشته باشد خواهیم داشت:

$$n_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right), u_j^+ = \max u_{ij} \quad (5)$$

اگر معیار بار منفی داشته باشد خواهیم داشت:

$$n_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{l_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{u_{ij}} \right), l_j^- = \min l_{ij} \quad (6)$$

در گام سوم از محاسبات تاپسیس فازی، ماتریس وزن دار تاپسیس تشکیل می شود. این ماتریس حاصل ضرب وزن هر یک از معیارهای تامین منابع مالی (که از آنتروپی شانون بدست آمد) در ماتریس نرمال شده تاپسیس فازی است.

$$V_{ij} = r_{ij} \times W_j \quad (7)$$

در گام چهارم مطابق فرمول های تاپسیس فازی، ایده آل مثبت و ایده آل منفی برای هر معیار تامین مالی محاسبه شد.

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+), v_j^+ = (c_j^+, c_j^+, c_j^+), c_j^+ = \max_i \{c_{ij}\} \quad (8)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-), v_j^- = (a_j^-, a_j^-, a_j^-), a_j^- = \min_i \{a_{ij}\} \quad (9)$$

در گام پنجم، فاصله هر روش از ایده آل مثبت و منفی محاسبه شد.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n dv(v_{ij}, v_j^+), i=1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n dv(v_{ij}, v_j^-), i=1, 2, \dots, m \quad (11)$$

در گام آخر، با محاسبه CCI مطابق فرمول های تاپسیس فازی برای هر روش تامین مالی رتبه بندی آن ها انجام شد که به شرح زیر می باشد:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (۱۲)$$

جدول شماره ۷. رتبه‌بندی نهایی روش‌های تامین منابع مالی مورد بررسی

۱	استقراض	۰,۶۹۶۱
۲	افزایش سرمایه	۰,۵۸۳۰
۳	پیش فروش	۰,۵۱۲۷

با توجه به نتایج بدست آمده از مدل تامین مالی مورد نظر، مشخص شد که برای پروژه مورد مطالعه این پژوهش روش استقراض از بین سه روش تامین منابع مالی منتخب، مناسب‌ترین روش تامین مالی برای این پروژه بلندمرتبه می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

بدلیل وجود دسته‌بندی‌های متنوع برای روش‌های تامین منابع مالی، در این تحقیق سعی بر آن شد که مناسب‌ترین روش‌ها و همچنین معیارهای تامین مالی، خاص پروژه‌های بلندمرتبه سازی بدست آید. با انجام مصاحبه نیمه ساختار یافته از خبرگان تامین مالی و همچنین مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، دسته‌بندی کاملی از انواع روش‌ها و معیارهای تامین منابع مالی داخلی بدست آمد. سپس با انجام پرسشنامه و اعتبارسنجی آن، با استفاده از روش آنتروپی شانون وزن‌دهی هر یک از معیارهای تامین منابع مالی انجام شد. همچنین با در نظر گرفتن یک پروژه عمرانی بلندمرتبه، مطالعه موردی این پژوهش با استفاده از روش تاپسیس فازی انجام شد که در نتیجه مدل تامین منابع مالی پروژه‌های بلندمرتبه سازی برای پروژه مورد مطالعه این تحقیق بدست آمد. این مدل، برای شرایط ویژه هر پروژه یا شرکت سرمایه‌گذاری کننده متفاوت بوده و با توجه به شرایط خاص کارفرمایان تعیین می‌شود. خروجی مورد انتظار این پژوهش در قالب مدلی ارائه شد که به روش سیستماتیک، معیارها و انتظارات چندگانه و گاهی متعارض تامین مالی را برآورده سازد و به متولیان امر در پروژه‌های عمرانی به عنوان سرمایه‌گذار پروژه‌های مورد مطالعه، در تصمیم‌گیری سریع و صحیح در مورد تامین مالی این پروژه‌ها کمک نماید. در طول انجام این پژوهش بعضی از خلاء‌های و چالش‌های تحقیقاتی نیز مشاهده شدند که شامل عدم وجود پژوهش‌های مناسب جهت ارائه راهکارهای استفاده از ظرفیت‌های تامین منابع مالی خارجی و روش‌های نوین تامین منابع مالی برای پروژه‌های داخلی با توجه به وضعیت سیاسی حال حاضر کشور و تحریم‌های موجود و همچنین کمبود مضاعف نقدینگی برای سرمایه‌گذاران، دشواری در تامین بودجه، عدم توجه اقتصادی و زمان-بر بودن روش‌های رایج تامین مالی می‌باشد. همچنین می‌توان عدم استفاده از روش‌های دقیق‌تر به عنوان مثال بکارگیری هوش مصنوعی جهت وزن‌دهی معیارها و شاخصه‌های تامین مالی و ارائه مدل مناسب جهت انتخاب نوع روش تامین منابع مالی نیز از دیگر خلاء‌های تحقیقاتی برشمرد. این چالش‌ها را می‌توان جهت تحقیقات آتی به محققین معرفی نمود.

منابع

۱. امیرحسین معلمیان، مصطفی قاضی مرادی. (۱۴۰۱) مروری بر پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوزه تامین مالی پروژه‌های بلندمرتبه‌سازی و شناسایی خلاءهای تحقیقاتی
۲. ذاکرنیا احسان، خواجه زاده دزفولی مهدی، فدایی واحد میثم. اولویت بندی عوامل موثر بر انتخاب شیوه تامین مالی در ایران با استفاده از روش TOPSIS در محیط فازی مبتنی بر متغیرهای کلامی.
۳. مرادی حقیقت، مینویی، مهرزاد، شاهجویی. (۲۰۱۶). ارزیابی روش‌های تأمین مالی در صنعت نفت ایران با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۲ (۴۸)، ۲۱۵-۲۲۹.
۴. فدایی واحد، مایلی. (۲۰۱۴). اولویت‌بندی عوامل موثر بر تأمین مالی در ایران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. *فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی*، ۲ (۶)، ۱۴۱-۱۶۰.
۵. عبدی، حمید (۱۳۸۵) بررسی موانع اصلی موفقیت بخش خصوصی داخلی در مشارکت پروژه‌های عمرانی
۶. مهدی‌زاده‌چله‌بری، علیرضا (۱۳۸۵) تجزیه تحلیل روش‌های ارزیابی بانک‌های داخلی از برآورد هزینه‌های سرمایه گذاری پروژه‌های عمرانی
۷. نورش و عابدی ۱۳۸۸. رابطه بین شیوه های تأمین مالی و درصد تغییرات هزینه سرمایه (مطالعه موردی: شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران)
۸. رحیمی گلخندان آیدا. (۱۳۸۹). ارائه مدل تصمیم گیری جهت تامین مالی پروژه های نوسازی بافت فرسوده: مطالعه موردی پروژه های متمرکز نوسازان. پایان نامه دریافت درجه کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت. دانشگاه شهید بهشتی .

۹. سلامی، رضانی، هادی، صدیقی گاریز، سیما، جمالی، احمد. (۲۰۱۱). انتخاب روش مناسب سرمایه گذاری خارجی با به کارگیری تکنیک‌های تصمیم گیری چندمعیاره در صنایع پالایش نفت جمهوری اسلامی ایران. *مطالعات مدیریت صنعتی*، ۹ (۲۳)، ۷۱-۹۶.
۱۰. کریم‌زاده، مصطفی، نوروزی، نادم، مسعود. (۲۰۱۳). بررسی تأثیر منابع تأمین مالی و میزان تمرکز سهام‌داران بر واکنش بازار بورس تهران به سود های گزارش شده شرکت ها. *اقتصاد پولی مالی*، ۲۰ (۵)، ۱۱۶-۱۳۵.
۱۱. کریمی، آصف، بوذرجمهری، شهریار. (۲۰۱۴). تحلیل سازوکارهای تأمین مالی کسب‌وکارهای کوچک و متوسط. *فصلنامه علمی پژوهشی توسعه کارآفرینی*، ۷ (۳)، ۴۶۷-۴۸۶.
۱۲. جباری، امید، صفایی، امین نژاد، بابک. (۱۳۹۹). رتبه بندی روش های تامین مالی از منابع خارجی در پروژه های عمرانی. *نشریه عمران و پروژه*، ۲ (۱۲)، ۵۸-۶۷.
۱۳. ترکان، اکبر و فرمان، حامد (۱۳۹۱). مدیریت نفتی منابع و تأمین مالی پروژه های نفتی با مروری بر درآمدهای نفتی کشور، مرکز تحقیقات استراتژیک کشور، تهران.
۱۴. داودیان امیرحسین، حسینی سید محمود (۱۳۹۰). اولویت بندی روش های تأمین مالی پژوهش های پالایشگاهی ایران، نشریه چشم انداز مدیریت و حسابداری، شماره ۳
۱۵. رضوی، حسین (۱۳۹۰). تأمین مالی پروژه‌های انرژی در کشورهای در حال توسعه (مترجم سعید قهرمان پور)، چاپ اول، تهران..
۱۶. زهدی، مسعود (۱۳۹۰). الگوهای رایج سرمایه‌گذاری در صنعت نفت و انرژی . چاپ اول، تهران، مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی.
۱۷. سهرابی مجید، قریشی سمیه (۱۳۹۰). تأثیر فضای تحریم بر تأمین مالی پروژ ها، نشریه صنعت هوشمند، سال ۴۱ / شماره ۹ و ۱۰
۱۸. صابری، بخشعلی و دیگران (۱۳۹۱). صکوک، راهکاری نو در تأمین منابع مالی پروژه های انرژی های تجدیدپذیر، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس انرژی بادی، ایران، تهران.
۱۹. قدسی پور سید حسن (۱۳۸۷). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP تهران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
۲۰. مهدی زاده رسول، فتح الله زاده سینا. (۱۳۹۲) بررسی روش برنامه ریزی سلسله مراتبی مجموعه مقالات کنفرانس ملی، (AHP) در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره حسابداری و مدیریت، شیراز.
21. KRIPA. E, XHAFA. H, (2012), Project Finance and Projects in the Energy Sector in Developing Countries, EUROPEAN ACADEMIC RESEARCH, Tirana, Albania.
22. Jaffe, A. M. (2006). Iraq's Oil Sector: Issues and Apportunities. The James A. Baker III, Institute for Public Policy, Rice University.
23. Johnston, Daniel. (1994). International Petroleum fiscal systems and Production Shoring Contracts. Penn well Corporation. p 5-107. Johnston,
24. Daniel. (2003). International Explration Economics, Risk. and Contract Analysis. Penn well Corporation. P. 1-75.
25. Kayser, DIRK (2013), Recent research in project finance, Chinese Academy of science, recerch center on economy and data science.
26. Shen-fa Wu, Xiao-ping Wei, (2009), The rule and method of risk allocation in project finance, The 6 international Conference on Mining Science & Technology, school of management china university, China.
27. Saaty, T. L. (2000). Fundamentals of decision making and priority theory, 2nd Ed., PA: RWS Pub.,Pittsburgh.
28. Saaty, T. L. (1980). The analytical hierarchy process, McGraw-Hill, New York.
29. Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., & Sorenson, K. (2002). Guidebook to Decision Making Methods. USA.: Department of Energy.
30. Ballesterro, E. (2000). Project Finance: A Multi-Criteria Approach to Arbitration. The Journal of the Operational Research Society .
31. Bartol, K., Mattin, D., Tein, M., & Matthews, G. (1998). Management: A Pacific Rim Focus. Sydney: McGraw-Hill.
32. Bhaskar, K. (1979). A multiple objective approach to capital budgeting. Accounting and Business Research .
33. Caglar, M. (2009). Multiple Criteria Project Selection Problems. Master Thesis, Middle East technical University, Dept. of Industrial Engineering .
34. Fight, A. (2006). Introduction to Project Finance. Oxford: Butterworth-Heinemann, An imprint of Elsevier.
35. Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2004). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. New York: Springer.
36. Finnerty, J. D. (1996). Project financing. New York: John Wiley & Sons, Inc.
37. Fulup, J. (2005). Introduction to Decision Making Methods. Hungarian Academy of Sciences: Computer and Automation Institute.

38. Gatti, S. (2008). Project Finance in Theory and Practice. San Diego, California: Elsevier Inc.
39. Guitouni, A., & Martel, J.-M. (1997). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research* .
40. Kelton, W., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2003). *Simulation with Arena*, 3rd ed. McGraw-Hill.
41. Kulshrestha, S. (2006). *Dictionary of Urban & Regional Planning*. Kalpaz Publications.
42. Lee, S. M., & Eom, H. B. (1989). A Multi-Criteria Approach to Formulating International Project-Financing Strategies. *The Journal of the Operational Research Society* .
43. Linkov, I., Varghese, A., Jamil, S., Seager, T., Kiker, G., & Bridges, T. (2004). Multi-criteria Decision Analysis: A framework for structuring Remedial Decision Making. *Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making*, Springer .
44. Mareschal, B., & Brans, J. (1988). Geometrical Representations for MCDA. The GAIA Module. *European Journal of Operational Research* .
45. Millar, A., Simeone, R., & Carnevale, J. (2001). Logic models: a systems tool for performance management. *Evaluation and Program Planning* .
46. Miller, I. (1959). *New life for cities Around the world*. International Handbook of urban renewal. New York: Books International.
47. Miller, J., & Fishwick, P. (2004). Investigating Ontologies for Simulation Modeling. *Simulation Symposium*.
48. Mintzberg, H., Rasinghani, D., & Theoret, A. (1976). The Structure of Unstructured Decision Process. *Administrative Science Quarterly* .
49. Nemhauser, G., Rinnoy Kan, A., & Todd, M. (1989). *Handbooks in Operations Research and Management Science: Volume 1 Optimization*.
50. Amsterdam: North-Holland. Orne, D. I., Ashok, R., & Wallace, W. A. (1975). Profit Maximization with the Aid of Goal Programming for Speculative Housing Estate Developers. *Palgrave Macmillan Journals and Operational Research Society* .
51. Overstreet, C., & Nance, R. (1985). A Specification Language to Assist in Analysis of Discrete Event Simulation Models. *Communications of the ACM* .
52. Rezaee, N. (2008). The Necessity & the General Principles of Intervention in the Deteriorated Urban Areas. *Sharjah Urban Planning Symposium (SUPS) 10*.
53. Roy, B. (1991). The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods. *Theory and Decision* .
54. Tomas, A. (1999). *Islamic Home Finance Methods*. American Journal of Islamic Finance .
55. Triantaphyllou, E. (2000). *MultiCriteria DecisionMaking Methods: A Comparative Study*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
56. Turner, R. (2007). The Financing of Projects. In P. W. Morris, & J. K. Pinto, *The Wiley Guide to project, Program & Portfolio Management*. John Wiley & Sons, Inc.
57. UKDTLR. (2001). *Multi Criteria Analysis: A Manual*. UK.: Department for Transport, Local Government and the Regions.
58. Yescomb, E. (2002). *Principles of Project Finance*. San Diego, California: Academic Press- An Imprint of Elsevier.
59. Zopounidis, C. (1999). Multi-criteria decision aid in Financial management. *European Journal of Operational Research* .
60. Zopounidis, C., & Despotis, D. S. (1995). Multi-attribute evaluation of Greek banking performance. *Applied Stochastic Models ana Data Analysis* .

مقایسه تطبیقی پوشش‌های پیش ساخته در نماهای ساختمانی (مقایسه سیستم‌های چاپ سه بعدی و سنتی)

لیلی زمانی^۱، شایان شیرمحمدی^۲، نیلوفر عرب زاده^۳،
علیرضا مشبکی اصفهانی^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳

کد مقاله: ۷۴۱۸۸

چکیده

روش‌های ساخت و ساز در صنعت ساختمان سازی با توجه به نیازهای انسان که همواره لازم است در کمترین زمان و با ارزان‌ترین قیمت به بهترین کیفیت ممکن دسترسی پیدا کند به محدودیت رسیده بود در نتیجه انتظار می‌رفت که همواره از تکنولوژی موجود در این صنعت بهره‌گیری می‌شد. چاپ سه بعدی یک فناوری نوینی می‌باشد که امروزه در صنایع مختلف همچون صنایع تولیدی و خدماتی به طور نمونه مبلمان سازی، تولید قطعات پزشکی، قطعات مکانیکی و ... مورد استفاده گرفته می‌شد. ساخت و ساز در عصر حاضر می‌تواند از این تکنولوژی با توجه به موفقیت دیگر صنایع استفاده کند. چاپ سه بعدی به عنوان فناوری در نظر گرفته می‌شد که برای چاپ سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. مواد اولیه‌ای که با چاپ سه بعدی باید استفاده شود باید الزامات مناسبی را دارا می‌بود که در مقایسه با روش سنتی مزایایی را به ارمغان می‌آورد. در این مقاله به بررسی چاپ سه بعدی در جهت فناوری مصالح ساختمانی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گردیده و مقایسه‌ای با روش سنتی صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی،

-
- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دیجیتال، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
 - ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دیجیتال، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
 - ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دیجیتال، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
 - ۴- دکترای معماری، عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

۱- مقدمه

پیشرفت‌های گسترده در صنایع ساختمان سازی به ندرت دیده می‌شود. در این مقاله، به بررسی جایگزینی برای ساختمان سازی با روش متداول و فعالیت‌های دستی در کارگاه در مقایسه با سیستم‌های ساختمانی پیش ساخته پرداخته شده و همچنین امکان استفاده، مزایا، معایب، جنبه‌های اقتصادی، الگوهای موثر، موانع و توسعه پیش ساختگی در صنعت ساختمان سازی مورد بحث قرار گرفته است. از نیازهای اولیه بشر تامین پناهگاه می‌باشد. امروزه با رشد جمعیت نیاز به ساخت سرپناه در زمان کمتر، ارزان‌تر و مقاوم‌تر مورد نیاز است و همچنین، ایمنی بیشتر در حین کار به ویژه در پروژه‌های انبوه سازی از جمله مزایای این سبک ساخت و ساز می‌باشد. (تقدیری، قنبرزاده قمی، ۱۳۹۴) این روش می‌تواند آغاز تغییر تکنولوژی ساخت و ساز باشد در واقع با افزایش احداث پروژه‌های زیرساختی عظیم به همراه توسعه روزافزون ساختمان‌های تجاری و بناهای مسکونی، بازسازی و تخریب کارگاه ساختمانی یا سایت پروژه و سازه‌های مهندسی مقدار متناهی از ضایعات ساختمانی به جای می‌ماند که این ضایعات از دیگر عوامل تخریب محیط زیست می‌باشد. از طریق به کارگیری روش‌های پیش ساختگی می‌توان ضایعات حاصل از ساخت و ساز را تا نصف کاهش داد، همچنین، استفاده از طرح‌های ساختمانی استاندارد و منظم در این زمینه مؤثر خواهد بود و با بهره‌گیری از فرآیندهای مکانیزه، استفاده از مصالح بازیافت شده یا قابل بازیافت و مونتاژ اجزای ساختمانی پیش ساخته به روش صنعتی می‌توان هزینه‌ها را تا حد چشمگیری کاهش داد. در نتیجه انتظار می‌رود صنعت ساخت و ساز تحولات بزرگی را پشت سر بگذارد، زیرا پیش‌بینی می‌شود که اتوماسیون ساخت و ساز می‌تواند به نوع آوری‌های جدیدی در جهت ساختمان سازی قدم بردارد که می‌تواند منجر به استفاده از فناوری‌های جدید چاپ بتن سه بعدی (DCP۳) شود؛ چاپ سه بعدی یک فناوری نوین برای نصب اشیاء ساختمانی است که در سرتاسر دنیا هر لحظه نمونه‌های اولیه جدیدی با استفاده از این روش ساخته می‌شود. چاپ سه بعدی به عنوان فناوری در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند برای چاپ سازه‌ها استفاده کرد در نتیجه استفاده از این روش مزایایی را به ارمغان می‌آورد.

۲- پیشینه تحقیق

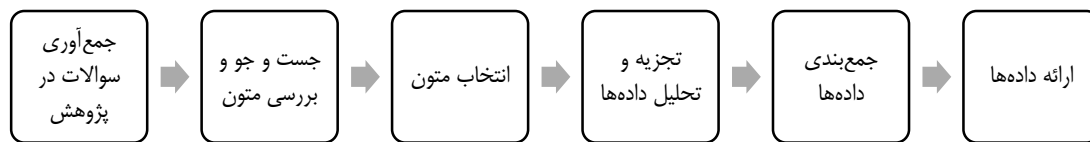
برای مطالعه پیشینه این تحقیق، از روش جست و جو منابع، در پایگاه‌های مختلف علمی استفاده شده بدین شکل که با استفاده از جستجوی کلیدواژه‌های مربوطه اعم از چاپ سه بعدی، سیستم ساختمانی پیش ساخته، تولید انبوه، ضایعات ساختمانی، تکنولوژی چاپ و ... بهره گرفته شده است؛ مقالات و منابع مرتبط با تحقیق گردآوری گردید و به مطالعه آنها پرداخته شد. در جدول شماره ۱، برخی از مطالعات پیشین صورت گرفته در خصوص موضوع مورد مطالعه بررسی و چکیده‌ای از آن‌ها گردآوری گردیده است:

جدول ۱- پیشینه تحقیق (نگارندگان)

عنوان پژوهش	محل انتشار	سال	نویسندگان	خروجی و نتیجه پژوهش
۱	مقایسه با ساخت و ساز متعارف	مقایسه با ساخت و ساز متعارف	مقایسه با ساخت و ساز متعارف	مقایسه با ساخت و ساز متعارف
۲	Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing	انتشار آنلاین	Bos, Wolfs, Ahmed & Salet	DCP به عنوان خانواده‌ای از روش‌های امیدوارکننده برای رسیدگی به چالش‌های پیش روی ساخت و ساز بتنی امروزی و همچنین برای باز کردن راه‌های جدیدی از امکانات طراحی معرفی شد.
۳	Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies	سمپوزیوم بین المللی اتوماسیون و رباتیک در ساخت و ساز	Nematollahia , Xiab & Sanjayanc	نمونه‌های امیدوارکننده ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که این فناوری به سرعت در حال پیشرفت است به گونه‌ای که چاپ سه بعدی سازه‌های بتنی در مقیاس بزرگ ممکن است در نزدیکی به واقعیت تبدیل شود.
۴	Construction Robotics enabling Innovative Disruption and Social Supportability	کرسی اجرای ساختمان و رباتیک، دانشگاه فنی مونیخ، آلمان	تیبوک	در حال حاضر، می‌توان مشاهده کرد که فناوری CA، سیستم‌های ربات خدماتی و سایر فناوری‌های میکروسیستم در حال ادغام با محیط ساخته شده‌اند و به عناصر ذاتی ساختمان‌ها، اجزای ساختمان و میلمان ساختمان تبدیل می‌شوند.
۵	Characteristic of materials for the 3D printed building constructions by additive printing	وب کنفرانس های 01013 222MATEC	Pacewicz1 , Sobotka & Golek	مخلوط طراحی شده برای چاپ شی اول از همه باید دارای ویژگی‌های خاصی باشد که چاپ و الزامات استاندارد را که باید از عناصر خاص ساختمان عبور کند را ممکن می‌کند. با توجه به اینکه کل ساختمان می‌تواند استانداردهای لازم مانند استحکام، حفاظت در برابر آتش و غیره را داشته باشد.

۳- روش تحقیق

براساس نتایج حاصل از تحقیقات و اطلاعات گردآوری شده از منابع کتابخانه‌ای با استفاده از کلید واژه چاپ سه بعدی، سیستم ساختمانی پیش ساخته، تولید انبوه، ضایعات ساختمانی، تکنولوژی چاپ و... در پایگاه علمی مختلف و بررسی مقایسه پوشش‌های پیش ساخته ساختمانی با کمک فناوری چاپ سه بعدی در برابر سیستم‌های پوشش‌های پیش ساخته نوین دیگر در نما نتایج به شرح مدل مفهومی مطالعه به شکل ذیل می‌باشد:



دیگرام ۱- مدل مفهومی تحقیق (نگارندگان)

۴- مفاهیم و اصطلاحات

۴-۱- چاپ سه بعدی

فرآیند چاپ سه بعدی در ساخت و ساز شامل هفت مرحله است. مرحله اول طراحی کامپیوتر مدل سه بعدی گرافیکی بیشتر (CAD) است. مرحله بعدی تبدیل مدل آماده شده به فرمت که با چاپگر سه بعدی قابل درک است؛ معمولاً این فرمت (STL) می‌باشد. قبل از چاپ، چاپگر برای کار و فایل طراحی برای تنظیم مقیاس چاپ و جهت اقلام چاپ شده سازگار می‌شود. مرحله بعدی پرینت سه بعدی شی است. مواد طبق مدل سه بعدی لایه به لایه با ضخامت مشخص گذاشته می‌شود. هنگامی که فرآیند چاپ به پایان رسید، چاپگر باید تمیز شود. آخرین مرحله تکمیل شی است. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018) مخلوط طراحی شده برای چاپ شی اول از همه باید دارای ویژگی‌های خاصی باشد که چاپ و الزامات استاندارد را که باید از عناصر خاص ساختمان عبور کند را ممکن می‌سازد. با توجه به اینکه کل ساختمان باید استانداردهای لازم مانند استحکام، حفاظت در برابر آتش و غیره را داشته باشد و از طرف دیگر، مواد اولیه تولید مخلوط‌ها باید مطابق با مفهوم توسعه پایدار، یعنی صرفه جویی در منابع تجدیدناپذیر انتخاب شوند. مواد زائد قابل بازیافت، برای به حداقل رساندن احتمالی هزینه‌ها می‌باشد. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018)

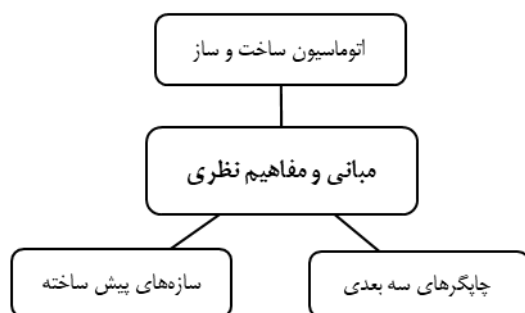
مدل سازی ویژگی‌های مخلوط، انتخاب ویژگی‌های آن نیز از عملکردی ناشی می‌شود که ساختار چاپ شده یا عنصر موجود در شی چاپ شده انجام می‌دهد. همچنین، شرایط اجراء از جمله شرایط آب و هوایی، ممکن است بر ویژگی‌های مورد نیاز مخلوط مورد استفاده تأثیر بگذارد. مخلوط‌های چاپ باید دارای ویژگی‌های قابل چاپ سودمندی باشند که می‌توان آن‌ها را در محدوده وسیعی کنترل کرد و ویژگی‌های آن‌ها را برای بهبود عملکرد در طول فرآیند چاپ سه بعدی اصلاح کرد. تهیه یک ماده سازگار برای چاپگر سه بعدی در مقیاس بزرگ کار دشواری است. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018) عوامل مختلفی بر خواص ملات‌های تازه و سخت شده تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل دقیق خواص با در نظر گرفتن مکانیسم‌ها به دلیل اثر افزودنی‌ها و مواد افزودنی منفرد بر کارایی مخلوط‌های چاپی قطعاً توصیه می‌شود. همچنین با توجه به قابلیت‌های چاپگر و باتوجه با اینکه این فناوری در مرحله آزمایشی است، پرینت سه بعدی از مخلوط ملات می‌تواند انقلابی را ایجاد کند که پتانسیل بخش ساخت و ساز را افزایش دهد.

۴-۲- اتوماسیون ساخت و ساز

رویکرد راه‌اندازی محیط‌های کنترل شده و کارخانه مانند در محل ساخت و ساز در قالب کارخانه‌های خودکار-رباتیک در محل را می‌توان به عنوان یک گام منطقی رو به جلو در رویکردهای پیش ساخته و فناوری STCR ها در نظر گرفت. با پیروی از مفاهیم و پیشرفت‌های دقیق فوق، در حال حاضر می‌توان مشاهده کرد که فناوری CA ، رویکردهای STCR ، سیستم‌های ربات خدماتی و سایر فناوری‌های میکروسیستم در حال ادغام با محیط ساخته شده هستند و به عناصر ذاتی ساختمان‌ها، اجزای ساختمان و مبلمان ساختمان تبدیل می‌شوند. با گذشت زمان، توانایی سیستم‌های ربات افزایش یافته است، به آن‌ها اجازه می‌دهد تا بیشتر و بیشتر در محیط‌های نسبتاً بدون ساختار کار کنند و همچنین درهای متعدد و متنوع مستقر شوند. فناوری ربات در همه جا فراگیر می‌شود و زندگی و محیط‌های ساخته شده را فرا می‌گیرد. (T. Bock, ۲۰۰۹)

۳-۴- سازه‌های پیش ساخته

اجزای ساختمانی پیش ساخته و خانه‌های پیش ساخته از نیاز به مسکن سریع است امروزه بیش از ۶۰ درصد ساختمان‌های کشورهای پیشرفته به گونه‌ای صنعتی تولید شده و در بیش از ۹۰ درصد ساختمان‌های مسکونی و تجاری آن‌ها از اجزای ساختمانی پیش ساخته و سیستم‌های خشک استفاده می‌شود. هزینه ساخت و ساز با استفاده از قطعات پیش ساخته با توجه به بازگشت سریع سرمایه، کمتر از هزینه ساخت و سازه‌های سنتی است.



دیاگرام ۱- دیاگرام مبانی نظری (نگارندگان)

همچنین، سبک‌سازی اجزای ساختمانی، دیوارها و سقف و غیره به نوبه خود باعث کم شدن بار مرده ساختمان و کاهش اندازه‌های شالوده و سازه، کاربرد مصالح کمتر و در نتیجه پایین آمدن هزینه ساخت از دیگر مزایای این نوع سازه‌ها است. اجرای فناوری‌های پیشرفته صنعتی در این سیستم، نیازمند نیروی انسانی ماهر، ولی به تعداد کم و در زمان کمتر است. لذا مجموعه هزینه نیروی انسانی در این سیستم، کم‌تر از روش‌های سنتی است. ابزار و مصالح مورد استفاده نیز نسبتاً کم هزینه هستند.

۵- یافته‌ها

۱-۵- تاریخچه و تعاریف

نقلاب صنعتی چهارم نشان‌دهنده آغاز تغییر عمیق در بخش ساختمان است. در دهه گذشته، چشم انداز اشکال، مواد و تکنیک‌های ساخت و ساز با توجه به فن‌آوری تولید افزایشی به سرعت در حال تکامل است. از سوی دیگر، حتی اگر تکنولوژی به سرعت در حال رشد باشد و چندین ساختمان چاپ شده سه بعدی در سراسر جهان در حال توسعه باشند، پتانسیل چاپ سه بعدی بتنی در ساخت قبل از ساخت، بررسی نشده باقی می‌ماند. در نتیجه، کاربرد فن‌آوری‌های جدید ساخت دیجیتال در صنعت ساخت و ساز نیاز به طراحی مجدد فرآیند ساخت و ساز و اجرای آن دارد. این مقاله یک مفهوم، طرح و نمونه اولیه جدید از یک پوشش پیش ساخته ساختمان را برای پیش ساخته شدن با چاپ بتن سه بعدی مبتنی بر اکستروژن (3DCP) ارائه می‌دهد. هدف از طراحی و مفهوم جدید، بهره‌برداری کامل از پتانسیل چاپ سه بعدی برای اجزای پیش ساخته، به ویژه از نظر مونتاژ خشک، سرعت اجرا، قابلیت استفاده مجدد، قابلیت بازیافت، پیمانه‌ای بودن، تطبیق پذیری، سازگاری و پایداری است. فراتر از طراحی مفهومی جدید عناصر پیش ساخته، این تحقیق مواد سیمانی قابل چاپ سه بعدی را براساس سیمان فسفات پتاسیم منیزیم (MKPC) بررسی کرد، که برای اطمینان از عملکرد خوب جز پیشنهادی طراحی و تست شد. در نهایت، یک نمونه اولیه در مقیاس با فن‌آوری تولید افزایشی به منظور تایید قابلیت چاپ و بهینه سازی مسیر اکستروژن محقق شده است. این مطالعه ما را به این باور می‌رساند که استفاده ترکیبی از سیستم‌های پیش ساخته، اتوماسیون ساخت و ساز و مواد نوآورانه جدید می‌تواند به طور قاطع پایداری صنعت ساخت و ساز را در آینده بهبود بخشد. (Volpe, Sangiorgio, Petrella, Coppola, Notarnicola & Fiorito, 2021) در میان تکنیک‌های ساخت دیجیتال، چاپ بتن سه بعدی مبتنی بر اکستروژن (3DCP) یکی از امیدبخش‌ترین فن‌آوری‌ها برای نوسازی بخش ساخت و ساز می‌باشد. در واقع، کاربردهای مختلف 3DCP برای ساخت و ساز ساختمان در چند سال گذشته برای پیشرفته سازی بخش ساخت و ساز توسعه یافته‌اند. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که، در مقایسه با فرآیندهای ساخت و ساز مرسوم، چاپ سه بعدی می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد، استفاده از انرژی و مواد زائد را کاهش دهد، مشاغل خطرناک را حذف کند و شانس خطاها را به حداقل برساند، در حالی که پایداری و آزادی معماری را افزایش می‌دهد. از آنجا که فن‌آوری، عملکرد و آزادی در فرم‌های قابل چاپ ارتباط نزدیکی با مطالعه مواد دارند، بسیاری از انواع مواد سیمانی خارج از قالب در چند سال گذشته ایجاد شده‌اند. ماده مورد استفاده برای چاپ سه بعدی بتن باید دارای ویژگی‌های خاصی از جمله قابلیت خارج شدن، ویسکوزیته و قابلیت کار باشد. (Volpe, Sangiorgio, Petrella, Coppola, Notarnicola & Fiorito, 2021)

۲-۵- پیامدهای ساختاری و انرژی

ین بخش برخی از بررسی‌های اولیه در مورد عملکرد سازه‌ای و انرژی بلوک‌های پیش ساخته پیشنهادی را ارائه می‌دهد. به طور خاص، فراتر از عملکردهای ساختاری سنتی الزم برای عملیات ساخت و ساز، یک بلوک چاپ شده سه بعدی باید ویژگی‌های خوبی داشته باشد تا قابلیت چاپ صحیح را تضمین کند. مقاومت لایه‌های پایین‌تر باید بتواند به سرعت از زن لایه‌های بعدی در طول فرآیند اکستروژن پشتیبانی کند. با فرض عرض الیه ۳ سانتی‌متر، سطح مقطع المان‌های چاپ شده ۰٫۱ مترمربع و حجم آن ۰٫۰۶ مترمکعب است. وزن مخصوص فرضی با استفاده از سیمان MKPC با شن ۱٫۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب است، در

حالی که وزن مخصوص فرضی با استفاده از سیمان MKPC با شیشه گسترش یافته به عنوان سنگدانه، ۰٫۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. در نتیجه وزن یک بلوک به ترتیب ۸۱ کیلوگرم و ۵۷ کیلوگرم خواهد بود. با توجه به آزمایش‌های ساختاری که انجام شد، قدرت تراکم در عمل آوری ۹۰ دقیقه (می‌تواند بسته به ترکیب استفاده شده از MKPC بین ۱۴٫۳ تا ۹۹٫۱ مگاپاسکال) متغیر باشد. این مقاومت فشاری به اندازه کافی عریض است که چاپ را بدون از دست دادن شکل طراحی شده ممکن سازد. علاوه بر این، استحکام فشاری پس از ۹۰ دقیقه، امکان مونتاژ مستقیم بلوک در محل را فراهم می‌آورد تا از پشتیبانی بلوک‌های دیگر برای چاپ و پیاده سازی سریع اطمینان حاصل شود. عملکرد انرژی سیستم بستن عمودی به چینه‌شناسی بستگی دارد. پانل مواد عایق می‌تواند ضخامت متغیر تا ۱۴ سانتی‌متر داشته باشد و می‌تواند عملکرد عایق متغیر با توجه به الزامات داخلی و شرایط آب و هوایی در محل داشته باشد. ما می‌توانیم با فرض استفاده از مواد عایق مرسوم مانند پشم سنگ، برای عملکردهای جهانی ارزش قائل شویم.

۵-۳- ترکیب سیستم با دیوارهای سبز برای اهداف کاربردی و زیبایی شناختی

سیستم توسعه یافته طوری طراحی شده است که از لحاظ بصری به دیوار آجری کلاسیک نزدیک باشد، حتی اگر مواد مورد استفاده سیمان باشند. از سوی دیگر، بلوک پیشنهادی از یک مفهوم جدید، یک فن آوری تولید جدید و یک تکنیک ساخت و ساز نوآورانه استفاده می‌کند. به این ترتیب، ممکن است اولین گام به سمت پذیرش اجتماعی این فن آوری برای ساخت و ساز مسکونی برداشته شود. با توجه به اتمام، سیستم پیشنهادی نیازی به پوشش ندارد، که عملیات دستی را به حداقل می‌رساند، مونتاژ در محل را ساده می‌کند و درجه خودکارسازی را افزایش می‌دهد (به استثنای احتمال خطای انسانی). در نتیجه، برای ساختمان‌های مسکونی و یا رفع نیازهای زیبایی شناختی خاص برخی از کاربران، می‌توان طراحی کلاسیک پالستینگ یا پالستینگ برد را پیشنهاد کرد. برخلاف گچ کاری کلاسیک، بلوک‌های پیشنهادی با دیوارهای سبز به لطف MKPC پیشنهادی سازگار هستند، که به طور خاص با نفوذپذیری کم و مقاومت خورنده در برابر مواد شیمیایی توسعه داده شده است. این انعطاف پذیری می‌تواند نیازهای ذی‌نفعان مختلف و کاربردهای مختلف مورد نظر را برآورده سازد. (Volpe, Sangiorgio, Petrella, Coppola, Notarnicola & Fiorito, 2021).

۵-۴- چاپ بتن سه بعدی چگونه کار می‌کند؟

برای اطلاع از نحوه کار چاپ بتن سه بعدی، یک چاپگر غول پیکر FDM 3D را تصور کنید که به جای رشته‌های پلاستیکی از بتن استفاده می‌کند. پرینترهای سه بعدی بتنی، دقیقاً مانند چاپگرهای FDM، از طریق g-code کنترل می‌شوند که یک زبان ماشینی است که با هدایت سر چاپگر پرینتر سه بعدی تا تولید مدل مورد نظر ۳ D کار می‌کند.



شکل ۱- چاپگرهای سه بعدی
(منابع اینترنتی)

پرینترهای سه بعدی بتن و چاپگرهای FDM 3D معمولی هر دو از جهاتی مشابه هستند و در بعضی دیگر بسیار متفاوت هستند. در حقیقت، شباهت بین پرینترهای پلاستیکی FDM و پرینترهای بتنی را می‌توان در اساس به دو کلمه خلاصه کرد که این دو کلمه، اکستروژن موا می‌باشد. دقیقاً مانند چاپگرهای FDM 3D معمولی، چاپگرهای بتنی سه بعدی نیز با استفاده از محورهای X، Y و Z کار می‌کنند. محور X یک پرینتر سه بعدی بتنی با طول ریل‌هایی که برای حرکت به جلو و عقب پرینتر استفاده می‌شود، قابل تعریف می‌باشد. محور Y از پرینتر سه بعدی بتنی با فاصله بین ریل در طرف‌های مخالف تعریف می‌شود و محور Z با ارتفاع ستون‌هایی که نازل را حمل می‌کنند تعریف شده است. پرینترهای سه بعدی بتنی، نیاز کارگران ساختمانی را برطرف نکرده‌اند، اما این کار باعث شده است تا کار آنها آسان‌تر و ایمن‌تر شود.

۵-۵- معایب پرینتر سه بعدی

قوانین ساختمان: هیچ قانونی و یا فرآیندی برای تأیید ساختمان‌های ساخته شده توسط پرینتر سه بعدی برای مصارف مسکونی یا تجاری وجود ندارد. ابتدا دولت باید استانداردهای مربوط به برق، لوله‌کشی، یکپارچگی ساختاری و ایمنی عمومی را تدوین و به مراجع و عموم دست‌اندرکاران عمرانی ارجاع دهد.

انواع متریا: موادی که از پرینتر قابل تحویل هستند، تقریباً به بتن و پلاستیک محدود شده است. ساختمان‌هایی که به اجزای چوب یا فولاد احتیاج دارند قادر به استفاده از چاپگر برای تکمیل قسمت‌های مورد نیاز خود نیستند.

سازگاری مهندسی: تعداد بسیار کمی از معماران و مهندسان به این فن‌آوری ساخت علاقه‌مند شده‌اند. سایر قابلیت‌های پرینتر سه بعدی که با فن‌آوری جدید همراه هستند در مرحله طراحی استفاده نمی‌شوند. طرح‌های سنتی برای استفاده با چاپگر سه بعدی سازگار نیست، بنابراین کل مراحل طراحی باید به شیوه‌ای متفاوت انجام شود. کاهش نیروی کار: کارهای ساختمانی افراد بسیاری را به ویژه کارگران مشغول می‌کند، به همین دلیل تولید کار از جمله مزایای روش سنتی ساختمان سازی است. در پرینتر سه بعدی این ماشین‌ها هستند که به طور عمده مسئولیت ساخت بنا را بر عهده دارند، بنابراین، با توسعه این روش باید با موج جدیدی از بیکاری روبرو شد.

۶- نمونه موردی

۶-۱- Tennessee Valley Federal Credit Bank

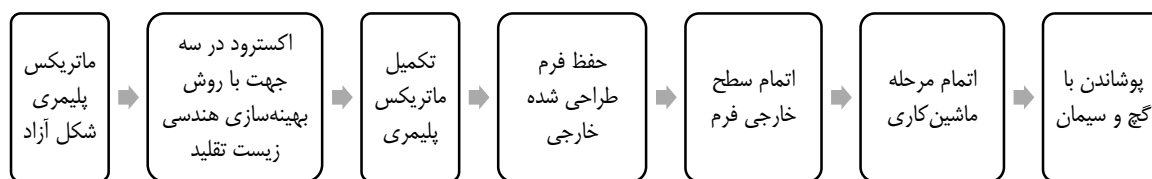
پروژه‌ی پرینت سه بعدی نمای ساختمان شعبه‌ی Tennessee Valley Federal Credit Bank در چاتانگای آمریکا به پایان رسیده است. کمپانی Branch Technology قطعات را در کارخانه‌ی چهل هزار فوت مربعی خود و با کمک ارتشی از روبات‌های ۶ محوری پرینت سه بعدی می‌کند. سیستم C-Fab از ترکیب فیبر کربن و ABS به عنوان ماده اولیه استفاده می‌کند و به شیوه‌ای آزاد پرینت را انجام می‌دهد؛ آزاد از محدودیت‌های دپوزیشن لایه‌ای سیستم‌های قدیمی‌تری چون FDM/FFF. آن‌ها الگوریتمی دارند که قادر به تولید هندسه‌ها و کدهای روباتیک جهت ساخت ماتریکسی سبک وزن است. سپس این قطعات را مانند یک سازه‌ی لگویی بزرگ در کنار هم قرار می‌دهند تا دیوار نما را شکل دهند. (Platt Boy, Branch Technology, 2020)



شکل ۳- دیاگرام سازه‌ای C-Fab (Platt Boy, Branch Technology, 2020)



شکل ۲- ربات‌های کارخانه تکنولوژی برنج (منابع اینترنتی)



دیاگرام ۳- مراحل سازه C-Fab (نگارندگان)

۶-۲- Apis Cor in Dubai

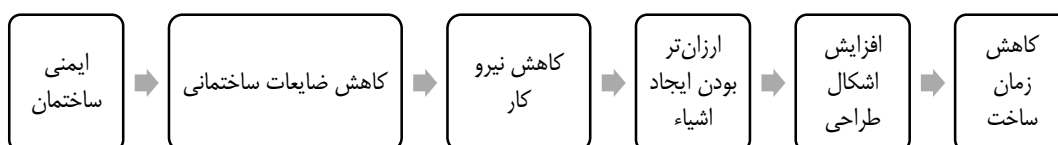
این ساختمان اداری دارای دو طبقه به ارتفاع حدود ۹٫۵ متر است و زیربنایی نزدیک به ۶۴۰ مترمربع دارد. روش ساخت این سازه نیز مشابه با سایر ساختمان‌هایی است که با روش پرینت سه بعدی ساخته شده‌اند؛ بدین صورت که ملات سیمان از طریق نازل و به صورت لایه به لایه ریخته شده و ساختار اصلی این سازه‌ی اداری را تشکیل داده است. مدت زمان ساخت این سازه سه هفته به طول انجامیده است و تنها سه نیروی انسانی از شرکت آپیس کور در اجرای این پروژه شرکت کرده‌اند. به دلیل وسعت این پروژه، پرینتر سه بعدی و قابل حمل توسط جرثقیل جابه‌جا شده است. ناگفته نماند به منظور استحکام بیشتر سازه و اجرای فونداسیون، نصب درها، پنجره‌ها، سقف، انجام سیم‌کشی و کارهای مانند آن، میل‌گرد و ملات دست‌ساز در این پروژه به کار رفته است.



شکل ۴- سازه اداری شرکت آپیس کور دوبی (ساختمانچی، پرینترهای سه بعدی)

۷- نتیجه گیری

توسعه فن آوری چاپ سه بعدی در صنعت به جهش بزرگ فن آوری کمک کرده است. به لطف روش های مختلف تولید اشیاء، چاپ سه بعدی آزمایش روی نمونه های اولیه را امکان پذیر می کند که قبلاً انجام آن با روش های تولید معمولی دشوار بود. چاپ سه بعدی مخلوط ملات، روشی امیدوارکننده است که می تواند فرآیندهای سنتی ساختمان را متحول کند.



دیاگرام ۳- مزایای استفاده از پرینترهای سه بعدی در مقابل روش های سنتی ساختمان (نگارندگان)

مسئله اساسی در پرینت سه بعدی ساختمان ها به جز چاپگر، مواد مورد نیاز چاپ است. بسیاری از مواد جدید در حال حاضر توسعه یافته اند، از جمله: منشا بیولوژیکی، فولاد، چوب و پلاستیک؛ که امکان چاپ افزودنی محصولات را فراهم می کند. با این حال، به نظر می رسد که برای هر پروژه طراحی شده برای پیاده سازی در فن آوری چاپ افزودنی، یک ترکیب جداگانه از مخلوط چاپ طراحی می شود. مخلوط طراحی شده برای چاپ شی اول از همه باید دارای ویژگی های خاصی باشد که چاپ و الزامات استاندارد را که باید از عناصر خاص ساختمان عبور کند را ممکن می کند. با توجه به اینکه کل ساختمان می تواند استانداردهای لازم مانند استحکام، حفاظت در برابر آتش و غیره را داشته باشد. (Pacewicz1, Sobotka & Gołek, 2018)

جدول ۲- مقایسه المان های تولید به روش های سنتی و صنعتی (نگارندگان)

ردیف	فاکتورها تولید	تولید سنتی	تولید صنعتی	خروجی و نتیجه مقایسه
۱	فرآیند تولید	فرآیند سری	فرآیند در کارخانه	روند فرآیند تولید در روش صنعتی به دلیل اینکه مرحله ای نیست و توان موازی کاری را دارد، بهتر از روش صنعتی است.
۲	سلسله اقدامات اجرایی	به ترتیب	جداگانه	همانند فرآیند تولید، سلسله اقدامات اجرایی نیز در روش صنعتی جداگانه و سبب افزایش روند اجرا شده، در نتیجه نمره بهتری از روش سنتی می گیرد.
۳	روند اجرا	کند	تند	با توجه به تولید قطعات در کارخانه و وابسته نبودن فرآیند اجرا به مرحله ای قبلی، روند اجرا در روش صنعتی بهتر می باشد.
۴	شیوه و مصالح	ساخت قدیمی	ساخت جدید	در شیوه و مصالح، نتیجه گیری درستی نمی توان انجام داد زیرا در هر بنا روش ساخت خاصی وجود دارد. اما در کل با توجه به نوین بودن روند ساخت در روش صنعتی، این روش پیشنهاد می گردد.
۵	هزینه و سرمایه گذاری	هزینه بالا	هزینه کم	با توجه به تولید تمام قطعات در کارخانه و کاهش نیروی انسانی متخصص و غیره، هزینه های ساخت و اجرا در روش صنعتی کم و برای سرمایه گذاران قابل توجه تر می باشد.

منابع

۱. تقدیری، قنبرزاده قمی، (۱۳۹۴)، معماری و شهرسازی آرمان شهر.
۲. جزایری مقدس، رحمانی، (۱۳۹۳)، بررسی روش ساخت و ساز نوین با چاپگرهای سه بعدی، اولین کنفرانس ملی توسعه عمرانی کلانشهرها با رویکرد سرمایه گذاری، اهواز
3. Bock, .(2015). , T. Construction Robotics enabling Innovative Disruption and Social Supportabilit, In Proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Oulu, Finland
4. Kaszynka, Olczyk, Techman, Skibicki, Zielinski, Filipowicz, Wroblewski, Hoffmann, .(2019). , ThermalHumidity Parameters of 3D Print, West Pomeranian University of Technology, Poland
5. Khoshnevis, Hwang, Yao , .(2006). , Mega-scale fabrication by contour crafting. Int. J. Ind. Syst, England
6. Nematollahi, Xia, Sanjayan, .(2017), Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies In Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Taipei, Taiwan
7. Pacewicz, Sobotka, Gołek, Ł, .(2018). , Characteristic of materials for the 3D printed building constructions by additive printing. MATEC Web Conf
8. Pessoa, Guimarães, Lucas, Simões,, .(2021). , 3D printing in the construction industry— A systematic review of the thermal performance in buildings. Renew, Sustain. Energy Rev

تحلیل مسائل و چالش‌های امنیتی در اینترنت اشیاء

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸

کد مقاله: ۵۲۰۴۲

مهدی رضاتبار^{۱*}، یاسره یوسف تبار^۲

چکیده

اینترنت در حال حاضر همه مردم را به هم وصل می‌کند ولی با اینترنت اشیاء تمام ابزارها و وسایل به هم متصل می‌شوند. اینترنت اشیاء نقش بسیار مهمی را پس از حضور خود بازی می‌کند، چرا که اینترنت اشیاء از تجهیزات معمولی و رایج گرفته تا کل لوازم خانگی را پوشش می‌دهد. با پتانسیل بسیار بزرگ اینترنت اشیاء، چالش‌هایی نیز به وجود آمده است. این مقاله بر روی مسائل و چالش‌های امنیتی تمرکز دارد. از آنجایی که اینترنت اشیاء بر پایه‌ی اینترنت ایجاد شده است، مسائل امنیتی اینترنت در اینترنت اشیاء نیز ظاهر خواهد شد. در این مقاله تقسیم‌بندی لایه‌ها و زیرلایه‌های اینترنت اشیاء معرفی می‌گردد. سپس مسائل امنیتی لایه‌ها به طور جدا تحلیل شده و سعی در یافتن راه‌حلی برای مسائل امنیتی و حریم خصوصی شده است. همچنین مسائل ادغام ناهمگن لایه‌ی متقابل مورد تحلیل قرار گرفته و در مورد مسائل امنیتی اینترنت اشیاء به عنوان یک سیستم کامل بحث می‌گردد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیاء، امنیت، ناهمگن، RFID، LowPAN.

۱- کارشناس ارشد مهندسی IT، شبکه‌های کامپیوتری، دانشگاه مازندران (نویسنده مسئول)، mrezatabar@gmail.com

۲- کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر، نرم افزار، دانشگاه مازندران

۱- مقدمه

با توسعه سریع اینترنت اشیا^۱، انواع کاربردهای اینترنت اشیا وجود دارند که در زندگی روزمره ما همکاری و کمک می‌کنند. این کاربردها از تجهیزات معمولی و رایج گرفته تا کل لوازم خانگی را در برمی‌گیرند، که کمک می‌کنند زندگی انسان بهتر شود (Tsai, C. et al., 2014). در همین حال، چالش‌هایی برای اینترنت اشیا در راه هستند. از نظر مقیاس‌پذیری، کاربردهایی از اینترنت اشیا که نیاز به تعداد زیادی از وسایل دارند، اغلب برای پیاده‌سازی دشوار هستند و علت آن نیز محدودیت زمان، حافظه، پردازش و محدودیت‌های انرژی است. برای مثال، محاسبه‌ی روزانه‌ی تغییرات درجه حرارت در سراسر کشور ممکن است نیاز به میلیون‌ها وسیله و حسگر داشته باشد و به مقدار داده‌ی غیرقابل مدیریت منجر شود. از طرفی، سخت‌افزار مستقر شده در اینترنت اشیا اغلب مشخصات عملیاتی مختلفی دارند و همه‌ی این عوامل در شکل‌گیری شبکه‌ی ناهمگن^۲ اینترنت اشیا همکاری دارند و داده‌های اینترنت اشیا نیز ناهمگنی عمیقی خواهند داشت. علاوه بر این، ممکن است هکرها، نرم‌افزارهای مخرب و ویروس‌ها در طی فرآیند ارتباطی به یکپارچگی^۳ و صحت^۴ داده‌ها و اطلاعات آسیب وارد کنند. با توسعه‌ی فناوری اینترنت اشیا، ناامنی اطلاعات به طور مستقیم کل سیستم اینترنت اشیا را تهدید خواهد نمود.

امروزه، اینترنت اشیا به طور گسترده‌ای در کاربردهای زندگی اجتماعی مانند شبکه‌ی توزیع برق هوشمند، حمل و نقل هوشمند، امنیت هوشمند، و خانه‌ی هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sundmaeker, H. et al., 2010). کاربردهای اینترنت اشیا می‌توانند راحتی و آسایش را برای مردم به ارمغان بیاورند، ولی اگر اینترنت اشیا نتواند امنیت حریم خصوصی افراد را تضمین کند، آنگاه اطلاعات خصوصی آنها ممکن است در هر زمانی در معرض خطر قرار داشته باشند. بنابراین امنیت اینترنت اشیا نمی‌تواند نادیده گرفته شود. هنگامی که سیگنال اینترنت اشیا دزدیده می‌شود یا قطع می‌گردد، به طور مستقیم بر روی امنیت کل اطلاعات اینترنت اشیا تاثیر خواهد گذاشت. با انتشار گسترده‌ی اینترنت اشیا، این حوزه اطلاعات بسیار ارزشمندی را فراهم خواهد کرد که خطر افشای چنین اطلاعاتی بالا خواهد رفت. اگر اینترنت اشیا نتواند راه‌حل خوبی برای مسائل امنیتی داشته باشد، آنگاه توسعه‌ی آن تا حد زیادی محدود خواهد شد. بنابراین، فراتر از تمام مسائل اینترنت اشیا، مشکل امنیتی به طور خاص مهم است.

۲- مسائل امنیتی در کاربردهای اینترنت اشیا

در زمینه‌های خاصی از اینترنت اشیا، مانند موقعیت‌یابی، مشکل امنیتی برای حریم خصوصی^۵ وجود دارد که می‌توان به حریم خصوصی مکان و حریم خصوصی پرس و جو^۶ اشاره کرد. مکان در اینجا به مکان فعلی یا گذشته‌ی یک کاربر اشاره دارد و حریم خصوصی پرس و جو به کاوش اطلاعات حساس اشاره می‌کند. اگر یک کاربر اغلب رستوران‌ها یا بیمارستان‌ها را در منطقه‌ی خاصی جستجو می‌کند، آنگاه این رکوردهای پرس و جو می‌توانند توسط برخی افراد غیرمجاز برای تحلیل مکان اقامت کاربر، درآمد، شیوه‌ی زندگی، رفتارها، وضعیت سلامت و دیگر اطلاعات حساس در نظر گرفته شوند که باعث افشای اطلاعات شخصی وی خواهند شد. حفاظت از حریم خصوصی شامل استتار محل، فضای ناشناس، رمزنگاری^۷ فضا و غیره است (Suo, H. et al., 2013).

۳- تحلیل مسائل امنیتی اینترنت اشیا

جدول ۱: معماری امنیتی پیشنهاد شده توسط ITU

لایه کاربرد (Application)	برنامه کاربردی اینترنت اشیا
	لایه پشتیبانی از برنامه کاربردی
لایه انتقال (Transportation)	شبکه محلی
	هسته شبکه
	دسترسی به شبکه
لایه حس کردن (Perception)	شبکه حس کردن
	گره حس کردن

با توجه به معماری پیشنهاد شده توسط اتحادیه بین‌المللی مخابرات^۸ در ITU-T Y.2002، اینترنت اشیا به سه لایه حس کردن یا ادراک، لایه انتقال و لایه کاربرد تقسیم شده است (Liu, L. A., & Lai, S. L., 2006). در جدول ۱ این لایه‌ها نشان داده شده است.

- 1 Internet of Things (IoT)
- 2 Heterogeneous
- 3 Integrity
- 4 Validity
- 5 Privacy
- 6 Query
- 7 Encryption
- 8 International Telecommunication Union (ITU)

لایه‌ی حس کردن شامل امنیت RFID^۱، امنیت شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۲، امنیت RSN^۳ و هر نوع دیگر است. لایه‌ی انتقال شامل امنیت دسترسی به شبکه، امنیت هسته شبکه و امنیت شبکه محلی است. در زیرلایه دسترسی به شبکه، زیرلایه‌های امنیت شبکه ادهاک^۴ و امنیت وای‌فای^۵ نیز وجود دارند. امنیت در لایه پشتیبانی شامل امنیت فناوری نرم‌افزار، امنیت بستر محاسبات ابری و غیره است.

۳-۱. لایه‌ی حس کردن

لایه حس کردن یا لایه ادراک به طور عمده در مورد جمع‌آوری اطلاعات، حس کردن اشیاء و کنترل اشیاء است. لایه حس کردن می‌تواند به دو بخش تقسیم شود: گره حس کردن که شامل حسگرها یا کنترل کننده و غیره می‌باشد، و شبکه حس کردن که با شبکه انتقال ارتباط برقرار می‌کند. گره حس کردن برای به دست آوردن داده‌ها و کنترل داده‌ها استفاده می‌شود، شبکه حس کردن داده‌های جمع شده را به دروازه^۶ می‌فرستد یا دستورات کنترلی را به کنترل کننده می‌فرستد. فناوری‌های لایه‌ی حس کردن شامل RFID، RSN، GPS^۷ و غیره می‌باشد.

۳-۱-۱. مسائل امنیتی فناوری RFID و راه حل‌ها

RFID (شناسایی فرکانس رادیویی) یک تکنولوژی شناسایی خودکار بدون تماس مستقیم است، که می‌تواند به طور خودکار سیگنال برچسب هدف را جهت به دست آوردن داده‌های مرتبط شناسایی کند، فرآیند شناسایی نیازی به مداخله دستی توسط انسان ندارد، و می‌تواند در محیط‌های صنعتی و نامناسب نیز کار کند (Hu, F., & Wang, F., 2010). از آنجا که این فناوری به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، با مشکلات زیادی روبرو می‌شود که در ادامه شرح داده می‌شوند.

۳-۱-۱-۱. کدنویسی واحد و یکپارچه

در حال حاضر استاندارد رمزگذاری بین‌المللی واحدی برای برچسب RFID وجود ندارد. از مطرح‌ترین استانداردها می‌توان به استاندارد UID^۸ (شناسایی جهانی) اشاره کرد که توسط ژاپن پشتیبانی می‌شود و استاندارد EPC^۹ (کد الکترونیکی محصول) که توسط اروپا حمایت می‌گردد. از آنجا که هنوز استاندارد واحدی شکل نگرفته است، این امر ممکن است باعث به وجود آمدن مشکلاتی شود که کارتهای RFID نتواند اطلاعات برچسب را به دست آورد یا در فرآیند خواندن باعث رخ دادن خطاهایی شود.

۳-۱-۱-۲. تداخل

تداخل RFID به دو دسته‌ی تداخل برچسب‌ها و تداخل کارتهای RFID تقسیم می‌شود (Finkenzeller, K., 2003). هنگامی که تعداد زیادی از برچسب‌ها در حوزه‌ی کاری کارتهای RFID قرار داشته باشند، به طور همزمان داده‌های اطلاعات خود را به کارتهای RFID ارسال می‌کنند، که این امر ممکن است باعث شود تا کارتهای RFID نتواند داده‌ها را به درستی دریافت کند، این پدیده تداخل برچسب‌ها نامیده می‌شود (Lv, B. Y. et al., 2008). با استفاده از الگوریتم‌های ضد تداخل می‌توان از ارسال همزمان اطلاعات توسط چندین برچسب به کارتهای RFID جلوگیری نمود. اینترنت اشیاء نیاز به پوشش طیف وسیعی از حسگرهای RFID را دارد و همکاری چندین کارتهای RFID نیز بسیار مهم است، ولی حوزه کاری کارتهای RFID هم پوشانی خواهد داشت. بنابراین ممکن است اطلاعات تکراری ثبت شوند که باعث افزایش بار کاری بر روی شبکه انتقال خواهد شد. این مورد تداخل کارتهای RFID نامیده می‌شود.

۳-۱-۲. حفاظت از حریم خصوصی RFID

برچسب‌های کم هزینه منجر به منابع محدود RFID از قبیل ظرفیت کم ذخیره‌سازی و قابلیت‌های محاسباتی ضعیف می‌شود، بنابراین نیاز به راه‌حل‌های کم حجم برای حفاظت از حریم خصوصی دارد که شامل حریم خصوصی داده‌ها و حریم خصوصی مکان است.

حریم خصوصی داده‌ها: سبک‌های مختلف سازمانی برای اینترنت اشیاء نیازمند روش‌های مختلف توافق‌های حفاظت از حریم خصوصی است. یک راه حل سازش کارانه برای مسائل حریم خصوصی داده‌ها این است که اطلاعات کم اهمیت‌تر در برچسب RFID ذخیره شود، و اطلاعات مهم در سرویس سطح بالا ذخیره شود.

- 1 Radio Frequency Identification
- 2 Wireless Sensor Network (WSN)
- 3 RFID Sensor Network
- 4 Ad-Hoc
- 5 WiFi
- 6 Gateway
- 7 Global Positioning System
- 8 Universal Identification
- 9 Electronic Product Code

حریم خصوصی مکان: اگر چه برچسب‌های RFID اطلاعات مهم را ذخیره نمی‌کنند، ولی هرکس می‌تواند اطلاعات شناسه‌ی برچسب را با هدف ردیابی موقعیت برچسب به دست آورند (Lakafosis, V. et al., 2011). به عنوان مثال، هنگامی که یک کارتخوان RFID مجهز به اطلاعات GNSS^۱ (سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی) خودرو، اطلاعات برچسب را می‌خواند، آنگاه این کارتخوان می‌تواند به راحتی اطلاعات مکان تقریبی برچسب را با توجه به محدوده عملیاتی موثر آن به دست آورد.

۳-۱-۲. مسائل امنیتی و راه‌حل‌های فنی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

شبکه‌های حسگر بی‌سیم منابع محدودی دارند از جمله فضای ذخیره‌سازی کم، قابلیت محاسباتی ضعیف و محدوده‌ی حس کردن کوچک که منجر به یک سری از خطرات امنیتی شبکه می‌شود. در طی فرآیند جمع‌آوری داده‌ها در لایه حس کردن، پیام ممکن است با استراق سمع، مسیریابی مخرب، دستکاری پیام و دیگر مسائل امنیتی روبرو شود، که امنیت کل سیستم اینترنت اشیاء را تحت تاثیر قرار خواهد داد. مسائل امنیت داده‌ها می‌توانند به محرمانگی داده‌ها، صحت داده‌ها، تمامیت داده‌ها، و تازگی داده‌ها^۵ خلاصه شوند. این چهار نوع از مسائل امنیتی می‌توانند از جنبه‌هایی از جمله الگوریتم‌های رمزنگاری و مسیریابی امن حل شوند.

۳-۱-۳. مسائل ادغام ناهمگن

RSN (شبکه حسگر RFID) به طور گسترده‌ای در اینترنت اشیاء استفاده می‌شود، که ادغامی از RFID و شبکه‌های حسگر بی‌سیم است (Ren, F. Y. et al., 2003). ما می‌توانیم از فناوری RSN برای حل مشکل داده‌های ناهمگن استفاده کنیم. در اینترنت اشیاء، تعداد زیادی از داده‌هایی که به طور گسترده‌ای توزیع شده هستند باید جمع‌آوری شوند. با این حال، داده‌هایی که با روش‌های متفاوت یا پروتکل‌های مختلف جمع‌آوری شده‌اند، در فرمت‌های مختلف نیز هستند. ما نمی‌توانیم تحلیل این داده‌ها را بدون متحدالشکل کردن آنها به طور موثری انجام دهیم، و اگر نتوانیم فناوری ادغام درستی به دست آوریم، آنگاه داده‌ها نابود خواهند شد، گم شده یا به خطر خواهند افتاد، اگر گره‌ها مانیتور و در اختیار گرفته شوند، اطلاعات به سرقت خواهند رفت، که در نتیجه حریم خصوصی در معرض خطر قرار خواهد گرفت. RFID و شبکه‌های حسگر بی‌سیم به همکاری نزدیک در سطح نرم‌افزاری برای ادغام در سطح سیستم نیاز دارند. بنابراین ما باید کدگذاری استاندارد داده‌ها و پروتکل تبادل اطلاعات برای RFID و شبکه‌های حسگر بی‌سیم در زمینه‌ی اینترنت اشیاء را یکپارچه و واحد نماییم.

۳-۲. لایه‌ی انتقال

لایه‌ی انتقال عمدتاً محیطی با دسترسی همه جا حاضر برای لایه‌ی حس کردن، انتقال و ذخیره‌سازی اطلاعات حس شده، و بارگذاری اطلاعات مرتبط دیگر توسط لایه‌ی برنامه‌ی کاربردی را فراهم می‌کند (Zhang, L., & Wang, Z., 2006). لایه انتقال می‌تواند بر اساس عملکرد به سه لایه تقسیم شود: دسترسی به شبکه، هسته‌ی شبکه و شبکه محلی. این لایه در واقع ترکیبی از انواع شبکه‌های ناهمگن است.

۳-۲-۱. مسائل امنیتی لایه‌ی انتقال

لایه‌ی انتقال اینترنت اشیاء در برابر ویروس‌ها و دیگر حملات نیز آسیب‌پذیر است که این تهدیدات در نتیجه منجر به افشای اطلاعات، فلج شدن شبکه و برخی دیگر از حملات مانند حملات بازپخش^۶، حملات دسترسی^۷، و حملات فیشینگ^۸ سایت‌ها می‌شوند (Anti-Phishing Working Group, 2009). اگر چه حملات مسائل مشترک زیادی دارند، اما استفاده از روش‌های تشخیص نفوذ و روش‌های احراز هویت مناسب می‌توانند با تشخیص به موقع، از حملات جلوگیری کنند (Zhang, L., & Wang, Z., 2006). از آنجا که لایه‌ی انتقال در وسط سیستم اینترنت اشیاء قرار می‌گیرد، اهمیت زیادی دارد.

۳-۲-۱-۱. دسترسی به شبکه

وقتی که لایه حس کردن به هسته شبکه دسترسی دارد آنگاه لایه‌ی حس کردن و هسته‌ی شبکه مسائل امنیتی خواهند داشت. دسترسی به شبکه شامل شبکه‌های بی‌سیم، شبکه ادهاک و غیره است. با توجه به تفاوت‌ها در ساختار شبکه، شبکه‌های بی‌سیم را می‌توان به شبکه‌ی مرکزی و شبکه‌ی غیرمرکزی تقسیم نمود. در شبکه‌ی مرکزی، ارتباط بین گره‌های سیار باید با استفاده از یک

- 1 Global Navigation Satellite System
- 2 Data Confidentiality
- 3 Data Authenticity
- 4 Data Integrity
- 5 Data Freshness
- 6 Replay Attacks
- 7 Access Attacks
- 8 Phishing Attacks

ایستگاه پایه از قبیل شبکه‌های سلولی رایج و شبکه محلی بی‌سیم تنظیم شود. در شبکه‌ی غیرمرکزی، ارتباط بین گره‌ی نیاز به تنظیم با ایستگاه پایه ندارد (Li, C., & Chen, C. L., 2011). وای‌فای یک شبکه مرکزی و ادهاک یک شبکه غیرمرکزی است.

• تحلیل مسائل امنیتی وای‌فای

امنیت شبکه در وای‌فای یک نگرانی است. وقتی که کاربران دسترسی به صفحه‌ی وب اینترنت دارند، این احتمال وجود دارد که با یک سایت فیشینگ روبرو شوند، رمز عبور و حساب کاربران در معرض خطر قرار خواهد گرفت (Anti-Phishing Working Group, 2009). به طور خلاصه، مسائل امنیتی وای‌فای عبارتند از حملات دسترسی، نقطه‌ی دسترسی فیشینگ مخرب، و حملات DDoS/DDoS¹.

به منظور حل مسائل امنیتی وای‌فای، کنترل دسترسی و رمزنگاری شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. کنترل دسترسی به این مورد اشاره دارد که تنها کاربران مجاز می‌توانند به شبکه وای‌فای دسترسی داشته باشند. رمزنگاری شبکه به معنی این است که تنها دریافت‌کننده یعنی کسی که می‌تواند به درستی رمزگشایی کند، می‌تواند محتوای داده‌ها را نیز متوجه شود.

• تحلیل مسائل امنیتی ادهاک

در اینترنت اشیاء، شبکه ادهاک می‌تواند ناهمگنی را بین گره‌های لایه‌ی حس کردن با استفاده از پروتکل مسیریابی شبکه ادهاک کاملاً رفع کند (Avudainayagam, A. et al, 2003). اگر گره‌های شبکه تغییر کنند، آنگاه شبکه ادهاک قادر است تا حدودی خودش را با این تغییرات وفق دهد. تهدیدات امنیتی شبکه ادهاک معمولی ناشی از کانال رادیویی و شبکه‌ها هستند. کانال بی‌سیم در برابر استراق سمع و دخالت آسیب‌پذیر است. علاوه بر این، شبکه‌های غیرمرکزی و خود سازمان^۲ از تهدیدات آسیب‌پذیری، تقلب و دیگر اشکال حمله نیز رنج می‌برند. امنیت مسیریابی شبکه، می‌تواند با روش‌های رمزنگاری بررسی شود.

۲-۱-۲-۳. هسته‌ی شبکه

هسته‌ی شبکه‌ی اینترنت اشیاء عمدتاً مسئول انتقال داده‌ها است و به طور عمده اینترنت می‌باشد. از آنجا که تعداد زیادی از گره‌ها نیاز به دسترسی به اینترنت دارند، آدرس‌های IP زیادی را نیز نیاز دارند، اینترنت معمولی که مبتنی بر IPv4 است، قادر به پاسخگویی به بسیاری از حسگرها نمی‌باشد، به طوری که نسل بعدی اینترنت که مبتنی بر IPv6 است، می‌تواند این مشکل را حل نماید. با توجه به اینکه استفاده از IPv6، به دلیل ۱۲۸ بیتی بودن آن، برای حافظه و قدرت پردازشی سنسورهای کوچک سنگین به حساب می‌آید، در نتیجه راه حل این مشکل، تعریف فناوری 6LowPAN^۴ که نسخه سبک تر از IPv6 می‌باشد، بوده است که برای استفاده از شبکه‌های حسگر IPv6 با مصرف توان کم برای ادغام ناهمگن در نظر گرفته شده است.

فناوری 6LowPAN از لایه‌ی PHY^۵ و لایه‌ی MAC^۶ از IEEE802.15.4 استفاده کرده، و در لایه‌ی انتقال از پروتکل IPv6 بهره می‌برد (Montenegro, G., et al., 2007). به منظور دستیابی به اتصال یکپارچه‌ی لایه‌ی MAC و لایه‌ی انتقال، بین این دو لایه، لایه‌ی انطباق اضافه شده است که برای کامل نمودن فشرده‌سازی سرآیند بسته، قطعه‌بندی و اتصال قطعه‌ها، پشتیبانی از چندپخش، ایجاد توپولوژی شبکه، هدایت مسیریابی و انتساب آدرس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پشته پروتکلی که توسط IEEE^۷ و IETF^۸ ایجاد شده، در مرجع (Palattella M. et al., 2013) بحث شده و در جدول ۲ نیز نمایش داده شده است.

جدول ۲: پشته پروتکلی ایجاد شده توسط IEEE و IETF

لایه کاربرد (Application)
لایه شبکه/مسیریابی (Network/Routing)
لایه انطباق (Adaptation)
لایه کنترل دسترسی رسانه (MAC)
لایه فیزیکی (PHY)

- 1 Distributed Denial of Service
- 2 Denial of Service
- 3 Self-Organization
- 4 Low power Wireless Personal Area Networks
- 5 Physical Layer
- 6 Medium Access Control Layer
- 7 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- 8 Internet Engineering Task Force (IETF)

۳-۲-۱-۳. شبکه‌ی محلی

در اینترنت اشیاء، کنترل دسترسی به شبکه برای تضمین این مورد است که منابع شبکه به طور مجاز استفاده می‌شوند، که استراتژی اصلی حفاظت از امنیت شبکه است. سایر موارد، از قبیل عدم پذیرش کدهای مخرب، خاتمه دادن یا حذف نمودن سرویس‌های غیرضروری از سیستم، به‌روزرسانی بسته‌های سیستم عامل به طور مداوم، استفاده از کلمه عبور امن می‌تواند برای حفاظت از امنیت شبکه محلی اینترنت اشیاء استفاده شود.

۳-۲-۲. مسائل مربوط به حمله‌ها

حمله DDoS از رایج‌ترین حمله‌های شبکه به ویژه در اینترنت اشیاء است. به علت ناهمگنی و پیچیدگی شبکه اینترنت اشیاء، لایه‌ی انتقال در برابر حمله‌ها آسیب‌پذیر است. معمولاً راه‌حل برای مقابله با این حمله به صورت ارتقاء سیستم و استفاده از روش‌های تشخیص و پیشگیری از حمله‌ی DDoS می‌باشد (Yi, K. M., 2010).

۳-۳. لایه‌ی کاربردی

لایه‌ی برنامه‌ی کاربردی شامل نرم‌افزارهای خاص تجاری، فردی یا ادغام شده است. مسائل امنیتی که این لایه با آنها روبرو است، نمی‌تواند در دیگر لایه‌های اینترنت اشیاء حل شوند، مانند مسئله‌ی حفاظت از حریم خصوصی، که در لایه‌های حس کردن و انتقال رخ نمی‌دهد، ولی می‌تواند به یک تقاضای واقعی در برخی از زمینه‌های خاص در لایه‌ی برنامه‌ی کاربردی تبدیل شود، یا می‌تواند به عنوان یک تقاضای امنیتی خاص در لایه‌ی کاربردی لحاظ شود (Wang, K. et al., 2010). لایه پشتیبانی از کاربرد، یک لایه‌ی پیشرفته بر بالای لایه‌ی انتقال است، که از انواع سرویس‌های تجاری پشتیبانی می‌کند و محاسبات هوشمند و تخصیص منابع را در غربالگری، تولید و پردازش داده‌ها تحقق می‌بخشد. در حین کل فرآیند، لایه‌ی پشتیبانی از کاربرد می‌تواند داده‌های معتبر، داده‌های هرز (اسپم) و حتی داده‌ها مخرب را تشخیص داده، و آنها را به موقع فیلتر کند.

۳-۳-۱. مسائل امنیتی لایه‌ی پشتیبانی از کاربرد

در اینترنت اشیاء، میان‌افزار^۱ بر روی فناوری هسته‌ای خاص، مانند سرورهای میان‌افزار سنتی به عنوان مؤلفه‌ی ارتباطی توسعه داده می‌شود، که به نرم‌افزار اجازه‌ی استقرار بر روی بسترها یا سیستم‌عامل‌های متفاوت را می‌دهد. با این حال داده‌ها در اینترنت اشیاء گسترده و پویا است، در نتیجه میان‌افزار اینترنت اشیاء باید ظرفیت بزرگی داشته و بتواند برای ذخیره‌ی داده‌های در حال افزایش به صورت خطی گسترش یابد (Sweeney, L., 2002). ضمن اینکه توابع داخل میان‌افزار اینترنت اشیاء مانند کنترل درجه حرارت محیط دارای پیچیدگی خاصی می‌باشند.

۳-۳-۱-۱. تهدیدات امنیتی

بستر محاسبات ابری، داده‌ها را رمزگذاری نموده و از داده‌های کاربران پشتیبان‌گیری خواهد نمود که تا مدت زمان معینی حذف نخواهند شد. محاسبات ابری شامل اطلاعات کلیدی خاصی از شرکت‌ها است، بنابراین شرکت‌ها و افراد به اهداف هکرها تبدیل شده‌اند. هر چند این یک مسئله‌ی رایج نیست، ولی رویداد امنیتی ممکن است رخ دهد. با توجه به مسئله‌ی امنیتی، شرکت‌هایی با داده‌های حساس از قبیل شرکت‌های پزشکی و شرکت‌های مالی توصیه نمی‌شود که از فناوری محاسبات ابری استفاده کنند.

۳-۳-۱-۲. مسئله‌ی حمله و وقفه در سرویس

قطع شدن سرویس ابری امری رایج است، که شامل پشتیبان‌گیری از داده‌ها، خاموش شدن سیستم از این جمله‌اند که البته قابل جلوگیری هستند. همچنین حمله‌ی DDoS نیز در کنار قطع شدن سرویس وجود دارد. حمله‌ی DDoS به نوعی از حمله اشاره دارد که می‌تواند از اینکه کاربران عادی به سرویس‌های ابری دسترسی داشته باشند، جلوگیری کند، این حمله باعث می‌شود که برخی از سرویس‌های بحرانی ابری، منابع سیستمی زیادی از قبیل فرآیندها، حافظه، فضای ذخیره سازی و پهنای باند شبکه مصرف کنند، که این امر باعث می‌شود تا پاسخ ابری بسیار کندتر شده یا پاسخ به طور کامل قطع شود.

۳-۳-۱-۳. بررسی مسائل حسابرسی^۲

در محاسبات ابری، سرویس‌های محاسباتی، ذخیره‌سازی، پهنای باند شبکه می‌تواند به طور سراسری در دسترس باشند، ولی اطلاعات حساب‌های ارائه شده توسط کاربران می‌تواند تقلبی باشد. بنابراین جرم‌های شبکه‌ای مبتنی بر بستر محاسبات ابری به

1 Middleware
2 Accounting

سختی قابل ردیابی هستند. اگر شرکت‌ها به صورت عجولانه و بدون اینکه درک کاملی از محیط فراهم‌کننده‌ی سرویس ابری، کاربردهای اینترنت اشیا و مسئولیت‌های عملیاتی (مانند مسئولیت‌هایی برای حادثه، مسائل رمزنگاری، نظارت بر امنیت) داشته باشند، خود را بر محاسبات ابری انطباق دهند، آنگاه با خطرات نامعلومی مواجه خواهند شد.

۴- امنیت اینترنت اشیا به عنوان یک سیستم کامل

مسائل امنیتی زیادی وجود دارند که نیاز است به عنوان یک سیستم کامل در نظر گرفته شوند. نیازهای امنیتی برای اینترنت اشیا نمی‌توانند به سادگی با کنار هم قرار دادن راه‌حل‌های هر زیر لایه در کنار یکدیگر به دست آید. همانطور که می‌دانیم، برخی از نیازهای امنیتی نمی‌توانند تنها با استفاده از یک فناوری خاص در یک لایه‌ی تنها برطرف شوند. به عنوان مثال، برای یک سیستم با لایه برنامه کاربردی ضعیف، مهم نیست که ما چقدر برای حفظ حریم خصوصی داده‌ها در لایه‌ی حس کردن تلاش کنیم، چون یک مهاجم به راحتی می‌تواند تمام اطلاعات خصوصی را به دست آورد. از آنجا که لایه برنامه کاربردی به برنامه کاربردی مرتبط است، به همین دلیل مسائل امنیتی نمی‌توانند در لایه‌های دیگر اینترنت اشیا حل شوند. بنابراین، به همکاری بین لایه‌های مختلف و نیز به طراحی فناوری‌های مربوط برای استفاده در لایه‌های متقابل نیاز داریم.

۵- نتیجه‌گیری

اینترنت اشیا نشان دهنده تکامل اینترنت در آینده می باشد و ارتباطات میان اشیا با دیدگاه «هر زمان، هر مکان و با هر وسیله» را امکان پذیر می‌سازد. با توجه به این که اینترنت اشیا جزئی از اینترنت آینده^۱ خواهد بود از این پس خود داده‌ها و اطلاعات باید نقطه‌ی تمرکز راهکارهای ارتباطی و شبکه بندی باشد. از این رو، مشخص است که در میان تمام چالش‌های موجود، چالش تأمین امنیت و حفظ حریم خصوصی افراد باید به دقت مطالعه شود و راهکارهای ویژه‌ی اینترنت اشیا ارائه شود. هرچند اینترنت اشیا دروازه بزرگ و مهمی برای ورود به دنیایی با قابلیت‌های بیشتر برای بشر باز کرده، در عین حال تهدیداتی بزرگ‌تر از همیشه را نیز متوجه زندگی ما کرده است. در این میان، اولین قدم برای فرار از این تهدیدات این است که هر فرد و نهادی، انفرادی خود را مسئول صیانت و حفاظت از همه اطلاعات بداند. کاربر/شهروند نهایی نیز نقش مهمی را در دسترسی به داده‌ها و اطلاعات بازی می‌کند. مردم باید قوانین بین‌المللی امنیت سایبری را برای برقراری ارتباط بهتر و بدون خطا یاد بگیرند. همچنین نکته‌ای بصورت مکرر از سوی متخصصان امنیتی به آن اشاره شده که اقدامات پیشگیرانه و استفاده از عقل سلیم در برقراری ارتباطات، مهم ترین نکته برای خنثی کردن این تهدیدات است. اینترنت اشیا در کنار همه مزایایش، مشکلاتی هم دارد. از طرفی دغدغه‌های امنیتی پیش روی این فناوری باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد و سیاست‌های مناسب برای مقابله با این تهدیدات، توسط دولت‌ها و کشورها جهت تمایل به استفاده از این فناوری، اتخاذ گردد. صاحب نظران و سیاست گذاران باید از هم‌اکنون در اندیشه مقابله با چالش‌های آن باشند. در این مقاله به بررسی برخی از چالش‌ها و روشهای بهبود امنیت در اینترنت اشیا پرداخته شده است، ولی همچنان جای بحث‌های فراوانی در این حوزه باقیست.

منابع

1. Anti-Phishing Working Group. (2009). Phishing activity trends report, 4th Quarter/2009.
2. Avudainayagam, A., Lou, W., & Fang, Y. (2003). DEAR: A device and energy aware routing protocol for heterogeneous Ad hoc networks, Parallel and Distributed Computing, 63(2), pp. 228-236, doi: 10.1016/S0743-7315(02)00066-7.
3. Finkenzeller, K. (2003). RFID handbook fundamentals and applications in contactless smart cards and identification (2nd ed.), West Sussex: Wiley, ISBN: 978-0470844021.
4. Hu, F., & Wang, F. (2010). Study of recent development about privacy and security of the internet of things, In Proceedings of the international conference on web information systems and mining, pp. 91-95, doi: 10.1109/WISM.2010.179.
5. Lakafosis, V., Traille, A., & Lee, H. (2011). RFID-CoA: The RFID tags as certificates of authenticity, In Proceedings of the IEEE international conference on RFID, pp. 207-214.
6. Li, C., & Chen, C. L. (2011). A multi-stage control method application in the fight against phishing attacks, In Proceeding of the 26th computer security academic communication across the country, p. 145-153.
7. Liu, L. A., & Lai, S. L. (2006). ALOHA-based anti-collision algorithms used in RFID

- system, In Proceedings of the IEEE international conference on networking and mobile computing, pp. 1-4, doi: 10.1109/WiCOM.2006.342.
8. Lv, B. Y., Pan, J. X., Ma, Q., & Xiao, Z. H. (2008). Research progress and application of RFID anti-collision algorithm, In Proceedings of the international conference on telecommunication engineering, 48(7) , pp. 124-128.
 9. Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J., & Culler, D. (2007). Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15.4 networks, <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc4944/>.
 10. Palattella M., Accettura N., Vilajosana, X. et al. (2013). Standardized Protocol Stack for the Internet of (Important) Things, Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 15(3), pp. 1389-1406, doi: 10.1109/SURV.2012.111412.00158.
 11. Ren, F. Y., Huang, H. N., & Lin, C. (2003). Wireless sensor networks, Journal of Software, 7, pp. 1282-1290.
 12. Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., & Woelffle, S. (2010). Vision and challenges for realising the internet of things, Cluster of European Research Projects on the Internet of Things—CERP IoT, ISBN: 978-92-79-15088-3.
 13. Suo, H., Liu, Z., Wan, J., & Zhou, K. (2013). Security and privacy in mobile cloud computing, In Proceedings of the 9th IEEE international wireless communications and mobile computing conference (IWCMC), pp. 655–659, Cagliari, Italy, doi: 10.1109/IWCMC.2013.6583635.
 14. Sweeney, L. (2002). K-anonymity: A model for protecting privacy, International Journal of Uncertainty, Fuzziness, and Knowledge-Based Systems, 10(5), pp. 557-570, doi: 10.1142/S0218488502001648.
 15. Tsai, C., Lai, C., & Vasilakos, V. (2014). Future internet of things: Open issues and challenges, ACM/Springer Wireless Networks, pp. 2201-2217, doi:10.1007/s11276-014-0731-0.
 16. Wang, K., Bao, J., Wu, M., & Lu, W. (2010). Research on security management for internet of things, In Proceeding of the IEEE international conference on computer application and system modeling (ICCA SM), vol. 15, pp. 133-137, doi: 10.1109/ICCA SM.2010.5622549.
 17. Yi, K. M. (2010). Preliminary study of IoT security, Internet Police Detachment of Public Security Bureau in Taian City.
 18. Zhang, L., & Wang, Z. (2006). Integration of RFID into wireless sensor networks: architectures, opportunities and challenging problems, In Proceeding of the IEEE fifth international conference on grid and cooperative computing workshops (GCCW), 06(58), pp. 463-469.

کاربرد انواع آسفالت و الیاف آسفالتی در جاده‌ها و معابر شهری و لزوم به کارگیری روش‌های نوین روسازی آسفالتی در موارد تخریبی، تعمیر و نگهداری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸

کد مقاله: ۷۲۵۴۹

امین رضائی^{*۱}

چکیده

توسعه روز افزون راه‌های ارتباطی و مواصلاتی و حمل و نقل درون شهری و لزوم به کارگیری روش‌های نوین اجرای روسازی جاده‌ها و معابر شهری و به کارگیری روش‌های نوین روسازی آسفالتی، توسعه و نگهداری شبکه راه‌ها بر افزایش کیفیت خدمات رسانی تاکید داشته و باعث پائین آمدن هزینه‌های چرخه عمر و نگهداری و تعمیر در روسازی جاده‌ها و معابر شهری خواهد بود. روش تحقیق تحلیلی - توصیفی بوده و با گردآوری و استناد به مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای و مقایسه‌ای، و با در نظر گرفتن کاربرد انواع آسفالت و الیاف آسفالتی در جاده‌ها و معابر شهری و لزوم به کارگیری روش‌های نوین روسازی آسفالتی در موارد تخریبی، تعمیر و نگهداری در شهرداری‌ها و انتخاب گزینه بهتر در امر اجرایی، انجام شده است. در پژوهش انجام گرفته سعی شده تا روش‌های نوین و قدیمی در رابطه با سنجش مشخصات قیر مصرفی و آسفالت و انواع آسفالت به کار گرفته شده و الیاف آسفالتی و روش‌های نوین اجرایی آسفالت و فناوری‌های نوین در صنعت روسازی آسفالتی به کار گرفته شود و در راستای اجرای روش‌های نوین ساخت روسازی معابر و جاده‌ها آسفالت‌های گرم و سرد و بازیافتی و قیرهای مورد استفاده و امولسیون‌ها و استفاده از پودر لاستیک و مخلوط‌های مختلف با استخوان بندی (SMA) بررسی و تشریح شود، که در ادامه مزایا و معایب هر کدام از فناوری‌ها بررسی شده و امید است یافته‌های این تحقیق سبب آشنایی مدیران و تصمیم‌گیرندگان شهری با فناوری‌های پر کاربرد درون شهری در زمینه رو سازی، باشد.

واژگان کلیدی: آسفالت، الیاف آسفالتی، روش‌های نوین روسازی، جاده و معابر، تخریب، تعمیر و نگهداری.

۱- کارشناسی ارشد عمران - راه و ترابری، کارشناس عمران (کنترل پروژه) شهرداری، خوی، ایران.

(aminrezaei.64m@gmail.com)

۱- مقدمه

از اختلاط قیر و مصالح سنگی جسمی چسبانده و متراکمی به دست می‌آید که بتن آسفالتی نام دارد که بسته به نوع قیر مورد استفاده در مخلوط آن و جنس مصالح و دانه بندی سنگدانه های مصرفی در انواع متفاوتی تولید می‌شود و موارد بیان شده نقش مهمی در عملکرد و دوام بتن آسفالتی به دست آمده دارد و استفاده از الیاف آسفالتی نیز در برخی موارد به عنوان مقاوم سازی در بتن آسفالتی می‌تواند کارائی بهتری داشته باشد. قیر از پالایش نفت خام بدست می‌آید و در واقع می‌توان گفت به عنوان پسماندهای ستون های اتمسفریک و خلاء پالایشگاه نفتی است. با پیشرفت تکنولوژی های نوین و پالایش نفت و تقطیر های بدست آمده و قیرهای دریافتی حاصل از آن کیفیت ماده باقی مانده که همان قیر می‌باشد در راه سازی ها کاربرد داشته و با داشتن حالت چسبندگی و دوام بالا در آسفالت معابر و جاده های شهری نقش بسزائی دارد. با توجه به کیفیت آسفالت های تولیدی و افزایش تردد و حمل و نقل شهری و بار ترافیکی حاصل از آن در راستای روسازی جاده ها و معابر شهری عملکرد و دوام ساخت روسازی آسفالتی در اولویت کار قرار می‌گیرد که طبق تحقیقات و مطالعات انجام یافته راهبردی در زمینه راه ها (Strategic Highway Research Program) است که در مباحث علمی به اختصار به پروژه شارپ معروف است. مطالعات و تحقیقات انجام یافته پروژه شارپ برای اولین بار در بین سال های ۱۹۸۷ الی ۱۹۹۳ میلادی در ایالات متحده آمریکا پایه گذاری شد که بعدها هم با نتایج مثبت به دست آمده و روش های جدید در رده بندی قیرهای مصرفی و مورد استفاده در راه سازی مبتنی بر عملکرد بهینه و روش های جدید طراحی در این خصوص منجر به وجود آمدن روش 'Superpave' شد که این روش نیز به مرور زمان و با روی کار آمدن روش های دیگر مثل روش آشتو که برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ میلادی مورد آزمایش قرار گرفت بر اساس یک روش تجربی و استفاده از مصالح و فناوری های نوین از تولید تا اجرا برخوردار بود که هدف اصلی تمامی این روش ها و روش های نوین دیگر به وجود آمده تا آن زمان و در آینده نیز می‌تواند جایگزینی مصالح و روش های نوین با افزایش دوام و عملکرد بهینه و کاهش هزینه ها از تولید تا مصرف و اجرا باشد که تعدادی از این فناوری های به کار رفته تا به امروز می‌تواند کاربرد انواع آسفالت های گرم، نیمه گرم و آسفالت سرد و نیمه سرد، آسفالت های بازبافتی سرد و گرم و امولسیون های قیری و انواع مخلوط های به کار رفته در تولید روسازی های آسفالتیاً آسفالت حاوی از کاربرد پودر لاستیک ماشین های فرسوده و استفاده از مخلوط های آسفالتی با دانه بندی سنگدانه ای SMA^۲ باشد که روز به روز شاهد کاربرد آنها در جاده ها و معابر شهری شهرمان هستیم (سیدحمودی و شهری، ۱۳۹۶).

۲- روش تحقیق

روش تحقیق تحلیلی-توصیفی بوده و با گردآوری و استناد به مطالعات میدانی و کتابخانه ای و مقایسه ای، و با در نظر گرفتن کاربرد انواع آسفالت و الیاف آسفالتی در جاده ها و معابر شهری و لزوم به کارگیری روش های نوین روسازی آسفالتی در موارد تخریبی، تعمیر و نگهداری در شهرداری ها و انتخاب گزینه بهتر در امر اجرایی، انجام شده است.

۳- پیشینه پژوهش

هاشمی پور و عادلی (۱۳۹۶)، در مقاله ارزیابی علل کاهش عمر لایه های آسفالتی سطوح معابر شهری و ارایه راه حل ها و پیشنهادات (مطالعه موردی شهرستان لالی)، عامل صحت و کیفیت تولید، موثرترین گزینه در کیفیت ساخت روسازی آسفالت شهر لالی است. سایر عوامل موثر به ترتیب اولویت عبارتند از صحت و کیفیت اجرا، کنترل کیفیت اجرا، دستورالعمل های موجود، کنترل کیفیت تولید، و مطابقت عملی با دستورالعمل ها. نیازی و نیشابوری (۱۳۸۲)، در مقاله خود به تأثیر نوع فیلر بر خواص مکانیکی و دوام بتن آسفالتی روسازی ها اشاره داشته اند، نتایج نشان می‌دهد که خواص سفت کنندگی فیلر ها در مخلوط های فیلر- قیر بسته به نوع و نسبت فیلر در مخلوط تغییر می‌کند. همچنین، نوع فیلر یا ریز دانه ترین مصالح سنگی مصرف شده بر خواص مکانیکی و دوام بتن آسفالتی تأثیر دارد. آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران (۱۳۹۰) (معاونت نظام راهبردی وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۰)، در برگزیده ضوابط و معیار های طراحی روسازی راه های آسفالتی است، که مراحل بهره برداری، اجرا و نگهداری روسازی معابر شهری را شرح می‌دهد. کتاب مخلوط های آسفالتی با مقاومت بالا در بابر شیار شدگی از سوی دبیرخانه مجمع جهانی راه تدوین شده و ترجمه آن کیوان بمانا (۱۳۸۵)، این کتاب که از سوی آسفالت کشور آمریکا تدوین شده است شرح روش ها در طرح ضخامت روسازی و در بردارنده ی این موضوعات است: ملاحظات طراحی، اصول طراحی، تحلیل ترافیکی، ارزیابی مصالح، روش های طراحی سازه ای، برنامه ریزی ساخت مرحله ای و تحلیل اقتصادی. کتاب لکه گیری رویه های آسفالتی (۱۳۸۶)، تهیه کننده وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل نیز به خرابی های رایج در روسازی آسفالتی و دانه بندی و جنس فیلرهای مصرفی پرداخته اند. هانگ و همکاران (۲۰۲۰)، به ارزیابی آسفالت ماستیک سنگی حاوی ضایعات سرمایی برای خنک

۱. یک روش طراحی مخلوط جایگزین روش قدیمی مارشال است که در نتیجه پروژه شارپ پیشنهاد شده است.

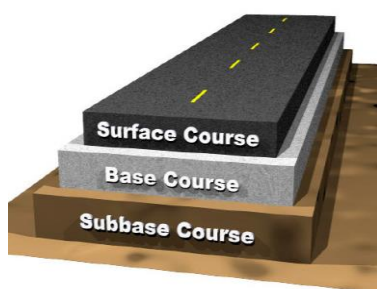
سازی روسازی آسفالتی، پرداخته اند. نتایج نشان می‌دهد که CASMA با کاهش مقاومت شیاردار، حساسیت به رطوبت، و عملکرد ضد ترک مواجه شد، در حالی که هنوز الزامات فنی با محتوای CA تا ۴۰٪ را برآورده می‌کند. از سوی دیگر، CASMA ها می‌توانند دمای روسازی را تا ۱۱٫۵ درجه سانتی گراد در کف لایه های آسفالت خنک کنند. تغییر شکل شیاردار دائمی روسازی آسفالت خنک کننده ۴۵٫۳۶ درصد کمتر از روسازی آسفالت معمولی بدون CASMA بود. بر اساس نتایج آزمایش و نتایج شبیه سازی عددی، محتوای بهینه ضایعات سرامیکی در آسفالت ماستیک سنگی ۴۰ درصد توصیه شد (Huang, et al., 2020, p.2). بالیار سینگ (۲۰۲۰)، در پژوهشی تحت عنوان آسفالت مخلوط داغ پراکنده از خرده لاستیک ساندویچ شده با گرافن، نتایج نشان می‌دهد که خرده لاستیک و اکسید گرافن کاملاً با قیر سازگار هستند. ۹٫۸٪ محتوای خرده لاستیک در آسفالت مخلوط داغ قیر اصلاح شده با لاستیک خرده نان نتیجه بهینه را نشان می‌دهد. عملکرد آسفالت مخلوط گرم قیر اصلاح شده با اکسید گرافن در مقایسه با نمونه‌های آسفالت مخلوط داغ قیر اصلاح شده با مخلوط کنترل و خرده لاستیک اصلاح شده، عملکرد برتری را نشان می‌دهد. خواص افزایش یافته آسفالت مخلوط گرم قیر اصلاح شده با اثر ترکیبی اکسید گرافن و خرده لاستیک، برای ساخت و ساز جاده مناسب است (Baliyar Singh et al., 2020, p.652). رحمان، مهاجرانی و جوستوزی (۲۰۲۰)، به صورت موردی به مطالعه بازیافت مواد زائد برای آسفالت بتن و قیر، پرداخته اند. صنعت روسازی یکی از بخش‌های امیدوارکننده است، زیرا انواع مختلفی از زباله‌ها در بتن آسفالت و قیر بازیافت می‌شوند و جزء روش‌های نوین برای روسازی و استفاده در جاده‌ها و معابر شهری به حساب می‌آیند. برخی از ضایعات امیدوارکننده مانند پلی اتیلن با چگالی بالا، ضایعات معدن سنگ مرمر، ضایعات تخریب ساختمان، لاستیک تایر زمینی، روغن پخت و پز، خاکستر سوخت روغن نخل، نارگیل، سیزال، سلولز و الیاف پلی استر، نشاسته، بطری‌های پلاستیکی، ضایعات شیشه، آجرهای باطله، ضایعات سرامیک، خاکستر بادی زباله و ته سیگار و استفاده از آنها در بتن آسفالت و قیر هستند (Rahman, Mohajerani & Giustozzi, 2020, p.2).

۴- مبانی نظری پژوهش

نتیجه تحقیقات بدست آمده در آمریکا در سال ۱۹۸۷ میلادی روش رده بندی بر اساس عملکرد بوده است که به اختصار (PG) نمایش داده می‌شود. طبق این روش برای هر قیر راه سازی یک محدوده دمای عملکردی تعیین می‌شود و فرض می‌شود که قیر مورد نظر در محدوده تعریف شده دارای عملکرد مناسب در مخلوط آسفالتی است. به عنوان مثال یک قیر PG58-28 برای استفاده در مخلوط آسفالتی که دمای آن به ۸۵ درجه سانتی گراد در گرم ترین فصل و به ۲۸- درجه سانتی گراد در سردترین فصل سال می‌رسد مناسب است. در این روش مکانیزم شکل گیری و توسعه خرابی در دماهای مختلف هر کدام به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تجهیزات مورد استفاده در این روش رده بندی نسبتاً گران بوده و در حال حاضر تنها چند مرکز تحقیقاتی در داخل کشور مجهز به دستگاه‌های ارزیابی قیر طبق پروتکل‌های بدست آمده PG هستند. در ابتدا رده بندی قیرها به صورت کلاسیک با توجه به قوام آن‌ها انجام می‌شده است. یکی از روش‌های متداول مبتنی بر قوام یافتن روش درجه نفوذ قیر مصرفی است، در این روش قیرها بر اساس میزان نفوذ یک سوزن استاندارد در قیر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد طبقه بندی می‌شوند، قیر ۵۰-۴۰، ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ در این روش که در طی دهه ۱۹۳۰ میلادی پایه گذاری شده و هنوز هم در بعضی کشورها مانند ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتخاب قیر مناسب راه سازی بر اساس قوام آن است. به عنوان مثال برای آب و هوای گرم قیر ۵۰-۴۰، معتدل ۷۰-۶۰ و سرد ۱۰۰-۸۵. این روش دسته بندی و انتخاب قیر بسیار ساده است ولی هیچ شاخص عملکردی روسازی راه و معابر شهری را مد نظر قرار نمی‌دهد. روش رده بندی دیگر، رده بندی بر اساس گرانیوی^۱ قیر بوده است، این روش برای رفع نقایص روش قبلی در دهه ۱۹۵۰-۱۹۶۰ میلادی پیشنهاد شد ولی به رغم اینکه از شاخص گرانیوی که یک پارامتر مکانیکی است بهره می‌برد، همچنان عملکرد مخلوط‌های آسفالتی را مد نظر قرار نداده بود و در بعضی موارد روسازی‌هایی که با استفاده از این روش کاملاً یکسان برآورد می‌شدند، در عمل رفتار متفاوتی داشتند. بر اساس مطالعات تحقیقاتی راهبردی شارپ در سال ۱۹۸۷ میلادی و آشتو در سال ۱۹۶۰ میلادی که بر روی خواص قیرها و شرایط بار ترافیکی در موقع بهره برداری و ارائه راهکارهای مناسب برای طرح‌های مخلوط آسفالتی برنامه ریزی شد تا بتواند پاسخگوی بار ترافیکی و نیاز روسازی جاده‌ها و معابر شهری باشد که با صرف کردن هزینه‌های میلیون دلاری در آمریکا و اروپا با هدف بهبود عملکرد بتن آسفالتی و ایمن سازی راه‌ها به نتایج مطلوبی رسیده است که منجر به ارائه گزارش مبتنی بر خواص قیر مصرفی و عملکرد آن در روسازی آسفالتی بود و بعدها معیارهایی نیز برای آن در نظر گرفته شد که در طبقه بندی گرانیوی قیرها با توجه مقدار گرانیوی مطلق در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و گرانیوی روبه بالا با کینماتیک در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد رده بندی شد که هر کدام مشخصات فنی و استانداردهای خود را دارد (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶؛ افلاکی، ۱۳۸۷؛ مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران، ۱۳۹۴).

1. Viscosity

۴-۱- انواع آسفالت



تصویر ۱: ساختار معمولی اجرا و روسازی آسفالتی با انواع آسفالت ها، مأخذ: Mashaan, et al, 2014

آسفالت به صورت کلی به سه دسته آسفالت گرم و سرد و حفاظتی تقسیم می‌شود. آسفالت به ماده ای گفته می‌شود که سیاه رنگ و چسبناک بوده و به علت چسبندگی زیادی که دارد عایق خوبی برای رطوبت نیز هست. این ماده شبه جامد ترکیبی از مخلوط شن و ماسه و ماده سیاه رنگ به نام قیر است که در ساخت جاده ها عایق پشت بام ها زیر سازی ها و باند فرودگاه ها کاربرد دارد. آسفالت به صورت کلی از هیدروکربن ها و مشتقات آن ها تشکیل می‌شود و به صورت کامل در کربن دی سولفید حل می‌شود. آسفالت به فرانسوی: Asphalte ماده‌ای ترکیبی است که از مخلوط کردن شن و ماسه و قیر ساخته می‌شود و در ساخت جاده، باند فرودگاه و پشت بام ساختمان‌ها به کار گرفته می‌شود. اصلی‌ترین کاربرد آسفالت در ساخت جاده ها است (نزدیک به ۷۰٪)، که در آن از ترکیب شن و ماسه و قیر برای ساخت بتن آسفالتی استفاده می‌شود. آسفالت به طور ۱۰۰٪ قابل بازیافت بوده و بیشترین ماده ساخت و ساز بازیافت شده می‌باشد (نیکی رشیدی، ۱۳۸۸).

آسفالت در زبان فرانسه به معنای «قیر» نیز می‌باشد و باید توجه داشت که منظور از آسفالت در زبان فارسی «بتن آسفالتی» است که به طور خلاصه به آن آسفالت گفته می‌شود. واژه آسفالت از زبان یونانی باستانی ασφαλτος asphaltos گرفته شده است (حاج محمدرضایی، ۱۳۷۷؛ زیاری، ۱۳۸۵). بتن آسفالت مخلوطی از سنگدانه و قیر است. مخلوط بتن آسفالتی را می‌توان بر اساس درجه بندی سنگدانه ها به دو دسته عمده طبقه بندی کرد: آسفالت مخلوط داغ (HMA) و آسفالت ماستیک سنگی (SMA).

۴-۱-۱- آسفالت گرم

آسفالت گرم به آن دسته از آسفالت ها گفته می‌شود که به صورت گرم با قیر ترکیب می‌شوند و به صورت گرم نیز در سطح پخش شده و متراکم می‌گردند آسفالت گرم مخلوطی چندین ماده مختلف از جمله مصالح سنگی مثل شن و ماده اصلی یعنی قیر است که بر اساس نوع قیر مصرفی در دمایی مابین ۱۰۵ تا ۱۶۳ درجه سانتیگراد در کارخانه ساخته می‌شود و برای کشیده شدن روی محدوده مورد نظر فرستاده می‌شود. این ماده به صورت خمیری داغ روی ناحیه کشیده می‌شود و با دستگاه های مخصوصی کوبیده و فشرده می‌شوند. پس از سرد شدن به شکل جامد و بسیار مقاوم در می‌آیند. در کف خیابان ها و فرودگاه ها و بسیاری از پشت بام ها از این نوع آسفالت استفاده می‌شود. در بین انواع آسفالت های گرم، برترین نوع از نظر مقاومت و دوام، بتن آسفالتی است. بتن آسفالتی از مخلوط کردن سنگ های مرغوب و شکسته شده و قیر خالص بدست می‌آید. بتن آسفالتی در تمامی کاربردها مثل روسازی راه ها و باند فرودگاه ها کاربرد دارد و در برابر شرایط مختلف و سخت جوی و یا ترافیک بسیار با دوام است. همچنین در قسمت های ایستگاه خطوط اتوبوس واحد ها از این لایه پوشش استفاده می‌کنند. این نوع از آسفالت به چند قسمت تقسیم می‌شود:

آسفالت رویه (توپکا): آسفالت رویه آخرین لایه ای است که در روی تمام آنچه برای آسفالت کردن یک ناحیه انجام شده است قرار می‌گیرد و ما آن را می‌بینیم. این لایه به صورت مستقیم با هوا و با عوامل جوی در ارتباط است. ما پایمان را روی این لایه می‌گذاریم و همچنین بارها و اتومبیل ها و ترافیک ها روی این لایه قرار می‌گیرند. طبیعی است این لایه از اهمیت فراوانی برخوردار است و علاوه بر این که باید زیبا و صاف باشد باید در برابر بارندگی ها و سیل و برف و سرما و یخبندان بتواند مقاومت از خودش نشان دهد و شسته نشود و یا نشکند. حداکثر اندازه سنگ های مورد استفاده در آن باید در محدوده ای ما بین ۹/۵ تا ۱۹ میلی متر باشد.

آسفالت آستر: این لایه حساس ما بین لایه رویه و لایه های زیرین آسفالتی و یا مابین لایه اصلی و لایه رویه قرار می‌گیرد. در صورتی که ترافیک بسیار سنگینی در محل ایجاد شود آسفالت باید توان مقاومت در برابر آن را داشته باشد. مثلاً در بندرگاه ها و یا ایستگاه های تاکسی و اتوبوس و ترمینال ها باید از سنگ هایی که در برابر فشارهای زیاد تغییر شکل نمی‌دهند و از مقاومت بیشتری در برابر شکسته شدن و خرد شدن و یا حل شدن و تغییر حجم دارند برای این لایه استفاده کنیم. اندازه سنگ های خرد شده برای استفاده در این لایه بین ۱۹ تا ۳۷/۵ میلی متر است.

اساس قیری: اولین قشر رو سازی بعد از انجام گرفتن تمامی مراحل زیر سازی این مرحله یعنی اساس قیری است. دانه های سنگ مورد استفاده در این لایه بسیار بزرگ تر هستند که در این مرحله سنگ ریزه های مورد استفاده باید در ابعادی ما بین ۵۰ میلیمتر تا حدود ۷۵ میلیمتر داشته باشند. استفاده از این لایه در شرایط جوی خاص مانند مناطقی با یخبندان و بارش های شدید و سیل توصیه می‌شود و در دیگر شرایط لازم نیست.

ماسه آسفالت: ماسه آسفالت به مخلوط ماسه شکسته و یا ماسه طبیعی شسته شده با قیر خالص گفته می‌شود. این ترکیب را می‌توان در لایه‌های با ضخامت بیشتر از ۱۵ میلیمتر پخش کرد. کاربرد اصلی این لایه مسطح سازی لایه‌های آسفالت قدیمی است (<https://sepdbamalborz.ir>).

۴-۱-۲- آسفالت حفاظتی

آسفالت حفاظتی همان ترکیب سنگ‌های خرد شده با قیر است که در این نوع از آسفالت اندازه سنگ‌ها بسیار کوچک تر است و هدف از ساخت این آسفالت حفاظت از محدوده مورد نظر است. کاربردهای این نوع آسفالت در پشت بام‌ها برای حفاظت و به عنوان روکش برای ایزوگام برای جلوگیری از آسیب رسیدن به آن است و یا معابری است که فشار در آن‌ها کمتر است. مقاومت این نوع آسفالت زیاد نیست و از قیر زیادی برخوردار است. همچنین ضخامت آسفالت حفاظتی معمولاً ۲/۵ سانتی‌متر است. انواع آسفالت‌های حفاظتی به شرح زیر است:

- | | |
|--|------------------------------------|
| (۱) آسفالت حفاظتی از نوع یک لایه ^۱ | (۵) نوع تک کت ^۵ |
| (۲) آسفالت حفاظتی از نوع چند لایه ^۲ | (۶) نوع سیل کت‌ها ^۶ |
| (۳) آسفالت حفاظتی سرد پیش اندود ^۳ | (۷) حفاظتی نوع ردمیکس ^۷ |
| (۴) نوع پریمکت ^۴ | |

۴-۱-۳- آسفالت سرد

آسفالت سرد که با اصطلاح (Cold Mix) شناخته می‌شوند همانند آسفالت گرم از مصالح سنگی خرد شده و قیر خالص بدست می‌آید و تفاوت آن با آسفالت گرم در این است که در آسفالت سرد این مواد در دمای محیط باهم مخلوط می‌شوند و پس از کوبیده شدن در دمای عادی محیط سفت می‌شوند و حالت جامد می‌گیرند. یکی از خوبی‌های استفاده از آسفالت سرد به جای گرم این است که شما می‌توانید در مصافت بسیار زیادی این آسفالت را حمل کنید و سپس آن را روی ناحیه پخش کنید و آن را فشرده کنید و بکوبید بدون آن که خراب شود و یا دیگر قابل استفاده نباشد. لازم به ذکر است کاربرد این نوع آسفالت در ساختن راه‌ها و تعمیر و نگهداری روسازی‌ها و همچنین در کف سازی سالن‌ها و مکان‌های ورزشی است (<https://fa.wikipedia.org>). معاونت نظام راهبردی وزارت راه و شهرسازی، (۱۳۹۰).

۴-۲- کاربرد الیاف آسفالتی

- کاهش و تاخیر (بهبود و جلوگیری از گسترش) عریان شدگی در زمان استفاده از سنگدانه‌های مخلوط آسفالتی و خرابی رطوبتی فیزیکی (تخریب ناشی از بخارات آب بالخصوص در زمان استفاده از مصالح سیلیسی) که توسط فیلرهای آهکی هیدراته قابل اصلاح نمی‌باشد توسط الیاف با پوشش‌های نانویی هیدروفوبیک و هیدروفوبیک الیاف (T283).

- کاهش و تاخیر (بهبود و جلوگیری از گسترش) عریان شدگی در زمان استفاده سنگدانه‌های مخلوط آسفالتی و خرابی رطوبتی مکانیکی (تخریب ناشی از آب اشباع شده به صورت انفجاری).

- افزایش مقاومت مارشال (استقامت لایه‌های آسفالتی) بالخصوص روسازی و با شرایط ترافیک سنگین؛

- افزایش مقاومت در برابر مکانیزم خستگی و ترک خوردگی ناشی از آن؛

- بهبود خستگی توسط الیاف که به مراتب دارای تاثیر مناسب تری نسبت به پلیمر بسیار مناسب تر می‌باشد.

- کاهش و تاخیر (بهبود و جلوگیری از گسترش) ترک بردتی و انقباضی رویه آسفالتی که متأثر از جسم خود آسفالت و لایه‌های اساس و زیرین با کیفیت نامناسب نباشد.

- کاهش و تاخیر (بهبود و جلوگیری از گسترش) و رو آمدن ترک‌های آسفالتی (ناشی از خستگی، موج افتادگی، انعکاسی و شیار افتادگی)؛

- کاهش و تاخیر (بهبود و جلوگیری از گسترش) تغییر شکل دائمی (شیار افتادگی) قیر زدگی روسازی آسفالتی در شرایط آب و هوایی و ترافیکی ایران (۳۰ + / -۴۰)؛

- کاهش پدیده سخت شدن و پیر شدگی قیر؛

- مناسب جهت مصرف با مصالح اعم از سیلیسی و آهکی (کربناتی) به صورت نسخه پیچی شده با بررسی انتظارات و اهداف مصرف الیاف در مخلوط؛

1. single surface Treatment
2. Multiple Surface
3. pre mix coated macadam
4. prime coat
5. Tack Coat
6. seal coats
7. Road Mix

- صرفه اقتصادی به دلیل افزایش طول عمر آسفالت (Life cycle)؛
- توزیع تنش ها به دلیل سه بعدی قرار گرفتن در مخلوط آسفالتی (مسلح کننده سه بعدی)؛
- افزایش مدول بر چسبندگی که یکی از معیار های مهم در تعیین ضخامت در طراحی های اولیه روسازی است (ASTM 4123 UTM).
- افزایش کشش غیر مستقیم و چسبندگی بهتر قیر به مصالح سنگی؛
- کاهش CO2 و دوستدار محیط زیست Eco – friendly (www.sirjannano.com).

۵- بحث و یافته های پژوهش

۵-۱- روش های نوین روسازی جاده ها و معابر شهری

۵-۱-۱- آسفالت نیمه گرم^۱

خستگی و شیارشدگی دو عامل اصلی شکست در روسازی های انعطاف پذیر هستند (Sikdar et al., 1999). افزایش بار ترافیکی، شرایط محیطی، رطوبت، استحکام زیربنایی، کیفیت مصالح مورد استفاده و ملاحظات طراحی در طول زمان بر روسازی تاثیر می گذارد (Salama et al., 2006). در آسفالت نیمه گرم تلاش برای کاهش دمای ساخت و تراکم آسفالتی به وجود آمده بود که برای بار اول در سال ۱۹۹۶ میلادی در کشور آلمان مورد تحقیق و تفحص قرار گرفت و بعداً در آمریکا رد بین سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ و سپس در کشور کانادا در سال ۲۰۰۵ میلادی در دمای پائین و بین ۱۰ تا ۵۰ درجه سانتی گراد آسفالتی با مخلوط نیمه گرم به اجرا رسید که حاصل تحقیقات متخصصین در این حوزه می باشد. در ساخت آسفالت های نیمه گرم بر اساس تحقیقات انجام یافته از تراشه ها در مخلوط های قیری استفاده شد که به دلیل دارا بودن مقادیر قیر مصرفی در کاهش قیر تازه در حین ساخت مفید واقع می شد و در این راستا استفاده از ماده ای که در صنایع دیگر کاربرد نداشته و آسیب جدی به محیط زیست وارد نکند و در نهایت منجر به کاهش مصرف سنگدانه های طبیعی استفاده شده در آسفالت باشد، در اولویت استفاده قرار گرفت که از نظر اقتصادی نیز می تواند توجیه پذیر باشد. از مزایای استفاده از آسفالت نیمه گرم می توان به کاهش اثرات حاصل شده در برابر مخاطرات زیست محیطی و کاهش تولید گازهای سمی و کربن دی اکسید موجود در هوا و بخارهای ناشی از تبخیر و تقطیر قیر و فرآورده و مخلوط های آسفالتی، سهولت و راندمان بالا در ساخت و استفاده بهینه از سنگدانه های مصرفی طبیعی موجود در طبیعت و تراشه های در دسترس با توجه متراکم پذیری بهتر و امکان تولید آسفالت در نزدیکی مراکز شهری با در نظر گرفتن میزان آلودگی ها و خسارت وارده بر محیط زیست، ترام پذیری بهتر و سهولت اجرایی با توجه به شرایط محیطی و حاکم بر منطقه که در برخی موارد راحتی کار با بالا رفتن سردی هوا مشکل است، بهتر صورت می گیرد و با کاهش گرانوری قیر امکان اجرای سریع و حمل در فولصل طولانی با کاهش تبادل دمایی بین مخلوط های آسفالتی و تماس هوای دریافتی به حداقل می رسد و کارگران در دمای پائین و سرد با کم شدن ساعات کاری مواجه می شوند که باعث ارائه بهتر و با کیفیت و کاهش هزینه های اقتصادی و پروژه را به همراه دارد، اشاره نمود. در راستای بیان موارد مطلوب و مزایای آن باید نگرانی پیش آمده از اجرای آسفالت نیمه گرم را نیز بر طرف نمود که شامل شیار شدگی زود رس، کمبود اطلاعات کافی و ارزیابی دقیق برای مخلوط های آسفالتی نیمه گرم به دلیل عدم تجربه کافی در این زمینه و نوین بودن آن، مقاومت کم در برابر آب و عملکرد ضعیف آن در برابر مخلوط های ریخته شده در دمای پائین تر و بخصوص گران بودن بسیاری از افزودنی های آسفالت نیمه گرم و حمل و ساخت آن در محل کارخانه تا به مرحله اجرایی برسد (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶؛ بهروزی خواه، ۱۳۹۱).

۵-۲-۲- بازیافت سرد آسفالت

کلیه عملیات تخریب و تراشیدن و برداشتن مصالح لایه های آسفالتی که در برگیرنده لایه اساس و زیر اساس و برخی موارد بدون آن می باشند بازیافت آسفالت سرد است. پس از برداشتن و حمل مصالح بازیافتی از محل پروژه و سطح جاده ها و معابر شهری به کارخانه بازیافت حمل و با مواد قیری و با امولسیون های قیری، کف قیر و یا با موادی بدون مصالح از قبیل سیمان، آهک و خاکستر بادی و مصالح سنگی نوین و سنگدانه ای در دمای محیط کارخانه پس از حرارت دهی و اختلاط به سازه ای با عملکرد مثبت در راه سازی تبدیل می شود و به صورت روکش سطحی با توجه شرایط ترافیکی به کار می رود و برای لکه گیری ها و اصلاح سازه ای رویه های سطحی با توجه به مقرون به صرفه بودن نسبت آسفالت تازه، هم در مصرف انرژی و حفظ محیط زیست و در نهایت باعث پائین آمدن هزینه های کلی در ساخت رویه های سطحی آسفالتی و لکه گیری های مربوطه می شود. از مزایای آن می توان به کاهش آلودگی های زیست محیطی و حفظ منابع طبیعی و استفاده مجدد و بازگشت دوباره آن به چرخه تولید با شرایطی همچون مقرون به صرفه بودن و انرژی کم در تولید و سهولت اجرا و بهره مندی از مصالح سنگی سرد و مرطوب با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه و افزایش کیفیت روسازی و تثبیت و تقویت آسفالت با مصالح سنگدانه ای و افزودن مواد قیری و هیدرولیکی و حذف کردن تمامی ترک های انعکاسی و حرارتی که برداشت رویه سطحی و جایگزین کردن آن از بین می

1 . Warm Mix Asphalt (WMA)

رود و با توجه به فوریت تبدیل آن به آسفالت سرد بازیافتی امکان حمل و تخلیه و نگهداری به شدت پائین آمده و سرعت در اجرای کار نیز خود باعث پائین آمدن هزینه های بهره برداری و نگهداری بعد اجرا می باشد (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶؛ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵).

۵-۲-۳- باز یافت آسفالت گرم

آسفالت برداشته شده از روسازی جاده ها و معابر شهری با مصالح آسفالتی یا بدون آن طبق نقشه ها و ضوابط اجرایی مصوبی که تعیین شده است به محل کارخانه یا در محل پروژه حمل می شود و پس از خرد و دانه بندی شدن با مواد قیری یا ترکیبات جوان و الیاف های معدنی و مصالح سنگی جدید و آسفالت تازه و گرم تولید و در سطح راه ها و معابر شهری پخش و کوبیده می شود و در مقایسه با بازیافت آسفالت سرد از افزایش مقاومت بالایی برخوردار است و بدون تغییر شکل در ضخامت روسازی و تاب لغزشی است و کلیه آسیب های سطحی را اصلاح می نماید که شامل قیر زدگی و پدیده جدا شدن سنگدانه ها از رویه های آسفالتی و شیارافتادگی بیشتر و جبران ناهمواری هاست. کاهش آلودگی و کمترین مخاطرات زیست محیطی را به همراه دارد و در اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی قیر سخت شده روسازی ها با ترکیبات جوان کننده هماهنگی کامل داشته و به خوبی در سطوح مورد نظر پخش می شود و برای بهبود تاب خستگی و دوام رویه آسفالتی مناسب است (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶؛ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵).

۵-۲-۴- استفاده از امولسیون های قیری در راه سازی

از قیر به عنوان چسباننده خیلی قوی در بسیاری از موارد و پروژه های راه سازی استفاده می شود که بسته به دمای محیط به حالت های جامد و نیمه جامد وجود دارد که به تنهایی آنچنان کارائی هم ندارند اما با حرارت دادن و مخلوط نمودن با قیر و یا امولسیون های قیری و دیگر افزودنی های مجاز قابل استفاده در جاده ها و معابر شهری در روسازی خواهد بود. استفاده از امولسیون های قیری که روش جدیدی نیز به حواله نمی آید، در ساخت و نگهداری راه ها و معابر شهری برای بار نخست در اوایل قرن ۲۰ و قبل از آن یعنی در سال های ۱۹۲۰ میلادی نیز از امولسیون های قیری استفاده می شده است که در آن زمان تنها محدود به قیرپاشی و تثبیت گرد و غبار در راه های ارتباطی شنی مورد استفاده قرار گرفته است که از سال ۱۹۵۳ میلادی به بعد با افزودن مواد و امولسیون های قیری گسترش بیشتری یافت که در حال حاضر کلیه راه های ارتباطی داخل کشور با مصرف قیر و ساخت آسفالت به روش سرد و گرم و با کمک گرفتن از الیاف های دیگر و امولسیون ها در اندوهای سطحی و بهسازی کلیه راه ها و تثبیت راه های شنی و زیر ساخت ها و از بین بردن گرد و غبار ناشی از پروژه راه سازی ها به کار می رود و از مزایای آن علاوه بر موارد مطرح شده می توان مواردی را بیان نمود که شامل امان کار بر روی سطوح نمناک و مرطوب بدون از دست دادن خاصیت چسبندگی و صرفه جویی در مصرف انرژی و هزینه ها و ایمنی و کاربرد بیشتر و تنوع و تعدد کار بیشتر با آن و از نظر اقتصادی در مقایسه با قیرهای معمولی کارائی بهتری دارد که آن هم ناشی از عدم حرارت دهی زیاد و خشک نمودن بیش از حد دارد و برخلاف دیگر قیرهای مصرفی و محلول، تنها آب موجود در آن تبخیر می شود و این به نوبه خود باعث کاهش مخاطرات زیست محیطی شده و آلودگی هوا را به کمترین حد ممکن می رساند (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶؛ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵).

۵-۲-۵- آسفالت حاوی پودر لاستیک و مصالح بازیافتی

استفاده از لاستیک های فرسوده ماشین آلات و بازیافت آنها و کاربرد آن در صنعت آسفالت که یکی از معضل ترین عناصر در تخریب محیط زیست می باشند و بازگشت آنها نیز به چرخه تولید متحمل هزینه زیاد و عدم کیفیت محصول تولیدی خواهد بود که با بازیافت آن و تبدیل به پودر لاستیک و به کار گیری آن در مصالح بازیافتی سنگی و حاوی قیر در روسازی جاده ها و معابر شهری کارائی بهتری از خود نشان داده است. فرآیند بازیافت لاستیک های فرسوده به دو صورت خشک و تر بوده که در روش خشک با مصالح سنگدانه ای و قیر و دیگر محلول ها و امولسیون های قیری و دیگر افزودنی ها مخلوط می شود و در روش تر نیز برخلاف روش قبلی پودر لاستیک ها اول با قیر مخلوط می شوند و اصلاح شده و در دمای بالای ۱۸۰ درجه به مدت چند ساعت با هم مخلوط می شوند که این امر در بهبود خواص قیری که در راه سازی ها به کار می رود بهتر است و با افزودن پودر لاستیک خواص جذب انرژی مخلوط های آسفالتی نیز رو به بهبود می رود و بر کیفیت آسفالت ریخته شده تأثیر گذار است و مقدار افزودن پودر لاستیک بر اساس تحقیقات انجام یافته در این زمینه بین ۱۵ تا ۲۰ درصد وزنی مصرف قیر می باشد. از مزایای آن می توان به افزایش عمر روسازی های جاده ای و پائین آمدن هزینه های چرخه تولید و نگهداری را نام برد (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶؛ دیبایی، ۱۳۹۱).

انواع مختلفی از ضایعات سرامیکی مانند سرامیک های روزانه، سرامیک های حمام، کاشی و سرامیک و سرامیک های عایق وجود دارد. ضایعات سرامیک استفاده شده از ضایعات کاشی و سرامیک ناشی از تخریب ساختمان ها به دست آمده است که در دسته زباله های جامد ساختمانی قرار می گیرد. سرامیک جمع آوری شده شسته، خشک شده، با سنگ شکن فکی خرد شده، به

صورت خشک الک شده و در اندازه های ۱۰/۵، ۱۳/۱۰ و ۱۶/۱۳ میلی متر برای آماده سازی بعدی مخلوط آسفالتی نگهداری می شود. از سنگدانه درشت بازالت طبیعی به عنوان شاهد با حداکثر اندازه اسمی ۱۳،۲ میلی متر استفاده شد. علاوه بر این، سنگدانه ریز مورد استفاده در مخلوط آسفالت، بازالت طبیعی بود، در حالی که پرکننده مورد استفاده سنگ آهک بود. الیاف مورد استفاده در آسفالت ماستیک سنگی الیاف لیگنین بود. مورفولوژی سنگدانه بازالت و CA در شکل زیر نشان داده شده است.



تصویر ۲: سنگدانه مورد استفاده در آسفالت: (الف) سنگدانه بازالت. (ب) سنگدانه های ضایعات سرمایی خرد شده. مأخذ: Huang, et al., 2020, p.3

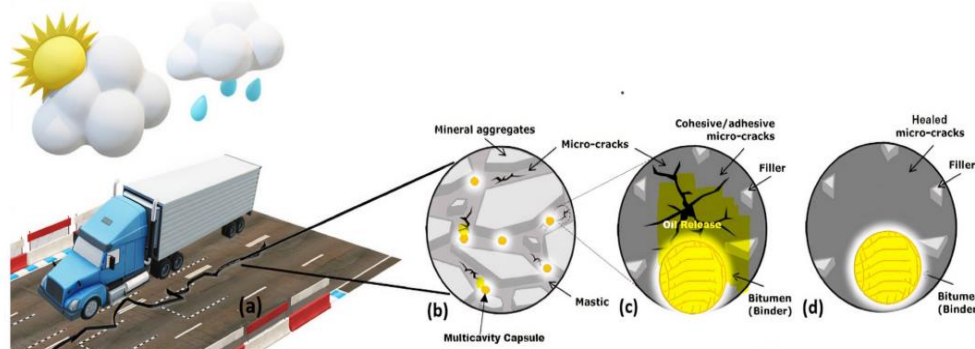
۵-۲-۶- مخلوط آسفالتی با استخوان بندی دانه ای SMA

استفاده از مخلوط های آسفالتی با دانه بندی SMA به قبل از سال ۱۹۶۰ میلادی بر می گردد که محققان کشور آلمان در راستای مقابله با تخریب های ناشی از کاربرد لاستیک های دارای میخ در لاستیک های یخ شکن که آسیب های جدی به راه ها و جاده های شهری می رسانند، به این نتیجه دست یافتند که می توان با استفاده از سنگدانه های SMA و درشت دانه بر دوام و مقاومت نهایی آسفالت ریخته شده افزود. مخلوط آسفالتی با استخوان بندی دانه ای SMA متشکل از قیر و فیلر پر شده است که نوعی دانه بندی میان تهی هم خوانده می شود. روش اجرای آن بدین صورت بود که ابتدا مخلوط قیر پاشیده می شد و سپس فیلر به صورت گرم و پشت سر آن نیز مخلوط درشت دانه ای و یا SMA پاشیده می شد و غلتک زنی بر روی آن شروع می شد که از ترکیب ۷۰ درصد دانه بندی درشت یا SMA و ۱۰ درصد ماسه شکسته و خرد شده و ۱۲ درصد فیلر پر کننده و در نهایت ۸ درصد قیر تشکیل می شد. استفاده از این سنگدانه ها با توجه به نرم بودن آنها و قیر مصرفی در برابر شیار شدگی و دیگر خرابی های آسفالتی مقاومت خوبی از خود نشان داده و راه های با بار ترافیکی زیاد و سنگین با عمر مفید بالا مورد استفاده قرار گرفت که بعدها در دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ میلادی به کشورهای اسکاندیناوی و آمریکا و... راه یافت و در پروژه های متعددی مورد استفاده قرار گرفت. از مزایای آن می توان به مواردی همچون طول عمر بالا، عدم تغییر شکل، مقاوم در برابر ترک خوردگی ها با افزایش قیر مصرفی، قابلیت استفاده در تمامی راه های ارتباطی به دلیل تحمل بار ترافیکی بالا و سنگین و دوام مطلوب در برابر سایش های ایجاد شده و عدم پاشش آب در هنگام رانندگی ها و موقع باریدن باران به علت درشت و زبر بودن سنگدانه های مصرفی و کاهش در خور توجه در آلودگی های صوتی و سر و صدای به وجود آمده از تردد وسائط نقلیه و عبور چرخ ماشین آلات (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶؛ Blazejowski, 2011؛ Taylor & Francis Group, 2011).

۵-۲-۷- خود ترمیم آسفالت با جوان کننده محصور شده در سطوح مختلف

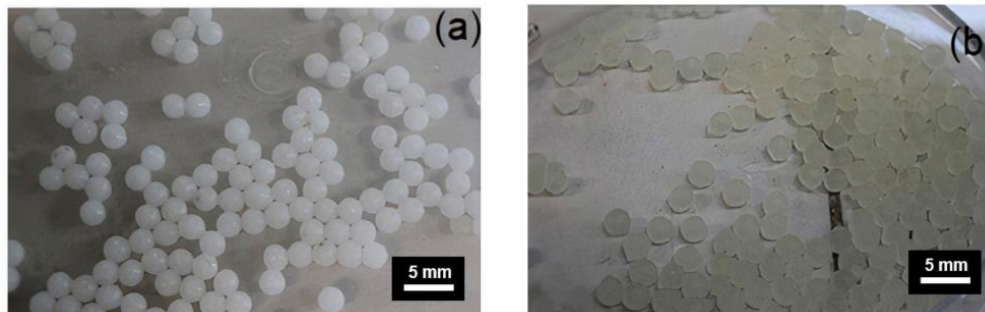
جوان کننده ها می توانند خواص بکر قیر را بازیابی کنند و ترکیبات فرار را برای بازگرداندن نسبت آسفالتین به مالتن اصلی القا کنند. (Zargar et al., 2012, pp.234-25; Boyer & Engineer, 2000). چندین روغن گیاهی و روغن معدنی توسط محققان برای جوان سازی آسفالت قدیمی استفاده شده است (Ji et al., 2017; Zhang et al., 2017). این روغن ها و جوان کننده ها دارای خواصی برای بهبود خواص از دست رفته قیر هستند (Mirhosseini et al., 2019; Pradhan & Sahoo, 2020). با این حال، جوان کننده ها ممکن است مقاومت برشی را کاهش داده و وقتی روی سطوح اعمال می شوند، محیط را آلوده کنند. در مطالعات اخیر نشان داده شده است که استفاده از جوان کننده های تعبیه شده در مخلوط آسفالت در خود ترمیم آسفالت نسبت به استفاده از روش های سنتی جوان کننده های سطح مفیدتر است (García et al., 2010, pp. 603-611). افزایش جریان قیر برای پر کردن ترک های ماتریس آسفالت ضروری است. بنابراین، محققان فناوری های ترمیم ترک در محل را ابداع کردند که زه کشی قیر را به داخل ترک ها بهبود می بخشد. گرمایش القایی یا میکروویو شامل ترکیب مواد رسانا در آسفالت بود تا میدان های الکترومغناطیسی برای تولید گرما در روسازی استفاده شود که باعث انبساط قیر و پر کردن شکاف ها می شد (Apostolidis et al., 2016, pp. 9-25). تصویر زیر تکنیک دوم را نشان می دهد که جوان کننده های بسته بندی شده در ساختار پوسته را در مخلوط آسفالتی ترکیب می کند. هنگامی که پوسته به دلیل بار ترافیکی شکسته شد، ترکیب فرار (روغن) نشت کرد و در سراسر مخلوط پراکنده شد. در نتیجه، ویسکوزیته قیر اطراف کپسول کاهش یافت، اما محتوای روغن بالا باقی ماند و به قیر اجازه داد آزادانه تر به داخل شکاف ها جریان یابد. این ترکیبات فرار از کپسول ها خارج می شوند و به قیر همراه

اجازه می دهند تا شکاف ها را نرم کرده و ببندند. هیچ الزامی برای اختلاط مجدد برای قیر جوان وجود ندارد، زیرا این قیر زودتر عمل می کند و بر تسریع فرایند ترمیم شکستگی در محل در روسازی آسفالت تمرکز می کند. با وجود اینکه شکستگی ها ترمیم شده اند، کاهش قابل توجهی نیز در نظر گرفته می شود و از ایجاد ترک های جدید جلوگیری می شود.



تصویر ۳: خود ترمیم آسفالت با جوان کننده محصور شده در سطوح مختلف. (الف) ترک های ایجاد شده در روسازی به دلیل بار ترافیکی و عوامل محیطی؛ (ب) کپسول های چند حفره ای حامل جوان کننده موجود در مخلوط ترک که منجر به آزاد شدن جزئی جوان کننده در ناحیه ترک می شود. (ج) جوان کننده از کپسول ها خارج می شود و در ترک ها پخش می شود و خواص قیر آسیب دیده را بازیابی می کند. (د) ریز ترک ها را بهبود بخشید و قیر را جوان سازی کرد. مأخذ: Zain Ul Abadeenet al., 2022, p.2

جوان کننده های کپسوله شده در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با تهیه امولسیون آلژینات سدیم با آب و روغن در دور ۴۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه تولید شدند. برای تهیه یک دسته امولسیون از آلژینات سدیم (۲٪ وزنی)، روغن آفتابگردان (۲۰ گرم) و آب (۸۰ گرم) استفاده شد. محلول کلرید کلسیم (۲٪ w/v) در یک فلاسک تهیه شد و امولسیون $C_6H_9NaO_7$ در قیف قطره ای قرار گرفت. قطرات امولسیون $C_6H_9NaO_7$ از طریق فرآیند ژل شدن یونی در محلول $CaCl_2$ همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، به جوان کننده محصور شده تبدیل شدند. کپسول ها جمع آوری، تخلیه و برای استفاده در مخلوط آسفالتی خشک شدند. شکل زیر کپسول های تخلیه شده را نشان می دهد که از محلول کلرید کلسیم خارج شده و با خشک کردن آنها در فر در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت به کپسول های خشک تبدیل شده اند.



تصویر ۴: (الف) کپسول های ریخته شده و (ب) کپسول های خشک شده، مأخذ: Zain Ul Abadeenet al., 2022, p.5

۵-۳- ویژگی ها و موارد استفاده از الیاف آسفالتی در جاده ها و معابر شهری

آسفالت الیافی HMA: مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای مخلوط با دانه بندی میان تهی و مقدار زیاد سنگدانه های ریز و درشت؛

مسلح سازی با الیاف کورتا؛

- SMA
- Micro Surfacing (قیر ۲۰٪ + سنگدانه ۸۰٪ + لاتکس)؛
- Slurry Seal (بدون لاتکس)؛
- SAMI (Stress Absorbing Membrane)
- Chip Seal

آسفالت الیافی SMA: مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای مخلوط با دانه بندی میان تهی و مقدار زیاد سنگدانه های درشت می باشد.

با توجه به یافته های تحقیق می توان از ویژگی ها و موارد استفاده از الیاف آسفالتی در جاده ها و معابر شهری موارد زیر را نام برد:

- سهولت استعمال و کاربرد؛
- تولید طول الیاف مناسب با سنگدانه (آب و هوای سردتر با طول الیاف کوتاه تر ۱۹ - ۵/۱۲ میلی متر)؛
- نداشتن مشکلات حمل و انبار؛
- کنترل و کاهش از به وجود آمدن و جلوگیری از گسترش کامل ترک به دلیل ژئومتری و مدول الاستیسیته بالا؛
- عدم تغییر مراحل عملیات اجرا و عدم تغییر مشخصات طرح آسفالت؛
- جذب انرژی بسیار بالای الیاف به منظور مصرف در آب و هوای گرم و سرد؛
- امکان روکش های نانویی الیاف به منظور جلوگیری از خرابی های رطوبتی فیزیکی ناشی از بخارات آب؛
- صرفه اقتصادی و کاهش هزینه؛
- کاهش ضخامت با افزایش مدول بر جهندگی و فتیک به همراه تغییر سایز مصالح و طرح اختلاط به صورت نسخه پیچی شده و تعیین اهداف و انتظارات مشخص با در نظر گرفتن رئولوژی (سیالیت)، شکست، خرابی، بار ترافیکی و شرایط آب و هوایی به همراه افزایش طول عمر آسفالت (Life cycle)؛
- اصلاح و ارتقاء کیفی خصوصیات پلاستومری و الاستومری قیر؛
- کاهش CO2 و دوستدار محیط زیست Eco - friendly؛
- مسلح کننده سه بعدی و ضد آتش Flame retardant؛
- مقاومت سایشی بسیار بالا و بدون خوردگی و نیز عاری از مواد خطرناک و آلاینده؛
- عدم تغییر تجهیزات کارخانه آسفالت؛



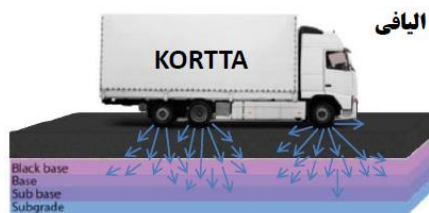
تصویر ۷: الیاف آسفالتی، برای آسفالت لکه گیری کلیه دماها (PAT Blend for HOT/COLD PATCH)، مأخذ: www.sirjannano.com



تصویر ۶: الیاف آسفالتی، برای آسفالت گرم دمای مخلوط ۲۰۰ - ۱۲۰ درجه سانتی گراد (HMA Blend for HOT MIX ASPHALT)، مأخذ: www.sirjannano.com



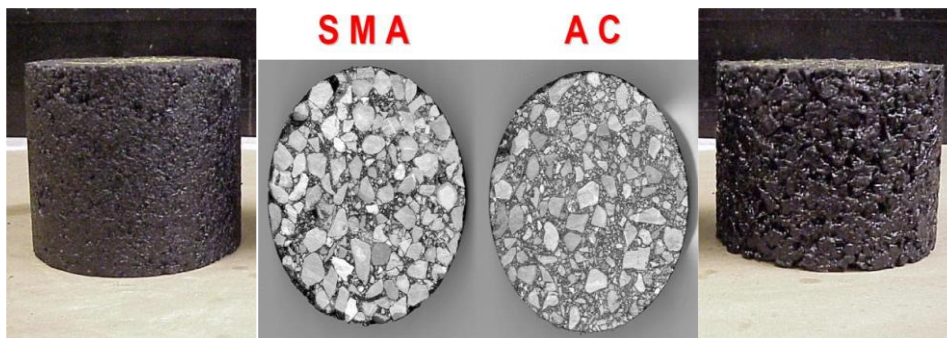
تصویر ۵: الیاف آسفالتی، برای آسفالت نیمه گرم دمای مخلوط ۱۰۰ درجه سانتی گراد و بالاتر (WMA Blend for WARM MIX ASPHALT)، مأخذ: www.sirjannano.com



تصویر ۹: آسفالت الیافی، توزیع تنش و نیروها توسط الیاف میکرو دوجزئی و پارا آراماید در سرتاسر لایه آسفالت مسلح شده = کاهش تنش ها و ترک خوردگی، مأخذ: www.sirjannano.com



تصویر ۸: آسفالت معمولی، ورود نیروها به درون لایه آسفالتی و لایه های زیرین = ایجاد تنش و ترک خوردگی، مأخذ: www.sirjannano.com



تصویر ۱۰: مقایسه آسفالت معمولی و الیافی با دانه بندی متفاوت، مأخذ: www.sirjannano.com

جدول ۱: ارزیابی مقایسه ای با سایر فناوری ها، مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱

فناوری	آسفالت مسلح شده با الیاف نانو	آسفالت پلیمری	آسفالت نیمه گرم
نام افزودنی	آسفالت الیافی HMA، آسفالت الیافی SMA، الیاف کورتا- مرکب پاراآراماید و دو جزئی مدول و مقاومت بالا و پلی الفین میکرو و فیبرله شده	پلیمر استایرن بوتادین استایرن SBS	اصلاح کننده هیدروکربن آلفاتیک(واکس های پارافینی)
مقدار مصرف بهینه	۰/۵ کیلوگرم در هر تن آسفالت	۵ درصد وزنی قیر	۳ - ۲ درصد وزنی قیر
عملکرد افزودنی	- افزایش مقاومت در برابر شیار افتادگی، - افزایش عمر ترک خوردگی خستگی، - افزایش مقاومت در برابر ترک های حرارتی، - افزایش مقاومت در برابر ترک انعکاسی و گسترش ترک، - افزایش مقاومت کششی آسفالت، - افزایش مدول و سفتی آسفالت، - کاهش خرابی های رطوبتی مکانیکی، - کاهش خرابی های رطوبتی فیزیکی در صورت نسخه پیچی شده الیاف پوشش دار نانویی هیدروفیلک و هیدروفوبیک،	-	- افزایش مقاومت در برابر شیار افتادگی، - افزایش عمر ترک خوردگی خستگی، - کاهش پیر شدگی اکسیداسیون قیر،
	مثبت	منفی	مثبت
جنبه های مثبت و جنبه های منفی	- قابلیت اختلاط یکنواخت و کامل در میکسر کارخانه آسفالت در زمان کوتاه، - عدم نیاز به کنترل وزن به طور بسته بندی شده و حذف خطای توزین، - عدم تغییر مشخصات طرح آسفالت و تجهیزات کارخانه آسفالت و تاثیر ناچیز بر و عملیات پخش و تراکم، - کاهش ضخامت لایه آسفالتی (کاهش ضخامت با افزایش مدول بر جهندگی و فتیک به همراه تغییر سازه مصالح و طرح اختلاط به صورت نسخه پیچی شده و تعیین اهداف و انتظارات مشخص با در نظر گرفتن رتولوژی (سیالیت)، شکست، خرابی، بار ترافیکی و شرایط آب و هوایی به همراه افزایش طول عمر آسفالت Life cycle - قیمت مناسب و اصلاح کننده فیزیکی - پلیمری، - کاهش CO2 و دوستدار محیط زیست Eco - friendly. - مسلح کننده سه بعدی و ضد آتش Flame retardant	- نیاز به میکسر قیر و افزودنی، - جدا شدن فازی قیر و پلیمر در دماهای بسیار بالای تولید و اجرای آسفالت، - افزایش ویسکوزیته قیر و در نتیجه افزایش دمای اختلاط و تراکم آسفالت، - کاهش امکان اجرای آسفالت در روز های سرد سال و کاهش فواصل حمل آسفالت، - افزایش زیاد سفتی و در نتیجه کاهش میزان تراکم پذیری آسفالت، - شرایط اجرایی دشوار و افزایش هزینه ها و اصلاح کننده شیمیایی و پلیمری،	- نیاز به دوزینگ پمپ و توزیع یکنواخت و اختلاط کامل قیر با ساسوبیت، - کاهش دمای اختلاط و تراکم آسفالت و در نتیجه کاهش هزینه های اجرا، - افزایش امکان اجرای اسفالت در روز های سرد و افزایش فاصله حمل، - کاهش آلودگی گاز CO2 و بخارات قیر افزایش تراکم پذیری در طی پروسه پخش آسفالت، - امکان کلوخه شدن در زمان میکس، - اصلاح کننده شیمیایی و پلیمری،

۶- نتیجه گیری

آسفالت به صورت کلی به سه دسته آسفالت گرم و سرد و حفاظتی تقسیم می شود. آسفالت به ماده ای گفته می شود که سیاه رنگ و چسبناک بوده و به علت چسبندگی زیادی که دارد عایق خوبی برای رطوبت نیز هست. این ماده شبه جامد ترکیبی از مخلوط شن و ماسه و ماده سیاه رنگ به نام قیر است. آسفالت الیافی SMA مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای مخلوط با دانه بندی میان تهی و مقدار زیاد سنگدانه های درشت می باشد و آسفالت الیافی HMA نیز با مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای مخلوط با دانه بندی میان تهی و مقدار زیاد سنگدانه های ریز و درشت درست شده است. کاهش و تاخیر (بهبود و جلوگیری از گسترش) عریان شدگی در زمان استفاده از سنگدانه های مخلوط آسفالتی و خرابی رطوبتی فیزیکی و مکانیکی و شرایط آب و هوایی از جمله مزایای استفاده از الیاف های آسفالتی می باشد که به صورت آسفالت الیافی HMA، آسفالت الیافی SMA، الیاف کورتا، مرکب پارا آراماید و دو جزئی مدول و مقاومت بالا و پلی الفین میکرو و فیبرله شده هستند، که بیشترین کاربرد را دارند. می توان چنین بیان نمود که با افزایش ادغام ضایعات سرامیکی، و دیگر مصالح بازیافتی در آسفالت، مقدار آسفالت بهینه و مقدار جریان آسفالت ماستیک سنگی به تدریج افزایش یافت، در حالی که پایداری و چگالی مارشال آسفالت ماستیک سنگی به تدریج کاهش یافت. استفاده از انواع روسازی های آسفالتی باید با در نظر گرفتن شرایط محیطی و ترافیکی و به کارگیری و امکانات و تجهیزات محل مصرف پیش بینی گردد که هر یک به نوبه خود دارای معایب و مزایاهایی هستند که باید در اجرا به آنها توجه کافی نمود تا بعد اجرا با مواردی همچون تعمیر، ترمیم و نگهداری بعد اجرا مواجه نباشیم که این امر در بهبود شرایط فنی و نگهداری و هزینه های پائین با توجه به مقرون به صرفه بودن برخی از انواع روسازی های آسفالتی می تواند به شهرداری ها کمک شایانی نماید. با کاربرد مخلوط های آسفالتی نیمه گرم بسته به شرایط محیطی می توان در مصرف انرژی و هزینه ها شاهد کاهش چشمگیری بود که با توجه اینکه در دمای پائین مخلوط صورت می گیرد، علاوه بر کارایی بیشتر موجب افزایش دوام و کیفیت و سرعت اجرا و افزایش فصل کاری را نیز به همراه داشته باشد. افزایش استفاده از قیرهای امولسیون و حاوی پودر لاستیک و جوان کننده ها و دیگر محصولات و افزودنی های مجاز دیگر می تواند در جلوگیری از نشت بیش از مواد نفتی به سفره های آب زیر زمینی کمک کند و به عنوان اندوذهای سطحی و حفاظتی به کار رود و روسازی جاده ها و معابر شهری را در برابر ترک خوردگی ها و خرابی های متداول پیش آمده ایمن سازد و عمر روسازی ها را افزایش داده و هزینه چرخه عمر نیز کاهش پیدا کند که بر اساس یافته های تحقیق و مباحث مطرح شده می توان به مقایسه روش های نوین روسازی معابر بر اساس آن یافته پرداخت و راهکارهای مناسب را ارائه داد.

جدول ۲: مقایسه روش های نوین روسازی معابر، مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱

روش روسازی معابر	مزایای ساخت و اجرا	معایب ساخت و اجرا	مزایای نگهداری	معایب نگهداری
آسفالت نیمه گرم	- پیر شدگی کمتر قیر در فرآیند ساخت مخلوط - امکان احداث کارخانه تولید آسفالت در نزدیکی مناطق شهری به واسطه آلودگی کمتر - کارپذیری راحت به واسطه کاهش گرانشی قیر - امکان اجرا در هوای سرد - امکان حمل در فواصل طولانی تر به دلیل کاهش تبادل دمایی بین مخلوط و هوا - کاهش زمان سرد شدن مخلوط و امکان خدمت دهی در ساعات اولیه پس از ساخت - بهبود شرایط کاری برای کارگران - به دلیل قیمت کمتر تراشه نسبت به سنگ دانه های طبیعی، استفاده از این ماده از نظر اقتصادی نیز توجیه پذیر است.	- کمبود داده های میدانی برای ارزیابی عملکرد طولانی مدت مخلوط های آسفالتی به دلیل نوظهور بودن این فن آوری - نامناسب بودن خواص فیزیکی و مکانیکی برخی مخلوط های نیمه گرم نسبت به مخلوط های گرم - گران بودن برخی افزودنی های آسفالت نیمه گرم یا هزینه بر بودن برخی اصلاحات در کارخانه ساخت آسفالت - نیاز به افزایش زمان اختلاط در برخی روش ها	- با توجه به کاهش حرارت تولید، پیرشدگی کمتری در قیر پدید می آید	- شیار شدگی زودرس - افزایش پتانسیل عریان شدگی به دلیل وجود رطوبت در سنگ دانه ها با قیر - دوام کم مخلوط در مجاورت آب - عملکرد نسبتاً ضعیف تر مخلوط در دماهای پایین
	- حفظ منابع طبیعی از طریق استفاده مجدد از مصالح موجود - کاهش و جلوگیری از آلودگی زیست محیطی - صرفه جویی در مصرف انرژی - امکان استفاده از مصالح سنگی سرد و مرطوب - امکان استفاده و اصلاح مصالح سنگی	- ایجاد اختلال در جریان ترافیک در حین اجرا - این روش برای روسازی های با ضخامت کم و ظرفیت سازه ای ضعیف قابل استفاده نمی باشد. - چنانچه روسازی قدیم ترک خورده باشد و قطعات ترک خورده به یکدیگر نزدیک باشند با ابعاد آن ها از فاصله	- تأمین اهداف بهسازی - افزایش کیفیت روسازی با حفظ رقوم پروژه و بدون افزایش ضخامت روسازی - عدم نیاز به احداث راه دسترسی و انحرافی از طریق باز نگه داشتن راه بر روی استفاده کنندگان	-

آسفالت بازیافتی سرد

لایه های غیر چسبنده روسازی با دامنه خمیری زیاد
- تثبیت و تقویت مصالح دانه ای و غیر آسفالتی روسازی از طریق افزودن مواد قیری و یا هیدرولیکی و یا ترکیب هر دو
- عدم نیاز به محل تخلیه و انبار کردن مواد زائد
- سرعت اجرای طرح
- در برخی موارد عرض راه، ضخامت لایه های روسازی، رقوم خط پروژه و وجود مستحدمات مختلف در اطراف محور موجود. محدودیت هایی به وجود می آورد که عملاً احداث راه جدید به معنای تخریب کامل راه موجود و ایجاد قشرهای جدید در محل راه قدیمی خواهد بود. در چنین شرایطی استفاده از روش بازیافت سرد درجا راه حل مناسبی برای فائق آمدن بر مشکلات فوق محسوب می شود.

میان ناخن های دستگاه بازیافت کمتر باشد امکان اینکه بتوان آن ها را به اندازه های مناسب و یکنواخت خرد کرد و در نتیجه دانه بندی حاصل از روند خرد کردن مصالح همگن باشد وجود ندارد.
- برای بازیافت سرد، طرح های با مساحت کم مقرون به صرفه نیست. این طرح ها باید از نظر امکان سنجی و ایجاب مطالعه شود.
- تغییر عرض اجرای عملیات در حین بازیافت سرد درجا عملی نمی باشد ضمن آنکه توصیه هم نمی شود زیرا با وسایل و تجهیزاتی که نوعاً در این فرآیند مورد استفاده قرار می گیرد نمی توان تقاطع ها، ورودی ها و خروجی ها، فواصل و سطوح کم و بیش کوتاه و کم عرض موجود در مسیر را به سهولت با روش بازیافت سرد درجا بهسازی نمود.

- حذف کلیه ترک های انعکاسی و حرارتی روسازی
- کاهش مخارج بهره برداری و نگهداری راه

آسفالت بازیافتی گرم

- کاهش آلودگی زیست محیط باز منظر کاهش تولید ضایعات و مواد زائد و عدم نیاز به محل تخلیه برای این مواد و همچنین مصرف بخش عمده ای مصالح سنگی و مواد قیری روسازی قدیمی در روسازی جدید و حفظ منابع طبیعی
- اصلاح آسیب دیدگی های سطحی شامل قیر زدگی، پدیده جدا شدن سنگ دانه ها از رویه آسفالتی، شیارافتادگی، ناهمواری ها و تغییر شکل ها
- ثابت نگه داشتن رقوم سطح راه و یا تغییر جزئی این رقوم و در نتیجه سازگاری با شرایط هندسی راه
- صرفه جویی در هزینه و انرژی و افزایش سرعت اجرای عملیات
- افزایش توان سازه ای راه
- مرمت ترک های انعکاسی و انقباضی با شدت متوسط
- اصلاح تغییر شکل طولی و عرضی شامل شیار افتادگی و موج های ایجاد شده در جهت حرکت وسایل نقلیه، اصلاح شیب عرضی زهکشی سطحی
- مرمت ترک های ناشی از بارگذاری و ترک های حرارتی با شدت خیلی کم
- احیاء قیر اکسید شده آسفالت موجود با مصرف جوان سازه ها بدون افزایش قیر آسفالت
- مرمت ترک های لغزشی
- اصلاح تاب لغزشی و قیرزدگی
- اصلاح دانه بندی و افزایش کیفیت آسفالت

- ایجاد اختلال در جریان ترافیک در حین اجرا
- آلودگی زیست محیطی ناشی از گرم کردن مصالح آسفالتی و تولید گازهای سرطان زا

- افزایش مقاومت روسازی بدون تغییر و یا تغییر جزئی در ضخامت روسازی
- افزایش تاب لغزشی
- اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی قیر سخت شده موجود روسازی با جوان سازها و انطباق آن با مشخصات قیر خالص و در نتیجه افزایش دوام رویه آسفالتی و بهبود تاب خستگی آن
- کاهش حساسیت ناشی از یخبندان لایه های غیر آسفالتی روسازی
- مرمت ترک های طولی و عرضی ناشی از بارگذاری با شدت کم
- مرمت و اصلاح معایب و آسیب دیدگی های سطحی

- حذف موقت ترک های انعکاسی
- احتمال به وجود آمدن آثار ناشی از سوختگی قیر در مرحله پیش گرم کردن و تخریب زود هنگام روسازی ناشی از این سوختگی

آسفالت

- آسفالت های حفاظتی که به طور مناسب ساخته شده اند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و بادوام می باشند
- امکان اجرای آسفالت حفاظتی در هوای سرد
- تطابق بیشتر با محیط زیست و آلاینده گی کمتر هوا

- معمولاً آسفالت سطحی تک لایه ای پس از اجرا در حدود یک ماه شرایط هوایی گرم نیاز دارد تا ذرات مصالح سنگی به طور مناسبی قرار گرفته و کاملاً در غشای قیری فرو روند
- احتمال کاهش پوشش مصالح سنگی

- آسفالت حفاظتی سطح راه را آبدی و عمر آن را طولانی می کند
- آسفالت حفاظتی سطح راه را آب بندی و عمر آن را طولانی می کند
- آسفالت حفاظتی اگر بجا و صحیح مورد استفاده قرار گیرد، می تواند سطحی با کیفیت قابل قبول برای راه تأمین نماید

- آسفالت حفاظتی را نمی توان از نقطه نظر سازه ای به عنوان سازه باربر در نظر گرفت
- احتمال خسارت ناشی از پرتاب مصالح سنگی کننده شده از آسفالت حفاظتی تک لایه که در غشای قیری فرو نرفته اند.

امولسیون			- آسفالت سطحی مقاومت باربری را اندکی افزایش می‌دهد - در آسفالت های چند لایه ای به دلیل اینکه اندازه مصالح سنگی لایه دوم کوچک تر می باشند، احتمال کنده شدن ذرات مصالح سنگی به مقدار زیادی کاهش می یابد - آسفالت حفاظتی در برابر سایش ناشی از آلودشد وسایل نقلیه مقاومت کرده، پوشش نفوذپذیری را برای لایه های زیرین فراهم می آورد.
آسفالت حاوی پودر لاستیک	- عملکرد بهتر نسبت به مخلوط های آسفالتی معمولاً در برابر شیار شدگی، خستگی و ترک های برودتی - استفاده مطلوب از مواد ضایعاتی	- امکان بروز مشکل و گرفتگی مجاری عبور قیر در کارخانه های آسفالتی - عدم وجود منابع مکتوب آیین نامه ای - عدم وجود تجربه کافی برای کنترل کیفی پخش و تراکم - هزینه اختلاط پودر لاستیک در فرآیند اصلاح تر به سبب دمای بالا و زمان مورد نیاز	- استفاده از آسفالت های پودر لاستیکی در صورت طراحی و اجرای درست می تواند عمر روسازی را به میزان زیادی افزایش و هزینه های چرخه عمر آسفالت را کاهش دهد.
مخلوط آسفالتی HMA, SMA	- مقاومت بیشتر در برابر بارهای ترافیکی سنگین	- الزام استفاده از افزودنی جهت افزایش قوام قیر و جلوگیری جدایی قیر از سنگ دانه - آشنا نبودن کارخانه های آسفالت با طرح اختلاط مخلوط های SMA, HMA - حساسیت بیشتر به نحوه و میزان تراکم	- طول عمر مفید بیشتر نسبت به دیگر مخلوط های آسفالتی - مقاومت بسیار بالا در برابر تغییر شکل - مقاومت بیشتر در برابر ترک های خستگی، به علت وجود قیر بیشتر در مخلوط - دوام خیلی خوب در برابر سایش حاصل از تردد وسایل نقلیه به سبب وجود سنگ دانه های درشت در ترکیب مخلوط - وجود بافت درشت زبر که باعث جلوگیری از پاشش آب از زیر چرخ وسایل نقلیه عبوری در زمان بارندگی می شود - کاهش آلودگی صوتی و سروصدای ناشی از عبور چرخ

منابع

۱. افلاکی، ساسان؛ (۱۳۸۷)، بررسی انطباق پذیری قیر های ایران با روش رده بندی بر اساس عملکرد و تولید قیر های منطبق، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.
۲. بهروزی خواه، عبدالحمید؛ (۱۳۹۱)، بررسی تأثیر افزودنی های آسفالت نیمه گرم و پودر لاستیک بر خستگی نمونه های آسفالت بازیافتی، تهران، دانشگاه تهران.
۳. حاج محمدرضایی، عباس؛ (۱۳۷۷)، راه و آسفالت، تهران: نشر آدنا.
۴. دیبایی، محمدمهدی؛ (۱۳۹۱)، بررسی تأثیر افزودنی های مختلف قیر بر عملکرد مخلوط آسفالتی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۵. دبیر خانه مجمع جهانی راه؛ ترجمه: کیون بمانا؛ (۱۳۸۵)، مخلوط های آسفالتی با مقاومت بالا در برابر شیارشدگی، ناشر: وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل، تهران.
۶. زیاری، حسن؛ (۱۳۸۵)، راهنمای کاربردی آزمایش های قیر و آسفالت، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
۷. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور؛ (۱۳۸۵)، مشخصات فنی اجرایی بازیافت سرد آسفالت، تهران، دفتر تدوین و معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، معاونت امور فنی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ص ۲۲۹.
۸. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور؛ (۱۳۸۵)، مشخصات فنی اجرایی بازیافت گرم آسفالت، تهران، دفتر تدوین و معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، معاونت امور فنی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ص ۲۴۱.
۹. سازمان مدیریت و برنامه ریزی؛ (۱۳۸۱)، دستورالعمل استفاده از امولسیون های قیری در راه سازی، تهران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ص ۲۰۷.
۱۰. سید محمودی؛ سیدرضا؛ شهری، رضا؛ (۱۳۹۶)، بررسی و مقایسه روش های نوین روسازی معابر شهری با آسفالت از جنبه شرایط به کارگیری، اجرا و نگهداری آن، مجله نخبگان علوم مهندسی، جلد دوم، شماره ۹.
۱۱. معاونت نظام راهبردی وزارت راه و شهرسازی؛ (۱۳۹۰)، آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، دفتر نظام فنی اجرایی، موسسه قیر و آسفالت ایران، پژوهشکده حمل و نقل، نشریه شماره ۲۳۴.
۱۲. مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران؛ (۱۳۹۴)، بررسی و مقایسه روش های نوین روسازی معابر، معاونت مطالعات و برنامه ریزی امور زیر ساخت و طرح جامع، تهران، تهیه کننده: ساسان افلاکی، گزارش شماره ۲۹۸.
۱۳. نیازی، یونس؛ عباسی نیشابوری، رامین؛ (۱۳۸۲)، تأثیر نوع فیلر بر خواص مکانیکی و دوام بتن آسفالتی روسازیها، تهران، نشریه دانشکده مهندسی، سال پانزدهم، شماره دوم.
۱۴. نیکی رشیدی، محمد هادی؛ (۱۳۸۸)، آسفالت از تولید تا پخش، تهران: نشر جهاد دانشگاهی.
۱۵. وزارت راه و ترابری - پژوهشکده حمل و نقل؛ (۱۳۸۶)، لکه گیری رویه های آسفالتی، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری (دبیرخانه شورای عالی فنی امور زیربنایی حمل و نقل)، چاپ اول، تهران، انتشارات کانون تفکر.
۱۶. هاشمی پور، جهانپخش؛ مهدوی عادل، مهدی؛ (۱۳۹۶)، ارزیابی علل کاهش عمر لایه های آسفالتی سطوح معابر شهری و ارایه راه حل ها و پیشنهادات (مطالعه موردی شهرستان لالی)، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نو در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد.
17. Apostolidis, P.; Liu, X.; Scarpas, A.; Kasbergen, C.; van de Ven, M. Advanced evaluation of asphalt mortar for induction healing purposes. *Constr. Build. Mater.* 2016, 126, 9–25.
18. Blazejowski, Krzysztof. 2011. *Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice*. s.l.: CRC Press Taylor& Francis Group
19. Baliyar Singh, B. Mohanty, F. Sekhar Das, S. Kumar Swain, S. (2020), Graphene sandwiched crumb rubber dispersed hot mix asphalt, *J. Traffic Transp. Eng. (Engl. Ed.)*; 7 (5): 652e667
20. Boyer, R.E.; Engineer, P. Asphalt rejuvenators fact, or fable. *Transp. Syst.* 2000, 58, 11.
21. García, A.; Schlangen, E.; van de Ven, M.; Sierra-Beltrán, G. Preparation of capsules containing rejuvenators for their use in asphalt concrete. *J. Hazard. Mater.* 2010, 184, 603–611.
22. Huang, Q. Qian, Z. Hu, J. Zheng, D. 2020. Evaluation of Stone Mastic Asphalt Containing Ceramic Waste Aggregate for Cooling Asphalt Pavement, *Materials* 2020, 13, 2964; doi:10.3390/ma13132964
23. Ji, J.; Yao, H.; Suo, Z.; You, Z.; Li, H.; Xu, S.; Sun, L. Effectiveness of Vegetable Oils as Rejuvenators for Aged Asphalt Binders. *J. Mater. Civ. Eng.* 2017, 29, D4016003.
24. Rahman, T. Mohajerani, A. Giustozzi, F. 2020, Recycling of Waste Materials for Asphalt Concrete and Bitumen: A Review, *Materials* 2020, 13, 1495; doi:10.3390/ma13071495
25. Mashaan, N.S.; Ali, A.H.; Karim, M.R.; Abdelaziz, M. A, 2014, review on using crumb rubber in reinforcement of asphalt pavement. *Sci. World J.*
26. Mirhosseini, A.F.; Tahami, S.A.; Hoff, I.; Dessouky, S.; Ho, C.-H. Performance evaluation of asphalt mixtures containing high-RAP binder content and bio-oil rejuvenator. *Constr. Build. Mater.* 2019, 227, 116465.
27. Pradhan, S.K.; Sahoo, U.C. Evaluation of recycled asphalt mixtures rejuvenated with *Madhuca longifolia* (Mahua) oil. *Int. J. Pavement Res. Technol.* 2020, 14, 43–53.
28. Salama, H.K., Chatti, K., Lyles, R.W., 2006. Effect of heavy multiple axle trucks on flexible pavement damage using in-service pavement performance data. *Journal of Transportation Engineering* 132 (10), 763e770.
29. Sikdar, P.K., Jain, S.S., Bose, S., et al., 1999. Premature cracking of flexible pavements. *Journal of Indian Roads Congress* 60 (3), 355e398.

30. Taylor & Francis Group, 2011, Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice CRC Press
31. Zain Ul Abadeen, A. Hussain, A. Sathish Kumar, V. Murali, G. Ivanovich Vatin, N. Riaz, H. 2022, Comprehensive Self-Healing Evaluation of Asphalt Concrete Containing Encapsulated Rejuvenator, Materials, 15, 3672. <https://doi.org/10.3390/ma15103672>
32. Zhang, D.; Chen, M.; Wu, S.; Liu, J.; Amirkhanian, S. Analysis of the Relationships between Waste Cooking Oil Qualities and Rejuvenated Asphalt Properties. Materials 2017, 10, 508.
33. Zargar, M.; Ahmadinia, E.; Asli, H.; Karim, M.R. Investigation of the possibility of using waste cooking oil as a rejuvenating agent for aged bitumen. J. Hazard. Mater. 2012, 233–234, 254–258.
34. <https://sepidbamalborz.ir/>
35. <https://fa.wikipedia.org>
36. www.sirjannano.com

پژوهش‌های نوین مقدمه‌مهندسی

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم،
کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج، آزادگان، ابتدای بلوار مطهری،
کوچه شهید سبحانی، پلاک ۲۸، واحد ۴
۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴ ۸۷
۰۲۶ ۳۴۴۵ ۳۱ ۳۱
۰۹۹۰ ۵۹۸ ۰۲۰۶
www.NRES.ir