سال سوم، شماره ۲، ۱۴۰۳، صفحات ۷۳۴ الی ۷۴۶
پژوهشنامه علم مدیریت در صنعت

ارائه مدلی تعیین درصد اطمینان برآورد روش ارزش کسب شده با استفاده از یادگیری ماشین

[۱] جعفر قیدر خلجانی

[۲] مرتضی عباسی

[۳] هدیه زینعلی

نویسنده مسئول، دانشیار گروه مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران kheljani@aut.ac.ir

دانشیار گروه مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران mabbasi@mut.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران zeinalihedieh@gmail.com

تاریخ دریافت۱۴۰۳/۰۶/۱۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۶/۲۰ تاریخ انتشار ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

A framework for assessing the confidence level of earned value Estimation through machine learning.

[۱] Jafar Ghaider Kheljani

[۲] Morteza Abbasi

[۳] Hedieh Zeinali

Corresponding author, Associate Professor, Department of Industrial Management and Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

Associate Professor, Department of Industrial Management and Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

Master's student, Department of Industrial Management and Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

چکیده

مدیریت ارزش کسب شده ابزاری مهم برای پیش‌بینی و ارزیابی زمان و پیشرفت پروژه‌ها در صنعت ساخت‌وساز است. هدف این تحقیق پیشنهاد مدلی است که بتواند مشکلات زمان‌بندی پروژه را با بهره‌گیری از روش سری زمانی یادگیری ماشین که دقت بسیار بالایی دارد کاهش دهد. براین‌اساس، این مطالعه کاربردهای جدیدی از معماری شبکه عصبی بازگشتی مبتنی بر مدل‌های پیش‌بینی شبکه عصبی حافظه بلندمدت- کوتاه‌مدت با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون پیشنهاد می‌نماید. در این پژوهش، میزان اختلاف زمان تکمیل پروژه در دنیای واقعی با مقداری که توسط ماشین پیش‌بینی شده است مشخص خواهد شد. لازم به ذکر است که در زمینه یادگیری ماشین، تعداد داده‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. بدین منظور، ۳۰ پروژه‌یEPC همراه با گزارش‌های روزانه موجود در بانک اطلاعاتی مدیریت پروژه بررسی می‌شوند. با استفاده از نرم افزار[۱] و روش تصمیم گیری چند معیاره AHP، ۳۰ پروژه ی بررسی شده براساس

Abstract

Earned value management is an important tool for predicting and assessing the time and progress of projects in the construction industry. The aim of this research is to propose a model that can reduce project scheduling problems by using the machine learning time series method, which has a very high accuracy. Accordingly, this study proposes new applications of recurrent neural network architecture based on long-term-short-term memory neural network forecasting models using the Python programming language. In this research, the difference between the project completion time in the real world and the value predicted by the machine will be determined. It should be noted that in the field of machine learning, the number of data is of particular importance. For this purpose, ۳۰ ،EPC projects are reviewed along

[۱] Expert Choice

سه معیار زمان، هزینه و حجم کار (محدوده پروژه) رتبه بندی می شوند.

کلید واژه: مدیریت پروژه، مدیریت زمانبندی، مدیریت ارزش کسب شده، یادگیری ماشین، شبکه عصبی.

with the daily reports available in the project management database. Using the AHP software and multi-criteria decision-making method, the ۳۰ reviewed projects are ranked based on three criteria: time, cost, and workload (project scope).
Keyword:Project cmanagement,Schedule management, Earned value management, Machine learning, Neural network.

۱. مقدمه

مدیریت ارزش کسب شده ابزار قدرتمندی است که با استفاده از شاخص عملکرد زمان‌بندی می‌تواند زمان و پیشرفت پروژه را پیش‌بینی و ارزیابی کند (واندووردە[۲]،۲۰۰۶). بخش قابل‌توجهی از پروژه‌ها در سراسر صنعت ساخت‌وساز نمی‌توانند تاریخ‌های تکمیل برنامه‌ریزی‌شده خود را به‌درستی برآورده کنند و دلایل متعددی برای تأخیرات پروژه بیان شده است. بااین‌حال، مشهورترین تکنیک نظارت و کنترل پروژه یعنی مدیریت ارزش کسب شده، به علت نادیده‌گرفتن تغییرپذیری مدت فعالیت، تاریخ‌های تکمیل خوش‌بینانه‌ای را پیش‌بینی می‌کند در نتیجه سبب بروز تأخیر در پروژه می‌شود(بالستروس-پرز[۳]،۲۰۱۸). به‌محض اینکه شرایط پایه‌ی پروژه تغییر کند شاخص‌های عملکردی قدرت خود را برای تخمین زمان تکمیل پروژه از دست می‌دهند(نظام و الشاناوی[۴]،۲۰۱۹). یک نقص ذاتی شاخص عملکرد زمان این است که با نزدیک شدن پروژه به زمان اتمام حتی اگر پروژه از برنامه عقب باشد این شاخص به مقدار ۱ میل می‌کند و واریانس زمان‌بندی به صفر نزدیک‌تر می‌شود. بنابراین بازده برنامه ۱۰۰٪ خواهد شد(سلمی[۵]،۲۰۱۸). نتیجه این عملکرد که بیشتر در دو سوم پایانی پروژه اتفاق می‌افتد این است که در برهه‌ای از زمان انحراف از زمان‌بندی و شاخص کلیدی عملکرد غیرقابل اعتماد می‌شوند(سلمی،۲۰۱۸). در این تحقیق، با بررسی داده‌های توالی و روند پروژه‌های مختلف، روش نوینی برای رفع محدودیت‌های مدیریت ارزش کسب‌شده در ارزیابی عملکرد پروژه ارائه می‌شود. هدف، بهبود دقت در برآورد مدت‌زمان تکمیل پروژه و کاهش خطاها است. چالش اصلی ما در این مطالعه، ارائه مدلی جهت سنجش درجه اطمینان به شاخص‌های مدیریت ارزش کسب‌شده برای تخمین زمان اتمام پروژه است. در واقع ما به دنبال فهم این موضوع هستیم که تا چه حد می‌توان به مقدار پیش‌بینی‌شده توسط الگوریتم سری زمانی یادگیری ماشین برای زمان پایان پروژه اعتماد کرد. با درنظرگرفتن اطلاعات به‌دست‌آمده از تحقیق، هدف این پایان‌نامه پیشنهاد مدلی است که بتواند مشکلات زمان‌بندی پروژه را با بهره‌گیری از روش سری زمانی یادگیری ماشین که دقت بسیار بالایی دارد، کاهش دهد. براین اساس، این مطالعه کاربردهای جدیدی از معماری شبکه عصبی بازگشتی مبتنی بر مدل‌های پیش‌بینی شبکه عصبی حافظه بلندمدت - کوتاه‌مدت پیشنهاد می‌نماید. در این پژوهش، میزان اختلاف زمان تکمیل پروژه در دنیای واقعی با مقداری که توسط ماشین پیش‌بینی شده است مشخص خواهد شد. لازم به ذکر است که در زمینه یادگیری ماشین، تعداد داده‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. بدین منظور، ۳۰ پروژه‌ی EPC[۶] همراه با گزارش‌های روزانه موجود در بانک اطلاعاتی مدیریت پروژه بررسی می‌شوند. ۷۰ درصد از این گزارش‌های روزانه به طور تصادفی جهت

[۲] Wandodeh
[۳] Ballesteros-Pérez
[۴] Nizam & Elshannaway
[۵] Salmi
[۶] مهندسی-خرید و ساخت

آموزش الگوریتم و ۳۰ درصد باقیمانده نیز جهت ارزیابی دقت مدل انتخاب می‌شوند. در انجام این پایان‌نامه، با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی حافظه بلندمدت - کوتاه‌مدت یادگیری ماشین، از ستون‌های تاریخ شروع پروژه، تاریخ پایان پروژه، ارزش برنامه‌ریزی‌شده و ارزش کسب‌شده به‌عنوان داده‌های ورودی استفاده می‌شود. این مجموعه‌داده‌ها به‌عنوان ورودی به الگوریتم یادگیری ماشین ارائه می‌شوند و شبکه عصبی حافظه بلندمدت -کوتاه‌مدت[۷]، این اطلاعات را در حافظه خود ذخیره می‌نماید. هنگامی که پروژه جدیدی به ماشین ارائه شود، این الگوریتم از دانش کسب‌شده قبلی خود استفاده می‌کند و برآورد بهتری از زمان تکمیل پروژه در اختیار مدیران پروژه و یا سازمان ارائه می‌دهد. خلاصه آن که مدیران پروژه می‌توانند با استفاده از این روش هنگام برنامه‌ریزی پروژه‌های جدید، با مراجعه به پروژه‌های پیشین، برآورد دقیق‌تری از زمان‌بندی پروژه داشته باشند. در نتیجه، می‌توانند تصمیمات بهینه‌تری اتخاذ کنند و برنامه‌ریزی پروژه را با ریسک تأخیر کمتر ارائه دهند.

۲. مروی بر ادبیات

تقریباً همه پروژه‌ها صرف‌نظر از اندازه و نوع خود، هزینه‌های اضافی را تجربه می‌کنند؛ زیرا آن‌ها در طول چرخه حیات خود با عدم قطعیت‌های زیادی مواجه هستند. روش‌های مختلف نظارت و کنترل پروژه مانند مدیریت ارزش کسب شده معمولاً برای محدودکردن این هزینه‌های اضافی، نظارت بر پیشرفت پروژه‌ها و استفاده مؤثر از بودجه مورد استفاده قرار می‌گیرد(اینان و همکاران[۸]، ۲۰۲۲). تکنیک‌های برنامه‌ریزی کلاسیک - نمودار گانت، روش مسیر بحرانی و تکنیک شبکه پرت - ممکن است آن طور که به نظر می‌رسد برای تخمین زمان‌بندی پروژه مناسب نباشد. مسلماً، به دلیل سادگی نسبی، این تکنیک‌ها هنوز هم تقریباً تنها تکنیک‌هایی هستند که امروزه در اکثر دوره‌های مقدماتی در بسیاری از رشته‌های مهندسی و مدیریت آموزش داده می‌شوند. با این‌حال، این تکنیک‌ها با نادیده‌گرفتن تغییرپذیری مدت‌زمان فعالیت، تاریخ‌های تکمیل خوش‌بینانه‌ای را پیش‌بینی می‌کنند. در روش‌های سنتی برآورد زمان و هزینه پروژه معایبی همچون عدم دقت، وابسته به تجارت بالا مدیران پروژه، کمبود مستندات و افزایش ریسک را نیز به همراه دارد(اسبس و همکاران[۹]، ۲۰۱۴). امروز، فقط ۳۵ درصد از پروژه‌ها با موفقیت به پایان رسیده‌اند. یکی از دلایل این نرخ ناامیدکننده، سطح پایین بلوغ فناوری‌های موجود برای مدیریت پروژه است. محققان، استارتاپ‌ها و سازمان‌های پیشرو در حال بهره‌گیری از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و دیگر فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت پروژه هستند. تا سال ۲۰۳۰، این حوزه شاهد تغییرات عمده‌ای خواهد بود (آنتونیو نیتو رودریگز و ریکاردو ویانا وارگاس، ۲۰۲۳[۱۰]). تأخیر در پروژه‌های ساخت‌وساز منجر به مشکلاتی مانند هزینه‌های اضافی، اختلافات بین کارفرمایان و پیمانکاران پروژه شده است(کیوراک و بها[۱۱]، ۲۰۲۴). بسیاری از پروژه‌ها به دلیل عوامل متعددی با تأخیر مواجه شده‌اند این تأخیرات در اجرای پروژه عموماً ناشی از برنامه‌ریزی ناصحیح است، به‌طوری‌که سه طرف دولت، پیمانکاران و مشاوران باید روند اجرایی خود را تغییر دهند. عواملی که باعث بروز این مشکلات می‌شود شامل محدودیت منابع انسانی، روش‌های زمان‌بندی، روش‌های اجرا، تغییر در طراحی، میزان دردسترس‌بودن مصالح و تجهیزات و ضعف مدیریتی دربرنامه‌ریزی‌است(توها و همکاران[۱۲]، ۲۰۲۴).

[۷] Long Term and Short Term (LSTM)
[۸] Inan et al
[۹] Acebes et al
[۱۰] Antonio Nieto-Rodriguez and Ricardo Viana Vargas
[۱۱] Kivrak & Baha
[۱۲] Thoha et al

سازمان برای برنامه‌ریزی یک پروژه باید زمان، هزینه و کیفیت آن را برآورد کند. عدم تطابق زمان اجرای فعالیت‌ها با برنامه، مشکلاتی را به همراه خواهد داشت که صورت وقوع ریسک می‌تواند هزینه، کیفیت و زمان پروژه را تحت‌تأثیرقراردهد(چنگ و همکاران[۱۳]،۲۰۱۹). در حال حاضر، اکثر مدیران ساخت‌وساز با استفاده از تجربه ذهنی قبلی خود برنامه پروژه را تخمین می‌زنند که این روش پرهزینه و به‌شدت مستعد بی‌دقتی است؛ بنابراین با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت و مدل‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی می‌توان مقادیر آینده را بر اساس داده‌های ترتیبی و قبلی پیش‌بینی کرد. این امر دقت بیشتری را برای پیش‌بینی داده موردنظر فراهم می‌کند و منجر به تصمیم‌گیری بهتر برای کسب‌وکار می‌شود. داده‌ها در هر شرکتی بسیار مهم هستند، مدیران پروژه و مدیران اجرایی از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها برای تشخیص نشانه‌های هشداردهنده اولیه افزایش بودجه، هزینه و بازه زمانی پروژه استفاده می‌کنند و اقدام اصلاحی را انجام می‌دهند. مدیریت ارزش کسب شده یک تکنیک برای اندازه‌گیری عملکرد پروژه شامل شاخص‌هایی مانند ارزش برنامه‌ریزی شده، ارزش کسب شده و هزینه واقعی است(سانگ[۱۴]،۲۰۲۲). به‌منظور گسترش رهبری و استفاده از EVM در سراسر پروژه، گسترش مفهوم خط مبنا برای مدیریت یکپارچه‌سازی پروژه مفید است. بسیاری از پروژه ها با چالش‌های مختلفی از قبیل تأخیر در زمان‌بندی، هزینه‌های اضافی و عدم تطابق با برنامه‌های اولیه مواجه هستند. این مسائل به‌ویژه ناشی از کمبود منابع، ضعف در مدیریت و برنامه‌ریزی نادرست هستند(ظهورو همکاران[۱۵]،۲۰۲۲). نتایج بدست آمده در جدول ۲ نشان می دهد که چگونه می توان از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تحلیل داده‌ها و اتوماسیون در بهبود برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل پروژه‌ها و رفع محدودیت های روش مدیریت ارزش کسب شده در تخمین مدت زمان پایان و هزینه پروژه استفاده کرد. عملکرد و پیشرفت پروژه در بر می‌گیرد. EVM به شناسایی علل انحراف از خط پایه که ممکن است به برنامه‌ریزی بهبود نیاز داشته باشد کمک می‌کند. علاوه بر این، EVM فرایند تخمین نتایج پروژه را بر اساس عملکرد گذشته و شرایط فعلی پروژه اطلاع می‌دهد. به کمک این روش نمایش وضعیت و پیش‌بینی‌ها در هر یک از جنبه‌های هزینه، زمان‌بندی و محدوده پروژه امکان‌پذیرمی شود، در جدول ۱ به خلاصه‌ای از مفاهیم این روش پرداخته شده است(موسسه مدیریت پروژه[۱۶]، ۲۰۲۰).

مخفف	تعریف	معادله
BAC	مقداربودجه پایان کار پروژه	-
PV	ارزش برنامه‌ریزی‌شده	درصدپیشرفت برنامه‌ای PV=BAC*
EV	ارزش کسب شده	درصد پیشرفت واقعی EV=BAC*
AC	هزینه واقعی	
SPI	شاخص عملکرد زمان	SPI=EV/PV
CPI	شاخص‌عملکرد هزینه	CPI=EV/AC
SV	انحراف زمان‌بندی	SV=EV-PV
CV	انحراف هزینه	CV=EV-AC

[۱۳] Cheng et al
[۱۴] Song et al
[۱۵] Zahoor et al
[۱۶] Project Management Institute ۲۰۲۰

جدول ۱. مفاهیم مدیریت ارزش کسب شده

مخفف	تعریف	معادله
BAC	مقدار بودجه پایان کار پروژه	-
PV	ارزش برنامه‌ریزی‌شده	درصد پیشرفت برنامه‌ای*PV=BAC
EV	ارزش کسب شده	درصد پیشرفت واقعی*EV=BAC
AC	هزینه واقعی	
SPI	شاخص عملکرد زمان	SPI=EV/PV
CPI	شاخص عملکرد هزینه	CPI=EV/AC
SV	انحراف زمان‌بندی	SV=EV-PV
CV	انحراف هزینه	CV=EV-AC

جدول۲. بهبود روش EVM

ردیف	مقاله	بهبود روش EVM
۱	Improving the Results of the EarnedValueManagement Technique Using Artificial Neural Networks in Construction Projects)Balali et al., ۲۰۲۰)	مقاله به بررسی این می‌پردازد که چگونه شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند به بهبود دقت و کارایی تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده در پروژه‌های ساخت و ساز کمک کنند. این تحقیق بر چالش‌های موجود در EVM، از جمله مشکلات دقت داده‌ها و پیش‌بینی عملکرد، تأکید کرده و توضیح می‌دهد که ANNs می‌توانند با تحلیل پیشرفته داده‌ها و ارائه پیش‌بینی‌های دقیق‌تر، به شناسایی انحرافات و بهبود گزارش‌گیری و ارائه تصمیمات بهترکمک کنند.
۲	Predicting project duration and cost, and selecting the best action plan using statistical methods for earned value management(Soltan & Ashrafi, ۲۰۲۰)	این مقاله از تحلیل‌های آماری برای پیش‌بینی هزینه و زمان استفاده می‌کند. روش‌ها شامل: تحلیل رگرسیون: برای شناسایی روابط بین متغیرهای مختلف پروژه و پیش‌بینی هزینه و زمان بر اساس داده‌های تاریخی. تحلیل واریانس (ANOVA): برای ارزیابی تفاوت‌های میانگین‌ها و بررسی تأثیرات متغیرهای مدیریتی بر روی پروژه. مدل‌سازی سری زمانی: برای پیش‌بینی روندهای آینده با استفاده از داده‌های گذشته
۳	Duration Estimate at Completion: Improving Earned Value ManagementForecasting Accuracy),Sackey et al ۲۰۲۰	این مقاله از چندین رویکرد آماری و ریاضی برای بهبود دقت پیش‌بینی مدت زمان اتمام استفاده می‌کند: تحلیل رگرسیون چندمتغیره: برای شناسایی و مدل‌سازی کلیدواژه‌های مختلف مؤثر بر مدت زمان اتمام، از جمله هزینه‌ها، انحرافات زمانی و عوامل محیطی. مدل‌سازی سری زمانی: این روش به شناسایی الگوهای گذشته در داده‌ها و پیش‌بینی آینده بر اساس این الگوها کمک می‌کند.
۴	Evaluation of Earned Value Management-Based Cost	این مقاله از چندین تکنیک یادگیری ماشین برای ارزیابی برآورد هزینه استفاده

	Estimation via Machine Learning(Yalçın et al, ۲۰۲۴)	می‌کند: مدل‌های رگرسیون: شامل رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی برای شناسایی روابط پیچیده میان عوامل مؤثر بر هزینه پروژه. درختان تصمیم: برای استفاده از ویژگی‌های مختلف پروژه به منظور پیش‌بینی هزینه‌ها. شبکه‌های عصبی ANN و LSTM : به منظور مدل‌سازی دقیق‌تر و یادگیری از داده‌های پیچیده
۵	Applying and Assessing Performance of Earned Duration Management Control Charts for EPC Project Duration Monitoring(Votto et al, ۲۰۲۰)	این مقاله به استفاده از رویکردهای تجربی و تحلیلی برای بررسی کارایی نمودارهای مدیریت مدت زمان کسب‌شده می‌پردازد: جمع‌آوری داده‌ها: تجزیه و تحلیل داده‌های پروژه‌های واقعی در صنعت و استخراج معیارهای کلیدی. پیش‌بینی و مدل‌سازی: استفاده از مدل‌های آماری و روش‌های پیش‌بینی برای شناسایی روندهای تاریخی و اثرات آن‌ها بر مدت زمان پروژه
۶	Predicting Earned Value Indexes in Residential complexes' Construction Projects Using Artificial Neural Network Model(Aidan et al, ۲۰۲۰)	این تحقیق نتیجه‌گیری می‌کند که استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ANN می‌تواند به طور قابل توجهی به پیش‌بینی دقت و قابلیت اطمینان شاخص‌های ارزش کسب‌شده در پروژه‌های ساخت مجتمع‌های مسکونی کمک کند و توصیه می‌شود که مدیران پروژه از این تکنیک‌ها برای بهبود نظارت و کنترل فعالیت‌های پروژه استفاده کنند.
۷	Multiple Linear Regression Model for Improved Project Cost Forecasting(Ottaviani & Marco, ۲۰۲۱)	رگرسیون خطی چندگانه

۳. نوآوری و روش تحقیق

مدیریت پروژه شامل دستیابی به الزامات (زمان، بودجه و دامنه) پروژه مورد بررسی است. همان‌طور که نیاز پروژه‌ها در طول زمان تکامل می‌یابند، ابزارهای مدیریت پروژه نیز باید برای رسیدگی به آن نیازهای در حال تغییر توسعه یابند. مدیریت ارزش کسب شده پروژه روشی است که ارزش برنامه‌ریزی شده، کار انجام شده واقعی (ارزش کسب شده)، و هزینه کار انجام شده (هزینه واقعی) را در یک نقطه خاص از زمان مقایسه می‌کند. علی‌رغم مزایای آشکار ارزش کسب شده، محققان تعدادی محدودیت برای ارزش کسب شده شناسایی کرده‌اند و چندین بهبود و جایگزین را پیشنهاد داده‌اند(اسبس و همکاران،۲۰۱۴). انحراف از زمان‌بندی، تفاوت بین ارزش کسب شده و ارزش برنامه‌ریزی شده، در پایان هر پروژه همیشه برابر با صفر در ارزش کسب شده سنتی خواهد بود. در نتیجه، شاخص عملکرد زمانی که نسبت ارزش کسب شده به ارزش برنامه‌ریزی شده است برابر ۱خواهد شد. این نسبت نشان می‌دهد که پروژه حتی اگر از برنامه زمان‌بندی عقب باشد، تأخیر

ندارد و به‌موقع انجام شده است(سلمی[۱۷]،۲۰۱۸). عصر داده‌های بزرگ باعث پیشرفت سریع صنعت اطلاعات جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها شده است. برای دستیابی سریع و دقیق به داده‌ها، مدیریت پروژه سنتی قادر به پاسخگویی به نیازهای مدیریتی به‌روز نبوده است. ورود فن‌آوری جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها به مفهوم مدرن مدیریت زمان‌بندی پروژه، بدون شک یک پیشرفت برای حل این مشکل است. با استفاده از سیستم جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها می‌توان میزان دقت پیشرفت پروژه را به طور مؤثر مورد ارزیابی قرارداد(هو و خو[۱۸]،۲۰۲۲). با بررسی مطالعات گذشته مشخص شد که با استفاده از یادگیری ماشین در پروژه دیگر لازم نیست که هر مرحله از روند پروژه به‌صورت سنتی گزارش‌گیری شود این به معنی توانایی یادگیری ماشین است و از این طریق می‌توان پیش‌بینی‌هایی را انجام داد. همچنین الگوریتم‌های یادگیری ماشین در حین اینکه با آزمون‌وخطا تجربه به دست می‌آورند، دقت و کارایی‌شان نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین این امکان را به مدیران پروژه می‌دهد تا عملکرد خود را ارتقا دهند و تصمیمات بهتری بگیرند الگوریتم‌های یادگیری ماشین به طور گسترده برای پیش‌بینی زمان و هزینه در پروژه‌های در حال انجام به کار گرفته نشده‌اند و به طور سنتی، این دانش از پروژه‌ای به پروژه دیگر توسط مدیران ارشد منتقل شده است و مدیران پروژه عمدتاً به بر اساس تجربیات خود زمان و هزینه را تخمین می‌زنند(بلهارت و همکاران وهمکاران[۱۹]،۲۰۲۰). در جدول ۳ به مقایسه انوع روش‌های پیش‌بینی داده پرداخته می‌شود.

جدول ۳. مقایسه انواع روش‌های پیش‌بینی داده(جوکار و نهمن[۲۰]،۲۰۱۶).

روش‌های پیش‌بینی	تکنیک	مزایا	معایب
سنتی	تحلیل رگرسیون چندگانه	پیاده‌سازی آسان توسط متخصصان نتایج خوب را می‌توان با مجموعه‌داده‌های نسبتاً کوچک به دست آورد.	تمام متغیرهای مستقل باید شناسایی شوند. قبل از پیش‌بینی متغیر وابسته، پیش‌بینی هر متغیر مستقل جداگانه موردنیاز است. تخمین بادقت کمتر
مدرن	سری زمانی	معمولاًبرای پیش‌بینی به یک متغیر نیاز است. ساختارداخلی مجموعه‌داده‌ها ثبت می‌شود. تخمین بسیار دقیقی دارد.	بسته به پیاده‌سازی تکنیک پیشنهادی می‌تواند برای متخصصان دشوار باشد. به داده‌های تاریخی نیاز دارد.
کمی	شبکه عصبی	آموزش رسمی کم‌تر موردنیاز است. توانایی پرداختن به روابط غیرخطی نسبتاً پیچیده.	ماهیت جعبه سیاه دارد. قابلیت مدل‌سازی بیش از حد و دقت کم‌تر.

[۱۷] Salmi
[۱۸] Hu & Xu
[۱۹] Belharet et al
[۲۰] Joukar & Nahmens

سال‌های اخیر هوش مصنوعی در طیف گسترده‌ای از حوزه‌ها رشد فوق‌العاده‌ای داشته است. در این زمینه که به‌سرعت در حال تکامل است، مسئله‌های زیادی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق پیاده‌سازی می‌شوند. اکثریت این مدل‌ها ذاتاً پیچیده هستند و به دلیل داشتن جعبه سیاه فاقد صلاحیت لازم برای فرایند تصمیم‌گیری هستند. در برخی موارد، سیستم‌های هوش مصنوعی به طور خودکار و بر اساس الگوریتم‌ها و شبکه‌های عصبی، تصمیماتی را اتخاذ می‌کنند که برای انسان‌ها قابل‌فهم و تفسیر نیست و عملکرد سیستم ممکن است به صورتی اتفاق بیفتد که ما نتوانیم بفهمیم چرا و چگونه این تصمیمات اتخاذ شده‌اند(حسیجا و همکاران[۲۱]،۲۰۲۴).

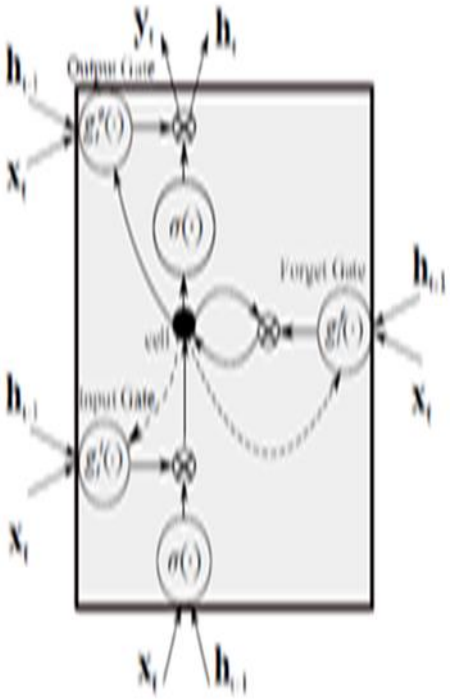
همان‌طور که در مورد تکنیک‌های پیش‌بینی گفته شد، شبکه عصبی حافظه بلندمدت - کوتاه‌مدت به بیان دیگر الگوریتم سری زمانی، فاقد جعبه سیاه است؛ بنابراین مناسب تصمیم‌گیری است. در نتیجه در این تحقیق سعی شده است با استفاده از داده‌های توالی و تاریخی موجود در بانک اطلاعاتی مدیریت پروژه و با پیاده‌سازی این الگوریتم یادگیری ماشین تخمین بهتری از زمان تکمیل پروژه ارائه شود.

همچنین در این تحقیق دستاوردهای زیر محقق خواهد شد:

- تخمین زمان پایان پروژه به کمک یادگیری ماشین
- تعیین میزان اختلاف زمان اتمام پروژه در حالت واقعی و مقدار پیش‌بینی شده

شبکه عصبی[۲۲] LSTM نسخه‌ای از شبکه‌های RNN بوده که حافظه آن گسترش پیدا کرده است. شبکه‌های RNN را قادر می‌سازند تا اطلاعات ورودی را دقیقاً مانند حافظه یک کامپیوتر در مدت‌زمان طولانی به‌خاطر بسپرند. این شبکه می‌تواند اطلاعات را از حافظه خود بخواند، ویرایش کند و یا اطلاعات را پاک کند.

همانطور که در شکل ۱ مشخص است این شبکه سه دروازه ورودی، فراموشی و خروجی دارد.



شکل ۱. مبانی شبکه

[۲۱] Hassija et al
[۲۲] LSTM

است، نشان می‌دهد که قطعه مربوطه اطلاعات غیرضروری تلقی می‌شود و در نتیجه از حالت سلول دور انداخته می‌شود. برعکس، خروجی ۱ نشان می‌دهد که اطلاعات ارزشمند هستند و باید برای پردازش آینده حفظ شوند. این مکانیزم حفظ انتخابی برای توانایی LSTM برای حفظ وابستگی‌های طولانی‌مدت و درعین‌حال کاهش خطر بیش از حد اتصال به داده‌های نامربوط حیاتی است.

دروازه خروجی: این دروازه از ورودی و حافظه بلوک برای تصمیم‌گیری در خروجی استفاده می‌کنیم.

رابطه (۳) $ot=\sigma\ (Wo\cdot\ [h\ t-۱,xt]\ +bo$

در این شبکه ترکیبی از ورودی فعلی و وضعیت سلول گذشته به خود سلول و به هر یک از ۳ دروازه نیز وارد می‌شود. در هر مرحله محاسباتی، ورودی فعلی، حالت قبلی حافظه کوتاه‌مدت و حالت قبلی حالت پنهان را داریم که در واقع در حافظه طولانی‌مدت طی می‌شود این شبکه یکی از محبوب‌ترین و کارآمدترین روش‌ها برای کاهش اثرات ناپدیدشدن و انفجار گرادیان است(صالحی نژاد، سانکار و بارفت, ۲۰۱۷).

۳-۲- دلایل انتخاب مدل شبکه LSTM

جدول ۳. تفاوت الگوریتم شبکه عصبی بازگشتی[۲۳] با شبکه عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت (آکادمی اینترنت اشیا, ۲۰۲۳)

۳-۱- نمایش دروازه های شبکه LSTM

دروازه ورودی: این دروازه تشخیص می‌دهد که کدام مقدار ورودی باید برای بهبود شبکه استفاده شود.

رابطه (۱) $it = \sigma\ (wi\ \cdot\ [ht - ۱, xt]\ + bi)$

که در آن:

σ تابع سیگموئید است.

wi ماتریس وزن برای دروازه ورودی است.

ht-۱ حالت پنهان مرحله قبل است.

دروازه فراموشی: این دروازه تشخیص می‌دهد که چه چیزی را باید از این بلوک محاسباتی حذف شود.

رابطه (۲) $ft = \sigma\ (wf.\ [ht - ۱, xt]\ + bf)$

در این معادله، ft نشان‌دهنده خروجی دروازه فراموشی، wf نشان‌دهنده ماتریس وزن، bf بردار بایاس و تابع فعال‌ساز سیگموئید است. تابع سیگموئید مقادیر بین ۰ و ۱ را خروجی می‌دهد که به طور مؤثربه‌عنوان یک شاخص دوتایی برای حفظ اطلاعات عمل می‌کند. هنگامی که خروجی دروازه فراموشی ۰

[۲۳] (RNN)

چشم‌انداز	شبکه عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت (حافظه کوتاه‌مدت طولانی)	RNN (شبکه عصبی بازگشتی)
ساختار	نوعی RNN با سلول‌های حافظه اضافی	نوع اصلی RNN
حافظه	رفع وابستگی‌های طولانی‌مدت و جلوگیری از مشکل گرادیان ناپدیدشونده	مبارزه با وابستگی‌های طولانی‌مدت و مشکل گرادیان ناپدیدشونده
ساختار سلولی	ساختار سلولی پیچیده با دروازه‌های ورودی، خروجی	ساختار سلولی ساده با تنها حالت مخفی
کیفیت آموزش	روند کند آموزش به دلیل افزایش پیچیدگی	فرایند آموزش سریع‌تر ساختار ساده‌تر
عملکرد در مسیرهای طولانی	در شبکه عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت‌ها، یک سلول شبکه عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت وجود دارد که از دروازه‌هایی مانند فراموشی، ورودی و دروازه خروجی پشتیبانی می‌کند. این دروازه‌ها به شبکه عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت‌ها اجازه می‌دهند تا اطلاعات توالی ورودی را به طور مداوم و بدون ازدست‌دادن اطلاعات قبلی پردازش کنند.	در RNN، داده‌های ورودی به طور مداوم و بدون ازدست‌دادن اطلاعات قبلی پردازش می‌شوند. بااین‌حال، RNNها از مشکلی به نام گرادیان ناپدیدشونده رنج می‌برند که باعث ازدست‌رفتن اطلاعات بلندمدت می‌شود.

۴. مراحل پیاده سازی

جمع آوری اطلاعات: برای انجام این تحقیق از سی پروژۀ مستقلEPC به همراه گزارش های روزانه موجود درپایگاه داده مدیریت پروژه http: //www. or-as. be/research/database استفاده می‌شود. این وب‌سایت یک پایگاه داده تحقیقاتی در زمینه مدیریت پروژه و کنترل پروژه‌های یکپارچه را ارائه می‌دهد شامل مجموعه‌ای از داده‌های واقعی و تجربی مرتبط با پروژه‌ها است که به پژوهشگران و حرفه‌ای‌ها کمک می‌کند تا در تحقیقات و تحلیل‌های خود از آن استفاده کنند. همچنین افرادی که مایل به اشتراک‌گذاری داده‌های پروژه خود هستند، می‌توانند به این پایگاه داده ملحق شوند. این امر به ایجاد یک منبع غنی از داده‌های واقعی کمک می‌کند که می‌تواند به بهبود تکنیک‌های مدیریت پروژه منجر شود.

مشکل محوشدگی گرادیان[۲۴]: در شبکه‌های عصبی بازگشتی سنتی، مشکلی به نام مشکل محوشدگی گرادیان وجود دارد که به معنای این است که در هنگام آموزش، گرادیان‌ها به سمت لایه‌های اولیه میل می‌کنند و اطلاعات زمانی دورتر به طور محسوسی فراموش می‌شوند. این مشکل باعث می‌شود که شبکه عصبی نتواند به‌درستی اطلاعات زمانی طولانی را در نظر بگیرد. در LSTM، با استفاده از واحدهای حافظه خاصی به نام سلول حافظه، این مشکل برطرف می‌شود و شبکه قادر است اطلاعات طولانی‌مدت را به‌خوبی حفظ کند (چارو و آگاروال, ۲۰۲۳).

[۲۴] Vanishing Gradient Problem

۳) ارزیابی استقلال پروژه ها

با استفاده از نرم افزار Expert Choice و روش AHP ۳۰ پروژه ی تصمیم گیری چند معیاره بررسی شده براساس سه معیار زمان، هزینه و حجم کار (محدوده پروژه) رتبه بندی می شوند.

۵. نتایج تحقیق

در این مقاله با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی LSTM در پایتون به حل مسئله و نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود.

۴-۱- پاکسازی داده ها

۱) مدلسازی پیش‌بینی

با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون, الگوریتم LSTM برای ۳۰ گزارش روزانه ی پروژه کد نویسی می شود.

۲) ارزیابی عملکرد مدل یادگیری ماشین

پس از آموزش، مدل LSTM برای پیش‌بینی عملکرد آینده پروژه استفاده می‌شوند. این پیش‌بینی‌ها ممکن است شامل برآورد هزینه‌ها و زمان‌های تکمیل پروژه باشند که می‌توانند به مدیران پروژه در تصمیم‌گیری بهتر کمک کنند.

جدول ۴. مقادیر ورودی پروژه اول

Daily Report	Baseline start	Finish	PV	EV
۱	۱/۲۵/۲۰۰۲	۴/۱۳/۲۰۱۰	۵،۷۷۷,۰۰	۶،۰۵۰,۰۰
۲	۱/۲۶/۲۰۰۲	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۰،۲۹۲,۰۰	۱۳،۶۶۵,۰۰
۳	۱/۲۷/۲۰۰۲	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۹،۰۷۱,۰۰	۱۶،۸۶۴,۰
۴	۱/۲۸/۲۰۰۲	۴/۱۳/۲۰۱۰	۲۴،۹۱۶,۰۰	۱۸،۰۱۲,۰۰
۵	۱/۲۹/۲۰۰۲	۴/۱۳/۲۰۱۰	۴۵،۷۸۲,۰۰	۱۸،۴۸۸,۰۰
۲۹۹۸	۴/۱۰/۲۰۱۰	۷/۷/۲۰۱۱	۱۲،۲۰۴،۶۹۰,۰۰	۱۲،۲۰۳،۵۹۵,۰۰
۲۹۹۹	۴/۱۱/۲۰۱۰	۷/۷/۲۰۱۱	۱۲،۲۱۳،۹۱۰,۰۰	۱۲،۲۱۳،۹۱۰,۰۰
۳۰۰۰	۴/۱۲/۲۰۱۰	۷/۷/۲۰۱۱	۱۲،۲۱۳،۹۱۰,۰۰	۱۲،۲۱۳،۹۱۰,۰۰

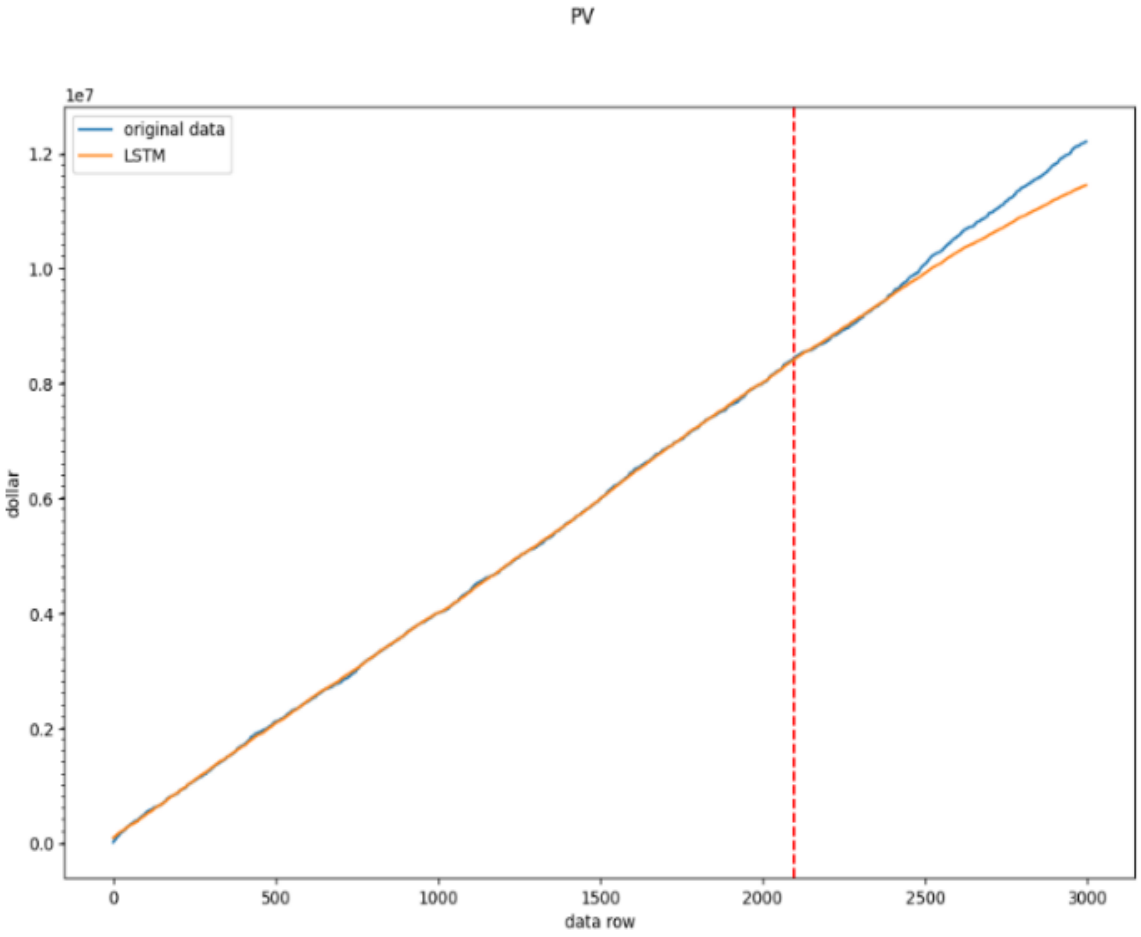
مقادیر خروجی از پایتون در قالب اکسل در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول۶. مقادیر خروجی پروژه اول

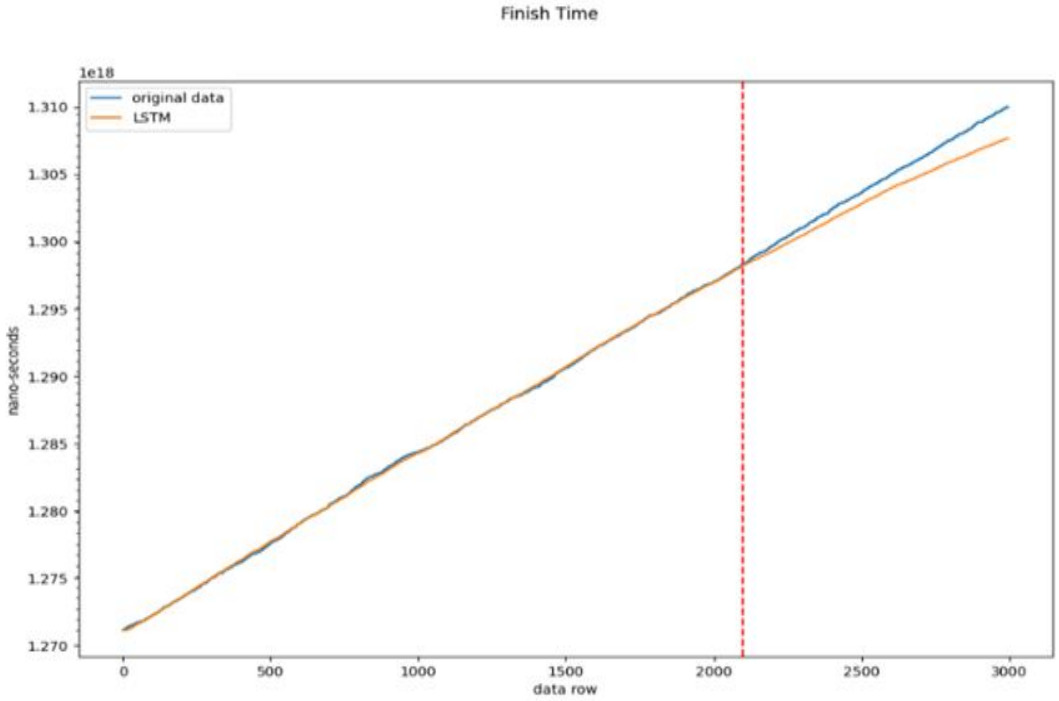
Epoch	finish	PV	EV
۰	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۰۶،۳۹۸	۲۲،۱۵۳
۱	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۱۰،۰۷۷	۲۶،۲۵۷
۲	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۱۳،۱۱۹	۲۹،۵۵۷

۳	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۱۷.۲۰۵	۳۳.۸۹۳
۴	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۲۱.۱۵۱	۳۸.۱۸۷
۵	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۲۷.۷۲۳	۴۴.۲۶۱
۶	۴/۱۳/۲۰۱۰	۱۳۴.۳۳۲	۵۰.۸۴۳
۲۹۹۷	۶/۱۵/۲۰۱۱	۱۱.۳۷۴.۴۵۳	۱۱.۷۲۴.۰۵۱
۲۹۹۸	۶/۱۶/۲۰۱۱	۱۱.۳۷۴.۴۵۳	۱۱.۷۲۴.۰۵۱
۲۹۹۹	۶/۱۷/۲۰۱۱	۱۱.۳۷۴.۴۵۳	۱۱.۷۲۴.۰۵۱
۳۰۰۰	۶/۱۸/۲۰۱۱	۱۱.۳۷۴.۴۵۳	۱۱.۷۲۴.۰۵۱

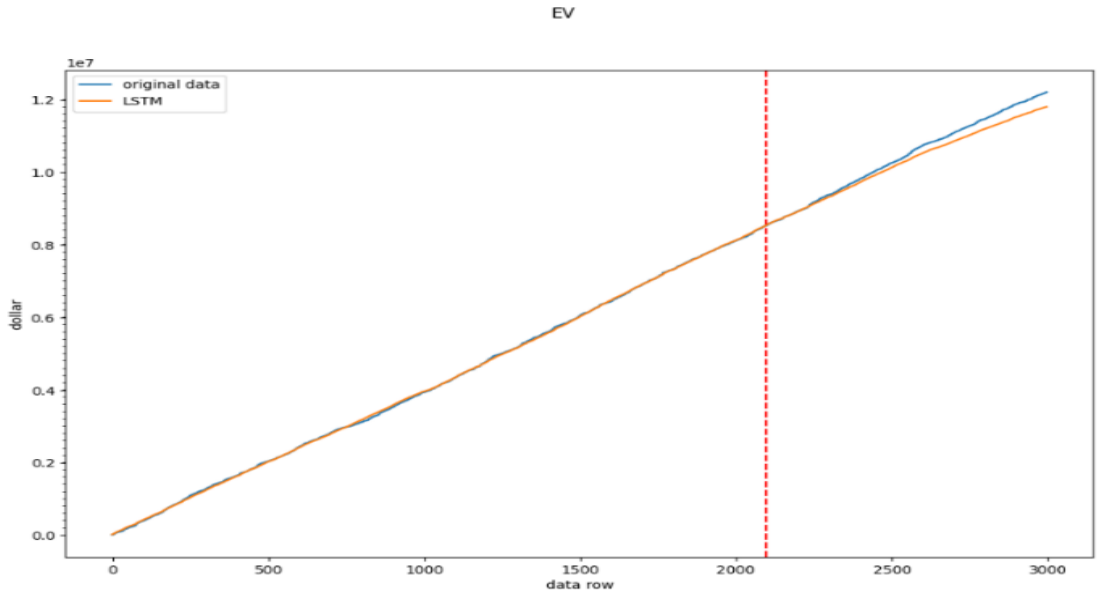
شکل های ۱-۲ و ۳ روند یادگیری الگوریتم شبکه LSTM را برای مقادیر PV,EV و Finish Time نشان می دهد.



شکل۱. روند یادگیری مقادیر PV پروژه اول توسط شبکه LSTM



شکل۲. روند یادگیری مقادیر Finish Time پروژه اول توسط شبکه LSTM



شکل۳. روند یادگیری مقادیر EV پروژه اول توسط شبکه LSTM

MAE: ۰,۰۲۰۹۳۹۸۱۹۵۱۴۷۵۱۴۳۴

R۲-score۲۵: ۰,۹۱۱۵۶۰۴۹۴۲۹۰۴۲۹۱

MSE۲۶: ۰,۰۰۰۷۰۸۸٤٦٦۰۸۱۷٦۸

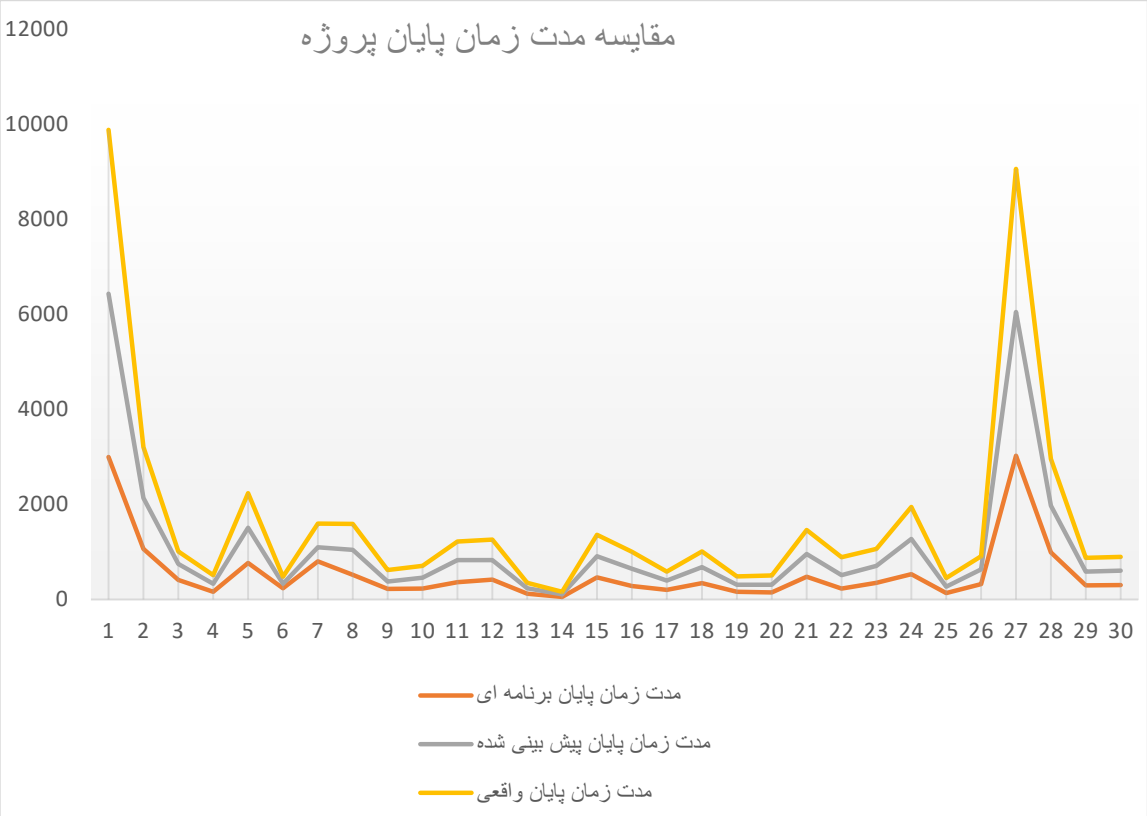
[۲۵] ضریب تعیین .

جدول ۷. خلاصه داده های برنامه ای و پیش بینی شده پروژه ها

شماره پروژه	زمان شروع برنامه‌ای	زمان‌پایان برنامه‌ای	مدت‌زمان‌پایان برنامه‌ای	زمان پایان تخمین زده شده توسط ماشین	مدت‌زمان تخمین زده شده توسط ماشین	زمان پایان واقعی	مدت‌زمان پایان واقعی
۱	۱/۲۵/۲۰۰۲	۴/۱۳/۲۰۱۰	۳۰۰۰,۰۰	۶/۱۸/۲۰۱۱	۳۴۳۱,۰۰	۷/۷/۲۰۱۱	۳۴۵۰,۰۰
۲	۵/۸/۲۰۱۱	۴/۸/۲۰۱۴	۱۰۶۶.۰۰	۴/۱۰/۲۰۱۴	۱۰۶۸,۰۰	۴/۱۷/۲۰۱۴	۱۰۷۵,۰۰
۳	۸/۲/۲۰۱۰	۹/۱۶/۲۰۱۱	۴۱۰,۰۰	۷/۷/۲۰۱۱	۳۳۹,۰۰	۴/۱۹/۲۰۱۱	۲۶۰,۰۰
۴	۹/۴/۲۰۱۷	۲/۹/۲۰۱۸	۱۵۸,۰۰	۲/۲۵/۲۰۱۸	۱۷۴,۰۰	۳/۱/۲۰۱۸	۱۷۸,۰۰
۵	۱۲/۷/۲۰۱۰	۱/۱۱/۲۰۱۳	۷۶۶,۰۰	۱۲/۲۱/۲۰۱۲	۷۴۵,۰۰	۱۱/۲۹/۲۰۱۲	۷۲۳,۰۰
۶	۵/۴/۲۰۱۲	۱۲/۲۶/۲۰۱۲	۲۳۶,۰۰	۸/۷/۲۰۱۲	۹۵,۰۰	۹/۲۷/۲۰۱۲	۱۴۶,۰۰
۷	۱/۱۰/۲۰۱۱	۳/۱۸/۲۰۱۳	۷۹۸,۰۰	۱۱/۲/۲۰۱۱	۲۹۶,۰۰	۵/۲۵/۲۰۱۲	۵۰۱,۰۰
۸	۱۰/۲۹/۲۰۱۲	۴/۱/۲۰۱۴	۵۱۹,۰۰	۴/۷/۲۰۱۴	۵۲۵,۰۰	۴/۲۷/۲۰۱۴	۵۴۵,۰۰
۹	۲/۲۵/۲۰۱۳	۱۰/۴/۲۰۱۳	۲۲۱,۰۰	۸/۱/۲۰۱۳	۱۵۷,۰۰	۱۰/۲۴/۲۰۱۳	۲۴۱,۰۰
۱۰	۱/۱۴/۲۰۱۳	۸/۲۹/۲۰۱۳	۲۲۷,۰۰	۹/۲/۲۰۱۳	۲۳۱,۰۰	۹/۱۶/۲۰۱۳	۲۴۵,۰۰
۱۱	۱/۲۸/۲۰۱۳	۱/۲۴/۲۰۱۴	۳۶۱,۳۷	۵/۱۲/۲۰۱۴	۴۶۸,۶۷	۲/۲۳/۲۰۱۴	۳۹۱,۰۰
۱۲	۲/۱۸/۲۰۱۳	۴/۸/۲۰۱۴	۴۱۴,۰۰	۴/۱۱/۲۰۱۴	۴۱۶,۶۷	۴/۲۴/۲۰۱۴	۴۳۰,۰۰
۱۳	۲/۱۸/۲۰۱۴	۶/۱۶/۲۰۱۴	۱۱۷,۶۷	۶/۱۲/۲۰۱۴	۱۱۳,۶۷	۶/۱۶/۲۰۱۴	۱۱۷,۶۷
۱۴	۲/۲۴/۲۰۱۴	۴/۲۰/۲۰۱۴	۵۵,۰۰	۴/۱۶/۲۰۱۴	۵۰,۶۷	۴/۲۱/۲۰۱۴	۵۶,۰۰
۱۵	۱/۱/۲۰۲۰	۴/۷/۲۰۲۱	۴۶۲,۰۰	۳/۲۳/۲۰۲۱	۴۴۷,۰۰	۳/۳۰/۲۰۲۱	۴۵۴,۰۰
۱۶	۹/۱۲/۲۰۱۹	۶/۲۳/۲۰۲۰	۲۸۵,۰۰	۹/۷/۲۰۲۰	۳۶۱,۰۰	۹/۱/۲۰۲۰	۳۵۵,۰۰
۱۷	۱۲/۹/۲۰۱۹	۶/۲۶/۲۰۲۰	۲۰۰,۰۰	۶/۲۲/۲۰۲۰	۱۹۶,۰۰	۶/۱۸/۲۰۲۰	۱۹۲,۰۰
۱۸	۶/۳/۲۰۱۹	۵/۸/۲۰۲۰	۳۴۰,۰۰	۵/۱۰/۲۰۲۰	۳۴۲,۰۰	۴/۲۸/۲۰۲۰	۳۳۰,۰۰
۱۹	۹/۴/۲۰۱۷	۲/۹/۲۰۱۸	۱۵۸,۰۰	۲/۴/۲۰۱۸	۱۵۳,۰۰	۲/۲۳/۲۰۱۸	۱۷۲,۰۰
۲۰	۹/۱۱/۲۰۱۷	۲/۸/۲۰۱۸	۱۵۰,۰۰	۲/۲۰/۲۰۱۸	۱۶۲,۰۰	۳/۱۹/۲۰۱۸	۱۸۹,۰۰
۲۱	۱۰/۳۱/۲۰۱۶	۲/۲۳/۲۰۱۸	۴۸۰,۰۰	۲/۲۰/۲۰۱۸	۴۷۷,۰۰	۳/۱۶/۲۰۱۸	۵۰۱,۰۰
۲۲	۶/۱/۲۰۱۶	۱/۱۳/۲۰۱۷	۲۲۶,۰۰	۳/۱۵/۲۰۱۷	۲۸۷,۰۰	۶/۹/۲۰۱۷	۳۷۳,۰۰

[۲۶] میانگین مربعات خطا .

۲۳	۱/۲۰/۲۰۱۷	۱/۷/۲۰۱۸	۳۵۲,۰۰	۱/۹/۲۰۱۸	۳۵۴,۰۰	۱/۱۰/۲۰۱۸	۳۵۵,۰۰
۲۴	۷/۳۰/۲۰۱۵	۱/۱۳/۲۰۱۷	۵۳۳,۰۰	۸/۹/۲۰۱۷	۷۴۱,۰۰	۶/۲/۲۰۱۷	۶۷۳,۰۰
۲۵	۸/۲۶/۲۰۱۸	۱/۴/۲۰۱۹	۱۳۱,۰۰	۱/۱۳/۲۰۱۹	۱۴۰,۰۰	۲/۲۲/۲۰۱۹	۱۸۰,۰۰
۲۶	۷/۱۷/۲۰۱۸	۶/۲/۲۰۱۹	۳۲۰,۰۰	۵/۲۵/۲۰۱۹	۳۱۲,۰۰	۴/۱۷/۲۰۱۹	۲۷۴,۰۰
۲۷	۱/۲۵/۲۰۰۲	۵/۸/۲۰۱۰	۳۰۲۵,۰۰	۵/۵/۲۰۱۰	۳۰۲۲,۰۰	۴/۲۵/۲۰۱۰	۳۰۱۲,۰۰
۲۸	۸/۵/۲۰۰۸	۴/۱۹/۲۰۱۱	۹۸۷,۰۰	۴/۱۸/۲۰۱۱	۹۸۶,۰۰	۴/۱۷/۲۰۱۱	۹۸۵,۰۰
۲۹	۵/۸/۲۰۱۱	۳/۱/۲۰۱۲	۲۹۸,۰۰	۲/۱۶/۲۰۱۲	۲۸۴,۰۰	۲/۲۵/۲۰۱۲	۲۹۳,۰۰
۳۰	۲/۱/۲۰۱۲	۱۱/۲۹/۲۰۱۲	۳۰۲,۰۰	۱۱/۲۸/۲۰۱۲	۳۰۱,۰۰	۱۱/۲۰/۲۰۱۲	۲۹۳,۰۰



شکل۴. مقایسه مدت زمان پایان پروژه

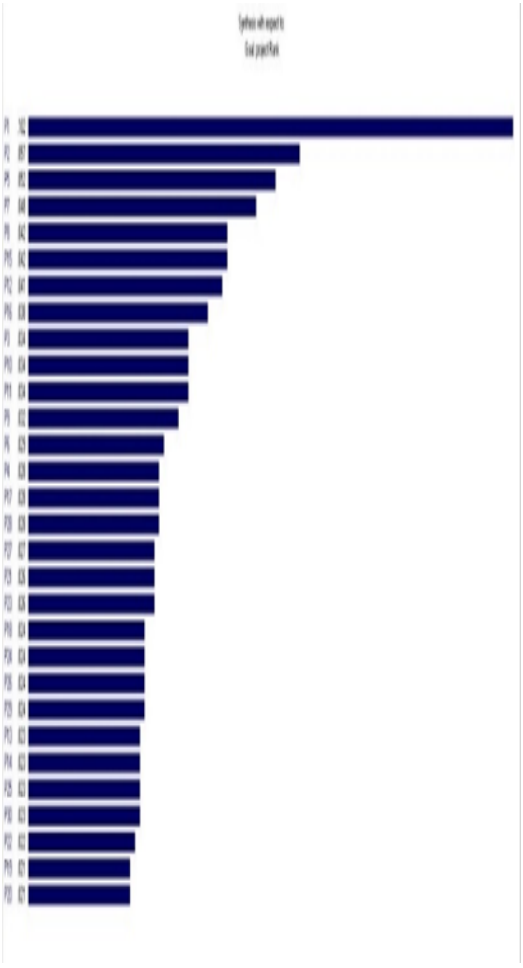
با توجه به شکل ۵ مثلث مدیریت پروژه مدلی است که در مدیریت پروژه استفاده می‌شود. این نشان می‌دهد که مدیریت سه محدودیت هزینه، دامنه و زمان منجر به یک خروجی نهایی با کیفیت می‌شود (کیلانی،حرشه و نجدوی, ۲۰۲۴).

AHP[۲۷] یک چارچوب تصمیم گیری ساختاریافته است که توسط توماس ساتی در دهه ۱۹۷۰ توسعه یافت. این روش به افراد و سازمان‌ها در اولویت بندی

[۲۷] . Analytic Hierarchy Process

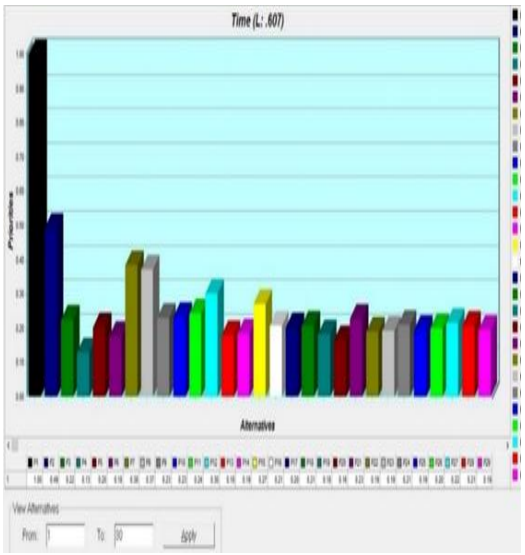
گزینه‌ها و تصمیم گیری آگاهانه با تجزیه مسائل پیچیده به اجزای کوچک‌تر و قابل مدیریت تر کمک می‌کند. AHP به ویژه در سناریوهای پیچیده شامل معیارهای متعدد و ذینفعان، مانند انتخاب پروژه، تخصیص منابع و ارزیابی ریسک مفید است.

با استفاده از نرم افزار Expert Choice و روش تصمیم گیری چند معیاره AHP,۳۰ پروژه ی بررسی شده براساس سه معیار زمان، هزینه و حجم کار (محدوده پروژه) رتبه بندی می شوند. به کمک روش AHP , ۳۰ پروژه بررسی شده در این تحقیق به منظور اثبات مستقل بودن آن‌ها بر اساس این سه معیار رتبه بندی می شوند و نتایج آن به صورت شکل های ۶, ۷, ۸, ۹است.

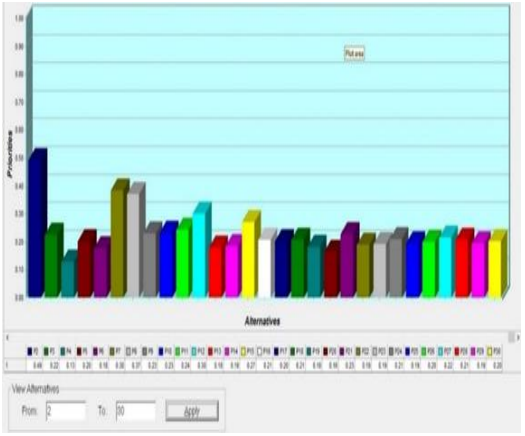


شکل۵. سه ضلع اصلی پروژه

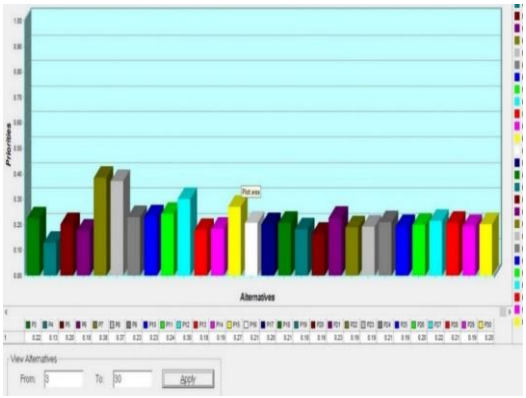
شکل۶. رتبه‌بندی کلی پروژه:



شکل۷.رتبه‌بندی بر اساس معیار زمان



شکل۸. رتبه‌بندی بر اساس معیار هزینه



شکل۹. رتبه‌بندی بر اساس معیار محدوده

۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

تأخیر در پروژه‌های ۲۸(مهندسی، تأمین و ساخت) می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد که تأثیر قابل‌توجهی بر زمان‌بندی و هزینه‌های پروژه دارد و مدیریت بهینه این عوامل و پیش‌بینی آن‌ها می‌تواند به کاهش تأخیرها کمک کند.طبق تحقیقات گذشته،روش مدیریت ارزش کسب شده ۲۹ یکی از تکنیک‌های مفید در مدیریت پروژه است که برای نظارت و کنترل عملکرد پروژه از طریق مقایسه ارزش کار انجام شده با برنامه‌های هزینه و زمان استفاده می‌شود. با این‌حال، این روش دارای نقاط ضعفی نیز است شامل:

۱. پیچیدگی در پیاده‌سازی
۲. نیاز به داده‌های دقیق
۳. عدم انعطاف‌پذیری
۴. پاسخگویی به متغیرهای کیفی
۵. توجه به هزینه‌ها به‌جای ارزش واقعی
۶. عدم درنظرگرفتن نوسانات خارجی

در این تحقیق با درنظرگرفتن شرایط یکسان به یکی از مشکلات این روش پرداخته شده است.

در این مقاله به کمک یادگیری ماشین و الگوریتم حافظه بلند مدت- کوتاه مدت ۳۰ با زبان برنامه نویسی پایتون, روشی پیشنهاد شده است که مدیر پروژه و یا سازمان بتواند برای پروژه‌های آتی خود تخمین بهتری از زمان اتمام پروژه را داشته باشد.

این تحقیق با محدودیت‌هایی مواجه بود که باید به آن‌ها اشاره شود. اولاً تعداد پروژه‌های در دسترس جهت تکمیل بانک اطلاعاتی ممکن است نتایج را تحت تأثیر قرار دهد در نهایت، زمان محدود برای جمع آوری داده‌ها باعث شد که نتوان به جنبه‌های دیگری از موضوع نظیر عوامل داخلی و خارجی تأثیر گذار بر پروژه مانند نیروی انسانی, شرایط جوی, تغییرات اقتصادی و تورم, شرایط فنی پروژه, منابع پروژه، شرایط مالی و مدیریت و حاکمیت, پرداخته شود. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی با استفاده از روش‌های ترکیبی شبکه‌های عصبی و با نمونه‌های بزرگ‌تر و یا با در یا با درنظرگرفتن عوامل تأثیرگذار، انجام شوند تا اعتبار و قابلیت تعمیم‌یافته‌ها افزایش یابد.

۷. منابع و مواخذ

A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). (۲۰۱۷). Project Management Institute.

Aidan, ibraheem, Jaber, F., Al-Jeznawi, D., & Al-Zwainy, F. (۲۰۲۰). *Predicting Earned Value Indexes in Residential complexes’ Construction Projects Using Artificial Neural NetworkModel*.https://doi.org/۱۰,۲۰۹۴۴/preprints ۲۰۲۰۰۳,۰۳۶۳.v۱

B Balali, A., Valipour, A., Antucheviciene, J., & Šaparauskas, J. (۲۰۲۰b). Improving the results of the Earned Value Management technique using artificial neural networks in construction projects. *Symmetry*, ۱۲(۱۰), ۱–۱۷.https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/sym۱۲۱۰۱۷۴۵

Charu C. Aggarwal. (۲۰۲۳a). *Neural Networks and Deep Learning* .

Cheng, M.-Y., Chang, Y.-H., & Korir, D. (۲۰۱۹). Novel Approach to Estimating Schedule to Completion in Construction Projects Using Sequence and Nonsequence Learning. *Journal of Construction Engineering and Management*, ۱۴۵(۱۱). https://doi.org/۱۰,۱۰۶۱/(asce)co.۱۹۴۳-۷۸۶۲,۰۰۰۱۶۹۷

James, O. D., Lekan, A. M., & O, O. C. (۲۰۱۴). CAUSES AND EFFECT OF DELAY ON

[۲۸] EPC
[۲۹] EVM
[۳۰] LSTM

Soltan, S., & Ashrafi, M. (۲۰۲۰). Predicting project duration and cost, and selecting the best action plan using statistical methods for earned value management. *Journal of Project Management (Canada)*, *۵*(۳), ۱۵۷–۱۶۶. https://doi.org/۱۰,۵۲۶۷/j.jpm.۲۰۲۰,۳,۰۰۲

The IoT Academy. (۲۰۲۳, ۸نوامبر). *What is The Main Difference Between RNN and LSTM-(RNN vs LSTM)*.

Vandevoorde, S. ;, & Vanhoucke, M. (۲۰۰۶). A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *VlerickBusinessSchool*.http://hdl.handle.net/۲۰,۵۰۰,۱۲۱۲۷/۱۷۲۷

Votto, R., Lee Ho, L., & Berssaneti, F. (۲۰۲۰). Applying and Assessing Performance of Earned Duration Management Control Charts for EPC Project Duration Monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*, *۱۴۶*(۳). https://doi.org/۱۰,۱۰۶۱/(asce)co.۱۹۴۳-۷۸۶۲,۰۰۰۱۷۶۵

Yalçın, G., Bayram, S., & Çıtakoğlu, H. (۲۰۲۴). Evaluation of Earned Value Management-Based Cost Estimation via Machine Learning. *Buildings*, *۱۴*(۱۲), ۳۷۷۲. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/buildings۱۴۱۲۳۷۷۲

Zahoor, H., Khan, R. M., Nawaz, A., Ayaz, M., & Maqsoom, A. (۲۰۲۲). Project control and forecast assessment of building projects in Pakistan using earned value management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *۲۹*(۲), ۸۴۲–۸۶۹. https://doi.org/۱۰,۱۱۰۸/ECAM-۱۱-۲۰۲۰-۰۹۸۹

PROJECT CONSTRUCTION DELIVERY TIME. *International Journal of Education and Research*. www.ijern.com

Kilani, Q., Harahsheh, F., Najdawi, S., Khzouz, A., Al-Badaineh, G., Abualfalayeh, G., & Hanandeh, A. (۲۰۲۴). Evaluating the impact of scope, time, cost, and quality management on project performance and business overall performance in Jordanian financial sector. *Journal of Project Management (Canada)*, *۹*(۴), ۳۰۱–۳۱۰.https://doi.org/۱۰,۵۲۶۷/j.jpm.۲۰۲۴,۹,۰۰۳

Kivrak, S., & Baha, M. Y. (۲۰۲۴). Causes of Delay in Road Construction Projects in Afghanistan. *Journal of Scientific and Industrial Research*, *۸۳*(۱), ۴۶–۵۷. https://doi.org/۱۰,۵۶۰۴۲/jsir.v۸۳i۱,۲۷۹۱

Ottaviani, F. M., & Marco, A. De. (۲۰۲۱). Multiple Linear Regression Model for Improved Project Cost Forecasting. *Procedia Computer Science*, *۱۹۶*, ۸۰۸–۸۱۵. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.procs.۲۰۲۱,۱۲,۰۷۹

Project Management Institute, P. M. Institute. (۲۰۲۰). *The Standard for Earned Value Management*. Project Management Institute.

Sackey, S., Lee, D. E., & Kim, B. S. (۲۰۲۰). Duration Estimate at Completion: Improving Earned Value Management Forecasting Accuracy. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *۲۴*(۳), ۶۹۳–۷۰۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۲۲۰۵-۰۲۰-۰۴۰۷-۵

Salehinejad, H., Sankar, S., Barfett, J., Colak, E., & Valaee, S. (۲۰۱۸a). *Recent Advances in Recurrent Neural Networks*.

Song, J., Martens, A., & Vanhoucke, M. (۲۰۲۲). Using Earned Value Management and Schedule Risk Analysis with resource constraints for project control. *European Journal of Operational Research*, *۲۹۷*(۲), ۴۵۱–۴۶۶. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.ejor.۲۰۲۱,۰۵,۰۳۶